

# MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ DERNEĞİ

## 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ PAZARCIK VE EKİNÖZÜ DEPREMLERİNİN SAHA İNCELEMESİ VE MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ/JEOTEKNİK AÇISINDAN ÖN DEĞERLENDİRME RAPORU

<u>Hazırlayanlar</u>

Prof. Dr. Reşat ULUSAY - Hacettepe Üniversitesi Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL - İstanbul Teknik Üniversitesi Prof. Dr. Halil KUMSAR - Pamukkale Üniversitesi Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK - Süleyman Demirel Üniversitesi



### ÖZET

6 Şubat 2023'te Türkiye'nin Kaharamanmaraş ili yakınlarında saat 04.17'de moment büyüklüğü (M<sub>w</sub>) 7.7 olan bir deprem meydana gelmiş ve 9 saat aradan sonra bu depremi aynı bölgede merkez üssü Elbistan yakınlarında olan M<sub>w</sub>7.6 büyüklüğündeki ikinci yıkıcı bir deprem izlemiştir. İlgili kurum ve kuruluşlar tarafından Doğu Anadolu Fay Zonu'nda yer alan bazı fay segmentlerinin hareketiyle oluştuğu belirlenen bu depremlerden ilkine Pazarcık Depremi, ikincisine ise Ekinözü Depremi adı verilmiştir. 10000'nin üzerinde artçı şokun izlediği bu depremlerde toplam 10 ilimiz etkilenmiştir. Kahramanmaraş depremlerinde resmi kayıtlara göre; yaşamını yitiren vatandaşlarımızın sayısı 50.000'i aşmış, 107.204 vatandaşımız ise yaralanmış olup, resmi açıklamalara göre sadece deprem sırasında toptan göçmüş ve ağır hasar nedeniyle yıkılacak bina sayısı 61.722'dir. Bunun yanı sıra, bu depremlerde ulaşım yapıları, sanayi tesisleri, enerji hatları, alt yapı elemanları ve diğer yapılar da hasar görmüştür. Ayrıca heyelan ve kaya düşmesi gibi kütle hareketleri, zemin sıvılaşması ve yanal yayılma gibi yüzeydeki ve gömülü konumdaki yapıları olumsuz şekilde etkileyen zemin davranışları da 2023 Kahramamaraş depremlerinde meydana gelmiş olan diğer olaylardır.

Bu rapor; Mühendislik Jeolojisi Derneği Yönetim Kurulu tarafından oluşturulan bir teknik ekip tarafından 21-25 Şubat 2023 tarihleri arasında deprem bölgesinde belirli bir güzergah boyunca ve sürenin elverdiği ölçüde yapılan gözlem ve incelemelere ilişkin hususlar ile bazı ön değerlendirmeleri ve önerileri içermektedir.

## TEŞEKKÜR

Raporun yazarları,

Saha çalışmaları için belirledikleri inceleme güzergahı üzerindeki bazı yerlere ulaşmaları konusundaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Tolga Çan'a ve Jeoloji Mühendisi Mehmet Yılmaz'a,

Saha çalışmaları sırasındaki lojistik desteğinden dolayı Sümer Mühendislik Yönetim Kurulu Başkanı Jeoloji Yüksek Mühendisi Meryem Başaran'a,

Bu raporla ilgili bazı çizimlerin gerçekleştirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri konusundaki teknik destekleri için Doç. Dr. Senem Tekin'e ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Hazel Alan'a ve Jeoloji Mühendisi Öymen Akın'a,

Sıvılaşma örneklerinin tane boyu dağılımı analizlerinin yapılmasıyla ilgili katkılarından dolayı İnşaat Yüksek Mühendisi Volkan Helva'ya ve Jeoloji Mühendisi Sefa Çokal'a

Yakınlarını ve evlerini yitirmiş ve depremin şokunu yaşamış olmalarına rağmen, saha çalışmaları sırasında kendilerine göstermiş oldukları ilgi, konukseverlik ve verdikleri bilgilerden dolayı deprem bölgesinde yaşayan vatandaşlarımıza

içten teşekürlerini sunarlar.

ÖZET	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
1. GİRİŞ	1
2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİK VE HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ 2.1. Genel Jeolojik Özellikler 2.2. Genel Hidrojeolojik Özellikler	5 5 11
<ul> <li>3. DEPREM BÖLGESİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ VE DEPREMSELLİĞİ</li></ul>	14 14 17
<ul> <li>4. KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERININ SISMIK ÖZELLIKLERI, KÜVVETLI YER HAREKETİ KAYITLARI VE YÜZEY KIRIKLARI</li> <li>4.1. Kahramanmaraş Depremlerinin Sismik Karakteristikleri</li> <li>4.2. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları</li> <li>4.3. Yüzey Kırıkları</li> </ul>	22 22 25 30
5. MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ/JEOTEKNİK AÇISINDAN GÖZLEMLER VE ÖN DEĞERLENDİRMELER	42
5.1. Sıvılaşma ve Yanal Yayılma Olguları ile Etkileri	42
5.1.2. Sıvılaşma Versindan Yerel Zemin Koşunarı	42 44
5.1.3. Sıvılaşmış Zeminlerin Özellikleri	64
5.2. Kaya Düşmeleri ve Heyelanlar	66
5.2.1. Kaya Duşmeleri 5.2.2. Depremin Tetiklediği Heyelanlar	66 67
6. HASARLARA İLİŞKİN BAZI GENEL GÖZLEMLER	71
6.1. Yapısal Hasarlar	71
6.2. Yüzey Kırığının Yapılar Uzerindeki Etkileri	88
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	99

## İÇİNDEKİLER

## 1. GİRİŞ

Ülkemizin önemli aktif faylarından biri olan sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonu'nu oluşturan bazı fay segmentleri üzerinde 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ili sınırları içinde 2 büyük yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Şekil 1.1). Bu depremlerden saat 04:17'de meydana gelen birincisi Boğaziçi Kandilli Rasathanesi'ne göre 7.7 (M<sub>w</sub>) ve AFAD'a göre ise 7.8 (M<sub>w</sub>) (daha sonra 7.7 olarak düzeltilmiştir) büyüklüğünde olup, Pazarcık Depremi olarak adlandırılan bu depremin odak derinliği yine aynı kuruluşlara göre sırasıyla 10 km ve 8.6 km olarak belirlenmiştir. (KOERI, 2023; AFAD, 2023). Aynı gün saat 13:24 de meydana gelen ikinci depremin merkez üssü Elbistan ilçesininin güneyindeki Ekinözü ilçesi yakınlarında olup, büyüklüğü KOERI ve AFAD'a göre M<sub>w</sub>7.6 ve odak derinliği ise bu iki kuruma göre sırasıyla 10 km ve 7 km olarak kayıtlara geçmiş ve Ekinözü Depremi adıyla anılmıştır. Ayrıca 19 Şubat 2023 tarihinde saat 20:07'de merkez üssü Hatay'ın Yayladağ ilçesi olan M<sub>w</sub>6.4 büyüklüğünde ayrı bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremin odak derinliği 21.73 km olup, ana şoktan 25 Şubat 2023 saat 14:13'e kadar geçen süre içinde 403 artçı deprem kaydedilmiştir (AFAD, 2023).

Söz konusu depremlerde; Hatay, Kahramanmaraş, Adıyaman, Malatya, Gaziantep, Osmaniye, Adana, Şanlıurfa, Kilis ve Diyarbakır olmak üzere toplam 10 ilimiz farklı derecelerde etkilenmiştir (Şekil 1.2). Kahramanmaraş depremlerinde resmi kayıtlara göre; yaşamını yitirmiş vatandaşlarımızın sayısı 50.000'i aşmış ve 107.204 vatandaşımız ise yaralanmış olup, resmi açıklamalara göre 304.000 bina tamamen göçmüş ve ağır hasar görmüştür. Yapılarda meydana gelen yıkım ve hasarların yanı sıra, bu depremlerde ulaşım yapıları (karayolu, demiryolu, köprü), sanayi tesisleri, enerji hatları, alt yapı elemanları vd. de hasar görmüştür. Ayrıca heyelan, kaya düşmesi gibi kütle hareketleri, zemin sıvılaşması ve yanal yayılma gibi yüzeydeki yapılar ile gömülü konumdaki yapıları olumsuz şekilde etkileyen zemin davranışları da 2023 Kahramamaraş depremlerinde meydana gelmiş olan etkili diğer olaylardır.



**Şekil 1.1.** 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin merkez üslerini, deprem bölgesinde yazarlar tarafından esas alınan güzergah boyunca inceleme yapılan lokasyonlar ile bu depremlere neden olan fay segmentlerinin ve alüvyal havzaların konumlarını gösteren harita (Harita MTA 'nın Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) esas alınarak çizilmiştir)

Türkiye'de aletsel dönemden (1900'den) günümüze değin 7'nin üzerinde 20 deprem meydana gelmiş olup, bu durum ülkemizi depremlerden zarar gören ülkeler sıralamasında üst sıralarda yer almasına neden olmaktadır. Bu depremler arasında can kaybı ve hasar açısından en büyük deprem 23 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri olup, bu depremleri 1939 Erzincan ve 1999 Kocaeli depremleri izlemektedir. Yukarıda belirtilen iller ile bunlara bağlı ilçe, belde ve mahallelerde (eski adıyla köylerde) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS)'ne göre toplam nüfus 12.000.000'dan fazla olup, bu rakam Türkiye nüfusunun %14'ünü kapsamaktadır. 2021 yılı verisine göre bölge istihdamının ülke istihdamı içerisindeki payı %13.3'tür ve bölgedeki toplam bina sayısı yaklaşık 2.6 milyondur (T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Deprem bölgesi ayrıca Türkiye'nin gelişmekte olan bir sanayi bölgesidir. Adana, Hatay, Gaziantep, Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Adıyaman ve Malatya illeri büyükşehir statüsündedir. Deprem bölgesindeki iller komşuluk etkileşimleri bütünleşik cazibe merkezi haline gelmiştir. Bölgede

sanayi tesisleri de giderek artmaktadır. Depremden etkilenen illerin 2022 yılı ihracatı içerisindeki payı %8.6 olup, bunlar arasında Gaziantep %4.4 payla ülke genelinde en fazla ihracat gerçekleştiren 6'ncı il olup, bu ili Hatay, Adana ve Kahramanmaraş izlemektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).



Şekil 1.2. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği iller

Bu rapor, Mühendislik Jeolojisi Derneği Yönetim Kurulu tarafından oluşturulan bir teknik ekip tarafından 21-25 Şubat 2023 tarihleri arasında deprem bölgesinde belirli bir güzergah boyunca ve sürenin elverdiği ölçüde sahada yapılan gözlem ve incelemelere ilişkin hususları içermektedir. Saha incelemeleri; deprem bölgesinin son derece geniş bir alanı kapsıyor ve inceleme süresinin sınırlı olması gibi hususlar dikkate alınarak, her iki depreme neden olan aktif fay segmentlerine yakın bir hat üzerinde ve deprem etkilerinin daha fazla görülebilme olanağı olan güzergahlar boyunca yapılmaya çalışılmıştır. İncelenen lokasyonlarla birlikte her iki depremin merkez üslerinin, Türkiye Aktif Fay Haritası'nda bu depremle ilgili fay segmentlerinin ve alüvyal havzaların konumlarının da gösterildiği harita Şekil 2.1'de verilmiştir. İnceleme sırasında; mühendislik jeolojisi açısından ulaşılabilen değişik lokasyonlarda; 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Ekinözü depremlerinin neden olduğu heyelan, kaya düşmesi, sıvılaşma ve yanal yayılma gibi olgularla birlikte, yüzey kırığının yönelimi ve gözlenebilen etkileri gibi hususlar üzerinde durulmaya çalışılmıştır. Ayrıca sıvılaşmanın gözlendiği bazı lokasyonlardan sıvılaşmış zemin örnekleri alınarak yapılan tane boyu dağılımı analizlerinin sonuçları da değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; söz konusu depremlerinen en fazla

etkili olduğu Hatay ve Kahramanmaraş illeri ile kısmen Adıyaman ilinin bir kaç yerleşiminde hasarlara ilişkin ön gözlem yapılmıştır. Bu "Gözlem ve Ön Değerlendirme Raporu"nda; öncelikle inceleme alanının deprem açısından genel jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile bölgesel anlamda tektonik özellikleri ve depremselliği kısaca verilmiş olup, bunları izleyen bölümlerde bu iki depremin başlıca sismik özellikleri ile incelemeler sırasında gözlenebilen yüzey kırıklarının konumları ve kuvvetli yer hareketi kayıtlarıyla ilgili bazı hususlar özetle verilmiş ve mühendislik jeolojisi /jeoteknik açısından yapılan gözlemler ile bunlara ilişkin bazı ön değerlendirmeler sunulmuş ve incelenen güzergahta görülen yapısal hasarlar hakkında da genel bir bilgi verilmiştir. Sonuçta, yapılan incelemenin ışığında bazı önerilerde bulunulmuştur.

### 2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİK VE HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

#### 2.1. Genel Jeolojik Özellikler

Yazarlar 2023 Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği ve geniş bir alanı kapsayan bölgede esas olarak Hatay ve Kahramanmaraş illerini içine alan kesimi incelemiş oldukları için bu raporda bu iki ili kapsayan alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri üzerinde kısaca durulmuştur. Bu kesim Doğu Anadolu Fayı (DAF) olarak bilinen fay zonu içinde ve yakınında bulunan bir bölgede yer almakta olup, güncel tektonik açısından oldukça aktif olan bu bölgede tektonik ve genel jeoloji konularında pek çok çalışma yapılmıştır. Bu alt bölümde, ağırlıklı olarak, Herece (2008) tarafından yayımlanan Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası ile 1/500. 000 ölçekli MTA (1964) Türkiye Jeoloji Haritası'ndan yararlanılarak sahanın genel jeolojik özelliklerine kısaca değinilmiştir.

Bölgede temelde Prekambriyen-Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı Güneydoğu Anadolu Otoktonu ya da Arap Platformu olarak adlandırılmış olan platform çökelleri yer alır. Şist, gnays, mermer, kireçtaşı, kumtaşı, kuvarsit ve şeyl kaya birimlerinden oluşan platform çökelleri üzerinde Üst Kretase sonrası bölgeye yerleşen allokton konumlu ofiyolit birimleri, volkanik birimler ile derin deniz çökellerini kapsayan karmaşık birimler bulunmaktadır.

Paleojen yaşlı birimler Kahramanmaraş ve Malatya bölgesinde, Gözlü, Bulgurkaya, Germav ve Hatay, Adıyaman bölgesinde ise Terbüzek, Besni, Haydarlı, Belveren, Beşenli, Cengin, Gercüş, Aslansuyu, Hoya, Ardıçlıtepe, Gaziantep ve Fırat formasyonları ile temsil edilir. Kahramanmaraş ve Malatya şehir merkezlerinin büyük bir bölümü ise alüvyonlar üzerindedir. Adıyaman şehir merkezi ise Pliyo-Kuvaterner karasal kırıntılar üzerinde konuşlanmıştır.

Bazı yerleşim birimlerinin de üzerinde yer aldığı Neojen yaşlı kaya birimleri, Kahramanmaraş bölgesinde Kapıkaya, Çağlayan Cerit, Fırat, Lice, Karaisali, Alikayası, Şelmo, Esmepuru ve Döndükler formasyonlarından, Hatay bölgesinde ise Balyatağı, Sofular, Tepehan, Nurzeytin, Vakıflı ve Samandağ formasyonlarından oluşmaktadır.

İnceleme alanında Kuvaterner yaşlı istif; Reyhanlı, Kırıkhan ve Fevzipaşa yerleşim birimleri arasında bazaltik volkanitler ile DAF'ın geometrisine ve morfolojideki izine bağlı olarak gelişmiş çökellerden oluşur. Kuvaterner; erken dönemde çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması şeklinde gözlenirken, akarsu yataklarında tutturulmamış çakıl, kum, silt ve killerden oluşan eski ve



**Şekil 2.1.** İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin yayılımını gösteren harita (Asi Havzası Alfar (2017)'den, Ceyhan Havzası Hidroline ve Temelsu (2015)'ten alınmıştır.)

güncel alüvyonlardan oluşmaktadır. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin yayılımını gösteren jeoloji haritası ve alüvyal havzalar ile diri fayların konumlarını gösteren harita sırasıyla Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.



**Şekil 2.2.** İnceleme alanındaki alüvyal havzaların ve başlıca diri fayların yayılımı ve konumları (MTA'nın Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) esas alınıp tekrar çizilerek hazırlanmıştır)

Zayıf zeminler olmaları nedeniyle depremler açısından önem taşıyan inceleme alanındaki alüvyal istife ilişkin bazı özelliklere de bu alt bölümde değinilmesinin yararlı olacağı düşünülmüş ve bu amaçla DSİ (1973) ve ALFAR (2017) tarafından alüvyal havzalarda yapılmış çalışmalara ait raporlardan yararlanılarak bu bilgiler aşağıdaki paragraflarda özetle verilmiştir.

Asi Nehri Havzası ve Amik Ovası'nın havza kenarlarında ve kalınlığı 300 m'ye ulaşan genç çökellerin tabanında temel kayaları bulunmaktadır (DSİ, 1975; ALFAR, 2017). Temel kayaları Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı magmatik, metamorfik ve çökel kayaçlardan oluşmakta olup, görece sağlam jeolojik ortamları oluştururlar. Temel kayalarının üzerindeki Tersiyer yaşlı çökel kayalar kireçtaşı, kiltaşı, kumtaşı ve konglomeralar ile temsil edilirken, güncel çökeller ise doğal bir bağlayıcıyla tutturulmamış kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki doğal malzemelerin ardalanmasından oluşan alüvyonlar ve yamaç molozlarıyla temsil edilmektedir. Özellikle Amik Gölü'nin tabanında bulunan killer havzanın bu kesiminde bir göl oluşmasını sağlamıştır. Şekil 2.3'te verilen jeoloji haritasında gösterilen 2 farklı doğrultuda alınmış bu havzayı temsil eden jeoloji kesitlerinden (Şekil 2.4) görüleceği gibi, alüvyon kalınlığının yer yer 200 m'ye yaklaştığı anlaşılmaktadır.

Kahramanmaraş ovalarında (Narlı, Türkoğlu, Gavur (Sağlık) ovaları) alüvyon kalınlığı 100 m'ye, Pliyosen yaşlı konglomeraların kalınlıkları ise 350 m'ye ulaşmakta olup, bunların tabanında Aşağı Fırat Alt Havzası'da yer alan Adıyaman merkez yerleşim alanında Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerin yayılım alanı 437 km<sup>2</sup> olup, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, Adıyaman-Merkez'de Çakal, Eğri, Ziyaret ve Kalburcu Çaylarının yakın çevrelerinde yüzeylenmektedir (Hidro Dizayn, 2017).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ikincisi olan M<sub>w</sub>7.6 büyüklüğndeki depremin en fazla etkilediği Elbistan-Afşin-Göksun bölgesindeki Göksun Ovası'nda DSİ tarafından yapılan sondajlarda kil, silt, kum ve çakıl tane boyutundaki malzemenin farklı kompozisyonlarından oluşan Kuvaterner çökelerinin 210 m kalınlıkta olduğu ve bu çökellerin tabanında altere ofiyololitin varlığı belirlenmiştir. Göksun yerleşim alanının içinde DSİ tarafından açılan bir araştırma kuyusunda 118 m derinlikte temel kayasına girilmiştir. Göksun graben havzasında alüvyon kalınlığı güneyde 150 m, kuzeyde ise 250 m'ye ulaşmaktadır. Elbistan Ovası'nda ise Miyosen – Kuvaterner'e ait kum ve çakılların derinliği yüzeyden 200 m derinliğe kadar devam etmekte olup, yer yer bunların arasında kil bantları bulunmaktadır (Hidroline ve Temelsu, 2015).



**Şekil 2.3.** Amik Ovası ile Asi Nehri havzasının ve yakın çevresinin jeolojisi ve jeolojik kesit hatları (kırmızı çizgiler) (DSİ, 1975)



Şekil 2.4. Asi Nehri Havzası'nı ve Amik Ovası'nı temsil eden jeoloji kesitleri (gri renkli birim alüvyonu temsil etmektedir) (DSİ, 1975)





**Şekil 2.5.** (a) Kahramanmaraş Ovalarını da kapsayan jeoloji haritası ve (b) bu ovaları temsil eden 2 jeoloji kesiti (gri renkli birim alüvyonu temsil etmektedir) (DSİ, 1973)

#### 2.2. Genel Hidrojeolojik Özellikler

Deprem bölgesinin TMSP (2020) tarafından hazırlanmış olan hidrojeoloji haritası Şekil 2.6'da verilmiştir. Havzalarda hidrojeolojik sistemler özgül verimlerine (Q) göre; Q> 2/s/m verimle akifer, 2>Q>0.5 l/s/m sınırlı verimli akifer ve Q<0.5 l/s/m zayıf verimli/verimsiz jeolojik ortam olarak tanımlanmıştır. Amik Ovası'nda önemli bir kalınlığa ulaşan güncel çökeller; kumlu-çakıllı seviyeler ile killi seviyelerin ardalanması sonucunda en üstte serbest ve daha derinlerde basınçlı akifer özelliğine sahiptir. Geçirimsiz örtü tabakasının altındaki kumlu-çakıllı seviyeler ova kenarlarında bulunan ve karstik-çatlaklı kaya akiferi özelliği taşıyan hidrojeolojik sistemlerden beslenmektedir. Ovada DSİ tarafından açılmış araştırma kuyularında yeraltısuyu seviyesi yüzeyden 20 m ve daha sığ derinlikte olup, basınçlı akiferdeki piyezometrik seviyelerin ise +8 m ile -20 m arasında değiştiği belirtilmektedir (DSİ, 1975).

Ovanın kenarlarında bulunan yüksek debili kaynaklardan boşalan sular da bu kesimdeki başlıca Asi, Afrin ve Karasu nehirleri ile bunların yan kollarına boşalmaktadır. Bu havzadaki tüm yüzeysel akışlar genç çökellerin içinde kendi akış yataklarını geliştirerek çevrelerine göre daha düşük kotlu kanallar oluşturmuşlardır. Bu tür doğal akış kanallarına Amik bataklığını kurutmak için yapılan drenaj kanalları da eklenmiştir.

Kahranmanmaraş Merkez Ovası'nda kalınlığı en fazla 100 m'ye ulaşan alüvyonda serbest ve basınçlı akiferler yer almaktadır. Bu kesimde açılan sığ kuyularda (en fazla 25 m derinlikte) statik su seviyesi yüzeyden 1 m ile 10 m arasında, basınçlı akiferlerideki su seviyeleri ise +5 m ile -5 m arasında değişmektedir (DSİ, 1973; Hidroline ve Temelsu, 2015).

Narlı Alt Havzası'nda Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin sınırları içinde birbirleriyle bağlantılı olan 3 göl bulunmakta olup, bunlar alt havzanın doğusundan başlayarak; Gölbaşı ilçesinin hemen kuzeyinde Gölbaşı Gölü (2.18 km<sup>2</sup>), Karacaoluk ve Aşağıazaplı Mahalleleri arasındaki Azaplı Gölü (2.85 km<sup>2</sup>) ile İnekli Mahallesi'nin GB'sındaki İnekli Gölü (0.98 km<sup>2</sup>)'dür. Bu üç göl DSİ tarafından açılan kanallarla birbirine bağlanmıştır. Narlı Ovası'nda kalınlığı 100 m'ye ulaşan alüvyon akiferde açılan toplam 9 adet kuyudan 7'sinde statik su seviyelerinin yüzeyden derinliği 0.5 m ile 12 m arasında değişmektedir. Havza kenarındaki diğer 2 kuyuda ise su seviyesi yüzeyden 28 m ve 67 m derinliktedir (Hidroline ve Temelsu, 2015).



Şekil 2.6. Deprem bölgesinin hidrojeoloji haritası (TMSP, 2020)

Türkoğlu Ovası'nda açılan ve derinliği 150 m'ye ulaşan sondaj kuyularında alüvyon akiferde statik su seviyesi derinlikleri 5 m ile 20 m arasında değişmektedir. Türkoğlu havzasının batı kesimindeki dağ eteğinde de bataklıklar bulunmaktadır. Günümüzde de derin çukurlarda yeraltısularının göllendiği görülmektedir. DSİ (1973) tarafından havza genelinde killi birimlerin Gavur Ovası (Sağlık bataklığı)'nda yaklaşık 80-100 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzeyi kapladığı belirtilmektedir. Alüvyal istifin tabanında yer alan Pliyosen yaşlı konglomeralar da basınçlı akifer olarak tanımlanmış olup, pozitif/negatif artezyen koşulunu oluşmaktadır.

Göksun Havzası'ndaki konglomeralar basınçlı akifer özelliğine sahiptir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökellerde yapılan tüm sondajlardan yeraltısuyu tablası oldukça sığ bir konumda olup yüzeyden derinliğinin 1 m ile 5 m arasında değiştiği, sadece tek bir kuyuda su tablasının derinliğinin 23 m olduğu belirlenmiştir (Hidroline ve Temelsu, 2015). Afşin-Elbistan alt havzasındaki Pliyo-Kuvaterner yaşlı istifte açılmış sondaj kuyularından alınan veriye göre yeraltısuyu tablasının yüzeyden derinliği 2.5 m ile 23 m arasında değişmektedir (Hidroline ve Temelsu, 2015). Havza kenarlarında da karstik sistemlerden gelen yüksek debili kaynak boşalımları ve bataklıklar bulunmakatadır. Elbistan ilçesinin D ve GD'sundaki Pliyosen yaşlı istifte ve temel kayalarında

açılmış sondaj kuyularında yeraltısuyu tablasının derinliği yüzeyden 20 m ve daha derinde ölçülmüştür.

Adıyaman kent merkezi ve yakın çevresindeki alüvyon örtünün kumlu ve çakıllı seviyeleri akifer özelliği taşımasına karşın, bunların kalınlığı az olduğundan genelde altındaki birimleri besleyen bir ortam olarak tanımlanmaktadır. Bu birimin tabanında yer alan Pliyosen çökellerinin içerdiği kumlu ve çakıllı seviyeler de akifer özelliğindedir. Kent merkezi ve yakın çevresindeki su sondajı kuyularında yeraltısuyu tablasının yüzeyden derinliği 1 m ile 13 m arasında değişmektedir (Hidro Dizayn, 2017).

## 3. DEPREM BÖLGESİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ VE DEPREMSELLİĞİ

#### 3.1. Bölgesel Tektonik

Depremin etkilediği bölgede bölgesel tektonik gelişim, Afrika-Arabistan Levhaları ile Avrasya Levhası arasındaki Neotetis Okyanusu'nun hareketlerine bağlı bir kıtasal çarpışma (McKenzie, 1972, 1978; Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986) sonucunda şekillenmiştir. Bu kıtasal çarpışma, Türkiye tektoniğini de önemli derecede etkileyen, ve Anadolu Levhası'nın batıya doğru hareketine neden olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) ve Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonları'nın oluşmasına neden olmuştur (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985) (Şekil 3.1). Aktif tektonik dönemde ise, Arabistan Plakası ile Anadolu Plakası arasındaki sınırı oluşturan DAF ve Ölü Deniz Fayı (ÖDF) boyunca hareketlilik hep süregelmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Türkiye ve yakın çevresinin başlıca tektonik özellikleri ) KAF: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAF: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAF: Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, KÜE: arlova üçlü eklemi, IA: Isparta açısı (Gülen vd. (2002)'nin haritası esas alınarak Ulusay ve Aydan (2005) tarafından düzenlenmiştir)

DAF Zonu'nun ilk kez Allen (1969) tarafından şematik haritalarda gösterildiği ve KAF ile ilişkisinin tartışıldığı gibi hususlar Herece (2008) tarafından belirtilmiştir. Ancak DAF'ın Karlıova-Bingöl arasındaki bölümü MTA (1964)'nın 1/500 000 ölcekli Türkiye Jeoloji Haritası'nda, Ketin (1966, 1968) tarafından Türkiye Tektonik Haritası ile Türkiye Sismotektonik Haritasında gösterilmiştir. Arpat (1971) 22 Mayıs 1971 Bingöl depreminde oluşan yüzey kırığının Kızıldeniz'in açılması ile gelişen Ölü Deniz Fayı (ÖDF) ile bağlantılı olabileceğini savunmuştur. DAF Zonu'nun batı bölümü ilk kez Arpat ve Şaroğlu (1975) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş, DAF'ın ÖDF Sistemi'ne doğrudan bağlantılı olduğu, doğrultu atımlı ve normal birçok diri fayı içerdiği ortaya konmuştur. DAF, Doğu Akdeniz Bölgesi'nin en önemli aktif tektonik yapılarından birisidir. Sol yanal doğrultu atımlı fay özelliklerine sahip DAF ile sağ yanal doğrultu atımlı fay niteliğindeki KAF birlikte Anadolu Mikro Levhası'nın batıya doğru kacmasını sağlamaktadır (bknz. Şekil 3.1). DAF transform fay olarak ilk kez Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından tanımlanmıştır. Arpat ve Şaroğlu (1975) ayrıca, DAF boyunca Maraş ve Antakya bölgesindeki fay zonlarının Arap Bloğu'nun KD'ya hareketi sonucunda meydana gelebileceğine değinmişler, bu hareket sonucunda Antakya-Kanramanmaraş bölgesinin önemli gerilmelerin etkisi altında kaldığını ve fay zonu içinde pek çok kent harabesinin bulunduğunu belirtmişlerdir.

DAF, Duman ve Emre (2013) tarafından biribirini izleven birden fazla sayıda fay segmentinden oluşan biri "ana kol" diğeri ise "kuzey kol" olmak üzere iki kısım halinde değerlendirilmektedir. Bu iki ana kol ile bunları oluşturan fay segmentlerinin konumları Şekil 3.2'deki haritada görülmektedir. Buna göre; KD-GB doğrultulu anakol KD'dan GB'ya doğru Karlıova (K50D, 31 km), Ilica (K40D, 40 km), Palu (K62D, 77 km), Pütürge (K60D, 96 km), Erkenek (N75D, 62 km), Pazarcık (N60D, 82 km) ve Amanos (K35D, 112 km) adı verilen 7 segmentten, genellikle KD ve ksımen D-B doğrultulu kuzey kol ise Sürgü (D-B, 55 km), Çardak (D-B, K75D, 85 km), Savrun (K50D, 60 km), Çokak (K15D, 25 km), Toprakkale (K30-35D, 25 km) Yumurtalık (K45D, 41 km), Karataş (K41D, 64 km), Yakapınar (K45D, 35 km) ve Düziçi-İskenderun (K45D, 100 km) fay segmentlerinden oluşmaktadır. Yukarıda adları sıralanan fay segmentlerinin yanında parantez içinde bu segmentlerin Duman ve Emre (2013) tarafından sunulan doğrultuları ve uzunlukları da verilmiştir. Ana kol Karlıova ve Antakya arasında 580 km uzunluğundaki plaka sınırını oluşturmaktadır. Kuzey kol DAF'tan Çelikhan'da ayrılarak İskenderun Körfezi'ne kadar uzanmaktadır (bknz. Şekil 3.2). Çelikhan ve Karataş arasındaki segment uzunluğu 380 km olup, fay zonu Göksun'da iki kola ayrılmaktadır ve Göksun ile Çelikhan arasındaki doğu kolu 160 km uzunluğundadır (bknz. Şekil 3.2) (Duman ve Emre, 2013). 2023 Kahramanmaraş depremlerinde rol oynamış fay segmentlerinin yakın çevrelerindeki bazı faylarla birlikte bunların konumlarını gösteren yalınlaştırılmış harita Şekil 3.3.'te ve kırıldığı belirlenen DAF Zonu'nun ana kolu üzerindeki M<sub>w</sub>7.7 büyüklüğündeki depreme neden olan Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentleri ile kuzey koldaki M<sub>w</sub>7.6 büyüklüğündeki depremle ilgili Çardak fay segmentinin ayrıntılı haritaları Şekil 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonu'nu oluşturan tüm fay segmentlerinin konumları (MTA (2023) tarafından Duman ve Emre (2013)'den değiştirilerek alınmıştır)

Literaürde DAF Zonu'nun oluşum yaşı konusunda başlıca iki görüş ağırlıklıdır. Bunlardan biri Geç Pliyosen (örneğn; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Hempton, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Aksoy vd., 2007), diğeri ise Geç Pliyosen-Pleyistosen (Herece ve Akay, 1992; Herece, 2008)'dir. Bölgede GPS verisi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda (McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2006; Aktuğ vd., 2016) DAF Zonu'nun Kahramanmaraş'ın KD'sunda 6 mm/yıl, GB'sında ise 10 mm/yıl'lık kayma hızları ile batıya hareket etmekte ve toplam ofset miktarının da 20-30 km civarında olduğunu göstermiştir. DAF Zonu bu yüzyılda en son 24 Ocak 2020'de M<sub>w</sub>6.8 büyüklüğünde bir depremde (Sivrice-Elazığ depremi) kırılmıştır.



**Şekil 3.3.** 2023 Kahramanmaraş depremlerinde rol oynamış fay segmentlerinin yakın çevrelerindeki bazı faylarla birlikte konumlarını gösteren yalınlaştırılmış harita

#### 3.2. Bölgenin Depremselliği

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği ve DAF Zonu'nun da bulunduğu bölgede meydana gelmiş olan depremler, tarihsel ve aletsel dönem olmak üzere, iki ana grup halinde ele alınarak kısaca aşağıda verilmiştir.

## Tarihsel Depremler:

Literatürde ulaşılabilen tarihsel deprem kayıtlarını inceleyen Ambraseys (1989), DAF Zonu'nda 2 farklı depremsellik döneminin söz konusu olduğunu belirtmektedir. Bu iki dönem içinde meydana gelmiş büyük depremler (M<sub>w</sub>>6.6) başlıca özellikleriyle birlikte Çizelge 3.1'de verilmiştir.



**Şekil 3.4.** DAF Zonu'nda yer alan fay segmentlerinden (a) Erkenek, (b) Pazarcık, (c) Amanos ve (d) Çardak segmentlerinin haritaları ((1) sol yanal atımlı fay; (2) normal fay; (3) ters fay veya bindirme fayı; (4) Doğu Anadolu Fayı; (5) GD Anadolu Bindirme Zonu; (6) ayrılmamış Holosen çökelleri; (7) ayrılmamış Kuvaterner çökelleri ; (8) heyelan) (Duman ve Emre, 2013'ten)

İlk dönem 1500'lü yılları temsil etmekte olup, bu dönemde büyük depremler olarak; DAF'ın muhtemelen Gölbaşı'ndan geçen segmenti üzerinde 1513'te meydana gelen ve M<sub>w</sub>7.4 büyüklüğündeki sol yanal atımın yaklaşık 5 m olduğu deprem ile 1544'te M<sub>w</sub> 6.7 büyüklüğünde ve Elbistan civarından geçen segmentte meydana gelen depremden söz edilebilir (Çizelge 3.1). 1544 depreminde Zitun'un yarısının yıkıldığı, diğer yarısının ise kütle hareketi sonucunda ağır hasara uğradığı ve Elbistan'ın da yarısının yok olduğu belirtilmektedir (Herece, 2008). Bu depremin de su şebekesinin tahrip olduğu Halep'e kadar geniş bir alanda etkili olduğu kayıtlarda yer almaktadır. Yıkıcı etkisi yüksek olan bu depremlerden sonra bölgede 245 yıl süreyle sismik aktivite görülmemiştir.

**Çizelge 3.1.** DAF üzerinde tarihsel dönemde meydana gelen büyük (M<sub>w</sub>>6.6) depremler (Herece, 2008)

	1. Sismik Dönem									
Tarih	Oluş	Merkez		D	Ms	Io	F	VK	Segment	Kaynak
	Zamanı	Üssü								
		Κ	D							
1513	-	37.5	36.5	В	7.4+	IX	0	1	Gölbaşı	1
Ocak 1544	-	38.0	37.0	В	6.7+	Х	0	2	Elbistan	1
				2. Si	smik D	önem				
29.05.1789	-	39.0	40	В	7.0+	-	0	1	Palu?	1
13.081822	20:40	36.7	36.9	А	7.4+	Х	1	3	Afrin	1
1866	-	?		-	~7.0				Göynük	2
03.04.1872	07:40	36.4	36.4	А	7.2-	Х	1	3	D. Hatay	1
03.05.1874*	07:00	38.5	39.5	А	7.1+	Х	2	2	Palu	1
03.03.1875*	22:48	38.5	39.5	А	6.7	VII	2	2	Şiro	1
02.03.1893	22:51	38.0	38:3	А	7.1+	Х	0	2	Erkenek	1
04.12.1905	07:04	38.1	38.6	А	6.8	IX	1	2	Şiro	1
D	Tahmin ec	lilen dış	merkez	in do	ğruluğu.	(A) 1	0-40	km, (E	3) 50-90 km,	(C)≥100km
Ms	Depremin	hissedi	lmesind	en çık	artılan y	/üzey-	dalga	ısı büy	üklüğü	
±	Deprem büyüklüğü tahmininde abartma ve düşük tahmini göstermektedir.									
Io	Merkezüs	sünün şi	ddeti (N	ASK)						
F	Faylanmanın tarihsel kaydı ve arazi verisi: (0) veri yok; (1) zayıf belirtiler var; (2)									
	doğrulanması gerekli; (3) güvenli veri									
VK	Verilerin ayrıntılı kalitesi: (0) zayıf, (1) orta, (2) iyi, (3) çok iyi									
Kaynaklar	1: Ambraseys (1988), 2: Ambraseys ve Melville (1995)									
*	İşaretli depremlerin merkezüssü koordinatları orijinal kaynakta aynı verilmiş									

Bölegede depremsellik açısından ikinci dönem ise, 1789-1905 tarihleri arasındaki döneme karşılık gelmektedir (Çizelge 3.1). Bu depremler, DAF'ın KD ve GB uçlarından başlayıp orta bölümüne doğru göç etmişlerdir (Herece, 2008). 1789 Palu segmentinde oluşan deprem ile başlayan bu sismik

dönem; 1822 Afrin, 1866 Göynük, 1872 Hatay, 1874 Palu, 1875 Şiro (Pötürge) ve 1893 Erkenek segmentlerinde olusan depremler ile devam eden ve son olarak geçen yüzyılın basında 1905 Malatva depremi ile tamamlanan bir deprem dizisi olusturmustur. 1789 Palu M<sub>w</sub>7.0 de depreminde 51.000 kişinin yaşamını yitirdiği bilgisinin bölgeden İstanbul hükümetine iletildiği bilgisi de mevcuttur. 1866 Kulp M<sub>w</sub>7.0 depreminin Erzurum'dan Diyarbakır'a kadar geniş bir alanda ağır hasarlara neden olduğu, ancak can kaybının az olduğu belirtilmektedir. 1872 Hatay depremi M<sub>w</sub>7.2; DAF üzerinde büyüklüğü en yüksek deprem olup, Amik Gölü Depremi olarak kayıtlara Ambraseys (1988) tarafından depremin Doğu-Hatay segmentinde yüzey kırığı geçmiştir. oluşturduğu belirtilmektedir. Rodos Adası'ndan Diyarbakır'a, Konya'dan Gazze'ye kadar geniş bir alanda etkili olduğu bilinen bu depremde yapısal hasarın yüksek olmasına karşın can kaybının görece düsük olduğundan söz edilmektedir. Bunun nedeni olarak, öncü depremlerde halkın evlerini terk etmesi ve yerleşimlerin yüksek/kayalık alanlarda konuşlanmış olmaları gösterilmiştir. Ambraseys (1988) tarafından 1874 Palu segmentinde oluşan depremin (M<sub>w</sub>7.1) merkez üssünün Hazar Gölü'nün kuzeyindeki Gezin olduğundan söz edilmektedir. Bu depremde sol yanal atımın 260 cm olarak ölçüldüğü, Hazar ve Gölcük göllerinde su seviyesinin yükseldiği kıyılarda taşkın, zemin sıvılaşması ve heyelanlardan söz edilmekte olup, o dönemin basınında yerdeki yarıklardan suların boşaldığı da kayıtlara geçmiştir (Herece 2008). Aynı bölgede bir yıl sonra 1875 Şiro fayında M<sub>w</sub>6.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremde de Gölcük Gölü'nün taşarak boşaldığı ve Dicle Nehri'nin sularının 4 m yükseldiği belirtilmektedir. M<sub>w</sub>7.1 büyüklüğündeki 1983 Erkenek geniş alanlarda hissedilmiş olup, Adıyaman-Malatya arasındaki bölge hasar görmüştür. Ambraseys (1988)'e göre bu deprem DAF Zonu'nun Erkenek Segmenti üzerinde meydana gelmiş olup, sol yanal atım miktarı 450 cm olarak ölçülmüştür.

#### Aletsel Dönem depremleri:

1900'lü yılların başına kadar olan tarihsel dönemde birçok büyük depreme kaynaklık eden DAF Zonu, özellikle 19'uncu yüzyılda da sismik olarak aktif bir dönem geçirmiştir. Bölge, 1905 Malatya depreminden sonra günümüze değin geçen sürede görece daha sakin bir döneme girmiş gibi gözükse de, 22 Mayıs 1971 Bingöl (M<sub>s</sub>=6.8), 5 Mayıs 1986 (M<sub>s</sub>=5.8) ve 6 Mayıs 1986 (M<sub>s</sub>=5.6) Doğanşehir depremleri son yüzyılda DAF'ın ürettiği orta büyüklükteki depremlerdir (AFAD 2023). 20'nci yy.'da 7'den daha büyük deprem üretmemiş olan DAF 2000'li yıllarda daha aktif bir döneme girmiş ve üzerinde sırasıyla; 1 Mayıs 2003 Bingöl (M<sub>w</sub>6.3), 14 Mart 2005 Karlıova-Bingöl (M<sub>w</sub>5.8), 21 Şubat 2007 Doğanyol-Malatya (M<sub>w</sub>5.7), 8 Mart 2010 Kovancılar Elazığ (M<sub>w</sub> 6.1), 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ (M<sub>w</sub>6.8), 14 Haziran 2020 Karlıova-Bingöl (M<sub>w</sub> 5.7) hasar yapıcı depremleri meydana gelmiştir (AFAD, 2023).

DAF'ın güney kolunun üzerinde en son 06 Şubat 2023 günü, Türkiye saati ile 04:17'de Pazarcık (Kahramanmaraş) M<sub>w</sub>7.7 ve 13:24'de Elbistan (Kahramanmaraş) M<sub>w</sub>7.6 depremleri meydana gelmiş, depremlerin dış merkezleri ve artçı dağılımları analiz edildiğinde ilk etapta Pazarcık merkez üslü depremin KD'da Çelikhan Pötürge arasından DAF Zonu'nun Erkenek (Çelikhan-Gölbaşı arası 65 km), Gölbaşı (Gölbaşı-Türkoğlu arası 90 km), Amanos (Türkoğlu-Kırıkhan arası 110 km) segmentlerini içine alan bir hat ile Ölüdeniz Fay Zonu'nun kuzey ucundaki Narlı segmentini kırdığı ve Elbistan dışmerkezli ikinci depremin ise Çardak Fayı ile Doğanşehir Fay Zonu ile ilişkili olduğu düşünülmüştür (AFAD, 2023).

## 4. KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNİN SİSMİK ÖZELLİKLERİ, KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYITLARI VE YÜZEY KIRIĞI

#### 4.1. Kahramanmaraş Depremlerinin Sismik Özellikleri

6 Şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de AFAD (2023) ve KOERI (2023) kayıtlarına göre aletsel büyüklüğü M<sub>w</sub>7.7 olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin merkez üssü AFAD (2023) tarafından Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesi, yüzeyden derinliği yüzeyden 8.6 km ve büyüklüğü M<sub>w</sub>7.8, KOERİ (2023)'ye göre de merkez üssü Gaziantep ili Şehitkamil ilçesinin Sofalaca köyü, yüzeyden derinliği 10 km ve büyüklüğü ise M<sub>w</sub>7.7 olarak belirtilmiştir. Deprem, sol yanal atımlı DAF üzerinde meydana gelmiştir. Farklı kuruluşlar tarafından bu depreme ait büyüklük, derinlik ve yapılan hızlı fay düzlemi çözümü parametreleri Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.1'de verilmiştir. Bununla birlikte, AFAD tarafından yapılan ikinci bir değerlendirmeyle depremin büyüklüğü 7.7, derinliği ise 8.6 km olarak düzeltilmiş olup, bunlar Çizelge 4.1'de koyu rakamlarla İtalik yazılmıştır. Bu depremden sonraki iki saat içinde büyüklüğü (M<sub>w</sub>) 6.6 olan bir adet ve 5 ile 6 arasında değişen yedi adet artçı deprem meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.1.** 6 Şubat 2023 Pazarcık depreminin farklı kuruluşlar tarafından hesaplanan büyüklük, derinlik ve hızlı fay düzlemi çözümü parametreleri

Kuruluş	$M_{\rm w}$	Enlem	Boylam	Derinlik	Fay yüzeyi		İkinci yüzey			
Adı				(km)	Doğrultu	Eğim	Kayma	Doğrultu	Eğim	Kayma
							açısı			açısı
QMCT	7.8	37.6	37.5	15	54	70	11	320	80	160
USGS	7.9	37.4	37.8	33	234	79	14	142	76	169
(2023)										
KOERI	7.7	37.1	37.1	10	222	64	-27	324	65	-152
(2023)										
*AFAD	7.8	37.2	37.1	18	233	74	18	140	77	168
(ERD)	7.7			8.6						
IPGP	8.0	37.2	37.0	13	230	81	-18	323	72	-171
(2023)										

\*Koyu rakamlarla İtalik yazılmış değerler, ilgili kuruluş tarafından daha sonra düzeltilmiş değerler olup, bunlar geçerlidir.

İlk depremin meydana gelmesinden 9 saat sonra yine 6 Şubat 2023'te saat 13:24'de AFAD (2023) ve KOERI (2023)'ye göre aletsel büyüklüğü M<sub>w</sub>7.6 ve yüzeyden derinliği AFAD (2023)'a ve KOERI (2023)'ye göre sırasıyla 16 km ve 7 km olan ve AFAD tarafından kısa sürede 7 km olarak düzeltilen yeni bir yıkıcı deprem Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesi sınırları içinde meydana gelmiştir. Bu depremin merkez üssü KOERI (2023) tarafından Kahramanmaraş ilinin Ekinözü

ilçesi olarak açıklanmış ve bu depreme Ekinözü Depremi adı verilmiştir. Farklı kuruluşlar tarafından bu depreme ait büyüklük, derinlik ve yapılan hızlı fay düzlemi çözümü parametreleri Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 6 Şubat 2023 Ekinözü depreminin farklı kuruluşlar tarafından hesaplanan büyüklük, derinlik ve hızlı fay düzlemi çözümü parametreleri

Kuruluş	$M_{\rm w}$	Enlem	Boylam	Derinlik	Fay yüzeyi			İkinci yüzey		
				(km)	Doğrultu	Eğim	Kayma	Doğrultu	Eğim	Kayma
							açısı			açısı
QMCT	7.7	38.1	37.2	12	261	42	-8	358	84	-132
USGS	7.6	38.0	37.2	17	276	82	-6	6	85	-172
(2023)										
KOERI	7.6	38.0	37.2	10	273	67	-9	6	81	-157
(2023)										
AFAD	7.6	38.0	37.2	16	174	90	13	358	73	174
(ERD)				7						
IPGP	7.7	38.0	37.2	13	270	60	-9	5	82	-150
(2023)										

\*Koyu rakamlarla İtalik yazılmış değerler, ilgili kuruluş tarafından daha sonra düzeltilmiş değerler olup, bunlar geçerlidir



**Şekil 4.1.** 6 Şubat 2023 M<sub>w</sub>7.7 Pazarcık depreminin merkez üssü ve farklı kuruluşlar tarafından hesaplanan fay düzlemi çözümleri (EMSC, 2023).



**Şekil 4.2.** 6 Şubat 2023 M<sub>w</sub>7.6 Ekinözü depreminin merkez üssü ve farklı kuruluşlar tarafından hesaplanan fay düzlemi çözümleri (EMSC, 2023).

Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi (European-Mediterranean Seismological Centre-EMSC)'ne bağlı sismoloji kurumları tarafından yapılan hızlı odak mekanizması çözümleri (Şekil 4.1 ve 4.2) her iki depremin de sol yanal (doğrultu) atımlı bir faylanma mekanizmasına göre meydana geldiğini göstermektedir. Ana depremlerden sonra meydana gelen artçı depremlerin büyüklükleri en fazla Mw6.6 olup, günümüzde de artçı depremler devam etmektedir ve Nisan 2023'ün ikinci yarısında toplam artçı deprem saysıı 18000'e ulaşmıştır. Kaharamanmaraş depremleriyle ilgili olarak 6 Mart 2023 tarihine kadar meydana gelmiş olan ve büyüklüğü (Mw) 1 ile 6.6 arasında değişen artçı depremlerin KOERİ'den temin edilen kayıtlara göre çizdirilmiş dağılımı Şekil 4.3'te verilmiştir.



**Şekil 4.3.** 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ana şokların merkez üslerinin konumları ve 6 Şubat- 6 Mart 2023 tarihleri arasında meydana gelen artçı şokların merkez üslerinin dağılımı

#### 4.2. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Kahramamaraş depremleri bölgede kurulmuş olan AFAD ve KOERI'ye ait kuvvetli yer hareketi istasyonları tarafından kaydedilmiş olup, AFAD-TADAS (Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Network Ağı) tarafından sağlanan ivme kayıtlarına ulaşılması mümkün olmuştur. Deprem bölgesinden Pazarcık depremi için seçilen 16 yerleşimdeki istasyondan alınan kuvvetli yer hareketi (ivme) kayıtları Şekil 4.4'te ve seçilmiş 12 yerleşim yerine ait istasyonlarda kaydedilen veriyle Aydan ve Ulusay (2023) tarafından hazırlanmış ivme davranış spektrumları da Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca, deprem bölgesinde yoğun şekilde etkilenmiş ve yüzey kırıklarına yakın yerlerdeki yerleşimlerdeki istasyonlardan Aydan ve Ulusay (2023) tarafından seçilmiş ivme davranış spektrumları ile Türkiye'de esas alınan en son Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018)'ndeki tasarım spektrumları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere, ivme değerleri Yönetmelik'teki değerlerden yüksektir. Bu nedenle, mevcut Yönetmelik açısından bu hususun revize edilip edilmemesi konusunun değerlendirilmesinde yarar vardır.



Şekil 4.4. Pazarcık depreminde bölgeden seçilmiş 16 yerleşim yerine ait kuvvetli yer hareketi (ivme) kayıtları (Aydan ve Ulusay, 2023'ten).



Şekil 4.4. (devamı)



Şekil 4.5. Pazarcık depremi için bölgeden seçilmiş 12 yerleşim yerine ait istasyonlarda kaydedilen veriyle hazırlanmış ivme davranış spektrumları (Aydan ve Ulusay, 2023'ten).



Şekil 4.5. (devamı)



Şekil 4.6. Yeni Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018)'ne göre tasarım ivme spektrumu ile deprem bölgesindeki 4 farklı yerleşimde alınmış kayıtların ivme spektrumlarının karşılaştırılması (Aydan ve Ulusay, 2023'ten)

#### 4.3. Yüzey Kırıkları

Arazi çalışmalarında 6 Şubat 2023 Pazarcık ve Ekinözü depremlerine neden olan DAF Zonu'ndaki ilgili fay segmentlerine (Amanos ve Pazarcık segmentleri) ve Çardak Fayı segmentine ait yüzey kırıklarının doğrultuları, atımları ve diğer özellikleri yazarların saha çalışması süresinin izin verdiği ve gözleyebildikleri ölçüde bazı noktalarda incelenmiştir. Söz konusu incelemede, ölçüm alınan yüzey kırıklarının esas olarak sol yanal atım karakterine sahip oldukları, bununla birlikte yer yer düşey atım bileşeninin de olduğu görülmüştür. Yüzey kırığının incelendiği yerlerde M<sub>w</sub>7.7 Pazarcık depremi için faylanma doğrultusu KD'dur ve ölçülen sol yanal atımlar 0.5 ile 3.7 m arasında değişmektedir. Ekinözü depremine neden olan Çardak Fayı'nın yüzey kırığının Ekinözü-İçmeler'deki doğrultusu K45B olarak ölçülmüş, ancak net olmadığı için atım miktarı burada belirlenememiştir. Yüzey kırıklarına ilişkin ölçüm yerleri ve alınmış olan ölçümler Çizelge 4.3'te verilmiş olup, gözlenen yüzey kırıklarının diri fay haritası üzerindeki yerleri ölçülen doğrultularına

uygun şekilde ve kalın yeşil çizgiyle Şekil 4.7'de gösterilmiştir.Yüzey kırığı Amanos segmenti boyunca Kırıkhan, Hassa, İslahiye, Nurdağ kesimlerinde ana kayaya daha yakın bir konumda gözlenirken, Nurdağ'dan sonra KD'ya gidildikçe genellikle zayıf alüvyal zeminlerin olduğu ovalık kesimde gözlenmekte ve yer yer birden fazla kırıklar halinde bir zon görünümünde ilerlemektedir.

			Sol yanal	Düşey atım	
No.	Ölçüm	Doğrultu	atım	(m)	
	Lokasyonu		(m)		
1	Kırıkhan	K5-10D	0.7	-	
2	Hassa	K20D	2.6 - 3.0	-	
3	Fevzipaşa tren ist. yolu	K25D	1.0	-	
4	Değirmencik Mah.	K45D	Net değil	-	
5	Kozdere Mah.	K45D	1.4	-	
6	Şekeroba Mah.	K20D	0.5	0.3	
7	Şekeroba Mah. (Y. Emre Ortaokulu)	K20-30D	Net değil	-	
8	Türkoğlu-Narlı yolu	K25D	2.5	0.25	
9	Türkoğlu-Narlı yolu	K25D	2.6	-	
10	Kapıçam Mah. GD'su (Tarla)	K40D	3.7 m net (verev 4 m)	-	
11	Tevekkeli Mah. (Kanal)	K40D	1.8	-	
12	Tevekkeli- Kocalar mahalleleri arası	K45D	Net değil	-	
13	Kuyumcular Mah.	K35D	Net değil	-	
14	Kuyumcular- Kılılı arası (Tarla) Kuyumcular- Kılılı arası (D.Yolu yanı)	K30D K30D	3.15–3.3 2.85	-	
15	Ekinözü İçmeler Mah.	K55B	Ölçülemedi	1.0	

Çizelge 4.3. Bu inceleme sırasında yüzey kırığıyla karşılaşılan ölçüm noktaları ve alınan ölçümler



Şekil 4.7. Pazarcık ve Ekinözü depremlerine neden olan DAF'ın ilgili fay segmentlerine (Amanos, Pazarcık, Çardak) ait gözlenen yüzey kırıklarının diri fay haritası üzerindeki yerleri (yüzey kırıkları ölçümlerin alındığı yerlerdeki kırık doğrultularına uygun şekilde kalın yeşil çizgiyle gösterilmiştir. Taban haritası Emre vd. (2013) tarafından hazırlanan MTA Diri Fay Haritası'ndan yararlanılarak çizilmiştir).

Yazarlarca ölçüm alınan yerlerden çekilmiş görüntüler Şekil 4.8-4.22 arasında ve bu yerlerdeki yüzey kırığına ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

Hassa ilçesinin Derviş Paşa Mahallesi'ndeki Hürriyet Caddesi'nde bir kaç evin ötelenmesine neden olan K20D doğrultulu sol yanal karakterine sahip yüzey kırığı, deprem öncesi birbirlerine bitişik konumdaki evlerden birini diğerine göre 2.6 m'lik atımla GB'ya ötelemiştir (Şekil 4.8).


**Şekil 4.8.** Hassa ilçesinde sol yanal atımlı yüzey kırığından ve ötelenmelerine neden olduğu komşu konumlu iki evden bir görünüm (Çizelge 4.3, 2 no.lu lokasyon)

Fevzipaşa Mahallesi'nden Tren İstasyonu'na ulaşımı sağlayan asfalt yolu kesen K25D doğrultulu sol yanal atımlı yüzey kırıkları asfalt yolu farklı noktalarda keserek bir kırık zonu oluşturmuştur. Bu yolun batısındaki yamaçta yapılan incelemelerde, yüzey kırıklarının kilittaşı döşenmiş kaldırımı 1 m'lik bir atıma uğrattığı gözlenmiştir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9.** Fevzipaşa Tren İstasyonu'na giden yolun kenarındaki kilittaşı döşemeli kaldırımdan geçen fayın yüzey kırığı ve kaldırımda neden olduğu ötelenme (Çizelge 4.3, 3 no.lu lokasyon)

İslahiye'nin GD'sundaki Değirmencik Mahallesi'nin KB'sındaki vadi içerisinde deprem sırasında meydana gelen heyelan gölüne ulaşımı sağlayan yol üzerinde ve bu yolun yanındaki tarla içinde yamacın eteklerine doğru K45D doğrultulu yüzey kırığı gözlenmiştir (Şekil 4.10). Bu lokasyonda bu kırığın doğrultu atımı net gözlenememektedir.



**Şekil 4.10.** Değirmencik Mahallesi'nde heyelan gölüne giden asfalt yolun yanındaki tarlada gözlenen K45D doğrultulu yüzey kırığı (Çizelge 4.3, 4 no.lu lokasyon)

İslahiye ve Nurdağı ilçelerinin arasında yer alan Kozdere Mahallesi'nde K45D doğrultulu sol yanal atımlı fayın yüzey kırığı üzerinde yer alan bir evin bahçe duvarı 1.4 m sol yanal atıma uğrayarak ötelenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kozdere Mahallesi'nde K45D doğrultulu yüzey kırığının geçtiği bahçe duvarında sol yanal ötelenme (Çizelge 4.3, 5 no.lu lokasyon)

Yüzey kırığı Şekeroba Mahallesi'nde bir kaç yerde gözlenmiş olup, bunlardan biri Şekil 4.12'de görülmektedir. Burada kırığın doğrultusu K20D ve sol yanal atım miktarı 0.5 m olup, 30 cm'lik bir düşey atım da söz konusudur ve kırık bir bahçe duvarını da keserek bir bölümünün yıkılmasına neden olmuştur.



**Şekil 4.12.** Şekeroba Mahallesi'nde bir yolu ve bahçe duvarını kesen ve 50 cm sol yanalve 30 cm düşey atıma neden olan yüzey kırığından bir görünüm (Çizelge 4.3, 6 no.lu lokasyon)

Şekeroba Mahallesi'nin KD kesiminden yer yer K30D ve K20D doğrultusunda devam eden yüzey kırığı Yunus Emre Ortaokulu'nun inşaat kalitesi çok düşük olan tek katlı eski binasının altından geçerek bu binanın büyük ölçüde yıkılmasına neden olmuştur (Şekil 4.13a). Yüzey kırığı aynı okul yerleşkesi içinde bulunan ve inşasında çelik konstrüksüyonun da kullanıldığı yeni okul binasının yanından geçmiş, ancak herhangi bir hasara neden olmamıştır (Şekil 4.13b).





**Şekil 4.13**. Şekeroba Mahallesi'nde Yunus Emre Ortaokulu'nun yerleşkesinde yüzey kırığından iki görünüm (Çizelge 4.3, 7 no.lu lokasyon)

Yüzey kırığı Türkoğlu ilçesinin Organize Sanayi Bölgesi tarafındaki çıkışında bu ilçe ile Narlı ilçesi arasındaki karayolu ve demiryolunun (hasarlı demiryolu köprüsünün olduğu yer) yanındaki tarlalarda gözlenmiş olup, doğrultusu K25D ve sol yanal yanal atım miktarı ise tarlada 2.5 m, demiryolunun yanından geçen ve buna paralel konumdaki beton bir sulama kanalında ise 2.6 m olarak ölçülmüştür (Şekil 4.14). Bu lokasyonda yüzey kırığında 25 cm'lik bir düşey atım bileşeni de gözlenmiştir



**Şekil 4.14.** Türkoğlu –Narlı arasındaki karayolu ve demiryolunun kenarındaki (a) tarlada ve 2.5 m (b) demiryoluna paralel bir su kanalında 2.6 m sağ yanal atıma neden olan yüzey kırığından görüntüler (Çizelge 4.3, 8 ve 9 no.lu lokasyonlar)

 $M_w7.7$  büyüklüğündeki ilk depremden önce Kapıçam Mahallesi'nden Tevekkeli Mahallesi'ne giden karayolunun GD'sundaki tarla içinde su borusu tamiratı için açılan ve kapatılmamış iki adet kazı hendeği birbirine paralel konumda ve 45 m uzaklıktadır. Her iki hendek 2 m derinliğinde, yaklaşık 100 m uzunluğundadır. Deprem sırasında her iki hendek de yüzey kırığı tarafından kesilmiş ve de 4 m verev ve 3.7 m gerçek sol yanal atım meydana gelmiştir (Şekil 4.15).



**Şekil 4.15.** Kapıçam Mahallesi'nin GD'sunda tarla içinde deprem öncesi açılan kazı hendeğinde K40D doğrultulu yüzey kırığının neden olduğu net 3.7 m uzunuğundaki sol yanal atımın görünümü (Çizelge 4.3, 10 no.lu lokasyon)

Tevekkelli Mahallesi'nin GB çıkışında tarlaların içinden geçen K30D doğrultulu beton sulama kanalı K40D doğrultulu yüzey kırığı tarafından kesilmiştir. Kanaldaki yanal atım 1.8 m olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 16).



**Şekil 4.16.** Tevekkelli Mahallesi'nin GD çıkışında tarla içinden geçen K40D doğrultulu yüzey kırığı ve sulama kanalında neden olduğu atımın görünümü (Çizelge 4.3, 11 no.lu lokasyon)

Tevekkelli Mahallesi'nden GB yönünde Kocalar Mahallesi'ne giden asfalt yolun hemen KB'sındaki yamaçların eteklerinde K45D doğrultulu yüzey kırığı gözlenmiştir. Karayolunu da kesen yüzey kırığı, yolun GD'sundaki tarlalarda devam etmektedir (Şekil 4.17).



**Şekil 4.17.** Tevekkelli ve Kocalar mahalleleri arasındaki karayolunun KB'sındaki yamaçların eteklerinde gözlenen K45D doğrultulu sol yanal atımlı yüzey kırığının görünümü (Çizelge 4.3, 12 no.lu lokasyon)

Kuyumcular Mahallesi'nin GB'daki çıkışında yüzey kırığı karayolunu keserek yolun GD sınırındaki tarlaların içinde devam etmektedir. K35D doğrultulu yüzey kırığı karayolunun kenarındaki elektrik direklerinin burulmasına, bükülmesine ve sonuçta elektrik kablolarında kopmaya yol açmıştır. Burada atım net değildir (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18.** Kuyumcular Mahallesi'nin GB çıkışında K35D doğrultulu yüzey kırığı ile elektrik direklerindeki bükülmeler ve tellerdeki kopmalardan bir görünüm (Çizelge 4.3, 13 no.lu lokasyon) Kuyumcular ve Kılılı mahalleleri arasındaki demiryolu köprüsü yüzey kırığı trafından kesilmiştir. Kısa sürede tamir edilen demiryolunun kenarındaki tarla içinde sol yanal atım miktarları değişik noktalarda 2.85 m, 3.15 m ve 3.3 m olarak ölçülmüştür (Şekil 4.19a). Ayrıca bu yüzey kırıkları boyunca bazı kesimlerde zemin sıvılaşmalarının meydana gelmiş olduğu görülmektedir (Şekil 4.19b).





(b)



**Şekil 4.19.** Kuyumcular ve Kılılı mahalleleri arasındaki demiryolu köprüsünün yanındaki tarladan geçen (a) yüzey kırığı ve (b) bu kırıkların içine dolmuş olan sıvılaşmış zeminden görüntüler (Çizelge 4.3, 14 no.lu lokasyon)

Kahramanmaraş bölgesindeki ikinci depremin (M<sub>w</sub>7.6) merkez üssü olarak kabul edilen Ekinözü ilçesinde en fazla hasar ilçe merkezine bir kaç kilometre mesafedeki İçmeler Mevkii'nde meydana gelmiştir. İçmeler'deki otellerin bulunduğu bu küçük yerleşimin merkezindeki meydanda, yollarda, içmeler sarnıcında ve binalarda önemli düzeyde yıkım ve hasar gözlenmektedir. Özellikle meydandaki parkta bulunan kaplama taşlarında yüksekliği 30-40 cm'e varan kabarmalar (Şekil 4.20a) meydana gelmiş olup, bu kabarmalar muhtemelen sıkışmaya maruz kalmış olan bu kesimde fay dışı yakın deformasyon zonunun (off fault deformation zone) varlığına işaret etmektedir. İçmeler Mevkii'nin hemen güneydeki çıkışında yol kenarından yamaca çıkarken kısa bir mesafe sonra yüzey kırığının izi gözlenmekte olup, doğrultusu K55B olarak ölçülmüştür. Bu gözlem yerinde yanal atım miktarı net olarak görülememekle birlikte, düşey atım 1 m civarındadır (Şekil 4.20b).

Yazarların deprem bölgesindeki inceleme sürelerinin sınırlı olması nedeniyle Çardak fayına ait yüzey kırığının İçmeler Mevkii'nden sonra batıya doğru olan devamı izlenememiştir. Bununla birlikte, tüm deprem bölgesinde yüzey kırığı konusunda ayrıntılı tektonik konusunda çalışma yapan ekiplerden İTÜ (2023)'nün raporuna göre; Pazarcık fayı segmentinin yüzey kırığı 16 km'dir ve Amanos fay segmentinin yüzey kırığı eşelon ve parçalı olup kuzey parçası 103 km, güney parçası ise 138 km kadardır. Aynı raporda, bölge karla örtülü olmasına rağmen, Çardak Fayı üzerinde uydu görüntüleriyle 98 km uzunluğunda yüzey kırığının arazide haritalanabildiği ve bu kırığın doğuda Malatya'nın Bıçakçı Mevkii'ne kadar uzandığı belirtilmektedir. 9 Eylül Üniversitesi'nin bu depremler için hazırladığı raporda (Dokuz Eylül Üniversitesi, 2023) M<sub>w</sub>7.7 olan ilk depremin Kırıkhan'dan Çelikhan'a kadar izlenebilen ve yaklaşık 220 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturduğu, Mw7.6 olan ikinci depremin ise yaklaşık 120 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturarak bu kırığın Göksun'dan Doğanşehir'e kadar net olarak izlenebildiği ifade edilmektedir.



**Şekil 4.20.** Ekinözü ilçesi Aşağı İçmeler Mevkii'nde görülen (a) fay dışı yakın deformasyon zonundaki kaplama taşlarının kabarması ve (b) bu mevkiin güneyindeki yamaçta gözlenen yüzey kırığından bir görünüm (Çizelge 4.3, 15 no.lu lokasyon)

# 5. MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ VE JEOTEKNİK AÇISINDAN GÖZLEMLER VE ÖN DEĞERLENDİRMELER

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri; bölgede suya doygun seviyeleri de içeren oldukça kalın alüvyal zeminlerin yaygın oluşu ve bu tür zeminlerin üzerinde bazı yerleşimlerin de bulunması gibi nedenlerle sıvılaşma olgusu ile buna bağlı olarak yanal yayılma davranışının tipik şekilde gelişmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda sıvılaşma ve bununla ilişkili olarak özellikle akarsu yataklarının kenarları ile göl ve deniz kıyılarında meydana gelen yanal yayılmadan kaynaklanan zemin yenilmeleri (duraysızlıkları) bu alanlarda yer alan yapılarda oturma ve yana/geriye yatma gibi hasarlara neden olmuştur. Ayrıca çok sayıdaki doğal yamaçta ve mühedislik şevlerinde kaya düşmelerinin yanı sıra, oldukça büyük boyutlu heyelanlar ve bir adet heyelan gölü de gelişmiştir. Bu bölümde; yazarların deprem bölgesinde 5 gün süren incelemeleri sırasında Amik Ovası, bunun KD'sundaki Sağlık (Gavur) Ovası ile İskenderun (Hatay) ve Gölbaşı (Adıyaman) ilçelerinde ulaşabildikleri yerlerde karşılaştıkları sıvılaşmalar, bunlarla ilgili yanal yayılma olguları, bunların neden olduğu zemin duraysızlıkları ve etkileri ile heyelanlar ve kaya düşmeleri hakkında ana hatlarıyla bilgi verilmiş ve bunlar kısaca değerlendirilmiştir.

#### 5.1. Sıvılaşma ve Yanal Yayılma Olguları ile Etkileri

#### 5.1.1. Sıvılaşma Açısından Yerel Zemin Koşulları

Yazarlar deprem bölgesindeki incelemeleri kapsamında sıvılaşma ve ilgili yanal yayılma olgularıyla İskenderun ilçesinde, Amik Ovası'nın bazı kesimlerinde, Sağlık Ovası ile KD'da Gölbaşı ilçesinde karşılaşmışlardır. Deprem bölgesindeki en geniş ova konumundaki ve Asi Nehri havzasında yer alan Amik Ovası 6 Şubat 2023 depremlerinde sıvılaşma olgusunun en tipik ve yaygın şekilde gözlendiği alanların başında gelmektedir. Havza kenarlarındaki dağlık alanlarda ve kalınlığı 300 m'ye ulaşan genç çökellerin tabanında temel kayalar bulunmaktadır (DSİ, 1975; ALFAR, 2017). Gerek bu havzanın gerekse aşağıda değinilecek olan diğerlerinin kesitleri bu raporun 2 no.lu Bölüm'de verildiği için bu bölümde tekrar verilmemişlerdir. Temel kayalarının üzerindeki Tersiyer yaşlı kireçtaşı, kiltaşı, kumtaşı, konglomeralardan, güncel çökeller ise doğal bir bağlayıcıyla tutturulmamış kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki doğal malzemelerin farklı kombinasyonlarından oluşan alüvyonlar ve yamaç molozlarından oluşmaktadır. Geçirimsiz yüzey örtüsü altında bulunan kumlu-çakıllı seviyeler ova kenarlarında bulunan; karstik ve çatlaklı kaya akiferi özelliği taşıyan hidrojeolojik sistemlerden beslenmektedir. Ovada DSİ tarafından açılan araştırma kuyularında yeraltısuyu seviyesi yüzeyden 20 m ve daha sığ derinliktedir. Basınçlı

akiferdeki piyezometrik seviyelerin ise +8 m ile -20 m arasında değiştiği belirtilmektedir (DSİ, 1975)

Asi Nehri havzasının önemli akarsuları Asi, Afrin ve Karasu nehirleri ile bunların yan kollarından oluşmakta olup, ayrıca yüksek debili kaynaklardan boşalan sular da bu akarsulara katılmaktadır. Bölgedeki tüm yüzeysel akışlar genç çökeller içinde kendi akış yataklarını geliştirerek çevrelerine göre daha düşük kotlu kanallar oluşturmuşlardır. Bu tür doğal akış kanallarına Amik bataklığını kurutmak için yapılan drenaj kanalları da eklenmiştir. Tüm bu doğal ve yapay kanallar depremler sırasında sıvılaşmayla ilişkili yanal yayılma olgusu için uygun düşük kotlu ortamlar olabilmektedir. Bu alanlar son dönemlerde imara açılarak yapılaşmaya sahne olmuş ve hastane, okul, spor alanı, stadyum, hava alanı vb. gibi stratejik yapılar da bu alanlarda inşa edilmiştir. Amik Ovası'nda bulunan başlıca yerleşim birimleri Antakya, Reyhanlı, Kırıkhan ve Hassa'dır. Bunların yanı sıra, bu ovada çok sayıda mahalle (köy) ve belde bulunmaktadır.

Amik Ovası'nın KD kesiminde bulunan Sağlık Ovası DSİ (1973)'nin çalışmalarına göre; Narlı, Türkoğlu, ve Maraş-Merkez ovalarıyla hidrolik ilişkili olup, yüzeyde bitkisel toprağın altında kumlu-çakıllı alüvyon örtü içermekte ve alüvyal çökellerin içinde killi aratabakalara da rastlanmaktadır. Alüvyal çökellerin tabanında yer alan Pliyosen yaşlı konglomeralar da DSİ tarafından basınçlı akifer olarak tanımlanmış olup, pozitif/negatif artezyen koşulunu oluşturmaktadır. Adıyaman'a bağlı Gölbaşı ilçesi de alüvyal zemin üzerinde kurulmuş olup, Gölbaşı Gölü'nün hemen doğu kesiminde yer almaktadır. Açık kahve ve kahve renkli, polijenik taneli çakıl, kum ve kil düzeylerinin hakim olduğu alüvyonlar yer yer silt düzeyleri icermekte olup, çakıl ve kum düzeyleri yanal ve düşey yönlerde iç içe kamalanmaktadır (Akıl vd., 2008).

Yukarıda genel hatlarıyla tanımlanan yerel zemin koşulları (gevşek alüvyal malzemeler ve sığ yeraltısuyu tablası), depremin etkilediği bölgedeki Holosen yaşlı genç alüvyal çökellerin depremlerden kaynaklanan dinamik yüklerin etkisi altında sıvılaşmaya karşı duyarlı zeminler olduklarına işaret etmektedir. Şekil 5.1 tarihsel ve aletsel dönemlerde Türkiye'de sıvılaşmanın gözlendiği yerleri göstermektedir. Kayıtlara, gözlemlere ve literatür verisine dayalı olarak hazırlanan bu harita (Aydan vd., 2000c; Ulusay vd., 2000), tarihsel depremler sırasında da 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği bölgedeki aynı ovalarda hem 1900 öncesinde (tarihsel dönem), hem de aletsel dönemde sıvılaşmanın meydana geldiğine işaret etmekte, dolayısıyla bu zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlı olduklarını desteklemektedir. Ölçeğinin küçük olması nedeniyle Kahramanmaraş depremlerinde yazarlar tarafından gözlenen sıvılaşma yerleri bu

haritada ayrıca gösterilememiş olmakla birlikte, bu son iki depremde, sıvılaşmanın gözlendiği bölgenin sınırları yaklaşık olarak mavi kesikli elipsle Şekil 5.1'deki haritada çizilmiştir.



Şekil 5.1. Tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 sonrası) dönemlerde Türkiye'de sıvılaşmanın gözlendiği yerler (Aydan vd., 2000c; Ulusay vd., 2000) (KAF: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAF: Doğu Anadolu Fay Zonu, BAFS: Batı Anadolu Fay Zonu)

### 5.1.2. Sıvılaşma ve Yanal Yayılmanın Etkileri

Yazarların incelemeleri sırasında gözlemledikleri sıvılaşma ve ilgili yanal yayılma olguları ile bunların etkileri Hatay'ın İskenderun ilçesinden başlanıp KD'ya Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesine doğru değerlendirilerek ana hatlarıyla aşağıdaki paragraflarda sırayla verilmiştir.

# (a) İskenderun ilçesi (Hatay):

İskenderun ilçesinin merkezi kesimi bir dağ eteğinde yer alan alüvyon yelpazesinde kurulmuş olup, ilçe zamanla kısmen alüvyon yelapze alanları ile kıyı dolgu alanlarına ve kısmen de yamaçlara doğru gelişmiştir (Şekil 5.2). Bu ilçede kıyıya yakın konumdaki bir otelin 102° yönünde GD'ya yatarak yıkılmış olan ek binasının iki arka sokağından itibaren sıvılaşma davranışının kıyıya doğru daha etkili olduğu bu çevredeki evlerin zemine batmış olmasından ve evlerin çevresinde döşenmiş parke taşlarının konumlarından açık şekilde görülmektedir (Şekil 5.3). Bu kesimde sıvılaşma, binaların yana veya geriye yatması şeklinde değil, zeminin içine bir miktar batmış olmalarıyla (binanın oturmasıyla) tipiktir. Hem iç kesimde hem de kıyıdan geçen ana yolun kenarındaki binalarda ve ayrıca kıyı boyunca sıvılaşmayla ilgili olarak (kıyının doğu kesiminden batısına doğru sıralanan yapılarda) gözlem yapılmış ve ayrıca bazı noktalarda sıvılaşmış zeminlerden tane boyu dağılımı analizleri için örnekler (İSK-SIV1, İSK-SIV2, İSK-SIV3) de alınmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.2. İskenderun ilçesinin kıyı ve dolgu alanlarına doğru gelişmiş olan kesiminden deprem öncesine ait bir görüntü (sondakika.com)



**Şekil 5.3.** İskenderun ilçesinde kıyı şeridine paralel Atatürk Bulvarı'nda sıvılaşma nedeniyle oturmaya maruz kalmış binalar ve sıvılaşma sonucu yüzeye çıkmış zeminden görüntüler



Şekil 5.4. İskenderun Atatürk Bulvarı'nda sıvılaşmış zeminden örnek alımı

Kıyıya paralel Atatürk Bulvarı üzerinde giriş katlarında bazı bankaların, mağaza ve dükkanların bulunduğu binaların sıvılaşma nedeniyle 14 ile 35 cm arasında değişen miktarlarda oturmaya maruz kaldıkları anlaşılmaktadır. Sıvılaşma nedeniyle bu binalar boyunca kaldırımlarda sıvılaşmış kum birikintileri ve binalar zemine otururken bunların etrafındaki kaldırım taşlarının da binalarla birlikte zemine batarak eğim kazandıkları görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. İskenderun Aatürk Bulvarı'nda sıvılaşma sonucunda binaların ve yer kaplamalarının zemine batması

Ayrıca doğrultusu kıyıya paralel olan Atatürk Bulvarı'nı dik yönde kesen ve ortalama 25 m aralıklarla tekrarlandığı gözlenen çatlakların (Şekil 5.6a) ise, sıvılaşmaya bağlı olarak meydana gelen yanal yayılma hareketiyle ilgili olarak gelişmiş blokları biribirinden ayıran sınırları oluşturdukları düşünülmüştür. Binaların bulunduğu kısımdan deniz tarafındaki kıyı şeridine geçilirken aradaki cadde de sıvılaşmanın varlığını gösteren açık gri renkli kum birikintileri görülmektedir (Şekil 5.6b). Ayrıca bu caddede sıvılaşmanın tipik bir göstergesi olan logar kapaklarındaki yükselmeler de söz konusudur (Şekil 5.7).



Şekil 5.6. İskenderun Atatürk Bulvarı'nda yanal yayılma hareketiyle ilgili blokları birbirinden ayıran çatlaklardan ve sıvılaşmış zeminden görüntüler



Şekil 5.7. İskenderun Atatürk Bulvarı'nda sıvılaşma nedeniyle yükselmiş logarlar

Kıyı boyunca GB'ya doğru gidilince bir AVM'nin bulunduğu yerde (Şekil 5.8a) de sıvılaşmaya ve yanal yayılmaya bağlı kum kaynaması izleri ve yüzeyde çatlaklar ve deformasyonlar görülmektedir (Şekil 5.8b). Bu AVM'nin önündeki binaya göre kaldırımda 10-15 cm arasında oturma olduğu da bina ile kaldırım arasındaki merdivenin ayrılma miktarından anlaşılmaktadır

(Şekil 5.8c). Bununla birlikte, bu bina ile buna komşu konumlu iki yüksek binada (bknz. Şekil 5.8a) sıvılaşmadan kaynaklanan bir oturma ve hasar görülmemekte olup, bu yapıların temel tipi hakkında bir bilgi edinilememiş olmakla birlikte, bu durum söz konusu bu yapıların muhtemelen kazık temellerin üzerinde inşa edilmiş olabileceğine işaret etmektedir.



**Şekil 5.8.** (a) İskenderun Atatürk Bulvarı'ndaki bir AVM ile iş merkezi, (b) bunun önünden geçen yolda gelişmiş çatlaklar ve kum birikintisi, (c) kaldırımda oturmaya işaret eden ahşap merdivendaki ayrılma

Deniz kıyısında ve kıyıya paralel doğrultudaki yürüyüş yolunun kenarındaki Belediye'ye ait 1 no.lu sosyal tesisin yakınında birbirinden ayrılmış parke taşlarından alınan ölçümlerden 2600 cm'lik lik bir mesafe boyunca parke taşlarının denize doğru toplam 37 cm kadar ötelendikleri ve bu hareketin yanal yayılmadan kaynaklandığı anlaşılmaktadır (Şekil 5.9a). Sahil boyunca parke taşlarında belirli bir ötelenmenin varlığı ve sarsıntının etkisiyle kıyıdaki duvarda kullanılmış olan bazı kaplama taşlarının yerlerinden çıkıp düştükleri de görülmektedir (Şekil 5.9b).

Belediye'nin kıyıdaki diğer bir sosyal tesisi ile kıyı şeridi arasında kalan zeminde bir zon halinde gelişmiş sıvılaşma yarıkları (Şekil 5.10a) ve bu yarıklardan çıkmış olan gri renkli sıvılaşmış kumlar bulunmaktadır (Şekil 5.10b). Burada gelişmiş sıvılaşma yarıklarında yüzeyden 30 cm aşağıda su gözlenmiş olup, bu yarıklarda en üstte kalınlığı 10 ile 25 cm arasında değişen bir kapak zemini de görülmektedir (Şekil 5.10c). Bu zon bu kesimde döşenmiş parke taşlarının kıyıya doğru kısmen ötelenmesine, kısmen de birbirlerinin üzerine binerek ilksel konumlarını yitirmelerine neden olmuştur (Şekil 5.10d).



**Şekil 5.9.** İskenderun'da Atatürk Bulvarı'na komşu konumlu parkın yürüme yolunda (Belediye tesisinin yanı, oklar hareket yönünü göstermektedir) (a-b) yanal yayılma nedeniyle parke taşlarında açılmalar ve (b) duvardan düşmüş kaplama taşları (sarı kesikli çizgiyle verilen elips içinde)



**Şekil 5.10.** İskenderun'da kıyıdaki parkta belediye tesisinin yanında (a) sıvılaşma yarığı, (b) bunun devamında yarığı doldurmuş sıvılaşmış zemin, (c) yarıktaki su ve kapak zemininin görünümü ve (d) parkta yanal yayılma nedeniyle konumları değişmiş kilit taşları

Belediyenin 2 no.lu sosyal tesisi ile biraz ilerdeki lunapark arasında inşa edilmiş iskele de yanal yayılmadan etkilenmiş olup (Şekil 5.11a), iskelede çekilen Şekil 5.11b'deki fotoğrafta görülen ve düşey yönde ayrılmış olan hasarlı beton merdivenin konumundan anlaşılacağı üzere, iskelenin kara

tarafındaki alt platformunda 32-37 cm arasında bir oturma gerçekleşmiştir. Ayrıca bu iskelenin önünde kıyıdaki betonda yanal yayılmadan dolayı ayrılmalar ve ayrılan kesimlerde sıvılaşmanın göstergesi olan sıvılaşmış kum görülmekte olup (Şekil 5.11c), iskelenin biraz ilerisindeki parkta bulunan tek katlı bir kafeterya ise sıvılaşma nedeniyle düşeyden çok az saparak geriye yatmıştır (Şekl 5.12a). İskeleye çok yakın konumdaki lunaparkta da sıvılaşma (koyu gri kumlar) yaygın şekilde görülmekte olup (Şekil 5.12b), lunaparkın bittiği cadde ile ek binası yıkılan otelin arasında kalan kıyıya çok yakın kesimdeki binaların bazılarında da sıvılaşmadan kaynaklı hafif geriye yatma ve yollarda sıvılaşmış kum birikintileri söz konusudur (Şekil 5.12c-d).



**Şekil 5.11.** İskenderun'da lunaparka yakın bir iskelede: (a) oturma, (b) ana platformdan ayrılmış hasarlı merdiven ve iskelenin karayla bağlantı kesiminde (c) sıvılaşmış malzeme ile (d) beton kaplamalarda ayrılma ve sıvılaşmış malzeme izi

Yukarıdaki paragraflarda sıvılaşma ve yanal yayılma olgularıyla ilgili olarak İskenderun'da kıyıdan itibaren ilçenin içine doğru yazarlar tarafından gözlem ve değerlendirme yapılmış kesimin yaklaşık sınırı Şekil 5.13'te beyaz kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yazarların deprem bölgesindeki diğer yerleşimleri ve alanları da incelemek için sınırlı sürelerinin olması nedeniyle bu kesikli çizginin güney kesiminde yazarlarca gözlem yapma olanağı olamamıştır. Bu nedenle bu yerleşim

alanıyla ilgili olarak sıvılaşma açısından beyaz kesikli çizginin güneyinde kalan kesimde de ayrıntılı gözlemlerin ve değerlendirmenin yapılmasında yarar vardır.



**Şekil 5.12.** İskenderun'da (a) Atatürk Bulvarı'na komşu parkta sıvılaşma nedeniyle çok az geriye yatmış bir kafeterya, (b) sıvılaşmanın meydana geldiği lunapark, (c) lunaparkın arkasında sıvılaşmadan etkilenmiş ve geriye yatmış binalar ve (d) bir parkta sıvılaşmış malzeme



**Şekil 5.13.** İskenderun ilçesinde sıvılaşma ve yanal yayılma olguları konusunda kıyı şeridine paralel olarak yazarlarca incelenen alanın yaklaşık sınırları (beyaz kesikli çizgiyle gösterilen)

### (b) Hatay Eğitim ve Araştırma Hastanesi ile Alaattin Mahallesi arasındaki alüvyal düzlük:

Antakya yerleşiminin biraz dışında ve doğusundaki Hatay Eğitim ve Araştırma Hastanesi ile Alaatin Mahallesi arasında kalan ova kesimindeki tarlalarda (Şekil 5.14) sıvılaşma yarıkları ve kum konileri gelişmiştir (Şekil 5.15a-b). Buradaki sıvılaşma yarıklarının doğrultuları K72D olup, bu yarıklar tarlaların kenarından geçen bir su kanalına paralel yönde dizilmişlerdir (Şekil 5.15a, c). Bu alanda sıvılaşma hatları onlarca metre uzunlukta olup, bunların tekrarlanma aralıkları 5-10 m arasında değişmektedir. Ayrıca bu tarlaların hemen üst kesiminde Eğitim ve Araştırma Hastanesi ile aynı kotta bulunun kesimde tarlalara doğru geliştiği anlaşılan ve muhtemelen buradaki sıvılaşmaya bağlı yerel bir yanal yayılma hareketinin varlığı da görülmektedir (Şekil 5.15d). Bu alanda herhangi bir yerleşimin ve mühendislik yapısının bulunmuyor olması nedeniyle sıvılaşmadan kaynaklanan yapısal bir hasar da gözlenmemiştir. Buradaki sıvılaşmış zeminden tane boyu dağılımı analiz için bir adet örnek (HTY-SIV1) alınmıştır.

### (c) Demirköprü Mahallesi (Hatay):

Bu mahalle; Antakya'nın doğusunda Reyhanlı ilçesine giden yolun üzerinde ve Asi Nehri'nin kıyısında yer almakta olup, ovanın üzerinde kurulmuştur. Bu mahallenin Asi Nehri kıyısında çok



Şekil 5.14. Hatay Eğitim ve Araştırma Hastanesi ile Alaatin Mahallesi arasındaki tarlalarada gelişmiş sıvılaşma yerleri (sarı kesik çizgili elipsler içinde)





**Şekil 5.15.** (a-c) Alaatin Mahallesi yakınındaki tarlalarda gözlenen sıvılaşma yarıkları ve konumları ile (d) bu yerdeki yanal yayılmanın göstergesi olan deformasyonlar

yaygın bir sıvılaşma meydana gelmiştir ve buna bağlı olarak yanal yayılma da gelişmiştir (Şekil 5.16). Mahallenin mezarlığı yanal yayılma nedeniyle 20-30 m kadar Asi Nehri'ne doğru hareket etmiştir (Şekil 5.17). Ayrıca kıyı boyunca inşa edilmiş eski ve yeni tek ve iki katlı yapılar da bu yanal yayılma hareketinden etkilenerek zemine batmış ve ayrıca geriye kaykılmışlar ve nehre doğru 2-3 m arasında hareket ederek hasara maruz kalmışlardır (Şekil 5.18). Sıvılaşmanın en tipik olarak gözlendiği nehir kıyısındaki ve yanal yayılmanın gözlendiği bir yerdeki kum kaynamalarından (Şekil 5.19) iki adet sıvılaşma örneği (HTY-SIV2 ve HTY-SIV3) alınmıştır. Mahallenin içinde bulunan ve Asi Nehri üzerinde inşa edilmiş tarihi taş köprü (Şekil 5.20a) yıkılmamış ve genelde sağlam olup, sadece uç kesiminde duvarının bir bölümü 320°-330° yönünde devrilmiştir (Şekil 5.20b). Ayrıca bu taş köprü kavis yaptığı kesimde muhtemelen yanal yayılmanın etkisiyle 140°-150° yönünde biraz sıkışmış olup, bu durum köprüdeki kabarmadan anlaşılmaktadır (Şekil 5.20c).



**Şekil 5.16.** Asi Nehri'nin kıyısındaki Demirköprü Mahallesi ve bu yerleşimde sıvılaşmadan ve yanal yayılmadan en fazla etkilenip hasar gören kesimler



Şekil 5.17. Yanal yayılma nedeniyle 20-30 m kadar Asi Nehri'ne doğru hareket etmiş olan Demirköprü Mahallesi'nin mezarlığı





**Şekil 5.18.** Demirköprü Mahallesi'nde Asi Nehri kıyısındaki binaların yanal yayılma sonucuna nehre doğru hareketi: Şekil 6.16'daki (a) 1, (b ve c) 2 no.lu kesimlerdeki evler



Şekil 5.19. Demirköprü Mahallesi'nde sıvılaşma ve sıvılaşmayla birlikte gelişmiş yanal yayılma



(c)



**Şekil 5.20.** Demirköprü Mahallesi'ndeki (a) tarihi taş köprü, (b) köprünün devrilen duvarı ve (c) muhtemelen yanal yayılmanın etkisiyle köprünün sıkıştığı kesimdeki kabarma

# (d) Sakçagöz Mahallesi (Nurdağ-Gaziantep):

Sağlık Ovası'nın kenarında doğusundan kayalık kesime komşu konumlu ve genelde kaya üzeinde kurulmuş olan bu mahallede bir tarla içinde bir sıvılaşma noktası gözlenmiş (Şekil 5.21) olup, bu noktanın dışında sıvılaşmanın göstergelerine bu civarda rastlanılmamıştır. Ayrıca bu sıvılaşma noktasına oldukça yakın bir yerde kaynak çıkışı da bulunmaktadır.



Şekil 5.21. Sakçagöz Mahallesi'nde tarla içinde görülen sıvılaşma noktası

# (e) Kılılı ve Kuyumcular Mahalleleri Arası (Türkoğlu-Kahramanmaraş):

Sağlık Ovası'nın KD kesiminde Türkoğlu ilçesine bağlı Kılılı ve Kuyumcular mahallelerinin arasından geçen demiryoluna komşu konumlu tarlalarda gözlenen (Şekil 5.22) K35D doğrultulu M<sub>w</sub>7.7 depreminin yüzey kırığına paralel doğrultuda gelişmiş sıvılaşma hatları söz konusudur (Şekil 5.23). Bu sıvılaşma hatlarında görülen sıvılaşma konilerinden en geniş olanından iki yönde koni çap uzunlukları 35 ve 45 cm olarak ölçülmüş olup, bu alandan iki adet sıvılaşmış kum örneği (KM-SIV1 ve KM-SIV2) de alınmıştır. Sıvılaşmanın geliştiği bu alanda hasar gözlenmemiştir.



Şekil 5.22. Kuyumcular ve Kılılı mahallelerinin arasındaki tarlalarda gözlenen sıvılaşma



Şekil 5.23. Kuyumcular'ın GD'sunda demiryolunun kenarında gelişmiş sıvılaşma hatları

# (f) Gölbaşı ilçesi (Adıyaman):

Gölbaşı ilçesi; deprem bölgesinin KD kesiminde bulunmakta olup, K-KB'sındaki Gölbaşı Gölü'nün kıyısında yer almaktadır (Şekil 5.24). Bu ilçenin içinden geçen Adıyaman karayolu ile göl arasında kalan kesimde yapılarda oturmaya neden olabilecek düzeyde yaygın bir sıvılaşma meydana gelmiştir.



Şekil 5.24. Sıvılaşmanın etkili olduğu Gölbaşı ilçesi ve Gölbaşı Gölü

Gölbaşı'nın büyük bir kısmı Kuvaterner yaşlı alüvyon zemin üzerinde kurulmuştur. İlçenin yerleşim alanındaki zeminlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla Akıl vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada alüvyal istifte yeşilimsi açık kahve ve kahverenkli, polijenik taneli cakıl, kum ve kil düzeylerinin hakim olduğu ve istifin yer yer silt düzeylerini de icerdiği belirtilmektedir. Akıl vd. (2008)'nin gözlemlerine göre; alüvyal istifteki çakıl ve kum düzeyleri yanal ve düşey yönlerde iç içe kamalanmakta olup, yeraltısuyuna doygun olan bu birim özellikle inşaat temellerinde ve yarmalarda tipik olarak gözlenmektedir. Bu bilgiden de ilçenin üzerinde kurulduğu zeminin sıvılaşma açısından gerekli ortam koşullarına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Gölbaşı ilçesinde sıvılaşmadan etkilenmiş binalar arasında oldukça tipik olan bir bina Şekil 5.25'te görülmekte olup, bu bina ilçenin içinden geçen Adıyaman yolunun kenarındadır (Yavuz Selim Mahallesi) ve konumu Şekil 5.24'teki Google görüntüsü üzerinde kesikli kırmızı daireyle

gösterilmiştir. Beş katlı bu binanın altında araç garajı bulunmaktadır ve bina yaklaşık (Şekil 5.25b) 45°'lik bir eğimle KB'ya (göle doğru) ve gerisindeki diğer bir binanın üzerine doğru devrilmiştr. Bununla birlikte, bu binanın dış cephesinde herhangi bir hasar görülmemektedir.



**Şekil 5.25.** Gölbaşı'nda Adıyaman yolu kenarında sıvılaşma ve devrilme etkisine maruz kalmış ve gerisindeki binanın üstüne devrilmiş beş katlı bir bina

Şekil 5.25'teki devrilmiş binanın sırasındaki bir kaç bina daha göl tarafına doğru daha az bir eğimle devrik bir konum kazanmıştır (Şekil 5.26). Bu binaların bu kesimde gelişen sıvılaşmadan etkilenmelerinin vanı sıra, geriye yatmalarında devrilme olgusunun da katkısının olmus olması kuvvetle muhtemeledir. Yığma bir duvarın yenilme (duraysızlık) biçimleri "devrilme", "kayma" ve "devrilme-kayma" şeklinde olup, her bir yenilme koşulu için duvara etkiyen yanal deprem ivmesi (kh=a/g), duvar yüksekliği (h) ve genişliği (t) cinsinden Şekil 5.27'deki ilişkilerden elde edilebilir (Aydan vd., 1989). Devrilme koşulu ilişkisi için de deprem sırasında Gölbaşı'nda etkiyen yer ivmesinin değeri gerekmektedir. Ancak deprem sırasında bu ilçedeki kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunda elektrik kesilmesi nedeniyle birinci depremin sadece ilk 8 saniyesine kadar kayıt alınabilmiş olup, dolayısıyla bu ilçeye ait tam ivme kaydı olmadığı için bu yerleşim birimi için bir değerlendirme yapılması mümkün olamamaktadır. Bununla birlikte, ilgili fayın tavan bloğunda bulunması, yüzey kırığının çok yakınından geçmesi ve alüvyal zeminde konuslanmış olmasının yanı sıra, merkez üssüne uzaklıklağının hemen hemen Gölbaşıyla aynı olması gibi benzerlikleri dikkate alınarak, Hassa ilçesine ait ivme kaydı (K-G: 745 gal, D-B: 707 gal ve Düşey: 129 gal) Gölbaşı ilçesi için yapılan değerlendirmede kullanılmıştır. Bu binaya ait t/h değeri 0.23 olarak olarak belirlenmiş olup, bu değerin Hassa ilçesinde yatay yönde ölçülen ivme değerlerine (745 gal ve 707 gal) göre oldukça küçük olduğu, dolayısıyla binanın sıvılaşmanın yanı sıra, oldukça yüksek yer ivmesinin etkisiyle devrilmeye de maruz kalmış olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 5.26.** Gölbaşı'nda geriye devrilmiş (yatmış) Şekil 2.24'te görülen bina ile aynı hizadaki ve yakın konumdaki geriye yatmış diğer bazı binalar ve bunların düşeyden sapmaları



Şekil 5.27. Yapı duvarları için duraysızlık modelleri ve koşulları (Aydan vd., 1989)

İlçeden Adıyaman'a giden caddenin üzerindeki bu binalar ile göl tarafındaki demiryolu arasında kalan kesimdeki (bknz. Şekil 5.24) binalarda ve yollarda (Yeni Mahalle) yapılan gözlemlerde binalarda sıvılaşma nedeniyle oturma ve düşeyden sapmaların olduğu ve oturma sırasında binaların çevresindeki parke taşlarınının da binalarla birlikte zemine batma (oturma) eğilimi gösterdikleri gözlenmiştir (Şekil 5.28). Bazı binalardan alınan ölçümlere göre sıvılaşma nedeniyle bu binalarda gözlenen oturma miktarları 20-30 cm, düşeyden sapma açıları ise 5°-10° arasında değişmektedir. Özellikle Yeni Mahalle 605. Sokak'taki ve yakın civarında sıvılaşmaya bağlı olarak binalardaki

oturma miktarları 150 cm'ye varmakta ve binaların düşeyden sapma açıları da 15°-20° arasında değişmektedir (Şekil 5.29).



**Şekil 5.28.** Gölbaşı ilçesinin Yeni Mahalle semtinde sıvılaşma nedeniyle (a-b) oturmuş (zemine batmış) ve (c-f) öne veya geriye yatmış binalardan tipik görüntüler

Gölbaşı ilçesinin yukarıda belirtilen semtinde sıvılaşan zeminin kırmızımsı kahverenkli ve kum tane boyutunda malzemeden oluştuğu (Şekil 5.30) görülmüş ve bu zeminden de tane boyu dağılımı analizi için örnek (GSV1) alınmıştır. Bu mahalledeki 2 katlı binalarda sıvılaşmanın etkisinin olmadığı ya da çok az bir oturmaya maruz kaldıkları da görülmüştür (Şekil 5.31).

Sıvılaşmanın meydana geldiği bu mahalle demiryoluna komşu konumlu olup, Gölbaşı Gölü demiryolunun ötesindedir (bknz. Şekil. 5.24). Demiryolu ile göl arasında ve gölün kıyısında sıvılaşmaya bağlı bir yanal yayılmanın meydana gelip gelmediğinin göl kıyısına yakın kesimde net olarak görülebileceği düşünülmüştür. Ancak havanın kararması nedeniyle yazarlar tarafından bu amaçla göl çevresinde bir gözlem yapılamamıştır. Bununla birlikte, Google görüntüsünden yararlanılarak yazarlar gölün kıyı kısmını incelemişlerdir. Şekil 5.32'de verilen Google görüntüsünden görülebileceği üzere, Adıyaman Üniversitesi'ne bağlı Yüksek Okul 'un bulunduğu

kesimde yanal yayılmanın göstergeleri olan yarıklar ile bunun sonucunda bu okula ait binaların göle doğru hareket etmiş oldukları ve bu hareketin sonucunda bazı binaların su içinde kaldıkları görülmekte olup, bu belirlemeler özellikle göl kıyısına yaklaşıldıkça ilçede sıvılaşmaya bağlı yanal yayılma hareketlerinin daha geniş bir alanda gerçekleşmiş olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 5.29.** Gölbaşı ilçesinin Yeni Mahalle semtinde sıvılaşma nedeniyle binlaradaki oturma miktarlarının 150 cm'ye vardığı ve düşeyden sapma açılarının arttığı 65. Sokak ve yakın çevresinden bazı görüntüler



Şekil 5.30. Gölbaşı ilçesinde Yeni Mahalle semtindeki sıvılaşmış zeminden bir görünüm



**Şekil 5.31.** Gölbaşı Yeni Mahalle'de sıvılaşmadan etkilenmiş olan çok katlı binalar arasında bu olgudan etkilenmemiş 2 katlı evler (kırmızı elips içinde gösterilenler)



**Şekil 5.32.** Gölbaşı Gölü'nün kıyısındaki Adıyaman Üniversitesi Yüksek Okulu sahasında meydana gelen yanal yayılmanın Google görüntüsü (yanal yayılma yarıklarının yerleri kırmızı oklarla ve sarı kesikli çizgiyle verilen elips içinde gösterilmiştir)

2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen sıvılaşma olgusu ve ilgili yanal yayılma hareketleri alüvyal ovalarda geniş bir alanda gözlenmekle birlikte, sınırlı sayıdaki yerleşimde

(Gölbaşı ve İskenderun ilçeleri ile Hatay'ın Demirköprü Mahallesi) etkili olmuştur. Bu olgu özellikle en fazla Gölbaşı ve İskenderun ilçelerindeki bir kısım yapıda sıvılaşmadan kaynaklanan taşıma gücü yenilmelerine ve sıvılaşma ile ivmenin de etkisiyle binaların yana veya geriye yatmalarına ve yanal yayılma hareketine maruz kalmalarına yol açmıştır.

Suya doygun alüvyal zeminler üzerinde inşa edilmiş olup, sıvılaşma ve yanal yayılmanın etkilerine maruz kalan yapılar, toptan göçmeye uğramamakla ve can kaybına yol açmamakla birlikte, bu olgular nedeniyle zemine oturmaları ve/veya deniz, göl ve akarsu ortamlarına doğru yanal yönde sürüklenmeleri gibi nedenlerle kullanılamaz hale gelmektedirler. Bu nedenle bu tür ortamlarda inşa edilecek yapılar için zemin koşullarının sıvılaşma ve yanal yayılma açısından da çok iyi etüt edilip değerlendirilmesi ve bu tür zeminler üzerinde inşa edilmesi gereken yapıların zemin etüdü sonuçlarının yapı tasarımında ciddi şekilde dikkate alınarak, yönetmeliklerde bu tür zeminlerde inşa edilecek binalar için belirtilen uygun temel tipi seçilerek ve inşaatın yönetmelikte belirtilen esas ve usullere aynen uyularak gerçekleştirilmesine her zamankinden daha fazla önem verilmesi gerekmektedir. Aksi halde, geçmişte ülkemizde önceki depremler ile özellikle deprem etkileri açısından bugüne değin en ağır kayıpları verdiğimiz 2023 Kaharamanmaraş depremlerindekine göre çok daha ağır kayıplarla karşılaşılacağı asla göz ardı edilmemelidir. Diğer yandan, bu raporda Kaharamanmaras depremlerinde sıvılasmanın meydana geldiği alanlarda bu olgudan etkilenerek kullanılmaz hale gelen binaların zemin etütlerinin yapılıp yapılmadığı, bu etütler yapıldıysa yeterli ayrıntıyı içerip içermediği veya yapı tasarımında dikkate alınıp alınmadığı ve eğer alındıysa hangi ölçüde dikkate alındığı ve bu yapıların deprem yönetmeliklerine uygun şekilde inşa edilip edilmedikleri konularında pek çok soru bulunmaktadır. Özellikle bu soruların cevabı "evet bunlar yapıldı" olacaksa, o zaman "yapıldıysa bu yapılar sıvılasma ve yanal yayılma nedeniyle neden hasara uğrayıp kullanılamaz hale geldiler?" sorusunun sorulması da gerekecektir.

### 5.1.3. Sıvılaşmış Zeminlerin Özellikleri

Bir önceki alt bölümde belirtilen yerlerden alınmış olan sıvılaşma örneklerinin tane boyu dağılımı eğrileri Şekil 5.33'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu şekildeki grafikte ayrıca Port and Harbour Reserach Institute of Japan (1997) tarafından önerilmiş olan ve uygulamada yaygın şekilde kullanılan "en kolay sıvılaşan" ve "potansiyel olarak sıvılaşma eğilimine sahip zeminler" için tane boyu açısından sıvılaşmanın alt ve üst sınırları da ayrı ayrı çizilmiştir. Buna göre; tane boyu dağılımları açısından tüm sıvılaşma örneklerinin en kolay sıvılaşabilir zeminlere ait sınırlar içinde kaldıkları ve ağırlıklı olarak "kum" ve kısmen de "siltli kum" oldukları anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.33.** Sıvılaşmış zeminlere at örneklerin tane boyu dağılım eğrilerinin Port and Harbour Research Institute of Japan (1997) tarafından önerilmiş sıvılaşabilir kumlar için bilinen tane boyu dağılımı sınırlarıyla karşılaştırılması

Türkiye'de sıvılaşmanın meydana geldiği depremlerin büyüklüğü (M<sub>s</sub> veya M<sub>w</sub>) ile sıvılaşmanın gözlendiği yerlerin odağa uzaklığı (P<sub>hypo</sub>) arasındaki ilişki de araştırılmış (Aydan vd., 2000b) ve bu ilişkiyi temsil eden görgül (ampirik) eşitlik fonksiyonlarla birlikte ülkemizde meydana gelmiş başlıca depremlere ait veri de işlenerek Şekil 5.34'te verilmiştir. Bu şekildeki doğrular Türkiye'de meydana gelen depremler için "sıvılaşmama-az sıvılaşma", "az-orta derecede sıvılaşma" ve "ortaşiddetli sıvılaşma" sınırlarını temsil etmektedir. Bu grafikte yüzey dalgası büyüklüğü (M<sub>s</sub>) esas alınmıştır. 2023 Kahramanmaraş depremlerinden birincisine ait M<sub>w</sub>7.7 büyüklüğü M<sub>s</sub> büyüklüğüne dönüştürülerek ve sıvılaşmanın gözlendiği yerler için hesaplanan odaktan uzaklık değerleri de kullanılarak söz konusu sıvılaşma yerleri Şekil 5.34'teki grafikte içi dolu kırmızı dairelerle gösterilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere, deprem büyüklüğü arttıkça depremin kaynağından itibaren sıvılaşmanın meydana gelebileceği uzaklık da artmakta, diğer bir ifadeyle, deprem büyüklüğünün artmasıyla sıvılaşmanın daha uzak mesafelerde de meydana gelme olasılığı artmaktadır. Kahramanmaraş depremlerinin önceki depremlere göre büyüklüğü (M<sub>w</sub>7.7) dikkate alındığında, daha büyük odaktan uzaklıklar için bile sıvılaşmanın gerçekleşebildiği anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.34.** Türkiye'deki depremlerde sıvılaşmanın gözlendiği alanların depremin odağına olan uzaklığı ile deprem büyüklüğü (M<sub>s</sub>) arasındaki ilişki (daha sonraki bazı depremler ile 2023 K.Maraş depremleri de eklenerek Aydan vd. (2000b)'den düzenlenmiştir)

# 5.2. Kaya Düşmeleri ve Heyelanlar

### 5.2.1. Kaya Düşmeleri

Yazarların belirledikleri deprem bölgesini inceleme güzergahında (bknz. Şekil 1.1), farklı yerlerde olmak üzere, kaya düşmelerinin meydana geldiği görülmüştür. Bunlardan başlıcaları sırasıyla;

(a) Belen-Hatay arasındaki morfolojik olarak yüksek kesimlerde,

(b) İslahiye ilçesinin girişindeki Değirmencik Mahallesi yakınlarında meydana gelen heyelana ve

bu heyelanın oluşturduğu heyelan gölüne giden yolun yamaçlarında,

(c) Fevzipaşa tren istasyonu ile İslahiye arasındaki yamaçlarda,

(d) Fevzipaşa tren istasyonunda demiryolu yarmasında,

(e) Nurdağ ilçesine bağlı Sakçagöz Mahallesi'ndeki yamaçlardan elektrik direklerini kıracak çok iri boyutta bloklar halinde düşerek,

(f) Türkoğlu ilçesi yakınlarındaki Tevekkeli ve Kocalar Mahalleleri arasındaki karayolunun yamacında (bloklar yol kenarındaki çitleri de yıkıp yolun karşı tarafına geçmişler) meydana gelmiş olup, bu kaya düşmelerinden bazı görüntüler Şekil 5.35'de verilmiştir. Deprem bölgesinde alüvyal düzlükler dışında topoğrafyanın engebeli ve ayrıca önceki depremlere göre

Kahramanmaraş depremlerinde oldukça yüksek ivmelerin gerçekleşmiş olması, bu depremlerde daha fazla sayıda ve daha iri blokların hareket ettiği kaya düşmelerine neden olmuştur. Düşen kaya bloklarının boyutları özellikle Sakçagöz Mahallesi'nde 5-6 m'ye kadar ulaşmaktadır.

(a) Fevzipaşa tren istasyonu yolu ve istasyon





(c) Heyelan gölü yolu



Şekil 5.35. Kahramanmaraş depremleri sırasında meydana gelen kaya düşmelerinden örnekler

# 5.2.2. Depremin Tetiklediği Heyelanlar

Bu alt bölümde, yazarların inceleme yaptıkları güzergah üzerinde karşılaştıkları doğal yamaçlarda Kahramanmaraş depremleri tarafından tetiklenmiş heyelanlar kısaca özetlenmiştir.

## (a) Tepehan Heyelanı:

Bu heyelan, Antakya'nın güneyinde ve Antakya ile Altınözü ilçesi arasında yeralan Tepehan köyü yakınında ilk deprem (M<sub>w</sub>7.7) sırasında meydana gelmiştir. Arazi gözlemlerinden bu heyelanın marn birimi içinde eğim/eğim yönü 8°-10°/150 olan tabakalanma düzlemi üzerinde düzlemsel kayma şeklinde gelişmiş olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5.36.). Yamacı oluşturan kaya kütlesi tabakalanma yüzeyi boyunca eğim aşağı hareket ederken, kaya kütlesinin içermiş olduğu ana eklem sistemleri boyunca büyük bloklara ayrılmasına ve bu hareket sırasında ayrılan bloklar arasında boşlukların gelişmesine neden olmuştur.

Taç kısmı



Şekil 5.36. Tepehan (Altınözü-Hatay) heyelanına bir bakış

# (b) Heyelan ve heyelan gölü (Değirmencik Mahallesi yakını, İslahiye)

İslahiye ilçesinin hemen güneyindeki Değirmencik Mahallesi'nin batısındaki vadinin kuzey yamacında deprem sırasında oldukça büyük bir heyelan (Şekil 5.37a) meydana gelmiş olup, bu heyelan bir derenin önünü tıkayarak bir heyelan gölünün de oluşmasına neden olmuştur (Şekil 5.37b). Bu heyelan oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahip olup, bloklu bir kireçtaşı ile kısmen bozunmaya maruz kalmış kısmen de iyi derecede bağlanmış bir yamaç molozu ile içinde gelişmiştir (Şekil 5.37c-d). Kayan malzemedeki yaygın blok boyutu 2 ile 4 m arasında değişirken, en geniş blok boyutu 8 m civarındadır. Kaymış malzemenin durma açısı (angle of repose) 33-34<sup>o.</sup> civarındadır.


Şekil 5.37. (a) Değirmencik heyelanı, (b) heyelan sonrası oluşan heyelan gölü ve heyelan malzemesini oluşturan (c) bloklu kireçtaşı ve (d) yamaç molozundan görüntüler

Bu heyelan sahasında karşılaşılan bir görevliden alınan bilgiye göre, heyelan sonrasında DSİ tarafından heyelan gölünün önüne 60-70 m yüksekliğinde malzeme yığılarak bir sedde oluşturulmuştur (bknz. Şekil 5.37a). Heyelanın tepe noktasından topuğuna kadar olan mesafe ise 500 m civarındadır. Büyüklüğü M<sub>w</sub>7.7 olan ilk depreme ait yüzey kırığı bu heyelan ile Değirmencik Mahallesi arasındaki bir yerden geçmekte olup, heyelana çok yakın bir konuma sahiptir. Gerek bu durum, gerekse İslahiye'de ölçülen yer ivmesinin oldukça yüksek oluşu gibi faktörlerin bu heyelanın çok büyük bir kütleyi kapsamasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir.

### (c) Ekinözü yakınlarındaki heyelan:

Bu heyelan M<sub>w</sub>7.6 büyüklüğündeki Ekinözü depremi adı verilen ikinci deprem sırasında ve bu depremin merkez üssü olarak kabul edilen Ekinözü ilçesinin bir kaç kilometre yakınındaki İçmeler Mevkii'nin güney yamaçlarının yüksek kotlarında gelişmiştir (Şekil 5.38). Yüzey kırığının da bu yamaçların alt kotlarında gözlenmesi ve içmelerin bu depremin merkez üssü olması gibi hususlar heyelanın bu yamaçlarda gelişmesi için uygun bir ortamın varlığını göstermektedir.



**Şekil 5.38.** M<sub>w</sub>7.6 olan ikinci depremde Ekinözü ilçesinin İçmeler Mevkii'ndeki yamaçların üst kotlarında gelişmiş olan heyelan

# 6. HASARLARA İLİŞKİN BAZI GENEL GÖZLEMLER

6 Şubat 2023 Kahramanamaraş Depremleri; oldukça yüksek ivmeler üretmiş ve çok geniş bir alanı etkilemiş olmaları nedeniyle çok fazla sayıda can kaybının yanı sıra, yerleşim birimlerinde çok fazla sayıda binanın toptan göçmesine ve farklı derecelerde hasara uğramasına, ayrıca karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ağları ile bunlarla ilgili köprü, viyadük ve tünel gibi yapılarda, sanayi tesislerinde, enerji hatlarında, gömülü alt yapı elemanlarında ve bazı barajlarda hasara neden olmuşlardır. Kuşkusuz bu tür hasarlara ilişkin ayrıntılı değerlendirmeler inşaat mühendisliği disipliniyle yakından ilgilidir. Bununla birlikte yazarlar, deprem bölgesinde yaptıkları incelemeleri sırasında karşılaşmış oldukları yukarıda belirtilen hasarlarla ilgili olarak bu raporda bazı örneklerle birlikte kısaca bilgi verilmesinin okuyucu açısından yararlı olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu amaçla, yazarların incelemeleri sırasında izledikleri güzergah boyunca görebildikleri hasarlara ilişkin gözlemleri bazı ön değerlendirmelerle birlikte bu bölümde kısaca sunulmuştur.

#### 6.1. Yapısal Hasarlar

#### (a) Kubbeli ve minareli yapılar (camiler):

Türkiye'de meydana gelmiş önceki depremlerde de gözlendiği gibi, bu son iki depremde de camilerin ana yapısını oluşturan ve yapısal olarak simetrik olan kubbeli kısımlarının ya hasarsız, ya da az-orta derecede hasara maruz kalmış oldukları görülmüştür (Şekil 6.1). Kubbelerin hasara maruz kalması özellikle deprem sırasında devrilen minarelerin kubbelerin üstüne düşmesiyle meydana gelmektedir. Deprem bölgesinde cami hasarlarının daha çok minarelerin devrilmesi veya sadece şerefelerinin düşmesi şeklinde meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, bazı camilerde cami binasının da hasar gördüğü durumlar söz konusudur (Şekil 6.1.a-b). Bunun yanı sıra, herhangi bir hasara maruz kalmamış ve minaresi de devrilmemiş cami (Şekil 6.1.c-d) sayısı da fazladır.



**Şekil 6.1.** Kubbeli ve minareli yapılar olarak deprem bölgesinden: (a-b) minaresi devrilmiş ve hasarlı (İslahiye ve Belen) ve (c-d) hasarsız (Ekinözü ve Demirköprü civarı) camilerden örnekler

### (b) Binalar:

Deprem bölgesinde özellikle alüvyal zeminler üzerinde inşa edilmiş bir kaç katlı binaların yanı sıra, çok katlı (yüksek) binalar da oldukça fazladır (Şekil 6.2). Bu binalardan bir kısmı deprem sırasında toptan göçmüş, bir kısmı da farklı derecelerde hasara maruz kalmışlardır. Birbirini izleyen ve kısa zaman aralıklarıyla meydana gelen bu iki ana depremden ilkinde (M<sub>w</sub>7.7) toptan göçmeye maruz kalmamış ancak farklı derecelerde hasara uğramış binaların bir kısmı büyüklüğü yine oldukça fazla olan ikinci ana deprem (M<sub>w</sub>7.6) sırasında yıkılmış ve/veya daha fazla hasara uğramışlardır. Dolayısıyla iki büyük depremin ardarda meydana gelmesi hasarların artmasında etkili faktörlerden biri olmuştur. Ayrıca bu iki büyük deprem ülkemizde meydana gelen önceki depremlerdekine göre çok daha yüksek olan yer ivmelerine neden olmuştur ve DAF'ı içeren bölge için tasarımda kullanılmak üzere beklenen yer ivmesi değerlerinin olukça üzerindedir. Bu durum hem binalar hem de diğer yapılar açısından yıkım ve hasar derecesini arttırmıştır.



(c)



**Şekil 6.2.** Deprem bölgesinde hem kaya hem de alüvyal zeminler üzerinde inşa edilmiş çok katlı apartman ve işyeri bloklarına örnekler: (a) Elbistan, (b) Kaharamanmaraş, (c) Gaziantep

Bu raporun yazarlardan ikisi (R. Ulusay ve H. Kumsar) ülkemizde meydana gelmiş başlıca bazı depremlerle (1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli, 1999 Düzce, 2002 Çay-Eber, 2003 Bingöl, 2011 Van-Erciş) ilgili inceleme çalışmalarına katılmış ve bunların raporlarının (Aydan vd., 1998, 2000a, 2000b, 2003, 2012; Ulusay vd., 2002) hazırlanmasında görev almış olup, bu incelemeler sırasında yazarlarca yapılan gözlemlere göre bu son iki depremde binaların yıkılma ve hasar görme nedenlerinin genel olarak ülkemizde meydana gelmiş önceki depremlerdekilerle aynı oldukları söylenebilir. Söz konusu nedenler; 2023 Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği bölgeden örnekler de verilerek aşağıda kısaca belirtilmiştir.

(i) Yumuşak (zayıf) kat: Yumuşak kat olgusu; giriş katlarının dükkan, mağaza, garaj, galeri, depo vb. gibi ticari amaçlarla kullanılmasından, kat yüksekliğinin olağandan daha fazla olmasından ve gerekli dolgu ve perde duvarların bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda en alt kat göçmekte ve diğer katlar bunun üstüne sandviç yapısına (pan-cake mode) benzer şekilde yıkılmaktadır. Kahramamaraş depremlerinde de yapıların göçmesinde ve hasara maruz kalmasında yumuşak kat olgusunun en önemli faktörlerden biri olduğu pek çok yerleşimdeki göçme ve hasarlardan görülmektedir (Şekil 6. 3).



Şekil 6.3. Deprem bölgesinden yumuşak kat olgusu nedeniyle toptan göçen veya hasara uğramış binalardan tipik bazı örnekler

(ii) Kötü işçilik ve yapım hataları: Bu kategorideki başlıca nedenler; kolon ve kiriş bağlantılarının deprem yönetmeliğinin gerektirdiği şekilde yapılmaması, kullanılan demirlerin çaplarının tasarımda önerilenden küçük olması, etriyelerin bağlanma şeklinin ve ayrıca beton için kullanılan kum ve çakılın tane boyu dağılımının uygun olmaması ve beton harcının iyi karılmamasıdır. Deprem bölgesindeki göçmüş ve/veya hasarlı binalardan bazılarında betonun elle bile ufanalabildiği görülmüş ve bazı betonlarda ise ağırlıklı olarak iri çakıllar söz konusu olup, bazılarında ise ince tanenin azlığına karşın çakıl miktarının çok fazla oluşu dikkat çekmektedir. Bu tür durumlarda kolonlar bağlantı yerlerinden ayrılarak kaykılmakta ve yapıların yana yatmalarına veya göçmelerine neden olabilmektedirler (Şekil 6.4).

(iii) Rezonans olgusu: Yapıların doğal salınım sürelerinin yapıya etkiyen deprem dalgası süresi ile çakışması olarak tanımlanan rezonans olgusu yapıların yıkılmasına neden olabilmektedir. 4-8 katlı betonarme binaların doğal salınım süreleri (periyotları, T) 0.2-0.4 saniye arasında değişmektedir. Deprem bölgesinde bu aralıkta kat sayısına sahip ve hasar görmüş ya da yıkılmış çok sayıda bina bulunmakta olup, bunlardan bazılarında rezonans olgusunun etkili olmuş olması kuvvetle muhtemeldir.



Şekil 6.4. Kötü işçilik ve yapım hatalarına deprem bölgesinden bazı örnekler

(v) Bitişik binaların tokuşması: Deprem dalgaları ilerlerken farklı salınımlarından dolayı binalar birbirleriyle tokuşabilmekte (domino etkisi) ve tokuşma sırasında yapıdan yapıya iletilen yük nedeniyle binalarda hasar, ya da cadde ve sokak köşelerinde inşa edilmiş binaların yıkılması da söz konusu olabilmektedir. Deprem bölgesinde yıkılmamış olmakla birlikte, aralarında boşluk bırakılmadan yanyana inşa edilmiş ve bu faktör nedeniyle hasara maruz kalmış çok katlı üç binanın görüntüsü Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Yanyana inşa edilmiş ve tokuşma nedeniyle hasar görmüş 3 yüksek bina (Kırıkhan)

(vi) Sıvılaşma ve yanal yayılma: Sıvılaşma potansiyeline sahip olan zeminler üzerinde inşa edilmiş binalarda taşıma gücü kaybından dolayı meydana gelen oturma ve yana/geriye yatma ve yanal yayılma kaynaklı zemin deformasyonları da yapılar açısından olumsuz diğer faktörlerdir. Bu olgular, deprem bölgesinde yazarların inceledikleri yerleşimlerden İskenderun ve Gölbaşı ilçeleri ile Demirköprü Mahallesi'ndeki yapı hasarlarında rol oynayan fakörlerden biri olmuştur. Bu hasarlarla ilgili hususlar ve örnekler raporun 5. Bölüm'ünde yeterli ayrıntıda verildiği için burada tekrar edilmemiştir. Ayrıca, daha yüksek binalarla karşılaştırıldığında, tek ve iki katlı binalar sıvılaşmaya karşı zeminde oturma ve/veya yana yatma davranışı açısından çok da iyi bir performans gösterdiklerine ilişkin tipik örnekler Gölbaşı ilçesinde görülmektedir (bknz. Şekil 5.31).

## (c) Tarihi geleneksel yığma yapılar:

Deprem bölgesinde yığma yapı türünde inşa edilmiş olan tarihi yapılardan bazıları da bu depremler sırasında hasar görmüştür. Bu yapılardan biri olan ve ne zaman inşa edildiği bilinmemekle birlikte, Hititler döneminde gözlem amaçlı kullanıldığı bilinen (wikipedia.org) Gaziantep Kalesi kireçtaşından oluşan bir tepenin üzerinde yer almaktadır. Kale bu depremde oldukça hasara uğramıştır. Kalenin kuzey cephesinde payanda kısmı yıkılmış ve bunun içine doldurulmuş bloklar yamaç boyunca alt kotlara yuvarlanmışlardır. Kalenin GB kesiminde kemerler arasındaki duvar da yıkılmış olup, bunun devamındaki burçlardan bloklar düşmüştür. Kalenin diğer cephesinden de bloklar düşmüş ve en alttaki dış cephe duvarı bazı yerlerde kaldırıma doğru devrilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Depremde hasar gören Gaziantep Kalesi'nin farklı cephelerinde meydana gelen hasarlardan görüntüler

Kaya şevleriyle ilgili olarak yapılan model deneylerin sonuçları (Aydan vd. 1991, 2003), şevin/yamacın üst kısmında ivme değerlerinin yüksek olup, bu değerlerin şevin/yamacın taç kısmına doğru büyütüldüğünü göstermiştir. Bu durum, topoğrafik etkiden dolayı sarp kayalıklarda gelişen muhtemel yer büyütmelerinin varlığını desteklemektedir. Bu büyütme etkisi; 2003 Bingöl depremi sırasında bir köyde ve Bingöl kent merkezinde (Ulusay ve Aydan, 2005) ve ayrıca 2011 Van –Erciş depreminde (Aydan vd., 2012) eğimli yamaçlardaki bazı yapılarda gözlenmiştir. Gaziantep Kalesi de kayalık bir yamacın tepe kısmında inşa edilmiş olması nedeniyle, yukarıda değinilen depremlerde olduğu gibi, kalenin hasar görmesinde bu yamacın taç kısmında gelişmiş olabilecek muhtemel bir büyütmenin de etkisi olabilir. Bununla birlikte, bu hususun ayrıca araştırılması önerilir.

Ayrıca kalenin inşa edildiği tepenin eteklerine yakın kotlarda tarihi dönemde kazılarak oluşturulmuş yarı yeraltı açıklıklarının deprem sırasında göçmedikleri ve duraylılıklarını korudukları görülmektedir (Şekil 6.7). Kalede meydana gelen hasarlar insanlara zarar vermemiş ve çevredeki evlerde ve dükkanlarda bir hasara da neden olmamıştır. Ayrıca kalenin kuzey yamacına bakan meydanda bulunan tarihi hamamda herhangi bir hasar görülmemektedir (Şekil 6.8).

Gaziantep Kalesi'nin batısında ve karşısındaki kaldırımın kenarında bulunan 17'nci yüzyılda inşa edilmiş Şirvan Camii'nin doğu cephesindeki duvarında kısmi bir yıkılma ve çatısında da bir hasar söz konusu olup, caminin ayrıca minaresi de devrilmiştir (Şekil 6.9a). Bunun yanı sıra, kalenin çaprazındaki sokakta bulunan 16ıncı yüzyılda inşa edilmiş Tahtani Camii'nin minaresindeki bazı blokların arasında küçük oynamaların meydana geldiği görülmekte olup, çarşı sakinlerinden caminin bu nedenle onarım amacıyla bir süreliğine hizmete kapatıldığı öğrenilmiştir (Şekil 6.9b).



Şekil 6.7. Gaziantep Kalesi'nin inşa edildiği yamacın topuk kesiminde kireçtaşı içinde açılmış ve deprem sırasında duraysızlığa maruz kalmamış yarı yeraltı açıklıkları



Şekil 6.8. Gaziantep Kalesi'nin kuzey yamacına bakan meydandaki hasarsız tarihi hamam



**Şekil. 6.9.** Gaziantep'te kalenin yakınında (a) hasar gören Şirvan Camii ve (b) minaresindeki bloklarda oynamanın meydana geldiği Tahtani Camii

6 Şubat 2023'te meydana gelen ikinci ana depremin ( $M_w7.6$ ) etkilediği Kahamamaraş'ın Göksun ilçesinde 1922'de inşa edilmiş bir yığma yapı olan Büyük (Ulu) Cami'nin minaresi bu depremde Mevlana Caddesi tarafına devrilmiş ve caminin giriş kapısının da bulunduğu ana cephesindeki duvarı Atatürk Caddesi'ne doğru kısmi bir yıkılmaya maruz kalmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6. 10. Duvarı kısmen yıkılan ve minaresi devrilen Göksun'daki Ulu Cami

## (d) Pre-fabrik betonarme çerçeveli sanayi yapıları:

Yazarların deprem bölgesindeki bazı sanayi bölgelerinde sınırlı sürede yaptıkları gözlemlerde özellikle Hatay ve Kahramanmaraş yörelerindeki sanayi tesislerinin en fazla hasara maruz kaldıkları anlaşılmaktadır. Bu gözlemler sırasında fazla sayıda pre-fabrik betonarme çerçeveli yapının göçtüğü ve hasara uğradığı görülmüştür. Bu yapılarda sarsıntı sırasında tavan kirişlerinde yapısal olarak büyük açılmalar ve kaymalar meydana gelmiş olup, dirsekler üzerindeki kirişlerde bağlantıların kısalığı ve yetersizliği nedeniyle gelişen çatlama ve kırılmalar ile kalıcı deformasyonların bu yapıların çökmesinde veya hasara uğramasında önemli bir rol oynadığı

söylenebilir (Şekil 6.11). Bu tür yapıların maruz kaldıkları hasarlar 1998 Adana-Ceyhan depreminde (Adana Organize Sanayi Bölgesi hasarları; Aydan vd., 1998) ve 1999 Kocaeli depreminde (özellikle Adapazarı'ndaki TCDD Vagon Fabrikası, Aydan vd., 2000a) ve sonrasındaki depremlerin raporlarında belirtilmiştir (örneğin; Aydan vd., 1998, 2000a, 2000b; Ulusay vd., 2002; Aydan vd., 2003, 2012). Buna rağmen bu tür yapılarda aynı hasarların bu son depremlerde de görülmüş olmasının geleceğe yönelik önlemler açısından dikkate alınmasında büyük yarar vardır.



Şekil 6.11. Hasarlı ve göçmüş pre-fabrik betonarme çerçeveli yapılardan bazı görüntüler

### (e) Ulaşım yapıları:

Kahramanmaraş depremleri sırasında karayolu ve demiryolu gibi ulaşım yapıları da yüzey kırığı tarafından kesilmiş ve yanal yayılmanın etkilediği yerlerde yatay ve düşey yönlerde yerdeğiştirmeye, dolayısıyla hasara maruz kalmışlardır. Bu yapılar, ulaşım hizmetlerinin aksamaması amacıyla ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından onarım çalışmaları tamamlanarak hizmete açılmıştır. Bu nedenle yazarların deprem bölgesinde yaptıkları gözlemler sırasında izledikleri güzergahlarda kısa sürede onarılmış olmaları nedeniyle özellikle karayollarını ilk hasarlı halleriyle görme olanağı olamamakla birlikte, özellikle yüzey kırığı tarafından kesilmiş karayollarının yamanmış veya düzeltilerek yeniden asfalt dökülmüş ve ayrıca ondüleli bir hale gelmiş kesimlerinde bu yol hasarlarının depremle ilişkili olarak meydana geldikleri anlaşılmaktadır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Yazarlar tarafından deprem bölgesinde gözlenmiş karayolu hasarlarından bazı örnekler

Bölgedeki demiryolları da birçok noktada faylar tarafından kesilmiş ve demiryolu hattı üzerinde deprem yüklerinin neden olduğu deformasyonlar nedeniyle raylarda şekil bozulmaları meydana gelmiştir. Şekil bozulmasına (S yapmış) maruz kalmış rayların bir kısmı yazarların bölgeyi ziyaretleri öncesinde değiştirilmiş olup, Gölbaşı ve Türkoğlu ilçelerinin yakınında henüz değiştirilmemiş olan hasarlı raylardan yazarlarca alınmış iki görüntü Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13. Demiryolu raylarındaki hasarlardan iki görüntü (Gölbaşı ve Türkoğlu yakınları)

Ayrıca kaya düşmeleri sırasında karayolu ve demiryollarında çok iri bloklar hasarlara neden olmuştur. Bunlarla ilgili bilgi ve görüntüler raporun 6 no.lu bölümünde verildiği için söz konusu hasarlardan burada tekrar bahsedilmemiştir. Bununla birlikte, kaya düşmelerinin, özellikle çok iri blokların karayollarına zarar vermesiyle ilgili bir örnek Şekil 6.14'te görülmektedir.



Şekil 6.14. Karayoluna düşen iri bir kaya bloğunun yolda neden olduğu hasar (Sakçagöz)

# (f) Köprüler:

Yazarların inceleme güzergahlarında karşılaştıkları hasar görmüş köprü sayısı fazla olmayıp, görülebilenlerle ilgili kısaca bilgi verilmiştir. Bunlardan biri; Hatay Eğitim ve Araştırma Hastanesi'ne yakın bir yerde ve daha yakın zamanda Hatay Belediyesi tarafından inşa edilmiş hasarsız diğer bir köprünün yanında olup, sarsıntı sırasında mutemelen köprü ayaklarının açılmasıyla desteğini yitiren üstteki tabliyeler düşerek köprünün kullanılamaz hale gelmesine yol açmıştır (Şekil 6.15).

Yazarların karşılaştığı hasarlı diğer bir köprü ise, Türkoğlu ilçesi Organize Sanayi Bölgesi'nin doğusundaki demiryolu köprüsüdür (Şekil 6.16a). Yüzey kırığı demiryolunu kesecek şekilde bu köprünün yaklaşık 20 m ötesinden geçmekte olup, demiryolunun yanındaki beton bir su kanalını da ötelemiştir (Şekil 6.16b). Köprünün üzerinde bulunduğu demiryolunun kenarlarındaki tarlalarda aynı zamanda sıvılaşma da meydana gelmiştir. Bu etkiler köprünün ayaklarında bir miktar oynamanın meydana gelmesine ve beton kısmında bazı çatlakların gelişmesine neden olmuştır (Şekil 6.17c). Bu durum üzerine köprünün alttan ahşap takozlar yerleştirilerek desteklenmiş olduğu görülmektedir (Şekil 6.17d). Bu köprü ile bunun KB'sındaki Kılılı Mahallesi arasında bulunan karayolu köprüsü ise hasarsızdır (Şekli 6.18).





Şekil 6.15. Hatay Eğitim ve Araştırma Hastanesi yakınındaki yıkılmış ve diğeri hasarsız 2 köprü



**Şekil 6.17.** Türkoğlu-Narlı yolu üzerindeki demiryolu köprüsünden görüntüler: (a) köprüye Türkoğlu-Narlı karayolundan bakış, (b) yüzey kırığından etkilenmiş köprünün yanındanki su kanalı, (c) beton kısmında gelişmiş çatlaklar, (d) köprünün alttan ahşap takozlarla detseklenmesi



Şekil 6.18. Kılılı Mahallesi yakınlarındaki hasarsız köprü

## (g) Tüneller:

Deprem bölgesinde bazı karayolu ve demiryolu tünellerinde deprem nedeniyle meydana gelmiş hasarlar yazılı basında ve bazı inceleme gruplarının raporlarında belirtilmiştir. Ancak, bu raporun yazarları izelmiş oldukları inceleme güzergahında bu tüneller yer almadığı için bunlara ilişkin gözlem ve değerlendirme yapma olanağını bulamamışlardır. Bununla birlikte yazarlar, Kahramanmaraş üzerinden ikinci ana depremin (M<sub>w</sub>7.6) meydana geldiği Göksun-Afşin-Elbistan kesimine giderlerken dağlık bölgede ard arda açılmış olan ve tümüne birden Edabiyat Tünelleri adı verilen 11 adet tünelden geçmişlerdir. Yazarlar; uzunlukları 275 m ile 4034 m arasında değişen bu tünellerde herhangi bir hasar ve tünel giriş ve çıkışlarında da herhangi bir kaya düşmesi, heyelan vb. gibi duraysızlıklarla karşılaşmamışlardır. Bu tünellerin ikisinden alınmış görüntüler örnek olarak Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Kahramanmaraş ile Göksun arasındaki hasarsız Edebiyat Tünelleri'nden biri

### (h) Kayadan oyma yeraltı açıklıkları:

Gaziantep kentinde mevcut yapılaşmanın altında geçmişte masif kireçtaşı içinde açılmış kayadan oyma yeraltı açıklıkları bulunmaktadır. Bu açıklıklardan iyi bilinen bir tanesi (Şekil 6.20a) yazarlarca incelenmiştir. Bu açıklıkların giriş ve çıkışlarında ve ayrıca içlerinde oldukça geniş topuklar bırakılmış olup, girişlerden birinin genişliği 8 m, topukların genişliği ise 4-5 m olarak ölçülmüştür. Açıklığın yüksekliği 8-9 m kadar olup, yüzeyde ise yoğun bir trafik akışı söz konusudur ve 3-4 katlı binalar bulunmaktadır (Şekil 6.20b-c). Yerel halktan alınan bilgiye göre, Gaziantep'te bu yeraltı açıklıklarının geçmişte hayvancılık ve dokuma tezgahları için kullanıldığı öğrenilmiştir. İncelenen ve boyutları yukarıda verilen bu yeraltı açıklığında herhangi bir duraysızlık belirtisi ve hasar görülmemiştir.

(a)





(c)



**Şekil 6.20** Gaziantep'te kireçtaşı içinde açılmış çok geniş yeraltı açıklıklarından birinin (a) dıştan ve (b) içten görünümü ve (c) açıklığın üzerindeki yerleşimden ve trafikten bir görünüm

## (i) Su kuleleri, tanklar, silolar ve nakil hatları-elektrik direkleri:

Yazarlar deprem bölgesinde izledikleri güzergahta bir kaç *su kulesi* ile karşılaşmış olup, bu kulelerin hasarsız oldukları görülmüştür (Şekil 6.21a). Su kulelerinin yüksekliği genellikle 25 ile 30 m arasında değişmektedir ve bunlar simetrik yapılardır. Kulelerin tepesindeki tanklar su ile dolu olduğu için depremle ilgili sarsıntının etkisini karşılamak üzere sönümleyici bir görev yaparak

hasara engel olabilmektedir. Bölgede yazarlar bazı tesislerde *tanklarla* da karşılaşmış olup, bunlar hasarsızdır (Şekil 6.21b).



Şekil 6.21. Deprem bölgesinde yazarların karşılaştığı hasarsız (a) bir su deposu ve (b) tanklar

Yazarlar tarafından gözlenen bazı *siloların* sağlam ve deprem sırasında hasar görmemiş olmasına (Şekil 6.23a) rağmen, bazı siloların tamamen yıkıldığı veya hasara maruz kaldığı gözlenmiştir. Bu silolardan bazıları, örneğin Şekil 6.23b-c'den görüldüğü gibi, bükülme nedeniyle tabanlarından kırılmışlardır.



Şekil 6.22. Deprem bölgesinde (a) hasarsız ve (b-c) hasarlı silolardan seçilmiş görüntüler

Yazarların deprem bölgesinde izledikleri güzergahta karşılaştıkları *yüksek enerji nakil hatlarında* hasar görülmemiş olup (Şekil 6.23a), bazı elektrik ve aydınlatma direklerinde bükülme (Şekil 6.23b) ve elektrik direklerinin yana yattıkları (Şekil 6.26c) ve kırılmalar (kaya düşmesi vd. nedenlerle) olduğu (Şekil 6.23d-e) saptanmıştır. Ülkemizde meydana gelmiş önceki depremlerde olduğu gibi, tepesi ağır yapı olarak sınıflandırılabilecek trafolu elektrik direklerinde trafolar sarsıntının etkisiyle yerlerinden oynayarak hasar görmüştür (Şekil 7.23f-g).



**Şekil 6.23.** (a) Hasarsız yüksek enerji nakil hattı ve (b-c) eğilmiş, (d-e) kırılmış elektrik ve aydınlatma direkleri ve (f-g) hasarlı trafolu elektrik direkleri

### (j) Barajlar:

Kaharamanmaraş depremlerinden sonra görsel ve yazılı basında; DSİ Genel Müdürlüğü yetkilileri tarafından deprem bölgesinde 140 adet baraj, gölet vb. gibi su tutma yapısının bulunduğu ve bunlardan bir kısmında hasar, bir kısmında da çatlaklar oluştuğu açıklanmış ve tüm barajlar ile göletlerin rutin olarak ve titizlikle incelenmekte ve kontrol atında tutulmakta olduğu duyurulmuştur. Kısıtlı inceleme sürelerinin oluşu ve bölgede çok sayıda su yapısının bulunyor olması nedeniyle yazarlar sadece güzergahları üzerindeki en yakın baraj olan Yarseli Barajı'nı incelemişlerdir.

Yarseli Barajı Hatay'ın Antakya ilçesinde, Beyazçay üzerinde sulama amacıyla 1985-1989 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Toprak gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 2.563.000 m<sup>3</sup>, akarsu yatağından yüksekliği 42 m, normal su kotunda göl hacmi 55 hm<sup>3</sup>, normal su kotunda göl alanı ise 3,98 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24. Antakya yerleşiminin GD'sundaki Yarseli Barajı'nın Google görüntüsü

Yazarların bu baraj yerinde yaptıkları gözlemde baraj gövdesi üzerinde baraj ekseni boyunca uzun çatlakların oluştuğu ve bunların barajın orta kesimine yakın bir yerden itibaren iki ana hat halinde ilerlediği görülmektedir (Şekil 6.25). İnceleme sırasında görülebildiği kadarıyla söz konusu çatlakların derinliklerinin 5 ile 60 cm, bu çatlaklar arasındaki ayrılmanın ise 30-40 cm arasında değiştiği ölçülmüştür (Şekil 6.26). Ayrıca propet betonunun derzlerinde baraj eksenini kesen ve açıklığı milimetre boyutunda sistematik çatlaklar da göze çarpmaktadır. Barajın tepe kısmındaki ufak kulübede geriye doğru bir yatma da söz konusudur (Şekil 6.27a). Rezervuardaki su seviyesi oldukça düşüktür (Şekil 6.27c).



Şekil 6.25. Yarseli Barajı'nın tepe kısmında deprem etkisiyle baraj ekseni boyunca gelişmiş çatlakların barajın farklı kesimlerinden görünümleri



Şekil 6.26. Yarseli Barajı'nın kret kotundaki (tepesindeki) çatlağın derinliğinin ve açıklığının en fazla arttığı kesimden bir görüntü



**Şekil 6.27.** Yarseli Barajı: (a) gövdede geriye yatmış ölçüm sistemi kulübesi ve (b) rezervuardaki güncel su seviyesinden bir görünüm

## 6.2. Yüzey Kırığının Yapılar Üzerindeki Etkileri

Bu alt bölümde, yazarların yüzey kırığının kestiği veya yanından geçtiği yapılar üzerindeki etkisi ile ilgili gözlem ve değelendirmeleri ana hatlarıyla sunulmuştur. Bu değerlendirme yapılırken yazarların incelemeleri sırasında izledikleri güzergah üzerinde sadece yüzey kırığının kestiği veya hemen yanından geçtiği yapılar esas alınmıştır. Karayolu ve demiryolu gibi çizgisel yapıların yüzey kırığı tarafından kesilmesiyle ilgili hasarlara Bölüm 6'da ulaşım hatları başlıklı 6.1 no.lu alt bölümde kısaca değinildiği ve karşılaşılan hasarlardan örnekler verildiği için yüzey kırıklarının bu tür yapılara etkisi konusuna bu bölümde tekrar değinilmemiştir. Yazarların sahadaki gözlemleri sırasında karşılaştıkları ve yüzey kırığından etkilenmiş olan dört bina Hatay'ın Hassa ilçesinde,

diğeri ise Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesine bağlı Şekeroba Mahallesi'ndeki bir ortaokula ait binalar (biri yüzey kırığından etkilenmiş ve diğer ikisi ise etkilenmemiş toplam 3 bina) olup, yazarların gözlemleri aşağıdaki paragraflarda sunulmuştur.

K20D doğrultulu yüzey kırığı, Hassa ilçesinin Derviş Paşa Mahallesi'ndeki Hürriyet Caddesi üzerinde caddenin her iki tarafında karşılıklı konumdaki ikişer komşu binanın arasından geçmiştir. Caddenin güney cephesindeki iki ev de göçmemiş ve duvarlarında bazı hasarlar oluşarak birbirlerine göre 2.6-3 m'lik bir sol yanal atımla ötelenmişlerdir. Şekil 6.28a'den görüleceği gibi, bu cephedeki iki evden bej renkli ve iki katlı olan ev açık yeşil renkli (biri yumuşak kat olmak üzere 2 katlı) eve göre sol yanal atımla yer değiştirmiştir. Bu iki ev arasındaki atım miktarı Şekil 6.28b'deki fotoğraftan daha net olarak görülmektedir. Bitişik konumlu bu iki evin bulunduğu caddenin karşı kaldırımında ise, tek katlı ve dükkan olarak kulanılan bir bina ile buna bitişik konumda inşaat kalitesi çok düşük olan tek katlı diğer bir yapı bulunmaktadır (Şekil 6.28c). Dükkan olarak kullanılan bina göçmemiş, ancak kolonlarının hasar görmesiyle batıya doğru kaykılmıştır. Buna komşu olan diğer yapının çatısı göçmüş ancak bina ağır hasar almakla birlikte toptan göçmemiştir. Ayrıca bu iki bina arasındaki sol yanal ötelenme de net şekilde görülmektedir.

Yüzey kırığının etkisinin değerlendirilebileceği diğer örnekler ise Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesine bağlı Şekeroba Mahallesi'nde aynı alan içinde farklı zamanlarda inşa edilmiş okul binalarıdır (Yunus Emre Ortaokulu). Alüvyon üzerinde inşa edilmiş bu binalardan en eski olanı okul alanında en geride yer alan tek katlı ve yaklaşık kare şeklinde inşa edilmiş bir bina olup (Şekil 6.29), inşaat kalitesi açısından (çimentonun çok az ve genelde çakılın egemen olduğu çok kötü kaliteli beton, etriyelerin yetersizlik ve kötü bağlantı durumu, zayıf kolon kiriş bağlantıları vd.) oldukça kötü koşullara sahiptir. Okul bahçesine KD doğrultulu olarak giren ve K20D doğrultusunda devam eden yüzey kırığı (Şekil 6.30a) bahçe içinden ve bu binanın altından geçip binaya hasar vermiştir (Şekil 6.30b). Ancak bina toptan göçmeye maruz kalmamış ve kırılan bazı kolonları nedeniyle bir kısmı yan yatmıştır (bknz. Şekil 6.28a).





**Şekil 6.28.** Hassa ilçesinde faylanma sonucu 3 m kadar sol yanal atımla göreceli olarak hareket etmiş binalar: (a-b) Hürriyet Caddesi'nin güney ve (b) kuzey cephesindeki binalar



**Şekil 6.29.** Şekeroba Mahallesi'ndeki Yunus Emre Ortaokulu sahasındaki en eski ve inşaat kalitesi çok düşük olan tek katlı okul binasından görüntüler.



**Şekil 6.30.** Şekeroba Mahallesi'ndeki Yunus Emre Ortaokulu'na (a) yüzey kırığının net gözlendiği ve okula girdiği arka bahçe kısmı ve (b) kırığın okulun en eski binasınının altından geçişi

Yukarıdaki paragrafta değinilen en eski binanın inşasından sonraki bir tarihte aynı bahçede inşa edilmiş 2 katlı diğer okul binası ise, yana yatan binaya ve söz konusu yüzey kırığına 60 m kadar bir mesafede olup (Şekil 6.31a), depremde herhangi bir hasara maruz kalmamıştır (Şekil 6.31b).



Şekil 6.31. Yunus Emre Ortaokulu alanında (a) Şekil 6.29'da görülen binadan daha sonra inşa edilmiş okul binasının yüzey kırığına göre konumu ve (b) hasar görmemiş bu binanın yakından görünümü

Bu okulun bahçesinde inşa edilmiş en yeni bina ise Şekil 6.32a'da görülen bina olup, bu bina da 2 katlıdır. Bu binayı okul alanında daha önce inşa edilmiş diğer binalardan ayıran en önemli özellik binanın inşasında Şekil 6.32b'de sarı okla gösterilen çelik konstrüksiyonun kullanılmış olmasıdır. Bu nedenle, Şekil 6.32c-d'den görüleceği gibi, binanın yönetmeliklere göre uygun şekilde inşa

edilmiş olması, özellikle de çelik konstrüksiyonun varlığı nedeniyle yüzey kırığı binaya bir hasar vermeden binanın hemen yanından geçmiştir.

Yukarıda verilen ve yazarların karşılaştıkları sınırlı sayıda bir kaç örnek; tek ve 2 katlı binaların bile deprem yönetmeliklerine uygun şekilde inşa edilmemeleri ve yüzey kırıklarının bu yapıların altından veya çok yakınından geçmeleri halinde toptan göçmeye veya büyük hasara maruz kaldıklarını, bununla birlikte, yönetmeliklere uygun şekilde ve gerekli güçlendirici önlemler de dikkate alınarak inşa edilmeleri halinde ise, altlarından veya çok yakınlarından geçen yüzey kırığı nedeniyle toptan göçmeye maruz kalmaksızın az hasarla veya herhangi bir hasar görmeden ayakta kalabilme şansının olacağını göstermektedir. Buna benzer örnekler 1999 Düzce-Bolu depreminde de görülmüş olup, tek veya iki katlı bazı binaların ağır hasara maruz kaldıkları, bir kısmının ise herhangi bir yapısal hasara uğramadıkları bilinmektedir (Aydan vd., 2000b). 1999 Düzce depreminde değerlendirilen 1-2 katlı örnekler yanal atımlı bir faya ait yüzey kırığının yapının altından kolayca kayabildiği sürece büyük bir hasara neden olmamasına karşın, düşey yöndeki



**Şekil 6.32.** Yunus Emre Ortaokulu'na ait (a) en yeni bina, (b) bu binada kullanılan çelik konstrüksüyon (sarı oklar) ve (c-d) çelik konstrüksüyonun varlığı nedeniyle yüzey kırığının (kırmızı oklar) binaya hasar vermeden binanın kenarından geçerek izlediği yol

göreceli yer değiştirmenin yapıya olan etkisinin oldukça büyük olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla

yüzey kırıklarının neden olacağı hasarların engellenmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, yüzey kırığı olgusundan kaynaklanabilecek hasarların en aza indirilebilmesi açısından ve "doğanın bizzat kendisinin en iyi laboratuvar olduğu" gerçeğinden hareketle bu raporda sınırlı sayıda tek ve 2 katlı bina örneği için değinilen yüzey kırığı hasarlarının Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği bölgede bu olgunun etkisi altında kalmış daha fazla sayıda benzeri binalarda da deprem bilimi ve mühendisliği konusuyla ilgili meslek grupları tarafından müştereken incelenip değerlendirilmesinin gelecekte ülkemizde meydana gelebilecek yeni depremlere karşı alınabilecek hasar azaltma önlemleri için yararlı bilgiler sağlayacağı göz ardı edilmemelidir.

### 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu ön raporda; 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (M<sub>w</sub>7.7 Pazarcık ve M<sub>w</sub>7.6 Ekinözü depremleri) ile ilgili olarak belirlenen bir güzergah üzerinde yaklaşık 5 günlük bir süre boyunca gerçekleştirilen saha gözlemleri ve elde edilen bilgiler çerçevesinde mühendislik jeolojisi/jeoteknik açısından bazı ön değerlendirmeler yapılmış ve hasarlara ilişkin genel gözlemler sunularak başlıca sonuçlar aşağıdaki paragraflarda kısaca verilmiştir.

Pazarcık ve Ekinözü depremleri sığ derinlikte meydana gelmiş, uzun salınım süresine sahip ve çok geniş bir alanda kuvvetli yer hareketlerine neden olmuş depremlerdir. Her iki deprem de Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonu'nun başlıca segmentleri üzerinde meydana gelmiştir. Pazarcık depremi yazarların izledikleri güzergah boyunca Amanos, Pazarcık ve Narlı segmentleri, Ekinözü depremininki ise Çardak segmenti boyunca gelişmiştir. Bununla birlikte, deprem bölgesinde incelemeler yapan diğer bazı kurum ve kuruluşların raporlarında yüzey kırıklarının her iki depremde biraz daha uzak mesafelere kadar uzandığı belirtilmektedir. Bu kurum ve kuruluşlara göre ayrıca toplam yüzey kırığı uzunluğunun 340 ile 400 km arasında değişmekte olduğu da rapor edilmistir. Her iki depremde gözlenen yüzey kırıklarından depreme neden olan segmentlerin sol yanal atımlı faylar ve bunların genel yönelim olarak Pazarcık depreminde KD-GB ve Ekinözü depreminde ise DKD-BGB doğrultulu oldukları belirlenmiş olup, yüzey kırığına ilişkin bu gözlemler çeşitli kurum ve kuruluşlarca her iki deprem için yapılan fay düzlemi çözümlemelerini desteklemektedir. Mw7.7 olan Pazarcık depreminde yanal atımın yanı sıra normal atım bileşeni de söz konusu olup, yazarlarca ölçülmüş sol yanal atımlar 0.5 ile 3.7 m, düşey atım ise 0.25-1.0 m arasında değişmektedir. Bununa birlikte, bu depremlere neden olan segmentlere ait yüzey kırığının sürekli izlendiği aktif tektonik ağırlıklı çalışmalarda 6-7 m'ye varan yanal atımların gözlendiği rapor edilmiştir. Özellikle Amanos segmentinin sekmeli (sıçramalı) bir yapıya sahip olması nedeniyle yüzey kırığı kısmen alüvyal istif içinde ilerlemiş olup, Ekinözü depremine neden olan Çardak fayına ait yüzey kırıkları ise, genellikle kaya ortam içinde gözlenmiştir.

Bu depremlerde; sıvılaşma ve buna bağlı yanal yayılma hareketi, büyük çaplı heyelanlar ve çok fazla ve yaygın şekilde kaya düşmeleri ve günümüze değin meydana gelen depremlerdekine göre en geniş alan etkilenmiş, en fazla can kaybı ve en büyük yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Deprem bölgesinde alüvyal çökeller çok geniş alanlarda yayılım göstermekte olup, temel kayasının derinde ve yeraltısuyu tablasının ise sığ derinliklerde olduğu bu tür ortamların varlığı ve önceki depremlerdekine göre bu depremlerde çok daha yüksek ivmelerin de gerçekleşmesiyle yaygın bir sıvılaşma meydana gelmiştir. Ayrıca bölgedeki akarsu, göl ve sulama kanalarının da bulunduğu yerlerde sıvılaşan zeminlerin bu ortamlara doğru hareket etmesiyle yanal yayılma deformasyonları da gerçekleşerek yapılaşmanın olduğu yerlerde hasarlar meydana gelmiş, ancak bu durum can kaybına yol açmamıştır. Bu depremde sıvılaşmanın genellikle yerleşimlerin olmadığı tarla vb. gibi açık alanlarda gerçekleşmiş olması nedeniyle sıvılaşmaya bağlı hasarlar sadece İskenderun ve Gölbaşı ilçeleri ile Hatay'ın Demirköprü Mahallesi'nin Asiş Nehri kıyısı ve kıyıya yakın kesimlerindeki yapılarla sınırlı kalmıştır. Bu nedenle yaygın olmasına rağmen, depremden etkilenen bölgenin genişliği ve bölge genelinde yapısal hasarın çokluğu dikkate alındığında, sıvılaşma ve buna bağlı yanal yayılmanın hasarlar üzerindeki etkisinin görece olarak biraz daha az olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, sıvılaşmadan etkilenmiş yerleşimlerde inşa edilmiş özellikle çok katlı binaların taşıyıcı sistemleri zemine batmış ve/veya yana eğilerek kullanılamaz hale gelmiştir.

Deprem bölgesinin farklı yerlerinden alınmış sıvılaşmış zemin örneklerinde yapılan tane boyu dağılımı analizlerinin sonuçlarna göre, bu zeminlerin en kolay sıvılaşabilir zeminler ve ağırlıklı olarak "kum" ve kısmen de "siltli kum" oldukları anlaşılmaktadır. Bununla birlikte cok geniş alanlar kaplayan alüvyal ovaların her kesiminde sıvılaşmanın gözlenmemiş olması sıvılaşmaya karşı dirençli zeminlerin de varlığı ve bunların kapak zemini olarak kalın olmalarıyla ilişkili olmalıdır. Bu depremlerde gelişen sıvılaşma olgusuna ilişkin değerlendirmeler ayrıca deprem büyüklüğünün artmasıyla sıvılaşmanın daha uzak mesafelerde de meydana gelme olasılığının arttığını göstermektedir. Kahramanmaraş depremlerinin önceki depremlere göre büyüklüğü (M<sub>w</sub>7.7 ve M<sub>w</sub>7.6) dikkate alındığında, odaktan uzaklığın daha büyük değerleri için bile sıvılaşmanın gerçekleşebildiği ve bu depremlerde bu sınırın odaktan uzaklığın 120 km'yi aştığı yerlere kadar ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu nedenlerle sıvılaşma potansiyeline sahip olabilecek ortamlarda zemin koşullarının sıvılaşma ve yanal yayılma açısından çok iyi etüt edilip değerlendirilmelidir. Bu tür zeminler üzerinde inşa edilmesi gereken yapıların zemin etüdü sonuçlarının yapı tasarımında ciddi şekilde dikkate alınıp yönetmeliklerde bu tür zeminlerde inşa edilecek binalar için belirtilen uygun temel tipi seçilerek ve inşaatın ilgili yönetmelikte belirtilen esas ve usullere aynen uyularak gerçeklestirilmesine her zamankinden daha fazla önem verilmesi gerekmektedir. Ayrıca Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaşma olgusundan etkilenen yerleşimlerde çok katlı binaların maruz kaldığı ciddi hasarlar ve tek ya da iki katlı binaların ise bu tür binalarla karşılaştırıldığında sıvılaşmaya karşı çok daha dirençli oldukları ve genelde duraylı kaldıkları dikkate alınarak, bu tür ortamlarda yerleşim gerekiyorsa bina kat sayısının tercihen tek veya en fazla ikiyi aşmaması hususunun değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Önceki depremlerdekilerle karşılaştırıldığında, Kahramanmaraş depremlerinde çok daha yüksek yer ivmelerinin gerçekleşmiş olması bu depremlerde bölgenin dağlık ve tepelik kesimlerinde daha fazla sayıda ve daha iri bloklar hareket ederek kaya düşmeleri meydana gelmiştir. Düşen kaya bloklarının boyutları yüksek ivme nedeniyle özellikle bazı yerlerde 5-6 m'ye kadar ulaşmıştır.

Bu depremlerin tipik bir diğer özelliği de, geçmişteki depremlere oranla, daha fazla sayıda ve oldukça geniş kütleleri kapsayan heyelanların meydana gelmesine neden olmalarıdır. Yazarların da inceleme yaptıkları güzergah içinde yer alan ve gözlem yapma olanağı buldukları Tepehan ve bir heyelan gölünün de oluştuğu Değirmencik heyelanları bunların arasında yer almaktadır. Bunların dışında da büyük bazı heyelanların deprem bölgesinin farklı kesimlerinde meydana gelmiş olduğu depreme ilişkin diğer bazı inceleme raporlarında belirtilmektedir. Bu gelişmede söz konusu depremlerin önceki depremlerde kaydedilen değerlerden oldukça yüksek yer ivmelerini üretmiş olması başlıca etken faktör olarak düşünülebilir. Bu heyelanların geometrilerinin belirlenip kayan jeolojik malzemelerin jeomeknik özelliklerinin tayin edilerek geriye dönük analizlerinin tahmin edilip bunların en yakın kuvvetli her hareketi istasyonlarında kaydedilen ivme değerleriyle karşılaştırılması yararlı olacaktır.

İki büyük depremin aynı gün içinde 9 saat arayla ardarda meydana gelmesi yapısal hasarların artmasında etkili faktörlerden biri olmuştur. Ayrıca bu depremler ülkemizde meydana gelen önceki depremlerdekine göre çok daha yüksek olan yer ivmelerine üretmiş olup, DAF'ı içeren bölge için tasarımda kullanılmak üzere beleirlenmiş olan yer ivmesi değerlerinden yüksektir. Dolayısıyla bu durum hem binaların hem de diğer yapıların yıkım ve hasar derecesini arttırmıştır.

Bu son iki depremde yapıların yıkılma ve hasar görme nedenlerinin genel olarak ülkemizde meydana gelmiş önceki depremlerdekilerle aynı oldukları söylenebilir. Bu nedenler; (a) yumuşak kat olgusu, (b) kötü işçilik ve yapım hataları, (c) zemin koşullarından kaynaklanan rezonans olgusu, (d) bitişik binaların tokuşması ve (e) yapı tasarımında deprem yönetmeliklerinin dikkate alınmamış olması şeklinde sıralanmaktadır. Özellikle "a" ve "b" maddelerindeki hususlar "e" maddesine de dahil edilebilir ve bu depremlerdeki yıkım ve hasarlarda başlıca etken olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca sıvılaşmanın ve bununla ilgili yanal yayılmanın meydana geldiği yerlerde çok yüksek katlı binaların inşa edilmiş ve uygun temel tipinin seçimine önem verilmemiş olması da, daha önceki depremlerde olduğu gibi, sıvılaşmadan etkilenen İskenderun ve Gölbaşı ilçelerinde yapı hasarlarına neden olmuştur. Dolayısıyla bu işlemlerin yeterli düzeyde ve çok sıkı bir şekilde denetlenmemesi halinde hasar görebilecek veya toptan göçebilecek bina stoklarının hızla artarak mevcutların üzerine ekleneceği ve bundan sonra ülkemizde meydana gelebilecek depremlerde de benzeri yıkım ve hasarların oluşmasının sürpriz olmayacağı artık bilinmelidir. Bunun yanı sıra, zemin etütlerinin yönetmeliklere uygun şekilde yapılıp yapılmadığı ve uygun olarak yapılmış olsa bile etüt sonuçlarının bina tasarımında gereği gibi denetlenmesi önem taşıyan hususlardır. Bunun yanı sıra, yapı sektöründe çalışan usta, kalfa ve işçilerin kötü işçilik ve yapım hataları kategorisinde yer alan hataları yapmamaları ve uygulamadaki eksikliklerinin giderilmesi amacıyla daha iyi denetlenmelerinin ve bu konularda eğitim almalarının sağlanması da önemlidir.

Deprem bölgesinde yapılaşma açısından dikkati çeken diğer bir husus ise, il merkezlerinden ilçelere ve hatta bazı büyük mahallelere (eski adıyla köyler) kadar çok yüksek (çok katlı) apartmanların inşa edilmiş olmasıdır. Ayrıca bu yapılardan önemli bir bölümü de alüvyon çökeller vb. gibi zayıf zeminlerin üzerinde inşa edilmiş olup, deprem yönetmeliklerine uygunluk açısından sorunlu oldukları da bu depremler sırasında meydana gelen çok fazla sayıdaki toptan göçmeden ve hasara maruz kalmış yapıdan anlaşılmaktadır. Bu durum gözetilerek, bölgede inşa edilecek binalar için kat sayısının, dolayısıyla yapı yüklerinin azaltılması yönünde değerlendirmelerin yapılarak buna göre uygulamaya geçilmesi tekrar düşünülmelidir.

Yüzey kırıklarının yapıların hemen altından geçmesi durumunda, özellikle yüksek binalar başta olmak üzere, yapıların zarar görmelerinin önlenmesi hemen hemen mümkün değildir. Bununla birlikte, yazarların deprem bölgesinde yaptıkları gözlemler sırasında karşılaştıkları ve yüzey kırığının altından ya da çok yakınından geçtiği bir kaç adet tek ve iki katlı yapıda toptan göçme yerine hasar olduğu ve/veya herhangi bir hasarın gelişmediği görülmüşür. 1999 Düzce depremi sırasında da yüzey kırığının altından geçtiği sınırlı sayıda ev için benzer gözlemler yapılmıştır. Dolayısıyla yüzey kırığı olgusundan kaynaklanabilecek hasarların en aza indirilebilmesi açısından ve "doğanın bizzat kendisinin en iyi laboratuvar olduğu" gerçeğinden hareketle, Kahramanmaraş depremlerinin etkilediği bölgede bu olgunun etkisi altında kalmış daha fazla sayıda benzeri yapının da "deprem bilimi ve mühendisliği" konusuyla ilgili meslek grupları tarafından müştereken

incelenip değerlendirilmesinin gelecekte ülkemizde meydana gelebilecek yeni depremlere karşı alınacak hasar azaltma önlemleri açısından yararlı bilgiler sağlayacağı göz ardı edilmemelidir.

Bu raporun 4.3 no.lu alt bölümünde karşılaştırmalı olarak verilen Kaharamanmaraş depremlerine ait normalize edilmiş ivme davranış spektrumları ülkemizde esas alınan güncel deprem yönetmeliğindeki tasarım spektrumuna göre bu depremlerde farklı bölgelere ait zemin büyütmesi değerleri yönetmelikteki değerlerden büyüktür. Dolayısıyla bu son depremlerde alınan kuvvetli yer hareketi kayıtları da kullanılarak, zemin büyütmesi değerinin bazı bölgeler için tekrar değerlendirilmesi önerilir.

#### KAYNAKLAR

- AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremlerine ilişkin ön değerlendirme raporu. Deprem Dairesi Başkanlığı, 11s.
- Akıl, B., Akpınar, K., Üçkardeşler, C., Araz, H., Sağlam, M., Ecemiş, B., 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.
- Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A. 2007. Lake Hazar Basin: A negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 319-338.
- Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, Yılmaz, O., Havazlı, E., 2016. Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field. Journal of Geodynamics, 94-95, 1-12.
- ALFAR, 2017. Asi Nehri Havzası Master Plan Raporu hazırlama İşi; Asi Nehri Havzası Hidrojeoloji Raporu. Ankara, 2076 s.
- Allen, C.R., 1969. Active faulting in northern Turkey, Contribution no.1577, Division of Geological Sciences, California Institute of Technology, USA.
- Ambraseys, N. N., 1988. Temporary seismic quiescence: SE Turkey. Geophysical Journal, 96, 311–331.
- Ambrasseys, N.N., Melville, C.P., 1995. Historical evidence of faulting in Eastern Anatolia and Northern Syria, Anna Di Geofisica, XXXVIII, No. 3-4, 337-343.
- Arpat, A.E., 1971. 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi (Ön rapor), MTA Rapor No. 4697, Ankara.
- Arpat, A.E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. MTA Bülteni, 78, 44-50.
- Arpat, A.E., Şaroğlu, F., 1975, Türkiye'de önemli genç tektonik olaylar. TJK Bülteni, 18, 44-50.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., 2023. A quick report on Pazarcık and Ekinözü earthquake (Türkiye) of February 2023. https://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/FINA\_RU\_OA\_pazarcik\_ ekinozu\_eqs\_qr.pdf
- Aydan, Ö., Shimizu, Y., Ichikawa, Y., 1989. The effective failure modes and stability of slopes in rock mass with two discontinuity sets. Rock Mechanics and Rock Engineering, 22(3), 163–188.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y., Kawamoto, T., 1991. The dynamic response and stability of rock slopes in discontinuous media. In: Bell, D.H. (Ed.), Proceedings of the Sixth Symposium on Landslides. Christchurch, pp. 1211–1217.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H., Tuncay, E., 1998. A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation, Publication No.

TDV/DR 006-30 November 1998, 131 p (*İngilizce*).

- Aydan, Ö., Ulusay, R. Hasgür, Z., Taşkın, B., 2000a. A site investigation of Kocaeli earthquake of August 17, 1999. Turkish Earthquake Foundation, Deprem Rapor No. TDV/DR 08-49, 180 p (*İngilizce*).
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Tuncay, E., 2000b. Site investigation and engineering evaluation of the Düzce-Bolu earthquake of November 12, 1999. Turkish Earthquake Foundation, TDV/DR 09-51, 307 p (*İngilizce ve Türkçe*).
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., 2000c. Liquefaction phenomenon in the erathquakes of Turkey, including recent erathquakes of Turkey, including recent Erzincan, Dinar and Adana-Ceyhan earthquakes. 12th WCEE, Auckland, New Zealand.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Miyajima, M., 2003. The Bingöl earthquake of May 1, 2003. Report of the Japan Society of Civil Engineers. Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan, 103 p. (http://www.jsce.org.jp/report/19/frame.htm) (*İngilizce*)
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., 2012. Site investigation and engineering evaluation of the Van earthquakes of October 23 and November 9, 2011. Turkish Earthquake Foundation, Report No. TDV/DR 015-92, March 2012, İstanbul, 190 p (*İngilizce ve Türkçe*).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023. https://csb.gov.tr/hasar-tespit-calismasikapsaminda-263-bin-800-bagimsiz-birimin-acil-yikilmasi-gereken-agir-hasarli-ve-yikikoldugu-tespit-edildi-bakanlik-faaliyetleri-38431
- Dewey, Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continantal litophere:the neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone: Geological Society of London, Special publication, 19, 3-36.
- Dokuz Eylül Üniversitesi, 2023. 9 Eylül Üniversitesi 06 Şubat 2023, 04:17, M<sub>w</sub>=7.7, h=9 km Pazarcık (Kahramanmaraş) depremi, 06 Şubat 2023, 13:24, M<sub>w</sub>=7.6, h=7 km Elbistan (Kahramanmaraş) depremi ve 20 Şubat 2023, 20:04, M<sub>w</sub>=6.4, h=22 km Defne (Hatay) depremi raporu. İzmir, 62 s.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault geomtery and jog characteristics. Geological Society London, Special Publications published online February 19, 2013 as do: 10.1144/SP372.14.
- DSİ, 1973. Maraş ovaları hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Matbaası, Ankara.
- DSİ, 1975. Asi Havzası hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Matbaası, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Şaroğlu, F., 2013. Türkiye Diri Fay Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Özel Yayın Serisi-30, 89 s.
- EMSC, 2023. https://www.emsc-csem.org/Doc/Additional\_Earthquake\_Report/ 1218444/ Newsletter\_ 29\_2023\_Turkey-Syria\_EQ.pdf

- Gülen, L., Pınar, A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yılmazer, M., Işıkara, A.M., 2002. Surface fault breaks, aftershock distribution and rupture process of the 17 August 1999 Izmit, Turkey earthquake. Bull. Seismolog. Soc. Am. 92 (1), 230–244.
- Hempton, M. R., 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. Tectonics, 6, 687-705.
- Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Özel Yayın Serisi No. 13, 359 s.
- Herece, E., Akay, E., 1992. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. Türkiye 9. Petrol Kongresi ve Sergisi, Ankara, Bilidirler Kitabı, s. 361-372.
- Hidroline ve Temelsu, 2015. Ceyhan Havzası Master Plan Çalışmaları İşi; Ceyhan Havzası Hidrojeoloji Raporu. Ankara 1269 s.
- Hidro Dizayn, 2017. Fırat Alt Havzası Master Plan Raporu Yapım İşi Havza Hidrojeoloji Nihai Raporu. Ankara, 630 s.
- İTÜ, 2023. 6 Şubat 2023 04:17 M<sub>w</sub> 7.8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan) ve 13:24 M<sub>w</sub> 7.7 Kahramanmaraş (Elbistan/Nurhak-Çardak) depremleri nihai raporu. İTÜ, İstanbul, 245 s.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Ketin, İ, 1968. Türkiye'nin genel tektonik durumu ve başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler, MTA Enstitüsü Dergisi, 71, 129-134
- KOERİ, 2023. 06 Şubat 2023 Sofalaca Şehitkamil Gaziantep Depremi Basın Bülteni. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, İstanbul Şubat 2023, 4 s.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions. Geophys. J. Royal Astron. Soc., 55, 217-254.
- Mc Clusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Taeleb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000. GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res., 105, 5695-5719.
- MTA, 1964. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri genişletilmiş bilgi notu. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 24 s.

- Perinçek, D., Çemen, İ., 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. Tectonophysics, 172, 331–340.
- Port and Harbour Research Institute of Japan, 1997. Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land. A.A. Balkema, Rotterdam, 312 p.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., al-Aydrus A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., al-Ghazzi R., Karam, G., (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, 111, B05411.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. TJK Konferans Serisi: 2.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: Tectonophysics, V. 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. in: Biddle K.T., ChristieBlick N. (Eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, 227-264.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay depremleri raporu. T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, 140 s.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, 18 Mart 2018, Sayı: 30364.
- TMSP (Türkiye Mekansal Strateji Planı), 2020. DSİ Türkiye sayısal hidrojeoloji veri tabanından üretilen hidrojeoloji haritası. Ankara.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., 2005. Characteristics and geo-engineering aspects of the 2003 Bingöl (Turkey) earthquake. Journal of Geodynamics, 40, 334-346.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, H., Sönmez, H., Tuncay, E., 2000. Türkiye'de son depremlerde gözlenen sıvılaşma olgusu ve Batı Anadolu'da sıvılaşma potansiyeline genel bir bakış. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, İzmir, Bildiriler Kitabı, s. 323-336.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Kumsar, H., Tuncay, E., Kaya, Z., 2002. 3 Şubat 2002 Çay-Eber Depreminin Saha İncelemesi ve Mühendislik Açısından Değerlendirilmesi. Türkiye Deprem Vakfı Araştırma Projesi No. 02-AP-119, TDV Yayın No. TDV/DR 012-79, 213 s.