



# 24 OCAK 2020 M<sub>W</sub> 6.8 ELÂZIĞ-SİVRİCE DEPREMİ SİSMİK ve YAPISAL HASARA İLİŞKİN SAHA GÖZLEMLERİ

RAPOR NO: ODTÜ/DMAM 2020-01

MART 2020 ANKARA



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

DEPREM MÜHENDİSLİĞİ ARAŞTIRMA MERKEZİ



# 24 OCAK 2020 Mw 6.8 ELÂZIĞ-SİVRİCE DEPREMİ SİSMİK ve YAPISAL HASARA İLİŞKİN SAHA GÖZLEMLERİ

RAPOR NO: ODTÜ/DMAM 2020-01

MART 2020 ANKARA

#### Editörler

Öğr. Gör. Salim AZAK Arş. Gör. Okan KOÇKAYA

## Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkmasının öncesinde, esnasında ve sonrasında destek olan, katkı sağlayan başta Orta Doğu Teknik Üniversitesi Rektörlüğüne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanlığına ve aşağıda adı geçen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

- Saha incelemeleri ve araştırmaları sırasında her türlü olanağı sunan Fırat Üniversitesi Rektörlüğüne,
- Betonarme yapıların saha incelemeleri ve araştırmaları sırasında her türlü imkânı sağlayan ve mihmandarlık eden Fırat Üniversitesi'nin değerli öğretim üyeleri ve araştırma görevlileri Doç. Dr. Muhammet KARATON, Doç. Dr. Erkut SAYIN, Dr. Öğretim Üyesi Ayşe Ruşen DURUCAN, Dr. Öğretim Üyesi Cengizhan DURUCAN ve Arş. Gör. Dursun BAKIR'a,
- Kırsal bölgelerdeki hasar incelemeleri sırasında katkı ve desteklerini sunan Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Berna UNUTMAZ ve Doç. Dr. Mustafa Kerem KOÇKAR'a, Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU'ya, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Ruşen DURUCAN ve Dr. Öğr. Üyesi Cengizhan DURUCAN'a, Munzur Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Arş. Gör. Abdullah İÇEN'e,
- Deprem sonrası köprü performans gözlemleri sırasında katkı ve desteklerini sunan Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Nejan HUVAJ SARIHAN'a, MEGA Mühendislik'ten Şef Köprü Müh. Kâmil ERGÜNER'e, Atılım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Arş. Gör. Burak AKBAŞ'a, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü mezunlarından Murat KENKÜL'e ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü lisansüstü öğrencilerinden Muhammet DURMAZ'a

desteklerinden ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederiz.

# İçindekiler

1. BÖLÜ	ÜM GİRİŞ	1
1.1	Giriş	2
2. BÖLÜ	ÜM BÖLGE JEOLOJİSİ (DERLEME)	5
2.1	Tektonik Oluşum	6
2.2	Tarihsel Depremler	7
2.3	Genel Bölge Jeolojisi	9
2.3	3.1 Keban Metamorfitleri	10
2.3	3.2 Elâzığ Mağmatitleri	10
2.3	3.3 Harami Formasyonu	10
2.3	3.4 Kırkgeçit Formasyonu	11
2.3	3.5 Karabakır Formasyonu	11
2.3	3.6 Alüvyonlar	11
3. BÖLÜ	ÜM DEPREMSELLİK ve KUVVETLİ YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİ	15
3.1	Giriş	16
3.2	Depremin Sismolojik Özellikleri	16
3.3	Fay-Kaynak Özellikleri	16
3.4	Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketlerinin Ön Değerlendirme Analizleri	18
3.5	Bölgesel Makrosismisite Yoğunluğunun Mekânsal Dağılımı	25
4. BÖLÜ	ÜM GEOTEKNİK SAHA GÖZLEMLERİ	27
4.1	Giriş	28
4.2	Elâzığ Merkez Zemin Saha Koşulları	28
4.2	2.1 Elâzığ- Merkez	28
4.3	Faya Yakın Bölgelerde Zemin Hareketleri	33
4.3	3.1 1. Gün: Hazar Gölü Kıyısı	35
4.3 Sal	3.2 2. Gün: Kamışlık, Fırat Nehri, Malatya ve Elâzığ Şehir Merkezleri, Kap haları	01kaya Baraji 72
4.4	Kaya Düşmeleri	96
4.5	Su Yapıları	99
4.5	5.1 Barajlar	99
4.6	Demiryolları	106
4.7	Hazar Nehri Kıyısında Gözlenen Sismik Zemin Sıvılaşması ve Yanal Yayılma V	Vakaları107
5. BÖLÜ	ÜM BETONARME YAPILARDA GÖZLEMLER	117
5.1	Giriş	118
5.2	Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri	119
5.3	Yapısal Hasarlar	122

5.3	1 Toptan Göçme	
5.3	2 Bölme Duvar Hasarı	
5.3	3 Ağır Çıkmalar	
5.3	4 Kolon ve Perde Duvar Hasarları	131
5.3	5 Kiriş Hasarları	
5.3	6 Çekiçleme Hasarı	
5.3	7 Kalkan ve Parapet Duvar Hasarları	142
5.3	8 Zemin Çökmesi	143
5.4	Güçlendirilmiş Bina Performansı	145
5.5	Sonsöz	146
6. BÖLÜ	M DEPREM SONRASI KIRSAL BÖLGELERDE HASAR İNCELEMESİ	147
6.1	Giriş	148
6.1	1 Sivrice İlçesi	148
6.1	2 Kürk Köyü	152
6.1	3 Sanayi Mahallesi	
6.1	4 Akpınar Köyü	
6.1	5 Duygulu Köyü	
6.1	6 Çevrimtaş Köyü	
6.1	7 Fay Hattı Civarındaki Diğer Yerleşim Birimleri	
6.2	Kırsal Yapılarla İlgili Deprem Sonrası Genel Gözlemler	163
7. BÖLÜ	M DEPREM SONRASI KÖPRÜ PERFORMANS GÖZLEMLERİ	
7.1	Giriş	
7.2	Gözlemler	
7.3	Sonuçlar	171

# Şekiller

Şekil 1.1 Türkiye Haritası (Google Haritalar) 24 Ocak 2020 Elâzığ-Sivrice depreminin m	nerkez
üssü kırmızı ile gösterilmiştir	3
Şekil 1.2 Doğu Anadolu Fay Hattının farklı segmentleri (Duman ve Emre, 2013)	4
Şekil 2.1 Tektonik yapı (Bozkurt (2001)'den alınmıştır)	6
Şekil 2.2 Elâzığ ve Malatya şehirleri çevresindeki aktif faylar ve fay segmentleri (MTA,	2020)
Şekil 2.3 1900 yılı sonrası DAFH üzerinde gerçekleşen depremler (AFAD, 2020)	8
Şekil 2.4 Elâzığ ili genel jeoloji haritası (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)	9
Şekil 2.5 Elâzığ şehir merkezi jeoloji haritası (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)	12
Şekil 2.6 Elâzığ ili genel stratigrafik kesiti (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)	13
Şekil 3.1 Geçen yüzyıldaki sismik hareketliliğin yanı sıra önemli tektonik olaylar ile	2020
(kırmızı yıldız) ve 2010 (gri yıldız) depremlerinin merkez üsleri (Akkar vd., (2011	)'den
Salril 2.2. Artas damamlarin 24.28 Ocals 2020 tarihlari anasın dalsi dağılırmı	, 1 / 17
Şekil 3.2 Ariçi depremierin 24-28 Ocak 2020 tarimen arasındaki dağının	
çözümleri ile birlikte sunulan artet soklar	lensor 10
Sakil 3.4.2020 Elâziă Sivrice depremi sonrași 24 Ocak 3 Subat tarihlari arasında kavda	adilan
denremler(M) ve odek derinliği değilimi (AFAD)	20
Sakil 3.5 AFAD ön ranorunda ver alan bes kuvvetli ver hareketi kavit istasvonunun konu	20 1mlari
şekii 5.5 AFAD oli taporulua yer alalı beş kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonulun kont	1111a11 21
Sekil 3.6 ASK08 tarafından tahmin edilen PGA değerleri ile kavıt istasyonlarında kavde	edilen
PGA değerlerinin kıyaşlanmaşı	22
Sekil 3.7 Ölceklendirilmis kavdedilen PGA değerlerinin tahmin denklemleri ile kıvaşlar	nması
(Vanal atılımlı fav. $M_{w}=6.8$ , $V_{g,20}=400$ m/s)	23
Sekil 3.8 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://tdth.afad.gov.tr.)	24
Sekil 3.9 AFAD tarafından paylaşılan taşlak şarşıntı şiddeti dağılım haritaşı	26
Şekil 3.10 MMI-PGA bağıntıları kullanılarak besanlanan MMI dağılımı (Bilal ve Askan	2014)
	26
Sekil 4.1 Elâzığ-Mustafapasa bölgesi icin tipik sondai logu	
Sekil 4.2 Elâzığ-Sahinkaya bölgesi icin tipik sondaj logu	30
Sekil 4.3 Elâzığ-Sürsürü bölgesi icin tipik sondaj logu	31
Şekil 4.4 Elâzığ-Sürsürü bölgesi için tipik sondaj logu (sözlü iletişim)	32
Şekil 4.5 Elâzığ-Zafran bölgesi için tipik sondaj logu	33
Sekil 4.6 Saha gözlem noktaları - 1. Gün	34
Şekil 4.7 Saha gözlem noktaları - 2. Gün	35
Şekil 4.8 Sivrice yolundan çekilmiş bir saha görüntüsü	36
Şekil 4.9 Karayolunun dolgu şevinde gözlemlenen küçük ölçekli bir çatlak	37
Şekil 4.10 Zemin deformasyonu gözlenmeyen killi yüzeysel zemin	38
Şekil 4.11 Yürüyüş yolunda gözlemlenen çatlak	39
Şekil 4.12 Hazar Gölü rıhtımında sismik kaynaklı hacimsel oturma ve yanal yayılma	40
Şekil 4.13 Hazar Gölü rıhtımında oluşan sismik kaynaklı hacimsel oturmaların ölçümü	41

Şekil 4.14 Betonarme rıhtım bloklarında haritalanan yer değiştirmeler	41
Şekil 4.15 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılmalar	
Şekil 4.16 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli zemin deformasyonları	
Şekil 4.17 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılmalar	
Şekil 4.18 Zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılma çatlaklarının başka bir görüntüsü	
Şekil 4.19 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılma çatla	klarının
haritalandırılması	
Şekil 4.20 Zemin hareketinin gözlenmediği saha: Hazar Gölü yanal yayılma olan	bölgeye
komşu kıyı	
Şekil 4.21 Zemin hareketinin gözlenmediği saha: Hazar Gölü yanal yayılma olan	bölgeye
komşu kıyı	47
Şekil 4.22 Sivrice'de hasar almamış demiryolu hattı	
Şekil 4.23 Sivrice'de devrilmiş bacalar	49
Şekil 4.24 Sivrice'de devrilmiş bir baca	49
Şekil 4.25 Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha	50
Şekil 4.26 Demiryolu tünelinin bir görüntüsü	51
Şekil 4.27 Güney Kurtalan Ekspresi geçerken	51
Şekil 4.28 Yenilme işareti görülmemiş yol dolgu şevleri	52
Şekil 4.29 6. istasyonda zemin yenilmesi izine rastlanmamış saha	52
Şekil 4.30 7. istasyonda zemin yenilmesi görülmemiş saha	53
Şekil 4.31 Kum volkanı	
Şekil 4.32 Kum kaynama bölgesi	
Şekil 4.33 Kum volkanları	55
Şekil 4.34 8. istasyonda kumlu zemin katmanları	
Şekil 4.35 8. istasyonda bant şeklinde kum kaynamaları	
Şekil 4.36 Kum volkanı	
Şekil 4.37 Bölgedeki başka bir kum volkanı	57
Şekil 4.38 9. istasyonda zemin yenilmesi görülmemiş saha	
Şekil 4.39 Hasarsız bir demiryolu tüneli ve demiryolu hattı	59
Şekil 4.40 10. istasyondaki tünel yapısının görüntüsü	59
Şekil 4.41 Volkanik kayaçlarda görülen tabakalanma	60
Şekil 4.42 10. istasyon: Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha	60
Şekil 4.43 11. istasyon: Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha	61
Şekil 4.44 Kum kaynamaları izleri	
Sekil 4.45 13. istasyondaki kaya düşmeleri (genel görüntü)	
Sekil 4.46 Kaya düşmeleri (üst palye)	64
Sekil 4.47 Bölgede gözlemlenen kaya düşmeleri	64
Sekil 4.48 Düşen kaya bloklarının ebatlarının ölçümü	65
Sekil 4.49 13. istasyonun palye sev acısı ölcümleri	
Sekil 4.50 Sevin yandan görünüsü (üst fotoğraf) ve yakından görünüsü (alt fotoğraf)	
Şekil 4.51 Şevin yandan görünüşü	67
Sekil 4.52 14. istasyonda kaya düsmesi örnekleri ve sev acısı	68
Şekil 4.53 15. istasyondaki sismik zemin sıvılaşmasına bağlı kum kaynaması örneği	69
Şekil 4.54 Sismik zemin sıvılaşmasına bağlı kum kaynaması	

Şekil 4.55 Kum volkanı	71
Şekil 4.56 IHA görüntülerinden uyarlanan Doğanyol Limanı hasar fotoğrafı	72
Şekil 4.57 Karayolu kenarına düşen kaya blokları	73
Şekil 4.58 Doğanyol yolu	74
Şekil 4.59 Battalgazi köyündeki bir konut binası temeli	74
Şekil 4.60 20. istasyondaki demiryolu hattı ve tek şeritli karayolu köprüsü	75
Şekil 4.61 Battalgazi köyü Bahçelievler bölgesindeki konutlar	76
Şekil 4.62 Battalgazi köyü Bahçelievler bölgesindeki konut binalarında oluşan çatlaklar	77
Şekil 4.63 Battalgazi köyü Toygar bölgesinde donmuş zeminin görünümü	77
Şekil 4.64 Battalgazi köyü Toygar bölgesinde donmuş killi zemin	78
Şekil 4.65 Battalgazi köyünün Dolamantepe bölgesindeki su hendeği	79
Şekil 4.66 Battalgazi köyünün Dolamantepe bölgesi	80
Şekil 4.67 Kapıkaya Barajı'nın mansap ve memba görüntüleri	81
Şekil 4.68 Kapıkaya Barajı mansap yüzünün yandan görünüşü	82
Şekil 4.69 Kapıkaya Barajı kret görünümü	82
Şekil 4.70 Kapıkaya Barajı dolu savak yapısı	83
Şekil 4.71 Kapıkaya Barajı'nın dolu savak yapısı	83
Şekil 4.72 Kapıkaya Barajı sol yamaç görünümü	84
Şekil 4.73 Sağ yamaç şevleri	84
Şekil 4.74 Kapıkaya Barajı'nda bulunan oturma plakası, piyezometre, data toplama kulübes	si ve
inklinometre delgisi	85
Şekil 4.75 Kale kıyısı görünümü	86
Şekil 4.76 Kale kıyısının bir başka görünümü	86
Şekil 4.77 Kale kıyısı	87
Şekil 4.78 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması örnekleri	87
Şekil 4.79 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması örneği	88
Şekil 4.80 Kale kıyısında sismik tetikleme ile zeminde oluşan kum kaynaması	89
Şekil 4.81 Kale kıyısında sismik tetikleme ile zeminde oluşan kum kaynaması örneği	89
Şekil 4.82 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması	90
Şekil 4.83 Karla kaplı Çevrimtaş yolu kıyısı	90
Şekil 4.84 Depremzedeler için kurulmuş çadırlar	91
Şekil 4.85 Konut temellerinde gözlemlenen hacimsel sıkılaşmalar	91
Şekil 4.86 Elâzığ-Merkez kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonu	92
Şekil 4.87 Elâzığ şehir merkezinin Sürsürü mahallesinde beton çit üzerinde bir çatlak	93
Sekil 4.88 Bazı binaların girişlerindeki oturmaların ölçülmesi	94
Sekil 4.89 Gözlemlenen oturma ve dönmeler	95
Sekil 4.90 Gözlemlenen oturmalar	95
Sekil 4.91 Sondaj çalışmaları	96
Sekil 4.92 Hazar Gölü 13. istasyonda gözlemlenen kaya düsmeleri	97
Sekil 4.93 13. istasyondaki kaya düsmelerinin gözlemlendiği yamacın kesiti	97
Şekil 4.94 RocFall 2019 kullanılarak yapılan kaya düsmesi geri analiz modeli	98
Sekil 4.95 Karakaya Baraji (DSİ)	100
Sekil 4.96 Cip Barajı (DSİ)	101
Sekil 4.97 Kapıkaya Barajı (DSİ)	102
, I J J ( /	

Şekil 4.99 Boztepe (Recai Kutan) Barajı (DSİ)104Şekil 4.100 Dedeyolu Barajı kretinde boyuna çatlaklar (Fotoğraf: S. Aydın, DSİ)105Şekil 4.101 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Haritası ile Van Gölü Ekspresi ve Güney106Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti108Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin108Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi109Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar110Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar110Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon)111Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon)112Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon)112
Şekil 4.100 Dedeyolu Barajı kretinde boyuna çatlaklar (Fotoğraf: S. Aydın, DSİ)       105         Şekil 4.101 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Haritası ile Van Gölü Ekspresi ve Güney       106         Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti       108         Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti       108         Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi       109         Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon)       111         Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon)       111         Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon)       112
Şekil 4.101 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Haritası ile Van Gölü Ekspresi ve Güney         Kurtalan Ekspresi güzergahları       106         Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti       108         Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin       108         Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi.       109         Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon).       111         Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon) 111       112         Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon) 112       112
Kurtalan Ekspresi güzergahları       106         Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti       108         Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti       108         Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi       109         Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon)       111         Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon)       111         Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon)       112         Şekil 4.107 Yala bilgesindeki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon)       111
Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti
Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti.       108         Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi.       109         Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar       110         Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon).       111         Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon).       111         Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon).       112         Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği sumsala komşu kumsal (2. istasyon).       111         Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon).       111         Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon).       112
yenilmelerinin özeti
Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi
Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar
110 Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar 110 Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon)
<ul> <li>Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar</li> <li></li></ul>
Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon)
Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon) 111 Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon) 112 Şekil 4.110 Kala bölgəsindəki zemin suvlaşmasının yüzey belirtileri (26. istasyon) 112
Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon) 112 Sekil 4.110 Kala hölgesindeki zemin suylaşmasının yüzey belirtileri (26. istasyon) 112
Salril 4,110 Kala hälgasindalri zamin suylasmasının yüzay halirtilari (26. istasyon) 112
Şekir 4.110 Kale bolgesindeki zenini sıvnaşınasının yüzey benrüleri (20. istasyon) 112
Şekil 4.111 Kale kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (26. istasyon)
Şekil 4.112 Hazar Gölü kıyısından alınan numunelerin yerleri
Şekil 4.113 Kale kıyıları bölgesinden alınan numunelerin yerleri
Şekil 4.114 Sahadan alınan zemin numunelerinin yerleri (genel harita)
Şekil 4.115 Sıvılaşan bölgelerden alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılım eğrileri 115
Şekil 5.1 Eksantrik kiriş
Şekil 5.2 Kiriş düzensizliği
Şekil 5.3 Taşıyıcı sistem düzensizliği
Şekil 5.4 Binanın uydu görüntüsü
Şekil 5.5 Elâzığ merkezde toptan göçmüş binalar
Şekil 5.6 Elâzığ merkezde toptan göçmüş binalar
Şekil 5.7 Kiriş-kolon sınırında bölme duvar çatlağı, dış cephe
Şekil 5.8 Diyagonal bölme duvar çatlağı, dış cephe
Şekil 5.9 Kiriş-kolon sınırında bölme duvar çatlağı, iç cephe
Şekil 5.10 Diyagonal bölme duvar çatlağı, iç cephe
Şekil 5.11 Ağır diyagonal bölme duvar çatlağı
Şekil 5.12 Bölme duvar düşmesi
Şekil 5.13 Toptan bölme duvar devrilmesi
, Şekil 5.14 Ağır çıkma hasarları
Şekil 5.15 Ağır çıkma hasarları
Şekil 5.16 Ağır çıkmalarda konsol kiriş hasarı
Sekil 5.17 Tipik bir kolon örneği
Sekil 5.18 Kolonda kesme hasarı
, Şekil 5.19 Kolon üst ucunda mafsallaşma
Sekil 5.20 Kolon alt ucunda göçme
Şekil 5.21 Perde duvar hasarı
Şekil 5.22 Kiriş eğilme çatlakları

Şekil 5.23 Kiriş çatlakları	. 138
Şekil 5.24 Kiriş kesme çatlakları	. 139
Şekil 5.25 Kalıpsız dökülmüş kolon betonu	. 140
Şekil 5.26 Bitişik nizam bina hasarı	. 141
Şekil 5.27 Çekiçleme hasarı	. 142
Şekil 5.28 Kalkan duvar ve parapet duvar hasarları	. 143
Şekil 5.29 Zemin oturması kaynaklı hasarlar	. 144
Şekil 5.30 Zemin çökmesi kaynaklı duvar hasarı	. 144
Şekil 5.31 Betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonlar	. 145
Şekil 6.1 Fay hattı boyunca detaylı saha incelemeleri yapılan kırsal yerleşim bölgeleri	148
Şekil 6.2 Sivrice ilçesinin uydu fotoğrafı (Google Earth)	. 149
Şekil 6.3 Sivrice ilçesinin yapı stokuna bir bakış	149
Şekil 6.4 Sivrice ilçesinde hasar görmüş yapılardan fotoğraflar	. 150
Şekil 6.5 Deprem esnasında ağır hasar görmüş olan Sivrice Merkez Camii	. 151
Şekil 6.6 Sivrice Merkez Camii'nde tespit edilen hasarlar	. 151
Şekil 6.7 Kürk köyünde zamanında okul ve lojman olarak kullanılmış iki taş yığma bina	152
Şekil 6.8 Elâzığ-Karakoçan depreminde Palu'da yıkılmış olan benzer bir taş yığma okul b	oinası
	. 152
Şekil 6.9 Kürk köyünde deprem esnasında ağır hasar görmüş veya yıkılmış yığma yapılar	. 153
Şekil 6.10 Kürk köyünde yıkılan yığma duvarların malzeme açısından homojen olmayan y	apisi
	. 154
Şekil 6.11 Kürk köyünde depremi hafif hasarla atlatmış az katlı betonarme bina	. 154
Şekil 6.12 Sanayi mahallesindeki binaların deprem sonrası durumları	. 155
Şekil 6.13 Sanayi mahallesinde minaresi hasar görmüş olan cami	. 155
Şekil 6.14 Akpınar köyündeki binaların deprem sonrası durumları	. 156
Şekil 6.15 Duygulu köyünde farklı hasar seviyelerine sahip kırsal yapılar	. 157
Şekil 6.16 Duygulu köyünde yeni yapılmış ve az hasarlı binalar	. 157
Şekil 6.17 Duygulu köyünde detaylı incelenen yapılarda deprem hasarları	. 158
Şekil 6.18 Duygulu köyündeki tarihi caminin görünümü	. 158
Sekil 6.19 Duygulu köyündeki tarihi camide tespit edilen hasarlar	. 159
Şekil 6.20 Çevrimtaş köyüne ait aşağı ve yukarı mahallelerin görünümü	. 160
Şekil 6.21 Çevrimtaş köyü aşağı mahallede tamamen yıkılmış yapılar	. 161
Şekil 6.22 Çevrimtaş köyü yukarı mahallede farklı hasar seviyelerinde yapılar	. 161
Sekil 6.23 Aynı bölgede daha önce kullanılmış yerleşim yerinin kalıntıları	. 162
Sekil 6.24 Fay hattı civarındaki diğer verlesim birimlerinde hasar durumları	. 162
Sekil 7.1 Köprü konumları	. 166
Şekil 7.2 Yapımı devam eden kablo askılı Yeni Kömürhan Köprüsü (deprem merke	ezine
uzaklık: 23,5 km, faya uzaklık: 18 km) ve beton ardgermeli Kömürhan Köprüsü (yapım se	enesi:
1986)	. 167
Şekil 7.3 Beylerderesi Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 74 km, faya uzaklık: 35 km y	apım
senesi: 2010)	. 167
Şekil 7.4 Talis Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 19,7 km, faya uzaklık <1 km ve y	apım
senesi: 1978)	. 168

Şekil 7.5 Çelik kompozit köy köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 19,7 km, faya uza	aklık <1
km ve yapım senesi: 1950'ler olarak tahmin edilmektedir)	169
Şekil 7.6 Köprügözü Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 140 km, faya uzaklık: 60	0 km ve
yapım senesi: 2001)	170
Şekil 7.7 Elâzığ tipik şehir içi köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 35 km ve faya olan	uzaklık:
19 km)	170

# Tablolar

Tablo 3.1 AFAD ve USGS tarafından sunulan moment tensor çözümleri	19
Tablo 3.2 Kuvvetli yer hareketi istasyonları ve kaydedilen PGA değerleri (AFAD)	20
Tablo 3.3 Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının özellikleri ve kaydedilmiş PGA değerleri	24
Tablo 4.1 13. istasyonda gözlemlenen düşen kaya bloklarının özellikleri	98
Tablo 4.2 Sivrice depreminin etki alanında olan barajlar	99
Tablo 4.3 Sahadan alınan numunelerin dane boyu dağılımları	. 115

# 1. BÖLÜM GİRİŞ

Prof. Dr. Kemal Önder ÇETİN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Makbule ILGAÇ<sup>1</sup>

Arş. Gör. Gizem CAN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Elife ÇAKIR<sup>1</sup>

Arş. Gör. Berkan SÖYLEMEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

#### 1.1 Giriş

24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saat ile 20.55.11'de, Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde, Pütürge Segmenti boyunca KD-GB doğrultu atımlı fayın kırılması sonrası Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre moment büyüklüğü M<sub>w</sub> 6.8, Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) verilerine göre M<sub>w</sub> 6.7 olan bir deprem meydana gelmiştir. Bu rapor kapsamında, jeolojik, sismolojik, geoteknik ve yapısal gözlem çalışmalarının bulguları ile ön saha inceleme çalışmaları sunulacaktır. Saha çalışmaları sırasında jeolojik ve geoteknik değerlendirmelere ek olarak, bazı tipik alt yapı ve üst yapı hasar örneklerine de yer verilmiştir. Yerbilimci, jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendislerinden oluşan bağımsız mühendislik grupları Elâzığ-Sivrice depreminin hemen ardından yüzey deformasyon ve çatlakları, yapısal hasar mekanizma ve tipleri gibi deprem sonrası ivedilikle derlenmediği takdirde izlerinin kaybolması olası olan verileri derlemiş ve belgelemiştir. Farklı disiplinler ve üniversiteler arasında, iş birliğine dayalı araştırma çalışmalarını onurlandırmak amacıyla bulguların ortak yazılan bir raporda sunulmasına karar verilmiştir. Hazırlanan bu ve diğer raporların, iş birliğine dayalı araştırmaları, disiplinler arası çalışmaları ve kültür etkileşimini pekiştireceğine inanmaktayız.

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, Elâzığ ve Malatya şehirleri Türkiye'nin doğusunda yer almaktadır. AFAD'a göre depremin merkez üssü 38.3593° enleminde, 39.0630° boylamında, Elâzığ'ın yaklaşık 37 km güney- güneybatısında ve Malatya'nın 64 km doğusunda olup, odak derinliği AFAD tarafından 8,06 km olarak açıklanmıştır. Yıllık kayma hızı 5-10mm olan Sivrice-Pütürge segmenti, Avrasya, Arap, Afrika plakaları ile Anadolu bloğunun tektonik sınırları içinde Doğu Anadolu Fay sisteminde yer almaktadır. (Gülerce vd., 2017). Elâzığ-Sivrice depreminin etkileri Elâzığ ve Malatya bölgelerinde, doğuda Hazar Gölü'nden batıda Malatya şehir merkezine kadar geniş bir alanda gözlemlenmiştir. Depremin sarsıntıları, Kahramanmaraş, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa ve Batman şehirlerinde de nispeten güçlü bir şekilde hissedilmiştir. Fay kırığının yüzeydeki izlerine yönelik çelişkili gözlemler rapor edilmekle birlikte, yüzey fay izlerine yönelik net kanıtlar (şimdilik) raporlanmamıştır.

Anadolu plakası tektonik olarak aktif olup, bölge maalesef sıklıkla yıkıcı depremlere maruz kalmaktadır. 24 Ocak 2020 Elâzığ-Sivrice depremi kaynağından 250 km mesafede, yine aynı fay zonu üzerinde, 1870'lerden itibaren M<sub>w</sub> 6.0 veya üzeri olan yedi adet deprem olduğu raporlanmıştır. Bunların bazıları oldukça yıkıcı olmuştur:

- Mayıs 1971'de, 24 Ocak 2020 depreminin 150 km kuzeydoğusunda gerçekleşen M<sub>w</sub> 6.9 Bingöl depremi, 65 kişinin ölümüne sebep olmuş ve ayrıca ciddi yapısal hasar da üretmiştir.
- Eylül 1975'te M<sub>w</sub> 6.7 Lice depremi, 24 Ocak 2020 depreminin yaklaşık 140 km doğusunda, 2.000'den fazla insanın ölümüne ve hasara sebep olmuştur.
- Mayıs 1986'da yine güncel deprem kaynağının yaklaşık 120 km batısındaki M<sub>w</sub> 6.1 Sürgü depremi, 15 kişinin ölümüne ve 4.000'den fazla evin de hasar görmesine neden olmuştur.

- Mayıs 2003 M<sub>w</sub> 6.4 Bingöl depremi, 24 Ocak 2020 depreminin 140 km kuzeydoğusunda tetiklenmiş, 177 kişinin ölümüne, yüzlerce kişinin yaralanmasına ve 700'den fazla konutun yıkımına yol açmıştır.
- Mart 2010'da mevcut deprem kaynağının 100 km kuzeydoğusunda oluşan M<sub>w</sub> 6.1 Elâzığ-Kovancılar depremi 42 kişinin ölümüne, 100 kişinin yaralanmasına ve 300'e yakın binanın yıkımına sebep olmuştur.



Şekil 1.1 Türkiye Haritası (Google Haritalar) 24 Ocak 2020 Elâzığ-Sivrice depreminin merkez üssü kırmızı ile gösterilmiştir

Yukarıda listelenen olaylar ve Şekil 1.2'de gösterilen tarihsel depremler esas alındığında, 24 Ocak 2020 depreminin Doğu Anadolu fay hattının 1800'lerden günümüze kadar olan süreçte sismik olarak sessizliğini korumuş olan Pütürge segmenti üzerinde meydana geldiği görülmektedir.

Deprem sırasında ve sonrasında 41 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, başarılı bir şekilde yönetilen arama ve kurtarma operasyonları sayesinde 45 vatandaş ağır hasar görmüş ve /veya yıkılmış konutlardan kurtarılmıştır. 1.631 yaralı vatandaştan 1.587'si taburcu edilmiş, 5'i yoğun bakımda olan 46 vatandaşımız ise halen tedavi görmeye (3 Şubat 2020 itibariyle) devam etmektedir. Elâzığ-Sivrice ana depremi ardından 3 Şubat 2020 tarihine kadar bölgede toplam

1.948 artçı şok meydana gelmiş, bu artçı şokların 23'ünün büyüklüğü 4.0'ün üzerinde rapor edilmiştir.



Şekil 1.2 Doğu Anadolu Fay Hattının farklı segmentleri (Duman ve Emre, 2013)

Deprem sonrası, birçok araştırma ekibi, depremin etkilerini araştırmak için bölgede çalışmalar gerçekleştirmiştir. Saha çalışmalarının amacı, deprem sonrası oluşan ve izlerinin kaybolması muhtemel yapısal hasar mekanizmaları, toprak hareketleri, çatlaklar, sıvılaşma izleri vb. verileri toplamaktır. Araştırma ekibimiz bölgedeki betonarme ve yığma yapılar ile, zemin deformasyonları, sıvılaşma, yanal yayılma ile şev stabilitesi, kaya düşmesi ve hasarlı istinat yapıları gibi kolay bozulabilir veri örneklerini toplamak ve raporlamak amacıyla 25 Ocak-2 Şubat tarihleri arasında bölgeyi ziyaret etmiştir. Bunların yanı sıra saha güzergahı üzerindeki demiryolu sistemlerinin, hidrolik yapıların, karayollarının ve konut binalarının performansları da raporlanmıştır. Sonuç olarak, araştırma çabaları çoğunlukla aşağıdaki konuların belgelenmesine odaklanmıştır:

- Betonarme ve yığma yapıların performansı ve hasar görme mekanizmalarının raporlanması,
- Sismik zemin sıvılaşması ve deformasyonlarının vaka örnekleri şeklinde belgelendirilmesi,
- Sismik şev stabilitesi vaka örneklerinin belgelendirilmesi
- Baraj, köprü, demiryolu vb. ulaşım ağlarının sismik performanslarının raporlanması.

Bu hususlar bu raporun diğer bölümlerinde detaylı olarak tartışılacaktır.

# 2. BÖLÜM BÖLGE JEOLOJİSİ (DERLEME)

Prof. Dr. Kemal Önder ÇETİN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Makbule ILGAÇ<sup>1</sup>

Arş. Gör. Gizem CAN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Elife ÇAKIR<sup>1</sup>

Arş. Gör. Berkan SÖYLEMEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

### 2.1 Tektonik Oluşum

24 Ocak 2020 Elâzığ-Sivrice Depremi, Türkiye'nin ikinci en büyük fay sistemi olan sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Hattı (DAFH)'nın Sivrice-Pütürge segmenti üzerinde meydana gelmiştir. DAFH, Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH)'nın doğu ucunun, İskenderun Körfezi'nde Akdeniz'e bağlandığı bir fay segmenti bölgesi ile tanımlanmaktadır (Taymaz vd., 1991). KAFH, Karlıova kavşağında DAFH ile buluşmaktadır.

DAFH, Arap-Afrika ve Avrasya plakalarının kıta-kıta çarpışması nedeniyle tetiklenen öteleme hareketi karakteristiklerini sergiler. Arap, Avrasya, Hint ve Afrika'nın dört ana tektonik plakasının Anadolu'nun nispeten daha küçük tektonik bloğu ile etkileşimi, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi bölgede yüksek aktivite oluşturmaktadır (USGS, Bozkurt 2001). Yakın zamanlı tektonik süreçler sebebiyle DAFH, Kuzey-Güney yönünde tektonik bir sıkıştırma rejimi altındadır. KAFH ve DAFH arasında sıkışan Anadolu bloğu batıya doğru ilerlemektedir. (Şengör ve diğerleri, 1985, AFAD 2010 Raporu). DAFH, ağırlıklı olarak normal doğrultu bileşeni olan sol yanal atımlı olaylar üretir, ancak fay izi görece olarak KAFH'den daha az sürekli ve daha az lokalizedir. GPS verileri DAFH'deki ötelenme hızının 8±1 mm/yıl olduğunu göstermiştir (Ambraseys, 2009).

Tarihsel olarak, DAFH, karakteristik olarak M<sub>w</sub> 7'den daha büyük depremler üreten KAFH'nın aksine, yirminci yüzyılda nispeten daha küçük büyüklükte depremler üretmiştir (<u>www.koeri.boun.edu.tr</u>). Şekil 2.2 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan aktif fay haritasını göstermektedir.



Şekil 2.1 Tektonik yapı (Bozkurt (2001)'den alınmıştır)



Şekil 2.2 Elâzığ ve Malatya şehirleri çevresindeki aktif faylar ve fay segmentleri (MTA, 2020)

## 2.2 Tarihsel Depremler

Yirminci yüzyılda DAFH, Şekil 2.3'te sunulan yüzey kırıklarından da anlaşılabileceği üzere karmaşık yer değiştirme örgüleri gösteren birkaç büyük deprem ( $M_w$ > 7) üretmiştir (Barka, 1996); Utkucu vd., 2003). AFAD 2020 tarafından raporlandığı üzere, 20. yüzyılda DAFH'de,

en büyüğü 6.9 moment büyüklüğünde olan 4.0'dan büyük 299 deprem meydana gelmiştir. Ayrıca 1900 yılından önce bölgede 40 tarihi deprem olduğu rapor edilmiştir.

USGS tarafından da raporlanan bu yıkıcı depremlerden bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Mayıs 1971'de, 24 Ocak 2020 depreminin 150 km kuzeydoğusunda gerçekleşen M<sub>w</sub> 6.9 Bingöl depremi, 65 kişinin ölümüne sebep olmuş ve ayrıca ciddi yapısal hasar da üretmiştir.
- Eylül 1975'te M<sub>w</sub> 6.7 Lice depremi, 24 Ocak 2020 depreminin yaklaşık 140 km doğusunda, 2.000'den fazla insanın ölümüne ve hasara sebep olmuştur.
- Mayıs 1986'da yine güncel deprem kaynağının yaklaşık 120 km batısındaki M<sub>w</sub> 6.1 Sürgü depremi, 15 kişinin ölümüne ve 4.000'den fazla evin de hasar görmesine neden olmuştur.
- Mayıs 2003 M<sub>w</sub> 6.4 Bingöl depremi, 24 Ocak 2020 depreminin 140 km kuzeydoğusunda tetiklenmiş, 177 kişinin ölümüne, yüzlerce kişinin yaralanmasına ve 700'den fazla konutun yıkımına yol açmıştır.
- Mart 2010'da mevcut deprem kaynağının 100 km kuzeydoğusunda oluşan M<sub>w</sub> 6.1 Elâzığ-Kovancılar depremi 42 kişinin ölümüne, 100 kişinin yaralanmasına ve 300'e yakın binanın yıkımına sebep olmuştur.



Şekil 2.3 1900 yılı sonrası DAFH üzerinde gerçekleşen depremler (AFAD, 2020)

## 2.3 Genel Bölge Jeolojisi

Elâzığ ilinin jeolojik süreçte, en yaşlıdan en gence doğru sıralanan jeolojik birimleri aşağıda sunulmaktadır:

- Permo-Triyas yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşan Keban Metamorfitleri,
- Senoniyen yaşlı granit, granodiyorit, bazalt, bazaltik yastık lav, andezit ve dasit daykları ve volkanozimanter kayalardan oluşan Elâzığ Mağmatitleri,
- Üst Maestrihtiyen yaşlı masif kireçtaşlarından oluşan Harami Formasyonu,
- Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı konglomera, kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşan Kırkgeçit Formasyonu,
- Çamurtaşı, kumtaşı, kiltaşı ve bazalt, andezit ve diyabaz gibi magmatik kayaçlardan oluşan tortul kayaçlardan oluşan Maden Kompleksi,
- Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı tüf, aglomera, bazaltik lav ve lateral geçişli gölsel kalkerlerden oluşan Karabakır Formasyonu.

Şekil 2.4 bölgenin jeolojik haritasını göstermektedir. Bir sonraki kısımda bu birimler Aksoy (1993), Avşar (1983) ve İnceöz (1983)'den derlendiği üzere detaylı olarak tartışılacaktır.



Şekil 2.4 Elâzığ ili genel jeoloji haritası (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)

#### 2.3.1 Keban Metamorfitleri

Elâzığ'daki Keban Metamorfitleri, çoğunlukla Abdullahpaşa-Sarıçubuk mahalleleri ile Allahuekber tepesi arasında ve Sürsürü mahallesinin güneybatısında, Meryem Dağı eteklerinde yer almaktadır. Abdullahpaşa, Cumhuriyet mahalleleri, Sarıçubuk mahallesi ve Allahuekber tepesi arasındaki alanda Kırkgeçit Formasyonu tarafından açısal uyumsuzlukla, Meryem Dağı ve eteklerinde Karabakır Formasyonu tarafında uyumsuzluk göstermektedir.

Keban Metamorfitleri, rekristalize kireçtaşları-kalkşist, mermer, metakonglomerakalkfillitlerden oluşur, ancak çoğunlukla çalışma alanında rekristalize kireçtaşları ile temsil edilir.

#### 2.3.2 Elâzığ Mağmatitleri

Elâzığ Mağmatitleri, mağmatik kayaçlara ve Volkan-tortul kayaçlara ayrılmıştır. Mağmatik kayalar Harput'un batısından itibaren, Fevziçakmak mahallesi kuzey kısmı, Esentepe mahallesi, Safran mahallesi, Fırat Üniversitesi'nin kuzeyi, Cumhuriyet mahallesi, Abdullahpaşa civarlarında, Şahinkaya köyünün 1 km kadar doğusunda, inceleme alanın güneyinde Yeniköy mahallesi, Yadigâr mahallesi civarında, Keklik Tepe ve Karataş Tepe civarlarında, volkano-sedimanterler eski Beyyurdu-Karşıyaka mahalleleri arasında yer alır.

Elâzığ ili merkez yerleşim alanında tabanı görülmeyen Elâzığ Mağmatitleri'nin üzerine Keban Metamorfitleri tektonik olarak, Harami Formasyonu uyumlu olarak, Kırkgeçit formasyonu açısal uyumsuz olarak, Karabakır Formasyonu da uyumsuz olarak gelir. Elâzığ Mağmatitleri litolojik olarak tabanda gabro-dioritler, bazaltik-andezitik volkanik kayalar ve üzerlerinde bulunan volkan-klastikler ve onları kesen granodiorit-tonalitler ve dasit dayklarından oluşur.

#### 2.3.3 Harami Formasyonu

Harami Formasyonu Harput'un kuzeyinde, güneyinde ve doğusunda birkaç yüz metrekarelik adacıklar olarak bulunmaktadır. Elâzığ Mağmatitlerini kapsayan birim, genellikle masif kireçtaşları ile temsil edilen Kırkgeçit Formasyonu tarafından kapsanmaktadır. Bu ünite, altta merceksi kırmızı konglomera ve kumtaşı, alt katlarda kumlu kireçtaşı ve büyük kireçtaşından oluşur. Formasyon ortamları sığ, berrak, yaygın değil, bağlantısız ve resifal özellikler sergilemektedir. Harami Formasyonu, Meastrihtiyen'de dar ve sığ bir havzada birikmiştir. Tabandaki kırmızı konglomeralar ve kumtaşları fan deltası karakterli karasal birikintilerdir. Kumlu kireçtaşı ve üzerini örten kalkerler sığ denizde biriken karbonat yığışımlarıdır. Paleontolojik bulgulara göre Meastrihtiyen veya daha yaşlıdır.

#### 2.3.4 Kırkgeçit Formasyonu

Van şehrine uzanan Kırkgeçit Formasyonu üç farklı litolojik sütun halinde haritalanmıştır. Kumtaşı-marn birimleri kuzeydoğu ve kuzeybatı Virane bölgesinin kuzeyinde yer almaktadır. Çakıltaşı-kumtaşı, Sarıçubuk ve Şahinkaya köyleri ve Körpınar mahallesi çevresinde, Cumhuriyet ve Zafran mahallelerinin kuzeyinde, Harput'un kuzey ve kuzeydoğusunda, Marn birimi ise Akyazı sırtı kuzeyi ile Virane mahallesinin yakın güneyinde ve 1 km kadar kuzeyinde bulunur. Kumtaşı–marn üyesi ardalanmalı özellikte olup, yer yer çakıltaşı seviyeleri de bulunur.

#### 2.3.5 Karabakır Formasyonu

Karabakır Formasyonu üç jeolojik birim halinde haritalanmıştır: volkanik, kireçtaşı ve çakıltaşı-kumtaşı. Volkanik kayalar Yeniköy'ün yaklaşık 1 km doğusunda ve Yadigâr mahallesinin batısında yer almaktadır. Kireçtaşı üyesi Rızvan ve Baz tepeleri civarlarında ve Doğukent, Salıbaba, Çatalçeşme mahallelerinin batısında görülebilir. Çakıltaşı-kumtaşı, Yeniköy ilçesinin kuzeyinde ve kuzeydoğusunda, Yadigâr mahallesi çevresinde yer almaktadır. Karabakır Formasyonu, Keban Metamorfitleri, Elâzığ Mağmatitleri ve Kırkgeçit Formasyonunu uyumsuzlukla kapsamaktadır. Üzerinde de uyumsuz olarak Pleyistosen yaşlı alüvyonlar bulunur. Paleontolojik bulgularına göre Karabakır Formasyonunu yaşı Üst Miyosen'dir.

#### 2.3.6 Alüvyonlar

Geniş alanlara yayılan alüvyon sedimanları üç ayrı birim halinde haritalanır. Farklı litolojileri nedeniyle siltli kil, kumlu çakıllı kil ve kum çakıl olarak sınıflandırılırlar.

Siltli kil; Sürsürü, Kültür, Olgunlar, Hicret, Akpınar, Sarayatik, Nailbey, Üniversite ve Çarşı mahallelerinin güneydoğusunda bulunur.

Kumlu çakıllı kil; Sanayi mahallesi, Küçük Sanayi sitesi, Kırklar mahallesinin güneyi, İzzetpaşa mahallesinin orta ve kuzey kısmı, Yeni Mahalle, Fırat Üniversitesi kampüsünün güneyi ve doğusu, Sürsürü mahallesinin güney, kuzey ve kuzeybatısında, Abdullahpaşa mahallesinin doğusu ve güneyinde, Yadigâr mahallesinin yakın kuzeyinden Aksaray mahallesi yönünde uzanmaktadır.

Kum–çakıl üyesi ise, Abdullahpaşa mahallesinin kuzeyinde ve kuzeybatısında, Cumhuriyet mahallesinin güneyinde, Ulukent mahallesinde, Yıldızbağları, Rızaiye mahallesinde, İcadiye mahallesinde, Mustafapaşa, Rüstempaşa, Aksaray, Kızılay, Gümüşkavak, Sanayi mahalleleri kuzeyinde, Salıbaba-Karşıyaka mahalleleri arasında, Çatalçeşme, Doğukent mahallelerinde görülmektedir. Kum–çakıl oranı bölgelere göre değişmekte olup, yer yer kil de bulunmaktadır.

Şekil 2.5, önceki bölümlerde açıklandığı gibi, Elâzığ şehir merkezi çevresinde haritalanan jeolojik birimleri ve temsili kesitleri göstermektedir. Ayrıca Şekil 2.6, Elâzığ jeolojik yerleşimini temsil eden genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesitini sunmaktadır.



Şekil 2.5 Elâzığ şehir merkezi jeoloji haritası (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)

ÜS SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	LİTOLOJİ BİRİMLERİ	LİTOLOJİ		AÇIKLAMLAR
	TERNER	PLEYİS- TOSEN			Qal 2 Qal 3 Qal	Qal <sub>1</sub> Qal <sub>2</sub> Qal <sub>3</sub>	Siltli kil Kumlu çakıllı kil Kum - çakıl
K	N KUVA	iyosen - Liyosen		ABAKIR IASYONU	Tkb3	Tkb <sub>3</sub> Tkb <sub>2</sub>	Çakıltaşı - kumtaşı ardalanması Killi kireçtaşı - kiltaşı; killi kireçtaşı ve kiltaşı ardalanması
ZOYİ	NEOJE	ÜST M ALT P		KAR FORM		Tkb <sub>1</sub>	Volkanitler; bazalt,andezit ve bunların curufları
SENO				Ţ		Tk <sub>1</sub>	Mam
	ALEOJEN	A EOSEN -		<b>CIRKGEÇİT</b> RMASYONU		Tk <sub>2</sub>	Kumtaşı - marn ardalanması
	ď	ORI ÜST		k FO		Tk <sub>3</sub>	Çakıltaşı - kumtaşı ardalanması
OYİK	(II)	ЗЕ	ÜST MEASTRİHTİYEN	HARAMİ FORMASYONU		Kh	Masif kireçtaşı
MESOZC	KRETASI	ÜST KRETAS	SENONİYEN	ELAZIĞ MAĞMATİTLERİ		Ke <sub>1</sub>	Volkano - sedimenterkayaçlar; volkanik kumtaşı ve çamurtaşı Bazalt, bazaltik yastık lav,
İK	AS			Rİ			dasit daykları
PALEOZOY	PERMO - TRİYA			KEBAN METAMORFİTLE	в В в р в 2 в 2 в 2 в 2 в 2 в 2 в 2 в 2	PzMzk	Kristalize kireçtaşı

Şekil 2.6 Elâzığ ili genel stratigrafik kesiti (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006)

# 3. BÖLÜM DEPREMSELLİK VE KUVVETLİ YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİ

Prof. Dr. Kemal Önder ÇETİN<sup>1</sup>

Prof. Dr. Ayşegül ASKAN GÜNDOĞAN<sup>1</sup>

Prof. Dr. Zeynep GÜLERCE<sup>1</sup>

Öğr. Gör. Dr. Shaghayegh KARİMZADEH NAGHSHİNEH<sup>1</sup>

Arş. Gör. Makbule ILGAÇ<sup>1</sup>

Arş. Gör. Gizem CAN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Elife ÇAKIR<sup>1</sup>

Arş. Gör. Berkan SÖYLEMEZ<sup>1</sup>

Abdullah ALTINDAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

#### 3.1 Giriş

24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saat ile 20.55.11'de, Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde, Pütürge segmenti boyunca KD-GB sol yanal doğrultu atımlı fayın kırılması sonrası Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre moment büyüklüğü M<sub>w</sub> 6.8, Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) verilerine göre M<sub>w</sub> 6.7 olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. AFAD'a göre depremin merkez üssü 38.3593° kuzey enlemi ile, 39.0630° doğu boylamında olup, Elâzığ'ın yaklaşık 37 km güney- güneybatı yönünde ve Malatya'nın 64 km doğusunda, odak derinliği ise 8,06 km'dir.

### 3.2 Depremin Sismolojik Özellikleri

DAFH, Akdeniz'in kuzeydoğu köşesinde Karlıova düğüm noktasından Antakya'ya kadar uzanan KD-GB sol yanal atımlı bir kıta içi fay sistemidir (Şaroğlu vd., 1992). Duman ve Emre (2013), MTA'nın güncellenmiş aktif fay haritalarında (Emre vd., 2013) da benimsendiği gibi DAFH ana fayının, uzunlukları 31 ve 113 km arasında değişen yedi segmentten oluştuğunu belirtmişlerdir. Duman ve Emre (2013) tarafından belirtilen iki farklı segment: Palu ve Hazar Gölü arasında kalan Palu segmenti ve Hazar Gölü ve Sincik arasında kalan Pütürge segmentidir (Şekil 3.1). 2010 Elâzığ-Kovancılar depreminin (Mw = 6.1) fay kırığı, Palu segmenti üzerinde gerçekleşmiş olmakla birlikte; bu son deprem Pütürge segmenti ile ilişkilendirilmiştir. 2020 depremini oluşturan fayda, 2010 Kovancılar depremine bağlı artan stres seviyeleri olduğu düşünülmektedir (Akkar vd., 2011).

MTA tarafından yayınlanan saha gözlemleri ön raporuna göre, bu depremle ilgili yüzey deformasyonları Hazar Gölü'nden başlayarak Pütürge'ye (Malatya) kadar yaklaşık 48 kilometrelik bir hat boyunca gözlenmiştir. Bu gözlemler Şekil 3.2'de gösterilen artçı depremlerin alansal dağılımıyla uyum göstermektedir. Bu sebeple MTA'nın ön raporunda belirtilen yüzey deformasyonlarının oluşturduğu yaklaşık kırılma düzlemi, bu raporda kaynak mesafesi hesaplamasında dikkate alınmıştır.

## 3.3 Fay-Kaynak Özellikleri

AFAD ve USGS tarafından hazırlanan ana sarsıntı odak mekanizması çözümleri, Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Her ikisi de sol yanal atım hareketine işaret eden, bölgesel tektonik ve fay hattı özellikleri ile tutarlı olan fay düzlem çözümlemeleri sunmaktadır. Ayrıca, Şekil 3.3'te, moment büyüklükleri 4.0-5.1 arasında değişen artçı depremlerin odak mekanizması çözümleri ve geometrik dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Geçen yüzyıldaki sismik hareketliliğin yanı sıra önemli tektonik olaylar ile 2020 (kırmızı yıldız) ve 2010 (gri yıldız) depremlerinin merkez üsleri (Akkar vd., (2011)'den uyarlanmıştır)



Şekil 3.2 Artçı depremlerin 24-28 Ocak 2020 tarihleri arasındaki dağılımı (<u>https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu</u>)

Ana şokun ardından 10 günlük süre içerisinde, büyüklükleri 0.8 ile 5.1 arasında değişen 1948 artçı deprem kaydedilmiştir. Bu artçı şokların odak derinlikleri, bölgenin sismik fay yapıları ile tutarlı olarak, genelde zemin yüzeyinden 5–20 km arası derinliklerde yoğunlaşmıştır (Şekil 3.4).

### 3.4 Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketlerinin Ön Değerlendirme Analizleri

AFAD tarafından depremden hemen sonra yayınlanan ön rapora göre, ana şok 66 kuvvetli yer hareketi istasyonu tarafından kaydedilmiştir. Ön değerlendirme raporunda, sadece sismik kaynağa yakın beş kayıt istasyonunda kaydedilen üç yönde en büyük maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri verilmektedir. Raporun yayınlandığı tarihe kadar, kayıtların dalga formları veya davranış spektrumları AFAD tarafından paylaşılmamıştır. Bu sebeple kuvvetli hareket özelliklerinin detaylı irdelenmesi bu rapor kapsamına dahil edilmemiştir. Öte yandan, verilen PGA değerleri, kaydedilmiş yer sarsıntı seviyelerinin mevcut yer hareketi tahmin denklemleri (GMPE'ler) ve son zamanlarda güncellenen Türkiye Sismik Tehlike Haritasında (2018) sunulan tasarıma esas PGA değerleri ile ön ve karşılaştırmalı analizi için faydalı olmuştur.

Tablo 3.2 AFAD'ın ön değerlendirme raporundan alınan PGA değerlerini göstermektedir. Bütün istasyonlar için kesme dalga hızı profili mevcuttur: Pütürge (ID#4404), Center (ID#2301), ve Maden (ID#2302) istasyonlarının ilk 30 metreleri için zaman-ortalamalı kesme dalga hızları ( $V_{S30}$ ) Sandıkkaya vd. (2010) tarafından ölçülmüş ve bu değerler <u>http://kyhdata.deprem.gov.tr</u> üzerinden paylaşılmıştır (son erişim 31 Ocak 2020). Diğer iki istasyon, Sivrice (ID#2308) ve Gerger (ID# 0204) için  $V_{S30}$  değerleri AFAD tarafından desteklenen ve yakın zamanda tamamlanmış olan bir projenin final raporundan alınmıştır (Kurtuluş vd. 2019). Bu değerler Tablo 3.2'de gösterilmektedir. Kaydedilen kuvvetli yer hareketlerinin mesafe azalışını, mevcut GMPE'lerin mesafe ölçeklendirmesiyle karşılaştırmak için, kaydedilen değerler her modelde kullanılan saha büyütme ölçeklemesi kullanılarak  $V_{S30}$  = 400 m/s değerine normalize edilmiştir. Tablo 3.2'de verilen kırılma ( $R_{RUP}$ ) ve Joyner-Boore ( $R_{JB}$ ) mesafeleri, Şekil 3.5'te gösterilen fay düzlemi kullanılarak hesaplanmıştır. Kırılma düzleminin kuzey-doğu ve güney batı uçları hala tartışmalı olduğundan, Sivrice ve Maden istasyonları için kaynak-saha mesafe değerleri bir miktar bilinmezlik içermektedir.

Maksimum yer ivmelerini (PGA) tahmin etmek için, uygun kaynak mesafesi ve saha koşulları göz önüne alınarak NGA-West Yer Hareketi Tahmin Denklemleri (GMPE)'nden Abrahamson vd. 2008 (ASK08) çalışması kullanılmıştır. Şekil 3.6'da, kaydedilen PGA değerlerinin geometrik ortalamaları, tahmin denklemlerinde  $V_{s,30}$ =200, 350, 500 ve 1100 m/s değerleri kullanılarak hesaplanan PGA değerleri ile kıyaslamalı gösterilmiştir. Bu karşılaştırmalara dayanarak, kaydedilen PGA değerlerinin Abrahamson vd. GMPE tahminleriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısına göre, kırılma uzunluğunun saha ve artçı sarsıntılarla tutarlı olarak 40-60 km arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Bu değer aynı zamanda, Gülerce vd., (2017)'de belirtildiği üzere yerel tektonik çevrenin bölgesel karakteristiğiyle de uyumludur.

AFAD	Doğrultu 1	Eğim 1	Sapma 1	Doğrultu 2	Eğim 2	Sapma 2
	248	76	1	158	89	166
USGS	Doğrultu 1	Eğim 1	Sapma 1	Doğrultu 2	Eğim 2	Sapma 2
ALL D	337	78	-170	245	80	-12

Tablo 3.1 AFAD ve USGS tarafından sunulan moment tensor çözümleri



Şekil 3.3 24 Ocak 2020 Elâzığ-Sivrice depremi Mw=6.8 ve AFAD tarafından moment tensör çözümleri ile birlikte sunulan artçı şoklar (https://deprem.afad.gov.tr/)



Şekil 3.4 2020 Elâzığ-Sivrice depremi sonrası 24 Ocak-3 Şubat tarihleri arasında kaydedilen depremler (M<sub>w</sub>) ve odak derinliği dağılımı (AFAD)

İstasyonlar				Kayo Değ	dedilen erleri (g	İvme gals)	R <sub>rup</sub> *	R <sub>jb</sub> *	V <sub>s30</sub> **
İstasyon Kodu	Kasaba	Enlem	Boylam	K-G	D-B	U	(km)	(km)	(m/s)
2308	Sivrice	38.451	39.310	238	292.8	190.1	1.76	1.45	450
4404	Pütürge	38.196	38.874	207	239.2	153.9	5.49	5.4	1380
204	Gerger	38.029	39.035	94	110.1	60.8	28.62	28.6	555
2301	Center	38.670	39.193	119	140.7	66.3	27.87	27.85	407
2302	Maden	38.392	39.675	26.3	34	22.8	31.27	31.25	907

Tablo 3.2 Kuvvetli yer hareketi istasyonları ve kaydedilen PGA değerleri (AFAD)

\* MTA ön raporundaki kırılma düzleminin yaklaşık konumuna göre tahmin edilmiştir. \*\* AFAD yer hareketi istasyonlarından alınmıştır.

Enerji salınım bölgesine en yakın beş istasyonun PGA değerlerinin geometrik ortalaması, ASK08 tarafından elde edilen tahmini medyan değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.6, kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarında kaydedilen PGA değerlerinin hesaplanmış PGA değerleri ile karşılaştırmasını göstermektedir. Bu karşılaştırmalara dayanarak, Sivrice ve Maden istasyonlarında kaydedilen küçük değerlere rağmen, PGA değerlerinin GMPE tahminleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Kuvvetli yer hareketi ivme-zaman verileri kamuoyu ile paylaşıldığı zaman daha detaylı çıkarımlar yapılacaktır.


Şekil 3.5 AFAD ön raporunda yer alan beş kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunun konumları (R<sub>JB</sub> değerleri MTA raporunda yer alan fay kırığı (mavi çizgi) dahilinde yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Mavi ve yeşil çizgiler Palu ve Pütürge segmentleri olup Gülerce vd. 2017'ye nazaran sonlanma noktaları göz önüne alınarak biraz değiştirilmiştir.)

Kale (2019) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışma, sığ kabuklu ve aktif tektonik bölgeler için GMPE'lerin tahmin performansını Türkiye kuvvetli yer hareketi veri tabanı ile karşılaştırmak için çeşitli sıralama yöntemleri kullanmıştır. Analiz sonuçları, bölgesel Kale vd. (2015), Boore ve Atkinson (2008) modelinin Türkiye için kalibre edilmiş sürümü olan Gülerce vd. (2016) ve Chiou ve Youngs (2014) modellerinin diğer alternatiflerden daha iyi tahmin performansına sahip olduklarını göstermektedir. Bu bulgulara dayanarak, bu depremin normalize edilmiş PGA değerleri, Türkiye için kalibre edilmiş Boore ve Atkinson (2008) ile Chiou ve Youngs (2008) tarafından verilen medyan  $\pm 1\sigma$  aralığındaki tahminlerle kıyaslanmıştır. Şekil 3.7'ye göre, Pütürge, Gerger ve Elâzığ Merkez istasyonlarında kaydedilen PGA değerlerinin, test edilmiş GMPE'lerin medyan tahminlerine eşit veya çok yakındır. Depremin merkez üssüne en yakın nokta olan Sivrice kayıt istasyonunda kaydedilen PGA değerleri, Kale vd. (2015) medyan tahminlerinin altında olmakla beraber, diğer GMPE'lerin tahmin değerlerinden yaklaşık 1 standart sapma düşüktür. Benzer şekilde, Maden istasyonunda kaydedilen PGA değeri, her modelin median $\pm 1\sigma$  aralığının dışında kalan medyan tahminlerinden belirgin bir şekilde düşüktür. Bu bulgular, Akkar vd. (2010)'da verilen mesafe azalma çizimleriyle tutarlıdır: 2010 Elâzığ-Kovancılar Depremi'nin kaydedilen yer hareketlerinde 100 km'den uzak bölgelerde düşük kalite faktörü değerleri sebebiyle sarsıntının daha hızlı zayıflama gösterdiği gözlenmiştir. 30 km mesafenin üzerindeki noktalar için veri miktarı şu anda çok sınırlıdır; bu nedenle, burada sunulan tartışmalar ve yorumlar, güçlü yer hareketi kayıtları kamuya açıldığında daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.



Şekil 3.6 ASK08 tarafından tahmin edilen PGA değerleri ile kayıt istasyonlarında kaydedilen PGA değerlerinin kıyaslanması

Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH), 2018 yılında güncellenmiştir (Akkar vd., 2018) ve 2019'un başından beri yönetmeliğe uygun binaların tasarım spektrumunu elde etmek için güncellenmiş Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019) tarafından uygulanmaktadır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası esas alınarak 50 yılda %50 ve %10 aşılma olasılığına sahip deprem senaryoları için (sırasıyla 72 ve 475 yıllık tekrar süreleri için) kısa periyot S<sub>DS</sub> değerleri her istasyon için <u>https://tdth.afad.gov.tr</u> (son erişim Şubat 11, 2020) adresinden indirilmiş (Şekil 3.8) ve Tablo 3.3'te gösterilmiştir. S<sub>DS</sub> değerlerini hesaplamak için, Tablo 3.2'de verilen saha özellikleri göz önüne alınmış, aynı tehlike seviyesindeki PGA değerleri S<sub>DS</sub> değerlerinin %40'ı alınarak hesaplanmıştır.

Kırılma yüzeyine en yakın yerde bulunan Sivrice istasyonunda, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) 475-yıllık ve 72-yıllık tekrarlanma periyotları için PGA değerlerini sırasıyla 0.722 g ve 0.277 g olarak önermektedir. Bu istasyonda kaydedilen maksimum ivme değeri (0.3 g), 475-yıllık tekrarlanma periyodu PGA değerinden belirgin bir şekilde düşük iken, 72-yıllık tekrarlanma periyodu için önerilen PGA değerinden biraz büyüktür. Benzer bir durum Pütürge istasyonu için de geçerlidir. Kaynak-saha mesafesi fazla olan diğer istasyonlar için, kaydedilen maksimum ivme değerleri, TDTH'nin 72-yıllık tekerrür periyodu için tavsiye edilen PGA değerlerinden düşüktür. Bu bulguların ışığında Elâzığ depreminin, tasarım düzeyi deprem değerinden daha az şiddette sarsıntılar ürettiği açıktır.



Şekil 3.7 Ölçeklendirilmiş kaydedilen PGA değerlerinin tahmin denklemleri ile kıyaslanması (Yanal atılımlı fay, M<sub>w</sub>=6.8, V<sub>S,30</sub>=400 m/s)
(a) BA08\_TR, (b) CY08\_TR, (c) BSSA14, (d) CY14, (e) Kale vd., (2015).



Şekil 3.8 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://tdth.afad.gov.tr) (Elâzığ-Sivrice istasyonu (ID#2308) harita üzerinde mavi nokta ile gösterilmiş ve 475 yıllık PGA değerleri de aynı şekil üzerinde paylaşılmıştır.)

İstasyon Kodu	Saha Sınıfı	V <sub>s,30</sub>	PGA*	TDTH- 72-yıllık tekerrür periyodu					TDTH- 475-yıllık tekerrür periyodu				
		(m/s)	(g)	Ss	$S_1$	S <sub>DS</sub>	S <sub>D1</sub>	PGA** (g)	Ss	S <sub>1</sub>	S <sub>DS</sub>	S <sub>D1</sub>	PGA** (g)
2308	ZC	450	0.3	0.54	0.13	0.69	0.19	0.28	1.5	0.4	1.81	0.59	0.72
4404	ZB	1380	0.24	0.55	0.12	0.49	0.1	0.2	1.58	0.4	1.42	0.32	0.57
204	ZC	555	0.11	0.34	0.09	0.45	0.13	0.18	0.88	0.23	1.06	0.35	0.42
2301	ZC	407	0.14	0.34	0.1	0.45	0.15	0.18	0.91	0.26	1.1	0.39	0.44
2302	ZB	907	0.04	0.43	0.11	0.39	0.09	0.15	1.15	0.31	1.03	0.25	0.41

Tablo 3.3 Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının özellikleri ve kaydedilmiş PGA değerleri

\* Kaydedilen bileşenlerin en büyüğü rapor edilmiştir.

\*\* Saha koşulları ile uyumlu PGA değerleri mevcut olmadığı için, saha koşulları için ölçeklenmiş S<sub>DS</sub> değeri 0.4 ile çarpılarak yaklaşık PGA değerine dönüştürülmüştür.

Tam ivme kaydı verileri olmadan, bölgedeki yapıların sismik performansının değerlendirilmesinde kritik olan spektral ivme değerlerini hesaplamanın ve yorumlamanın mümkün olmadığını hatırlatmakta fayda görülmektedir.

## 3.5 Bölgesel Makrosismisite Yoğunluğunun Mekânsal Dağılımı

Öngörülen sarsıntı seviyelerini ölçmenin bir diğer yolu da makrosismik yoğunluk değerlerini kullanmaktır. Özellikle depremin etkilerini değerlendirmek için depremden hemen sonra bu değerlerin mekânsal dağılımının incelenmesi önemlidir. Makrosismik yoğunluk değerleri, yer hareketlerinin aletsel ölçümleri ile kıyaslandığında bir miktar belirsizliğe sahip olsalar da özellikle sarsıntının yerleşik çevre ve insanlar üzerindeki etkilerini görmek için tüm dünyada deprem etkilerinin ivedi değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. İnsan tepkisi ve bina hasarı üzerine gözlemler esas alınarak sahaya ve depreme özel ampirik eş-sarsıntı haritaları hazırlamak mümkündür. Diğer bir alternatif ise sarsıntı şiddeti ile maksimum veya spektral yer hareketi parametreleri arasındaki korelasyonları kullanımaktır.

Merkez üssüne en yakın şehir merkezi olan Elâzığ, enerji kaynak bölgesine yaklaşık 26,5 km, Malatya ve Adıyaman şehir merkezleri de merkez üssüne sırasıyla 33,8 ve 62,7 km uzaklıktadır. Bununla birlikte, fay çevresinde bulunan ve büyük olasılıkla daha yüksek düzeyde sarsıntıya maruz kalan birkaç küçük kasaba ve köy de vardır. AFAD tarafından paylaşılan Modifiyeli (Değiştirilmiş) Mercalli Ölçeği (MMI) cinsinden başlangıç niteliğinde bir sarsıntı şiddet haritası Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Bu haritadaki değerler, MMI ve kuvvetli yer hareketi parametreleri arasındaki korelasyonları kullanan AFAD-RED sistemi ile elde edilmiştir. Deprem şiddet haritası, tahmin edilen maksimum MMI değerinin merkez üssü yakınlarında IX olduğunu göstermektedir. Sonraki kısımda ise, MMI dağılımlarının aşağıda gösterilen ampirik formül dahilinde (Bilal ve Askan, 2014) hesaplandığı bir MMI haritası Şekil 3.10'da gösterilmektedir:

$$MMI = 3.884 \times \log(PGA) + 0.132 \tag{1}$$

PGA değerlerini hesaplamak için, Kale vd., (2015) bağıntısı uygulanmış, daha sonra ise PGA değerleri bilinen 5 istasyon kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Daha sonra MMI değerleri Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Yer hareketi verileri (ivme-zaman verileri) kamuoyu ile paylaşıldığında, bu çalışmalar tüm veri seti için tekrarlanacaktır.

Çalışma alanında çok benzer MMI değerlerinin hesaplandığı görülmektedir. Sarsıntı şiddetinin saçılımı, fay düzleminin yanı sıra özellikle kırsal alanda, sahada gözlemlenen hasar seviyelerinin mekânsal dağılımı ile tutarlıdır. Ayrıca şu anda, depreme özel bir MMI haritasının oluşturulması çalışmaları da devam etmektedir.



Şekil 3.9 AFAD tarafından paylaşılan taslak sarsıntı şiddeti dağılım haritası



Şekil 3.10 MMI-PGA bağıntıları kullanılarak hesaplanan MMI dağılımı (Bilal ve Askan, 2014)

# 4. BÖLÜM GEOTEKNİK SAHA GÖZLEMLERİ

Prof. Dr. Kemal Önder ÇETİN<sup>1</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Mesut GÖR<sup>2</sup>

Arş. Gör. Makbule ILGAÇ<sup>1</sup>

Arş. Gör. Gizem CAN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Elife ÇAKIR<sup>1</sup>

Arş. Gör. Berkan SÖYLEMEZ<sup>1</sup>

Faik CÜCEOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi

<sup>3</sup> Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

#### 4.1 Giriş

Bu bölümde 26 Ocak- 1 Şubat tarihleri arasında yapılan saha çalışmaları sırasında ve sonrasında yapılan geoteknik saha gözlemleri tartışılmaktadır. Elâzığ il merkezi zemin profili hakkında kısa bir tartışma sonrası, saha çalışmaları ve gözlemlerini özetleyen fotoğraf ve haritalar sunulmuştur.

## 4.2 Elâzığ Merkez Zemin Saha Koşulları

Mevcut bölgesel veriler göz önüne alındığında, Elâzığ şehir merkezinin en çok etkilenen dört bölgesinin, i) Mustafapaşa, ii) Şahinkaya, iii) Sürsürü, iv) Zafran olduğu anlaşılmış ve rapor kapsamında bu bölgelerin zemin yapılarının kısaca değerlendirilmesinin gerekli olduğu düşünülmüştür. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile mevcut kayma dalgası hız ölçümleri ve Standart Penetrasyon Testi sonuçları bu değerlendirmelerin temelini oluşturmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde görüleceği üzere, adı geçen her bölge için genelleştirilmiş zemin profili sondaj örneklerinden derlenerek temsili olarak gösterilmiştir.

### 4.2.1 Elâzığ- Merkez

#### 4.2.1.1 Elâzığ- Mustafapaşa Bölgesi

Elâzığ'ın şehir merkezinde bulunan Elâzığ-Mustafapaşa bölgesinde yapısal olarak hasar görmüş konut binaları bulunmaktadır. Mustafapaşa bölgesi Pliyo-Kuvaterner dönemi genç sedimanlarından oluşmaktadır. İlçede görülen tipik zemin, kahverengi çakıllı kumlu kil olarak sınıflandırılmıştır. Yeraltı suyu tipik olarak 15 metre civarında gözlemlenmiştir. Temsili bir litoloji örneği Şekil 4.1'de sunulmaktadır. Bölge için üst 30 m'nin ( $V_{s,30}$ ) kayma dalgası hızı, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile 300-350 m/s mertebesinde olarak tahmin edilmektedir. Şekil 4.1'de verilen sondaj logunun tüm bölgeyi temsil edecek ideal toprak koşullarını yansıtamayacağını unutmamak gerekir.



Şekil 4.1 Elâzığ-Mustafapaşa bölgesi için tipik sondaj logu

#### 4.2.1.2 Elâzığ- Şahinkaya Bölgesi

Mustafapaşa bölgesinde olduğu gibi Şahinkaya'da da yapısal hasar örnekleri gözlemlenmiştir. Bölge temel zemini/kaya profili çoğunlukla ayrışmış kumtaşlarından oluşmaktadır. Ayrışma ve çatlakların derinlikle birlikte azaldığı gözlenmiştir. Yeraltı suyu seviyesi 6 metre mertebelerindedir. Bölgenin zemin/kaya profilini sunan temsili bir sondaj logu Şekil 4.2'de sunulmuştur. Bölge için üst 30 m'nin ( $V_{s,30}$ ) kayma dalgası hızının, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile 400-500 m/s mertebelerinde olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 4.2 Elâzığ-Şahinkaya bölgesi için tipik sondaj logu

#### 4.2.1.3 Elâzığ- Sürsürü Bölgesi

Yapısal hasarların çoğu, Plio-Kuaterner dönemi genç çökeltilerin temel profillerine hâkim olduğu Elâzığ-Sürsürü bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bölgede yüzey tabakaları kahverengi çakıllı kumlu kil olarak sınıflandırılmıştır. Yeraltı suyu tablası 15 m derinliğin altındadır. Temsili litoloji Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Bölge için üst 30 m'nin (V<sub>s,30</sub>) kayma dalgası hızı, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile 350-400 m/s mertebelerinde tahmin edilmektedir.



Şekil 4.3 Elâzığ-Sürsürü bölgesi için tipik sondaj logu

Saha incelemeleri sırasında, örselenmemiş ve örselenmiş zemin numuneleri alınan ve SPT ölçümleri yapılan bir sondaj çalışmasına tanık olunmuştur. Bu çalışmanın sondaj logu sözlü iletişim ile elde edilmiş ve Şekil 4.4'te temsili olarak sunulmuştur.



Şekil 4.4 Elâzığ-Sürsürü bölgesi için tipik sondaj logu (sözlü iletişim)

#### 4.2.1.4 Elâzığ- Zafran Bölgesi

Elâzığ-Zafran ilçesinde ayrışmış ve çatlaklı gri-bej kumtaşları görülmektedir. Kaya artan derinlik ile nispeten sağlam hale gelmektedir. Yeraltı suyu tablasının 10 metreden daha derin olduğu görülmektedir. Bölgeyi temsilen bir zemin /kaya profili Şekil 4.5'de sunulmaktadır. Üst 30 m (V<sub>s,30</sub>) için kayma dalgası hızı, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile 650-700 m/s mertebelerinde tahmin edilmektedir. İlçeye özgü yapısal hasar modelleri henüz mevcut değildir ve gelecekteki çalışmaların kapsamı dahilinde incelenecektir.



Şekil 4.5 Elâzığ-Zafran bölgesi için tipik sondaj logu

## 4.3 Faya Yakın Bölgelerde Zemin Hareketleri

Saha ekibi deprem sonrası oluşan ve izlerinin kaybolması muhtemel üstyapı hasar mekanizmaları, toprak hareketleri, çatlaklar, sıvılaşma izleri vb. verileri toplamak amacıyla 31.01.2020 – 01.02.2020 tarihlerinde Elâzığ ve Malatya bölgelerini ziyaret etmiştir. İlk gün, rotası Şekil 4.6'da paylaşıldığı üzere, Hazar Gölü kıyıları incelenmiştir. Gözlem ekibi tarafından göl kıyısında 16 farklı istasyonda gözlemler yapılarak haritalandırılmış, gerekli görülen yerlerden zemin numuneleri alınmıştır. Gözlemlerin detayları, 4.2.1 başlıklı kısımda açıklanmıştır.





Şekil 4.6 Saha gözlem noktaları - 1. Gün

Saha incelemesi kapsamında ikinci gün Kamışlık, Fırat Nehri, Malatya ve Elâzığ, Kapıkaya Baraj sahaları incelenmiştir. Şekil 4.7'de de görüldüğü üzere, ikinci gün saha çalışması kapsamında 16 farklı istasyonda gözlemler yapılmış, bazı sahalardan zemin numuneleri alınmıştır. Bu gözlemlerin detayları 4.2.2 başlıklı kısımda açıklanmıştır.



Şekil 4.7 Saha gözlem noktaları - 2. Gün

## 4.3.1 1. Gün: Hazar Gölü Kıyısı

#### 1. İstasyon- Sivrice Yolu

Bölgede yapılan incelemeler neticesinde, zemin yüzeyinin ve bölgenin alüvyonlu yapısının sıvılaşma tetiklenmesi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, Şekil 4.8'de



gösterildiği gibi, ilk istasyonda kum kaynaması, yanal yayılma, aşırı çökelme vb. şeklinde herhangi bir sıvılaşma belirtisi gözlenmemiştir.

Şekil 4.8 Sivrice yolundan çekilmiş bir saha görüntüsü (38°28'08.6"N 39°16'40.2"E / 31.01.2020 / 11:47)

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, Sivrice yolu yakınında küçük bir dolgu şev çatlağı gözlemlenmiştir. İnceleme neticesinde çatlağın bölgesel, küçük ölçekli bir şev stabilite probleminin işareti olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.9 Karayolunun dolgu şevinde gözlemlenen küçük ölçekli bir çatlak (38°28'08.0"N 39°16'38.7"E / 31.01.2020 / 11:50)

Çatlağın gözlemlendiği yol dolgusunun hemen altında, Şekil 4.10'da da görüleceği gibi komşu bir bölge ziyaret edilmiştir. Bölgenin yüzeysel killi zeminden oluştuğu anlaşılmıştır. Bölgede herhangi bir zemin deformasyonun işaretine rastlanmamıştır.



Şekil 4.10 Zemin deformasyonu gözlenmeyen killi yüzeysel zemin (38°28'09.0"N 39°16'46.8"E / 31.01.2020 / 11:51)

Sivrice yolunun yakınındaki bir yürüyüş yolunda geniş bir çatlak gözlenmiştir (Şekil 4.11). Çatlağın doğrultusu olası bir şev hareketini desteklemezken, depremden önce de var olan eski bir çatlak olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.11 Yürüyüş yolunda gözlemlenen çatlak (38°28'10.0"N 39°17'03.6"E / 31.01.2020 / 11:56)

#### 2. İstasyon- Sivrice Rıhtımı

Hazar Gölü kıyı şeridinde ve Sivrice rıhtımında sismik kaynaklı yanal yayılma ve hacimsel oturmalar gözlenmiştir. Gözlemlenen zemin deformasyonları haritalanmış ve Bölüm 4.7'de ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Hacimsel oturma ve yanal yer değiştirme fotoğrafları, ilgili deformasyon ölçümleri Şekil 4.12- 4.19'da gösterilmektedir. Sıvılaşma emarelerinin gözlemlendiği bu bölgenin hemen yanındaki bir kesimde ise, Şekil 4.20 ve 4.21'de görüleceği üzere herhangi bir zemin yenilmesine rastlanmamıştır.





Şekil 4.12 Hazar Gölü rıhtımında sismik kaynaklı hacimsel oturma ve yanal yayılma (38°28'10.0"N 39°17'03.6"E / 31.01.2020 / 12:11 & 38°26'53.2"N 39°18'53.4"E / 31.01.2020 / 12:14)



Şekil 4.13 Hazar Gölü rıhtımında oluşan sismik kaynaklı hacimsel oturmaların ölçümü (38°26'53.1"N 39°18'53.6"E / 31.01.2020 / 12:16 & 38°26'53.2"N 39°18'52.9"E / 31.01.2020 / 12:13)



Şekil 4.14 Betonarme rıhtım bloklarında haritalanan yer değiştirmeler



Şekil 4.15 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılmalar (38°26'53.7"N 39°18'54.2"E / 31.01.2020 / 12:21 & 38°26'50.7"N 39°18'56.9"E / 31.01.2020 / 12:21)



Şekil 4.16 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli zemin deformasyonları (38°26'50.7"N 39°18'56.7"E / 31.01.2020 / 12:28)



Şekil 4.17 Hazar Gölü kıyısında zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılmalar (38°26'48.4"N 39°18'57.4"E / 31.01.2020 / 12:31 & 38°26'50.1"N 39°18'57.2"E / 31.01.2020 / 12:54)



Şekil 4.18 Zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılma çatlaklarının başka bir görüntüsü (38°26'50.7"N 39°18'55.4"E / 31.01.2020 / 12:36)



Şekil 4.19 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşması sebepli yanal yayılma çatlaklarının haritalandırılması (38°26'50.0"N 39°18'57.2"E / 31.01.2020 / 13:14)



Şekil 4.20 Zemin hareketinin gözlenmediği saha: Hazar Gölü yanal yayılma olan bölgeye komşu kıyı (38°26'48.9"N 39°18'59.4"E / 31.01.2020 / 13:08)



Şekil 4.21 Zemin hareketinin gözlenmediği saha: Hazar Gölü yanal yayılma olan bölgeye komşu kıyı (38°26'48.9"N 39°18'59.4"E / 31.01.2020 / 13:08)

#### 3. İstasyon- Sivrice Merkez

Bu istasyonda zemin yenilmesi olan bir saha gözlenmemiştir. Şekil 4.22'de sunulduğu üzere, demiryolu hatlarının hasar görmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22 Sivrice'de hasar almamış demiryolu hattı (38°26'49.5"N 39°18'33.4"E / 31.01.2020 / 13:29)

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te görüleceği üzere, devrilmiş bacalara rastlanmıştır. Bu gözlem, bölgede hissedilen deprem şiddetinin Mercalli şiddet ölçeğine göre VIII büyüklüğünde veya daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.23 Sivrice'de devrilmiş bacalar (38°26'49.6"N 39°18'32.9"E / 31.01.2020 / 13:29)



Şekil 4.24 Sivrice'de devrilmiş bir baca (38°26'49.7"N 39°18'33.0"E / 31.01.2020 / 13:30)

#### 4. İstasyon- Sivrice Hazar Gölü Kıyısı

Bu istasyonda, yüzey jeolojisi Şekil 4.25'te görüleceği gibi alüvyondan, volkanik kayalara dönüşmüştür. Depremden sebepli herhangi bir zemin yenilmesine rastlanmamıştır.





Şekil 4.25 Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha (38°26'32.0"N 39°19'11.4"E / 31.01.2020 / 13:42 & 38°26'33.2"N 39°19'10.0"E / 31.01.2020 / 13:42 & 38°26'31.9"N 39°19'04.4"E / 31.01.2020 / 13:3)

## 5. İstasyon

Bölgedeki demiryolu tünelinde herhangi bir hasar gözlenmemiştir (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).



Şekil 4.26 Demiryolu tünelinin bir görüntüsü (38°26'43.7"N 39°20'40.8"E / 31.01.2020 / 13:54)



Şekil 4.27 Güney Kurtalan Ekspresi geçerken (38°26'56.9"N 39°21'16.7"E / 31.01.2020 / 13:59)

Demiryolu tünelinin kıyı şeridi de ziyaret edilmiştir. Yol dolgusunun nispeten dik bir eğimi olmasına rağmen (yaklaşık 45°); dolgunun kıyıya ulaşan eteklerinde herhangi bir zemin yenilmesine rastlanmamıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Yenilme işareti görülmemiş yol dolgu şevleri (38°26'43.7"N 39°20'40.7"E / 31.01.2020 / 13:54)

#### 6. İstasyon

Şekil 4.29'da görüldüğü üzere, yüzey zeminlerinin düşük plastisiteli killerden oluştuğu bu bölgede zemin yenilmesiyle ilgili bir ize rastlanmamıştır.



Şekil 4.29 6. istasyonda zemin yenilmesi izine rastlanmamış saha (38°27'17.1"N 39°21'49.3"E / 31.01.2020 / 14:03

#### 7. İstasyon

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi, bölgenin sahile uzanan dik yamaçlarında herhangi bir zemin yenilmesine rastlanılmamıştır.



Şekil 4.30 7. istasyonda zemin yenilmesi görülmemiş saha (38°27'31.0"N 39°22'55.9"E / 31.01.2020 / 14:08)

## 8. İstasyon

Sismik sıvılaşma yenilme izlerine Şekil 4.31- 4.37'de görüleceği üzere kum kaynamaları formunda rastlanmıştır.



Şekil 4.31 Kum volkanı (38°27'49.7"N 39°24'01.1"E / 31.01.2020 / 14:38)



Şekil 4.32 Kum kaynama bölgesi (38°27'49.8"N 39°24'03.0"E / 31.01.2020 / 14:14)



Şekil 4.33 Kum volkanları (38°27'49.9"N 39°24'02.8"E / 31.01.2020 / 14:17)



Şekil 4.34 8. istasyonda kumlu zemin katmanları (38°27'50.3"N 39°24'02.1"E / 31.01.2020 / 14:21)



Şekil 4.35 8. istasyonda bant şeklinde kum kaynamaları (38°27'49.7"N 39°24'03.3"E / 31.01.2020 / 14:16)


Şekil 4.36 Kum volkanı (38°27'49.6"N 39°24'01.7"E / 31.01.2020 / 14:38)



Şekil 4.37 Bölgedeki başka bir kum volkanı (38°27'50.1"N 39°24'01.3"E / 31.01.2020 / 14:43)

Şekil 4.38'de görüleceği üzere, sahada herhangi bir zemin yenilmesi emaresine rastlanmamıştır.



Şekil 4.38 9. istasyonda zemin yenilmesi görülmemiş saha (38°28'22.2"N 39°25'24.9"E / 31.01.2020 / 14:53)

## 10. İstasyon

Oldukça bozulmuş dik bir kaya şevinin topuğunda nispeten kısa (~ 15 m uzunluğunda) bir demiryolu tünelinin inşa edildiği görülmüştür. Tünel muhtemelen, şev stabilite problemlerini tetikleyebilecek olası topuk kazılarını ortadan kaldırmak üzere tasarlanmıştır. Şekil 4.39 ila 4.41'de de görüleceği gibi tünel yapısında veya çevresinde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Ayrıca, Şekil 4.42'de gösterildiği gibi göl yakınlarında herhangi bir şev yenilgisine rastlanılmamıştır.



Şekil 4.39 Hasarsız bir demiryolu tüneli ve demiryolu hattı (38°28'52.8"N 39°27'18.2"E / 31.01.2020 / 15:08)



Şekil 4.40 10. istasyondaki tünel yapısının görüntüsü (38°28'53.2"N 39°27'18.4"E / 31.01.2020 / 15:09)



Şekil 4.41 Volkanik kayaçlarda görülen tabakalanma (38°28'53.2"N 39°27'17.9"E / 31.01.2020 / 15:08)



Şekil 4.42 10. istasyon: Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha (38°28'52.6"N 39°27'16.9"E / 31.01.2020 / 15:04)

Bu istasyonda, Şekil 4.43'te gösterildiği gibi herhangi bir zemin yenilmesi örneği gözlenmemiştir.



Şekil 4.43 11. istasyon: Zemin yenilmesinin gözlenmediği saha (38°29'37.1"N 39°29'02.3"E / 31.01.2020 / 15:18)

## 12. İstasyon

Bu istasyonda kum kaynaması şeklinde ortaya çıkan sıvılaşma izleri gözlemlenmiştir. Yüzey belirtileri Şekil 4.44'te gösterilmiş olup bölgeden sınıflandırma deneyleri yapmak üzere zemin numuneleri alınmıştır.



Şekil 4.44 Kum kaynamaları izleri (38°29'58.5"N 39°30'24.6"E / 31.01.2020 / 15:29 & 38°29'57.6"N 39°30'23.9"E / 31.01.2020 / 15:30 & 38°29'57.7"N 39°30'24.0"E / 31.01.2020 / 15:30)

Şekil 4.45 ila 4.49'da gösterildiği gibi 13. istasyonda kaya düşmeleri, gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Kayaların boyutları (uzunluk, genişlik, yükseklik) sahada ölçülüp kaydedilmiştir. Düşen kaya bloklarının kat ettikleri yatay mesafe, üst palye topuğundan itibaren yaklaşık 3-5 m olarak ölçülmüştür. Geri analiz ile kaya bloklarının düşme mekanizmalarının incelenmesi neticesinde, bölgede 4-6 m/s aralığında tetikleyici zemin hız değerlerinin olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kaya düşmesi değerlendirmelerinin ayrıntıları raporun ilerleyen kısımlarında tekrar ele alınmıştır.



Şekil 4.45 13. istasyondaki kaya düşmeleri (genel görüntü) (38°31'40.3"N 39°28'02.9"E / 31.01.2020 / 16:20)



Şekil 4.46 Kaya düşmeleri (üst palye) (38°31'41.5"N 39°27'60.0"E / 31.01.2020 / 16:10)



Şekil 4.47 Bölgede gözlemlenen kaya düşmeleri (38°31'41.0"N 39°27'59.6"E / 31.01.2020 / 16:13)



Şekil 4.48 Düşen kaya bloklarının ebatlarının ölçümü (38°31'41.3"N 39°27'59.5"E / 31.01.2020 / 16:15 & 38°31'41.5"N 39°27'59.0"E / 31.01.2020 / 16:16)



Şekil 4.49 13. istasyonun palye şev açısı ölçümleri (38°31'40.8"N 39°28'00.8"E / 31.01.2020 / 16:20 & 38°31'41.3"N 39°27'59.5"E / 31.01.2020 / 16:17)

Bölgedeki 65°'lik bir şevin, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de gösterildiği gibi durağan (stabil) olduğu belgelenmiştir.



Şekil 4.50 Şevin yandan görünüşü (üst fotoğraf) ve yakından görünüşü (alt fotoğraf) (38°30'11.7"N 39°23'33.4"E / 31.01.2020 / 16:34 & 38°30'11.8"N 39°23'33.3"E / 31.01.2020 / 16:34)



Şekil 4.51 Şevin yandan görünüşü (38°30'11.6"N 39°23'33.7"E / 31.01.2020 / 16:34)

Ayrıca bu bölgede, yolun karşı tarafında göl kıyısına düşen kaya blokları gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Kayaların çaplarının yaklaşık 80 cm ila 120 cm aralığında değiştiği gözlemlenmiş ve blokların koptuğu şevin eğim açısı 39° olarak ölçülmüştür. (Şekil 4.52)



Şekil 4.52 14. istasyonda kaya düşmesi örnekleri ve şev açısı (38°30'11.4"N 39°23'34.9"E / 31.01.2020 / 16:37 & 38°30'11.3"N 39°23'34.7"E / 31.01.2020 / 16:37)

## 15. İstasyon

Bu istasyonda sismik sıvılaşma yenilmesi örnekleri, kum kaynamaları şeklinde gözlenmiştir. Şekil 4.53- 4.55'te görülen farklı formlardaki kum kaynama örneklerinden zemin numuneleri alınmıştır. Şekil 4.53'te kum kaynaması neticesinde çınar ağacının yapraklarının kaplandığı görülmektedir.



Şekil 4.53 15. istasyondaki sismik zemin sıvılaşmasına bağlı kum kaynaması örneği (38°29'32.3"N 39°21'03.8"E / 31.01.2020 / 16:57 & 38°29'34.5"N 39°21'03.6"E / 31.01.2020 / 17:11)



Şekil 4.54 Sismik zemin sıvılaşmasına bağlı kum kaynaması (38°29'32.1"N 39°21'02.0"E / 31.01.2020 / 16:58)



Şekil 4.55 Kum volkanı (38°29'34.5"N 39°21'03.7"E / 31.01.2020 / 17:12)

16. istasyon ile birlikte göl çevresinde tam bir tur tamamlanmıştır. Yüzey deformasyonlarını hemen kaplanmasına neden olan kar yağışı başlamadan önce planlanan saha çalışmaları tamamlanabilmiştir.

# 4.3.2 2. Gün: Kamışlık, Fırat Nehri, Malatya ve Elâzığ Şehir Merkezleri, Kapıkaya Barajı Sahaları

Saha çalışmaları kapsamında ikinci gün, liman yapısının da ciddi hasar aldığı Doğanyol bölgesinin incelenmesi planlanmıştır. Ancak şiddetli kar yağışı sebebiyle karayolu ulaşıma kapatıldığından Doğanyol'a ulaşılamamıştır. İhlas Haber Ajansı (İHA)'nın Youtube'da paylaşmış olduğu bir videodan alınan fotoğraf, dokümantasyon amacıyla Şekil 4.56'da paylaşılmıştır.



Şekil 4.56 IHA görüntülerinden uyarlanan Doğanyol Limanı hasar fotoğrafı (38°33'34.6"N 39°04'10.6"E)

## 17. İstasyon

Saha çalışmalarının ikinci gününde, Şekil 4.57'de görüldüğü gibi, 2-3 m çapındaki kaya bloklarının yakın zamanda otoyol kenarına düşmüş oldukları gözlemlenmiştir.



Şekil 4.57 Karayolu kenarına düşen kaya blokları (38°26'19.8"N 38°49'38.8"E / 01.02.2020 / 7:23)

Fırat Nehri üzerinde inşası devam eden Yeni Kömürhan Köprüsü ziyaret edilmiştir. İncelemeler sırasında köprüde herhangi bir hasara rastlanmamıştır.

Daha önce belirtildiği gibi, ikinci gün saha çalışmaları kapsamında depremin yıkıcı etkisinin büyük olduğu Doğanyol köyüne gidilmesi amaçlanmış ancak Doğanyol karayolu, Şekil 4.58'de gösterildiği üzere şiddetli kar fırtınası nedeniyle ulaşıma kapatılmıştır. Jandarmanın araç geçişine izin vermediği Doğanyol bölgesine ulaşılamamıştır.



Şekil 4.58 Doğanyol yolu (38°18'39.9"N 38°29'41.7"E / 01.02.2020 / 7:52)

#### 19. İstasyon– Battalgazi Köyü / Malatya

19. İstasyon olarak belirlenen Battalgazi köyünde yapılan incelemeler neticesinde, zemin deformasyonuna bağlı olarak herhangi bir yapısal yenilme örneğine rastlanmamıştır (Şekil 4.59).



Şekil 4.59 Battalgazi köyündeki bir konut binası temeli

Bu istasyonda, demiryolu hatlarında herhangi bir hasar olmadığı gözlenmiştir. Demiryolu, Şekil 4.60'da gösterildiği gibi hizmet vermeye devam etmektedir. Demiryolu üzerinde bulunan tek şeritli karayolu köprüsünün de hasar almadığı görülmüştür.





Şekil 4.60 20. istasyondaki demiryolu hattı ve tek şeritli karayolu köprüsü (38°26'00.1"N 38°21'59.1"E / 01.02.2020 / 8:49 & 38°26'00.2"N 38°22'01.3"E / 01.02.2020 / 8:50)

## 21. İstasyon- Battalgazi Köyü Bahçelievler Bölgesi / Malatya

21. İstasyon kapsamında Malatya'ya bağlı Battalgazi köyünün Bahçelievler bölgesi ziyaret edilmiş ve herhangi bir zemin deformasyonuna rastlanmamıştır (Şekil 4.61 ve Şekil 4.62).





Şekil 4.61 Battalgazi köyü Bahçelievler bölgesindeki konutlar (38°26'51.2"N 38°22'19.2"E / 01.02.2020 / 8:52 & 38°26'51.1"N 38°22'19.2"E / 01.02.2020 / 8:53)



Şekil 4.62 Battalgazi köyü Bahçelievler bölgesindeki konut binalarında oluşan çatlaklar (38°27'48.5"N 38°22'50.6"E / 01.02.2020 / 8:56 & 38°27'49.0"N 38°22'51.7"E / 01.02.2020 / 8:56)

### 22. İstasyon- Battalgazi Köyü, Toygar Bölgesi/ Malatya

Malatya'ya bağlı Battalgazi köyü, Toygar bölgesi, her ne kadar yenilme potansiyeli yüksek zayıf alüvyon yataklarından oluşsa da bu bölgede herhangi bir yenilme oluşmamıştır. Şekil 4.63 ve 4.64'te gösterildiği üzere zemin üst tabakasının yüksek plastisiteli killerden oluşması ve zeminin donmuş olması, olası zemin yenilmelerini engelleyebilecek iki faktör olarak listelenmiştir.



Şekil 4.63 Battalgazi köyü Toygar bölgesinde donmuş zeminin görünümü (38°28'38.6"N 38°23'27.1"E / 01.02.2020 / 9:03)





Şekil 4.64 Battalgazi köyü Toygar bölgesinde donmuş killi zemin (38°28'38.9"N 38°23'27.3"E / 01.02.2020 / 9:03 & 38°28'39.8"N 38°23'29.3"E / 01.02.2020 / 9:05)

Bu istasyonda Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da gösterildiği üzere herhangi bir hasar belirtisi olmadığı belgelenmiştir.



Şekil 4.65 Battalgazi köyünün Dolamantepe bölgesindeki su hendeği (38°26'00.4"N 38°21'44.1"E / 01.02.2020 / 9:25)



Şekil 4.66 Battalgazi köyünün Dolamantepe bölgesi (38°25'59.9"N 38°21'41.5"E / 01.02.2020 / 9:26)

Battalgazi köyü Hanımçiftliği bölgesinde zemin kaynaklı hasara rastlanmamıştır.

#### 25. İstasyon– Kapıkaya Barajı / Malatya

89,5 m yüksekliğinde, merkezi kil çekirdekli kaya dolgu Kapıkaya Barajı, sulama amacıyla Memikhan nehri üzerine inşa edilmiştir. Kret ve normal su kotları sırasıyla 868 ve 864,9 metre olup, ziyaretimiz sırasında su seviyesi 854,70 m olarak ölçülmüştür. Baraj gövdesinin kendisi ile birlikte sağ ve sol yamaçlarının depremden etkilenmediği belgelenmiştir. Ayrıca, su alma yapısında ve dolu savaklarda herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Baraj bölgesinde çekilen fotoğraflar Şekil 4.67-4.74'te sunulmuştur.



Şekil 4.67 Kapıkaya Barajı'nın mansap ve memba görüntüleri (38°21'19.1"N 38°36'33.9"E / 01.02.2020 / 10:21 & 38°21'16.3"N 38°36'35.0"E / 01.02.2020 / 10:38)



Şekil 4.68 Kapıkaya Barajı mansap yüzünün yandan görünüşü (38°21'16.3"N 38°36'33.2"E / 01.02.2020 / 10:40 & 38°21'13.1"N 38°36'26.7"E / 01.02.2020 / 10:46)





Şekil 4.69 Kapıkaya Barajı kret görünümü (38°21'15.9"N 38°36'32.8"E / 01.02.2020 / 10:40 & 38°21'12.6"N 38°36'26.9"E / 01.02.2020 / 10:46 & 38°21'16.9"N 38°36'36.0"E / 01.02.2020 / 11:13



Şekil 4.70 Kapıkaya Barajı dolu savak yapısı (38°21'17.2"N 38°36'36.7"E / 01.02.2020 / 11:14)



Şekil 4.71 Kapıkaya Barajı'nın dolu savak yapısı (38°21'19.1"N 38°36'33.9"E / 01.02.2020 / 10:22 & 38°21'19.2"N 38°36'34.1"E / 01.02.2020 / 10:22)



Şekil 4.72 Kapıkaya Barajı sol yamaç görünümü (38°21'07.1"N 38°36'22.0"E / 01.02.2020 / 10:51)



Şekil 4.73 Sağ yamaç şevleri (38°21'18.7"N 38°36'36.0"E / 01.02.2020 / 10:25)



Şekil 4.74 Kapıkaya Barajı'nda bulunan oturma plakası, piyezometre, data toplama kulübesi ve inklinometre delgisi (Mevcut değil / 01.02.2020 / 10:50 & 38°21'11.7"N 38°36'23.5"E / 01.02.2020 / 10:48 38°21'11.1"N 38°36'23.7"E / 01.02.2020 / 10:48 & 38°21'10.2"N 38°36'23.0"E / 01.02.2020 / 11:06)

#### 26. İstasyon- Kale Köyü / Malatya

Kale köyünün kıyılarında (Şekil 4.75 ve 4.76) sismik tetiklenme ile oluşmuş sıvılaşma örnekleri kum kaynamaları şeklinde gözlenmiştir. Kıyının yandan bir görüntüsü Şekil 4.77'de görülürken kum kaynama örneklerini gösteren fotoğraflar ise Şekil 4.78 ila Şekil 4.82 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.75 Kale kıyısı görünümü (38°25'25.1"N 38°45'46.1"E / 01.02.2020 / 12:12)







Şekil 4.77 Kale kıyısı (38°25'15.9"N 38°45'28.8"E / 01.02.2020 / 12:39)



Şekil 4.78 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması örnekleri (38°25'19.9"N 38°45'33.2"E / 01.02.2020 / 12:25 & 38°25'14.6"N 38°45'24.7"E / 01.02.2020 / 12:45)



Şekil 4.79 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması örneği (38°25'15.2"N 38°45'24.1"E / 01.02.2020 / 12:45)



Şekil 4.80 Kale kıyısında sismik tetikleme ile zeminde oluşan kum kaynaması (38°25'22.8"N 38°45'38.4"E / 01.02.2020 / 12:21)



Şekil 4.81 Kale kıyısında sismik tetikleme ile zeminde oluşan kum kaynaması örneği (38°25'19.9"N 38°45'32.1"E / 01.02.2020 / 12:27)



Şekil 4.82 Kale kıyısında sismik tetikleme ile oluşan kum kaynaması (38°25'15.2"N 38°45'32.2"E / 01.02.2020 / 12:32 & 38°25'15.2"N 38°45'23.9"E / 01.02.2020 / 12:45)

## 27. İstasyon

Kale köyü sonrası depremin merkez üssü olan Çevrimtaş köyü ziyaret edilmek istenmiş ancak kar yağışı nedeniyle karayolu trafiğe kapatıldığı için saha inceleme çalışmalarının Elâzığ şehir merkezinde devam ettirilmesine karar verilmiştir (Şekil 4.83).



Şekil 4.83 Karla kaplı Çevrimtaş yolu kıyısı (38°25'26.3"N 39°03'01.3"E / 01.02.2020 / 13:52)

#### 28. İstasyon– Abdullah Paşa Mahallesi / Elâzığ

Elâzığ şehir merkezinin Abdullah Paşa Mahallesinde, Şekil 4.84 ve Şekil 4.85'te gösterildiği gibi, bir dizi hasarlı konut belgelenmiştir. Bu binaların temel geri dolgularında görülen hacimsel sıkılaşma sebepli oturmaların dışında herhangi bir yapı temeli yenilme belirtisine rastlanmamıştır.



Şekil 4.84 Depremzedeler için kurulmuş çadırlar (38°39'30.0"N 39°08'59.5"E / 01.02.2020 / 14:28)



Şekil 4.85 Konut temellerinde gözlemlenen hacimsel sıkılaşmalar (38°39'29.8"N 39°08'58.4"E / 01.02.2020 / 14:29 & 38°39'28.9"N 39°09'01.9"E / 01.02.2020 / 14:30)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığında bulunan Elâzığ yer hareketleri istasyonu ziyaret edilmiştir (Şekil 4.86).



Şekil 4.86 Elâzığ-Merkez kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonu (38°40'13.2"N 39°11'31.3"E / 01.02.2020 / 15:08 & 38°40'13.5"N 39°11'31.6"E / 01.02.2020 / 15:09)

#### 30. İstasyon- Sürsürü Mahallesi / Elâzığ

Yapısal hasarların çoğu Elâzığ-Sürsürü mahallesinde yoğunlaşmıştır. Bölgedeki hasar seviyesi, hasarsızdan ağır hasara kadar geniş bir ölçekte değişkenlik göstermektedir. Kaldırımlarda, duvarlarda ve temellerde, kısmi dönme, plastik yanal ve hacimsel deformasyonlara bağlı çatlaklar gözlemlenmiştir (Şekil 4.87- Şekil4.90).


Şekil 4.87 Elâzığ şehir merkezinin Sürsürü mahallesinde beton çit üzerinde bir çatlak (38°40'05.5"N 39°11'12.4"E / 01.02.2020 / 15:28 & 38°40'05.5"N 39°11'12.4"E / 01.02.2020 / 15:28)



Şekil 4.88 Bazı binaların girişlerindeki oturmaların ölçülmesi

 $(38^{\circ}40'04.7"N\ 39^{\circ}11'12.4"E\ /\ 01.02.2020\ /\ 15:31\ \&\ 38^{\circ}40'05.9"N\ 39^{\circ}11'08.2"E\ /\ 01.02.2020\ /\ 15:41\ 38^{\circ}40'05.9"N\ 39^{\circ}11'09.7"E\ /\ 01.02.2020\ /\ 15:40)$ 



Şekil 4.89 Gözlemlenen oturma ve dönmeler

(38°40'05.7"N 39°11'09.6"E / 01.02.2020 / 15:57 & 38°40'05.1"N 39°11'10.0"E / 01.02.2020 / 15:57)



Şekil 4.90 Gözlemlenen oturmalar (38°40'07.0"N 39°11'04.8"E / 01.02.2020 / 15:47)

Bölgede zemin araştırma çalışmalarına tanık olunmuş, sondaj çukurundan elde edilen bir zemin numunesi laboratuvarda test etmek üzere alınmıştır. Şekil 4.91'de gösterildiği gibi sondaj sırasında otomatik SPT çekici kullanılmıştır. Çalışmaların olduğu sırada 12 m derinliğe kadarki mevcut sondaj verisi sözlü iletişim ile elde edilmiş ve bu veriler ışığında zemin profili Şekil 4.4'te temsili olarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.91 Sondaj çalışmaları (38°40'03.9"N 39°11'14.8"E / 01.02.2020 / 15:18 & 38°40'03.1"N 39°11'16.1"E / 01.02.2020 / 15:18)

### 31. İstasyon

Bu istasyonda zeminle ilişkilendirilebilecek bir hasara rastlanmamıştır.

#### 32. İstasyon Mustafa Paşa Mahallesi / Elâzığ

Elâzığ şehir merkezinin Mustafa Paşa mahallesinde zemin kaynaklı hasara rastlanmamıştır.

### 4.4 Kaya Düşmeleri

Şekil 4.92 ve Şekil 4.93'te gösterildiği gibi Hazar Gölü kıyısında bulunan bazı mevkilerde kaya düşmesi gözlenmiş ve haritalanmıştır. Bu bölüm kapsamında, gözlenen bu kaya düşmeleri hakkında daha ayrıntılı bir açıklama sunulmuştur.

Kaya düşme bölgesinde jeolojik formasyon yapraklı dokuya sahip filitlerden oluşmaktadır. Kesitin yaklaşık 15 metrelik yüksekliğe ve 50°lik bir eğim açısına sahip olduğu gözlenmiştir. Düşen kayaların boyutları ve üst palye topuğundan olan yatay mesafeleri ölçülmüştür. Üst palye için kaya düşmelerinin başladığı öngörülen olası yükseklikler yerinde gözlenmiştir. Otoyol kesimine yakın olan alt palyede ise düşmüş kaya örneklerine rastlanılmamıştır.



Şekil 4.92 Hazar Gölü 13. istasyonda gözlemlenen kaya düşmeleri (38°31'40.0"N 39°28'01.5"E /31.01. 2020 / 16:08)



Şekil 4.93 13. istasyondaki kaya düşmelerinin gözlemlendiği yamacın kesiti (38°31'40.3"N 39°28'02.9"E / 31.01.2020 / 16:20)

Düşmüş birkaç kaya bloğunun boyutları ve bu blokların hareketleri sonunda üst bankın topuğuna olan yatay mesafeleri Tablo 4-1'de gösterildiği gibi haritalanmıştır.

Uzunluk	Yükseklik	Genişlik	Kaya bloklarının şev topuğuna mesafeleri					
(cm)	(cm)	(cm)	( <b>m</b> )					
60	30	35	3.9					
32	15	30	5					
55	30	28	3.2					

Tablo 4.1 13. istasyonda gözlemlenen düşen kaya bloklarının özellikleri

Şekil 4.94'te görüldüğü gibi, kaya bloklarının düşmesini tetikleyen ve sahada gözlemlenen nihai yerlerine ulaşmaları sağlayan ilk hızlarını belirlemek amacıyla RocFall 2019 kullanılarak geri analiz yapılmıştır. Ön değerlendirmelere dayanarak, yukarıda belirtilen hareket koşullarını sağlayan tetikleyici hız aralıkları 4 ila 6 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.94 RocFall 2019 kullanılarak yapılan kaya düşmesi geri analiz modeli

## 4.5 Su Yapıları

### 4.5.1 Barajlar

Elâzığ-Malatya bölgesi civarında 6 baraj bulunmaktadır: Dedeyolu, Karakaya, Cip, Kapıkaya (Turgut Özal), Keban ve Boztepe (Recai Kutan) barajları. Bu barajlarla ilgili DSİ tarafından sağlanan bazı özellikler Tablo 4-2'de özetlenmiştir.

Barajlar	Yükseklik (m)	Baraj tipi	Deprem merkezine olan uzaklık (km)		
Dedeyolu Barajı	35.7	Homojen toprak dolgu	19.3		
Karakaya Barajı	173	Beton kemer	16.1		
Cip Barajı	24	Orta kil çekirdekli toprak dolgu	35.5		
Kapıkaya Turgut Özal Barajı	89.5	Orta kil çekirdekli toprak dolgu	39.8		
Keban Barajı	207	Birleşik kaya dolgu ve beton ağırlık	56.6		
Boztepe Recai Kutan Barajı	82	Kil çekirdek kum +çakıl + kayadolgu	87.6		

Tablo 4.2 Sivrice depreminin etki alanında olan barajlar

Karakaya, Dedeyolu, Karakaya, Cip, Kapıkaya Turgut Özal, Keban ve Boztepe Recai Kutan barajlarının genel görünüşleri ve tipik kesitleri Şekil 4.95 ila 4.99'da gösterilmektedir.



Şekil 4.95 Karakaya Barajı (DSİ)

KARAKAYA BARAJI

laraj ve gölü			Dam and reservoir		
Tipi	:	Toprak dolgu	Type	:	Earthfill
Gövde hacmi	:	446 000 m <sup>3</sup>	Dam volume	:	446 000 m <sup>3</sup>
Kret kolu	1	t 008,00 m	Crest elevation	ż	1 008.90 m
Kret uzunluğu	:	1624,40 m	Crest length	:	1 024.40 m
Temelden yükseklik	:	24,00 m	Height from foundation	:	24.00 m
Talvegden yükseklik	:	23,00 m	Height from river bed	:	23.00 m
Temel jeolojik yapısı		Kiltaşı, pliosen	Geological formation of foundation	:	Claystone, pliosen
Maksimum su kotu	:	1006,50 m	Maximum water surface elevation	:	1 006.50 m
Normal su kotu	:	1 004,50 m	Normal water surface elevation	:	1004.50 m
Normal su kotunda göl hacmi		7,00 hm3	Reservoir volume at normal water surface elevation	:	7.00 h;n <sup>3</sup>
•			Reservoir area at normal		
Normal su kotunda gol alanı	:	1,10 km²	water surface elovation	:	1.10 km <sup>2</sup>
lolusavak			Spillway		
Tipi	:	Karşıdan alışlı, kapaksız	Туре	:	Frontal type, ungated
Kret kotu	:	1004,50 m	Crest elevation	:	1004.50 m
Kret uzunluğu	:	110,00 m	Crest lenght	:	110.00 m
Proje taşkın piki	:	690 m³/s	Design flood peak flow	:	690 m²/s
Maksimum deşarj	:		Maximum discharge	:	
iantral			Power Plant		
Unite adodi	:	-	Number of units	:	-
Unite gücü	:	-	Unit capacity	:	-
Kurulu güç	:	-	Installed capacity	:	-
Yıllık enerji üretimi	:	-	Annual energy generation	:	
ulama alanı	:	1 100 ha	Irrigation area	:	1 100 ha
faskin kontrol alani		-	Fluod control area	:	-
illik içmesuyu	:	-	Annual domestic water	:	-
nşaat : İnşaatına 1965 yılında basta	nılmış ve	1965 yılında	Construction : The construction was sta	rtod	in 1965



Şekil 4.96 Cip Barajı (DSİ)

Daha önce de kısaca bahsedildiği gibi, saha çalışmalarının 2. günü Kapıkaya Barajı ziyaret edilmiş, barajın memba ve mansap eğimleri ile yamaçları, su alma yapısı, dolusavağı, baraj gövdesi ve kreti ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kapıkaya Barajı'nda herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Kapıkaya baraj sahasında çekilen resimler Bölüm 4.2.2'de sunulmuş olup yeniden verilmeyecektir.





Şekil 4.97 Kapıkaya Barajı (DSİ) 102





Şekil 4.98 Keban Barajı (DSİ)





Şekil 4.99 Boztepe (Recai Kutan) Barajı (DSİ)

DSİ uzmanlarınca yapılan saha çalışmalarına dayanarak, Dedeyolu Barajı'nın kretinde görülen ve Şekil 4.100'de paylaşılan 8 mm'den dar boyuna çatlak dışında, barajlarda herhangi önemli bir hasarın gözlenmediği rapor edilmiştir.



Şekil 4.100 Dedeyolu Barajı kretinde boyuna çatlaklar (Fotoğraf: S. Aydın, DSİ)

# 4.6 Demiryolları

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)'nin, Doğu Anadolu Fay hattı üzerinden geçen iki ana demiryolu güzergahı bulunmaktadır: i) Malatya-Elâzığ (Van Gölü Ekspresi) ve ii) Malatya-Diyarbakır (Güney Kurtalan Ekspresi) Trenleri. Bu hatlara ait rotalar Şekil 4.101'de gösterilmektedir.



Şekil 4.101 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Haritası ile Van Gölü Ekspresi ve Güney Kurtalan Ekspresi güzergahları

Daha önce Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de kısaca değinildiği gibi, tren hatlarında deformasyonlar veya yer değiştirme belirtileri gözlenmemiştir. Yerel demiryolu otoritesi tarafından da onaylandığı üzere, demiryolu sistemi depremden hemen sonra bile hizmet vermiştir. Doğu Anadolu Fay hattını kesen ve sürekli olarak izlenen demiryolu tüneli ile ilgili bir basın haberi aşağıda paylaşılmaktadır:

"Yaklaşık üç yıl önce Yıldız Teknik Üniversitesi'nden araştırmacılar, Elâzığ'ın tarihi Palu kentinin 50 m altından geçen 1950'li yıllarda yapılan bir demiryolu tüneli keşfettiler. Tünel doğrudan Doğu Anadolu Fayı tarafından kesilmiş, bu nedenle tünel DAF için bir izleme istasyonu olarak kullanıldı. DAF'nın kırılma ve krip davranışını izlemek için bu tünele iki kripmetre yerleştirilir. Bölgenin uydu bilgisini almak için tünele 25 GPS istasyonu yerleştirildi ve tünel lazer tarayıcı yardımıyla 3D olarak modellenmiştir. Araştırmacıların gözlemine göre, ana darbeden sonra Palu tünelinde ağır bir hasar olmadı, ancak Doğu Anadolu Fayı'nın olduğu yerde küçük çatlaklar gözlendi. Tünelin düzenli olarak izlenmesi ve gelecekteki olaylar için bazı önlemler alınması tavsiye ediliyor."

# 4.7 Hazar Nehri Kıyısında Gözlenen Sismik Zemin Sıvılaşması ve Yanal Yayılma Vakaları

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, sismik zemin sıvılaşma tetiklemesinin yüzey belirtileri, Hazar Gölü, Fırat Nehri ve Karakaya Baraj Gölü kıyıları boyunca yanal yayılma ve kum kaynamaları şeklinde gözlenmiştir. Araştırma ekibi ilk gün Hazar Gölü kıyılarını, ikinci gün ise Fırat Nehri kıyılarını incelemiştir.

Hazar Gölü'nün doğal kıyılarında sismik olarak tetiklenen yanal yayılma, kum kaynamaları ve aşırı hacimsel oturma örnekleri gözlenmiştir. Hazar Gölü kıyılarındaki saha gözlemlerini özetleyen bir harita Şekil 4.102'de gösterilmektedir. Şekil 4.102'de, yeşil noktalar sıvılaşmayan bölgeleri, kırmızı noktalar ise (RF: kaya düşmesi, LS: yanal yayılma, VS: hacimsel oturma, SB: kum kaynaması şeklinde kısaltılmıştır) zemin yenilmesi olan bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.102 Hazar Gölü kıyısınca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti (Yeşil noktalar sıvılaşmayan bölgeleri, kırmızı noktalar zemin yenilmesi olan bölgeleri gösterir RF: kaya düşmesi, LS: yanal yayılma, VS: hacimsel oturma, SB: kum kaynaması)



Şekil 4.103 Fırat Nehri kıyıları ve Malatya-Elâzığ rotası boyunca gözlemlenen zemin yenilmelerinin özeti

(Yeşil noktalar sıvılaşmayan bölgeleri, kırmızı noktalar zemin yenilmesi olan bölgeleri gösterir RF: kaya düşmesi, LS: yanal yayılma, VS: hacimsel oturma, SB: kum kaynaması) Fırat Nehri kıyısının Kale köyü taraflarında, sismik zemin sıvılaşmasının kum kaynaması şeklinde yüzeysel belirtileri gözlenmiştir. Fırat Nehri kıyılarındaki saha gözlemlerini özetleyen bir harita Şekil 4.103'te gösterilmektedir.

İlk gün gözlemlenen yanal deformasyonların boyutu, Sivrice rıhtımı çevresinde yaklaşık 90 m uzunluğunda ve 24 m genişliğinde bir bölgede 3-5 cm olarak haritalanmıştır (Şekil 4.104). Şekil 4.105 ve 4.106'te, saha incelemeleri sırasında çekilen yanal yayılma bölgesinin fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 4.104 Sivrice Rıhtımı çevresindeki yanal yayılmaların şematik çizimi (38°28'10.0"N 39°17'03.6"E / 31.01.2020 / 12:11)



Şekil 4.105 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar

 $(38^{\circ}26'50.7"N\ 39^{\circ}18'56.9"E\ /\ 31.01.2020\ /\ 12:21\ \&\ 38^{\circ}26'50.5"N\ 39^{\circ}18'56.9"E\ /\ 31.01.2020\ /\ 12:28)$ 



Şekil 4.106 Hazar Gölü kıyısında yanal yayılmadan dolayı oluşan deformasyonlar ve çatlaklar

 $(38^\circ 26' 50.8"N\ 39^\circ 18' 55.6"E\ /\ 31.01.2020\ /\ 12:34\ \&\ 38^\circ 26' 50.3"N\ 39^\circ 18' 57.1"E\ /\ 31.01.2020\ /\ 12:27)$ 

Şekil 4.107'de gösterildiği gibi yanal yayılmanın gözlemlendiği alanın hemen yakınındaki komşu bir bölgede herhangi bir sıvılaşma belirtisine rastlanılmamıştır. Bu bölgenin, Şekil 4.104-4.105'te gösterilen yanal yayılma alanı ile karşılaştırıldığında daha yumuşak bir eğime sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.107 Yanal yayılmanın gözlendiği kumsala komşu kumsal (2. istasyon) (38°26'48.9"N 39°18'59.4"E / 31.01.2020 / 13:08 & 38°27'58.0"N 39°20'42.4"E / 31.01.2020 / 13:08)

Şekil 4.108 ve 4.109'da gösterildiği gibi Hazar Gölü kıyısı boyunca 8. ve 15. istasyonlarda sıvılaşma sebepli zemin deformasyonları gözlenmiştir. Kum kaynamaları formundaki bu zemin deformasyonları haritalanmış ve buralardan zemin örnekleri alınmıştır. ODTÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda bir dizi elek analizi testi, buna ek olarak bazı numunelerde de (ince dane oranı 5% den büyük) hidrometre testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına dayanarak, numunelerin bir sonraki bölümde açıklanacağı üzere potansiyel olarak sıvılaşabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4.108 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (8. istasyon) (38°27'49.7"N 39°24'03.3"E / 31.01.2020 / 14:16 & 38°27'50.0"N 39°24'02.5"E / 31.01.2020 / 14:20)



Şekil 4.109 Hazar Gölü kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (15. istasyon) (38°29'34.6"N 39°21'03.7"E / 31.01.2020 / 17:11 & 38°29'30.6"N 39°20'57.7"E / 31.01.2020 / 17:01)

2. gün ise Kale kıyıları boyunca kum kaynaması şeklinde oluşan zemin sıvılaşmasının olduğu yerler haritalanmıştır. Şekil 4.110 ve 4.111'de de Kale köyü kıyılarında gözlemlenen kum kaynamalarının örnekleri paylaşılmıştır.



Şekil 4.110 Kale bölgesindeki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (26. istasyon) (38°25'23.6"N 38°45'39.0"E / 01.02.2020 / 12:18)



Şekil 4.111 Kale kıyısındaki zemin sıvılaşmasının yüzey belirtileri (26. istasyon) (38°25'20.2"N 38°45'33.2"E / 01.02.2020 / 12:25)

Sıvılaşan bölgelerden örselenmiş zemin örnekleri alınmıştır. Şekil 4.112'de Hazar Gölü'nden alınan 6 numunenin, Şekil 4.113'te ise Kale köyünden alınan 4 numunenin yerleri gösterilmektedir. Şekil 4.114'te ise alınan numuneler genel harita üzerinde gösterilmiştir. Alınan bu örneklerin dane boyutu ve dağılımlarını, zemin tipini ve zemin içeriğini belirlemek üzere ODTÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan testlerin sonuçları Tablo 4-3'te özetlenmiştir. Birleşik Toprak Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ye göre, kum kaynamalarından alınan örneklerin çoğu SP (kötü derecelenmiş kum) ve SM (siltli kum) olarak sınıflandırılmıştır. Bu zemin örneklerine ait dane boyu dağılım eğrileri, potansiyel olarak sıvılaşabilen zeminler için belirtilmiş dane boyutu dağılım eğrisi aralıklarıyla kıyaslanacak şekilde Şekil 4.115'te sunulmuştur (Tsuchida, 1970).



Şekil 4.112 Hazar Gölü kıyısından alınan numunelerin yerleri 113



Şekil 4.113 Kale kıyıları bölgesinden alınan numunelerin yerleri



Şekil 4.114 Sahadan alınan zemin numunelerinin yerleri (genel harita)

Bölge	Koordinatlar (K-D)	Çakıl %	Kum %	İnce Dane %	Silt %	Kil %	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	Cu*	Cc*	Zemin Sınıfı
	38.463-39.4009	11.0	87.6	1.4			0.33	0.42	0.53	1.61	1.01	SP
	38.463-39.4007	28.8	41.1	30.1	27.6	2.5	0.02	0.075	0.6	30.0	0.47	SM
Hazar	38.499-39.506	4.2	80.9	14.9	11.1	3.8	0.02	0.24	0.42	21.0	6.86	SM
Gölü	38.492-39.35	10.0	87.0	3.0			0.32	0.65	1.7	5.31	0.78	SP
	38.492-39.351	4.1	83.5	12.5	10.6	1.9	0.06	0.16	0.25	4.17	1.71	SM
	38.463-39.4002	4.2	72.7	23.1	19.6	3.5	0.03	0.09	0.17	5.67	1.59	SM
Fırat	38.424-38.762	36.4	57.5	6.2			0.09	0.2	2.9	32.2	0.15	SP-SM
Nehri-	38.421-38.759	3.4	95.4	1.3			0.23	0.36	0.49	2.13	1.15	SP
Kale	38.421-38.757	4.4	90.4	5.2			0.25	0.47	0.91	3.64	0.97	SP-SM
Köyü	38.424-38.762	26.2	70.8	3.0			0.32	0.5	1.44	4.50	0.54	SP

Tablo 4.3 Sahadan alınan numunelerin dane boyu dağılımları

\*  $C_u = D_{60}/D_{10}$ ,  $Cc = D_{30}^2/(D_{10}*D_{60})$ 



Şekil 4.115 Sıvılaşan bölgelerden alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılım eğrileri (Siyah çizgiler Hazar Gölü bölgesinden; yeşil çizgiler Kale bölgesinden alınan numuneler)

Şekil 4.115'de görüldüğü gibi, yapılan test sonuçlarına göre numunelerin sıvılaşabilir zemin aralığına düşmesi saha gözlemlerini desteklemektedir. Bununla birlikte, Hazar Gölü ve Fırat Nehri kıyılarında sıvılaşma potansiyeli yüksek zemin sahaları bulunmasına rağmen, bu alanlarda yapılaşma olmaması nedeniyle, Sivrice rıhtımı hariç saha gözlemleri sırasında zemin sıvılaşması sebebi ile hasar görmüş yapılara rastlanmamıştır.

# 5. BÖLÜM BETONARME YAPILARDA GÖZLEMLER

Prof. Dr. Erdem CANBAY<sup>1</sup>

Prof. Dr. Barış BİNİCİ<sup>1</sup>

Arş. Gör. Erhan BUDAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

### 5.1 Giriş

Bu bölümde, Elâzığ depremi sonrası 26-29 Ocak ve 6 Şubat tarihlerinde Elâzığ merkezdeki betonarme binalarda yapılan saha incelemeleri, gözlemler ve tespitler sunulmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın en son verilerine göre incelemesi tamamlanış 61.152 binanın 263'ü yıkık, 7.698'i ağır hasarlı ve 1.540'ı orta hasarlıdır (<u>https://www.csb.gov.tr/bakan-kurum-elazigdaki-hasar-tespit-calismalarini-anlatti-bakanlik-faaliyetleri-29711</u>). Bunların içinde 558 bina ise acil yıkılması gereken binalardır ve bunların 201 tanesinin yıkılma işlemi tamamlanmıştır. Elâzığ Merkez'de sadece 3 bina yıkık durumdadır. Diğer yıkık yapıların hepsi depremin merkez üssüne yakın ilçe ve köylerde bulunmaktadır.

Raporun birinci bölümünde bahsedildiği üzere 24 Ocak 2020'de yerel saat ile 20.55'te  $M_W$  = 6.8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Deprem merkez üssü Elâzığ ili Sivrice İlçesi Çevrimtaş köyü yakınlarındadır. Meydana gelen deprem, Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde KD-GB doğrultusunda doğrultu atımlı Sivrice-Pütürge segmentinin kırılması ile gerçekleşmiştir. AFAD'ın verilerine göre fay doğrultusu üzerinde yer alan ve merkez üssüne 24 km uzaktaki Sivrice ilçesindeki kayıt istasyonundan alınan verilere göre yaklaşık 0.29g büyüklüğünde maksimum yer ivmesi kaydedilmiştir. Elâzığ Merkez'de kaydedilen maksimum yer ivmesi büyüklüğü ise sadece 0.15g'dir. Tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan Deprem yer hareketi Düzeyi-2 (DD-2), spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Son depremin merkez üssünde bu değer Türkiye Deprem Tehlike Haritasında (tdth.afad.gov.tr) 0.67g ve Elâzığ merkezde de yaklaşık 0.38g olarak verilmektedir. Elâzığ Merkez'de ölçülen yer ivmesinin depremin sık deprem yer hareketine (DD-3, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 72 yıl) karşılık geldiği görülmektedir (Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre, Elâzığ merkez istasyonda DD3 depremine karşılık gelen maksimum yer ivmesi değeri 0.148g'dir).

Öncelikle beton kalitesinden bahsetmek yerinde olacaktır. Beton kalitesi, otuz yaş ve üzeri binalarda hazır beton kullanılmadığından oldukça düşüktür. Yirmi yaş ve daha genç binaların tamamına yakınında ise görünen kaliteden hazır beton kullanıldığı anlaşılmaktadır. İncelemeler sırasında mal sahipleri ile yapılan sohbetlerde bazılarının kendi yapılarının müteahhidi olduğu veya çok yakın bir akrabalarının binayı inşa ettiği anlaşılmaktadır. Bu kişilerle yapılan mülakatlarda şantiye alanına gelen beton mikserlerine mutlaka beton dökülmeden evvel su katılarak betonun rahat yerleştirilmesi amaçlandığı belirtilmiştir. Şantiye alanında beklerken eklenen bu su beton dayanımını ciddi miktarda düşürebilmektedir. Buna ilave olarak taze beton bakımının yani beton kürlemesinin yapılmadığı belirtilmiştir. Kolay yerleştirme için döküm öncesi su ilavesi ve beton kürlemesinin yeterince yapılmaması gibi hususların gözlemlenen düşük beton dayanımının sebebi olduğu söylenebilir. Mülakat edilen kişiler, hazır beton kullanımının zorunlu hale gelmesi ile yapıların beton kalitesinde ve deprem performansında büyük bir düzelme olacağı inancındadır. Ancak taze beton karışımı ve taze betonun bakımı ile ilgili bilgisizlikler ve donatı yerleştirmeye ilişkin eksiklikler, hazır beton kullanımının

yaygınlaştığı 2000 yılı sonrası yapılarda da deprem performansını etkileyebilecek önemli faktörlerdendir.

# 5.2 Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri

Yapılan incelemelerde 20 yaş veya daha genç yapılarda tasarım sırasında genellikle deprem kuvvetlerinin dikkate alındığı anlaşılmaktadır. Zira bu binalarda kolon boyutları eski binalara göre çok daha büyüktür ve bazılarında perde duvarlar da bulunmaktadır. Ancak bu tip yapılarda dahi 0.15*g* yer ivmesi altında hafif de olsa hasara rastlanmaktadır ve yapısal olmayan elemanlarda ise hasar orta/ağır seviyede bulunmaktadır. Bu tür beklenmedik düzeyde hasar alan yapılar incelendiğinde düzgün bir deprem yükü taşıyıcı sistemlerinin bulunmadığı, sürekli çerçeve sistemine sahip olmadıkları ve mimari çizime uyabilmek için düzensiz bir sistem oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Kısacası büyük kolon boyutları, toptan göçme veya ağır yapısal hasarı engelleyebilmişken istenilen seviyede performans elde edilememiştir. Taşıyıcı sistem düzensizliği bulunan yapılarda istenilen performans elde edilmemektedir.

Şekil 5.1'de kolon dışına taşarak inşa edilmiş bir kiriş görülmektedir. Yapısal davranış düşünülmeden mimari önceliklerle kiriş 10 cm yana kaydırılamamış ve yanal yük taşıyıcı sistem etkinliği azaltılmıştır. Bu durum, inşaat mühendisi ile mimar avan proje hazırlanırken beraber çalışmadıklarından ve genellikle mimarların yapı taşıyıcı sistemini tek başlarına oluşturdukları durumda sıklıkla görülmektedir. Genellikle düzgün ve sürekli bir aks sistemi oluşturulmamakta ve kirişler düzgün bir aks üzerine yerleşmeden aks kayması ile yerleştirilmektedir. Şekil 5.2'de bu tür bir kiriş görülmektedir.

Düzensiz aks ve kiriş sistemine, incelenen tüm binalarda rastlanılmıştır. Şekil 5.3'te ilginç bir düzensizlik örneği verilmektedir. Şeklin solundaki konsol balkon döşemesi, konsol kirişe mesnetlenmiştir. Diğer bir deyişle konsol olan balkon döşemesini yine konsol olan kiriş taşımaktadır. Bunun sonucu olarak yapıda çok ağır hasar oluşmuştur.



Şekil 5.1 Eksantrik kiriş



Şekil 5.2 Kiriş düzensizliği



Şekil 5.3 Taşıyıcı sistem düzensizliği

Şekil 5.3'te verilen düzensizlikten dolayı hasar alan kolon ayrıca Şekil 5.20'de daha ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu binanın diğer bir düzensizlik sorunu ise yıldız şeklinde tasarlanmış olmasıdır. Şekil 5.4'te binanın uydu fotoğrafi verilmektedir. Orta bölümde bir asansör boşluğu mevcuttur. Ancak burada çekirdek perde bulunmamaktadır. Sadece asansörün arka yüzü perde duvar, yan yüzler ise tuğla duvardır. Yapının mevcut ağır hasarlı haline bakıldığında yıldız şeklinin deprem sırasında yapıya düzgün bir dinamik davranış sağlamadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.4 Binanın uydu görüntüsü

# 5.3 Yapısal Hasarlar

Bu bölümde 30 bina üzerinde yapılan gözlem sonuçları aktarılacaktır. Elâzığ depremi sonrası, daha önceki deprem gözlemlerinde elde ettiğimiz gözlemlere benzer yapısal hasarların oluştuğu söylenebilir.

### 5.3.1 Toptan Göçme

Elâzığ merkezde toptan göçen 3 bina bulunmaktadır (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Bu binalar, aramakurtarma çalışmaları devam ettiğinden, yakından incelenememiştir. Arama-kurtarma çalışmaları sonrası ise yapılar birer moloz yığınına dönmüş olduğundan toptan göçmenin ip uçları bulunamamıştır. Ancak sadece dışarıdan yapılan gözlemler sonucu, toptan bina göçmesinin başlıca nedenleri olarak her zaman olduğu gibi düşük beton kalitesi, yetersiz etriye, 90° etriye kancası, çiroz kullanılmaması, zayıf kolon-güçlü kiriş, perde duvar bulunmaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin zayıflığı öne çıkmaktadır.





Şekil 5.5 Elâzığ merkezde toptan göçmüş binalar



Şekil 5.6 Elâzığ merkezde toptan göçmüş binalar

### 5.3.2 Bölme Duvar Hasarı

İncelenmiş olan tüm yapılarda çok yaygın bölme duvar hasarı mevcuttur. Bu hasarlar, ya bölme duvar ile kolon ve kiriş arayüzlerinde çatlamalar, bölme duvar üzerinde diyagonal X şeklinde çatlama veya bölme duvarın kısmen veya tamamen düzlemi dışına devrilmesi şeklinde görülmektedir (Şekil 5.7-5.13). Bu çatlaklar yapının yetersiz yanal rijitliğine işaret etmektedir. Ayrıca ülkemizde bölme duvarlar, etraflarındaki taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişlerle boşluksuz olarak imal edildiklerinden en ufak bir deplasman isteminde duvarlar üzerinde çatlak gözlenmektedir. Bölme duvarlarda oluşan düzlem içi çatlaklar iki büyük olumsuzluk yaratmaktadır. Birincisi duvar çatlağını gören apartman sakinleri evlerine girmek istememektedirler. Diğer bir deyişle bu çatlaklar, insanları psikolojik olarak aşırı derecede etkilemekte ve gereksiz yere çadırlarda zor şartlar altında kalmalarına yol açmaktadır. İkincisi ise hasar tespiti yapan ekiplerin taşıyıcı sistem ve bölme duvarlar üzerindeki hasarları karıştırarak hatalı ve genellikle hasarı fazla tahmin eden hasar tespitinde bulunmalarına sebep olabilmektedir.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de bölme duvar hasarlarının bina dış cephesinden görünüşü verilmektedir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da ise incelenen binalarda görülen tipik bölme duvar çatlakları verilmektedir. Şekil 5.11'de ağır bir duvar çatlağı verilmektedir. Bu tür duvar ayrılmaları az sayıda görülmüştür. Şekil 5.12'de görüldüğü üzere özellikle çift katman yapılmış olan dış cephe bölme duvarlarının düşme olasılığı yüksektir. İki ince tuğla duvar arasına ısı yalıtımı malzemesi konmaktadır. Bu tür duvarlar bir de konsol çıkmalara oturduklarında düzlem dışı hasar alabilmektedir. Şekil 5.13'te toptan devrilmiş bir dış cephe duvarı gözükmektedir. Bu tip devrilmeler, can veya mal kaybına sebep olabilecek önemli hasar türlerindendir.



Şekil 5.7 Kiriş-kolon sınırında bölme duvar çatlağı, dış cephe



Şekil 5.8 Diyagonal bölme duvar çatlağı, dış cephe



Şekil 5.9 Kiriş-kolon sınırında bölme duvar çatlağı, iç cephe



Şekil 5.10 Diyagonal bölme duvar çatlağı, iç cephe



Şekil 5.11 Ağır diyagonal bölme duvar çatlağı



Şekil 5.12 Bölme duvar düşmesi


Şekil 5.13 Toptan bölme duvar devrilmesi

## 5.3.3 Ağır Çıkmalar

Sadece Elâzığ özelinde değil tüm yurdumuzda genellikle binanın oturum alanıyla üst katların plan alanı farklıdır. Üst katlar konsol çıkmalar ile büyütülmekte ve alan kazanılmaktadır. Bu konsol çıkmalar genellikle yüksek boyutlarda olabilmekte ve üzerlerine gelen dış cephe duvarlarının etkisi ile de çatlamaktadır. Deprem esnasında ise binanın bu bölgeleri genellikle ağır hasar alabilmektedir.

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de ağır çıkmaların özellikle köşelerinde görülen duvar çatlaması fotoğrafları verilmektedir. Yukarıda Şekil 5.12'de verildiği gibi çıkmalardaki dış cephe duvarları düşebilmektedir. Bu tür kazalar yaralanmalara ve hatta ölümlere sebep olabilmektedir.

Ağır çıkmalardaki hasarlar sadece bölme duvarlarla sınırlı kalmamakta yapısal sisteme de intikal etmektedir. Çıkmalardaki kirişlerde deprem sonrası eğilme ve kesme çatlakları sık rastlanılan hasar türlerindendir (Şekil 5.16).



Şekil 5.14 Ağır çıkma hasarları



Şekil 5.15 Ağır çıkma hasarları 130



Şekil 5.16 Ağır çıkmalarda konsol kiriş hasarı

#### 5.3.4 Kolon ve Perde Duvar Hasarları

Ağır hasar alan bir dikdörtgen kolon Şekil 5.17'de verilmektedir. Bu fotoğrafta, ülkemizdeki eski betonarme binalarda beklenen, düz donatı kullanılması, etriye aralığının fazla olması, kolon uçlarında etriye sıklaştırılması yapılmaması, etriye kancalarının 90° bırakılması, çiroz kullanılmaması ve beton kalitesinin kötü olması gibi tüm kusurlar mevcuttur. Yıkanmamış kirli dere kumu ve agregası ile el karışımı beton kullanılmıştır.

Şekil 5.18'de kolonlarda görülen kesme hasarı verilmektedir. Kolon uçlarında etriye sıklaştırması yapılmadığından bu bölgelerde mafsallaşma görülebilmektedir. Şekil 5.19'da kolon üst ucunda yeterli sargı etkisi yaratılmaması nedeniyle oluşmuş bir mafsallaşma görülmektedir. Şekil 5.20'de kolon alt ucunda oluşan ağır hasar görülmektedir. Buradaki hasar, plastik mafsallaşma sonrası bölgenin bütünlüğünü kaybetmesi ile sonuçlanmıştır.

Kısıtlı sürede orta ve ağır hasarlı olarak bildirilen binalar incelenmeye çalışılmıştır. Bu yapılarda da perde duvar neredeyse hiç bulunmamaktadır. Şekil 5.21'de perde duvar hasarları verilmektedir. İlk fotoğrafta tipik bir kesme hasarı bulunmaktadır. İkincisinde ise kayma hareketi görülmektedir. Büyük olasılıkla temelden gelen filiz donatıları bu seviyede sonlanmakta ve bu yüzden bu seviyede böyle bir kayma deformasyonu gözükmektedir.



Şekil 5.17 Tipik bir kolon örneği



Şekil 5.18 Kolonda kesme hasarı



Şekil 5.19 Kolon üst ucunda mafsallaşma



Şekil 5.20 Kolon alt ucunda göçme





Şekil 5.21 Perde duvar hasarı 136

# 5.3.5 Kiriş Hasarları

Deprem sonrası kirişlerin uçlarında genellikle eğilme ve kesme hasarları görülmektedir. Şekil 5.22'de kiriş uçlarındaki eğilme çatlaklarına bir örnek sunulmaktadır.





Şekil 5.22 Kiriş eğilme çatlakları

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te bir kirişte gözlemlenen ve döşemeye de sirayet eden çatlaklar verilmiştir. Konsol kirişte gözlemlenen bir başka hasar durumu ise Şekil 5.16'da verilmiştir.





Şekil 5.23 Kiriş çatlakları



Şekil 5.24 Kiriş kesme çatlakları

#### 5.3.6 Çekiçleme Hasarı

Ülkemizde yaygın olarak uygulanan bitişik nizam bina yapımı Elâzığ'da da sıklıkla görülmektedir. Bitişik nizam yapıların arasında yönetmeliklerle belirlenmiş olan minimum derzler bırakılmalıdır. Böylece yapılar deprem sırasında birbirlerine çarpıp zarar vermeyeceklerdir. Ancak gerçekte bu duruma uyulmadığı ve yapılar arasında gerekli derz boşluğu bırakılmadan tümüyle bitişik olarak yapıldığı gözlemlenmiştir.

Genellikle binalar arasında ölü kalıp bırakılarak inşaatlar yapılmaktadır. Hatta bazen kalıp dahi kullanılmadan yan bina kalıp olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.25'te yan bina ile arasına kalıp konmadan dökülmüş bir kolon görülmektedir. Hatta sonradan yapılan bina, duvar da örmeyip yan binanın duvarını kullanmaktadır.

Elâzığ'daki bitişik nizam binalarda görülen en büyük hasar, binalar arasındaki arayüzlerde görülen çatlaklardır. Şekil 5.26'da böyle bir çatlağa örnek verilmektedir. Bu çatlak sadece aradaki derz boşluğunun sıva ile örtülmesinden kaynaklanmaktadır ve yapısal bir hasar değildir. Ancak bina sakinleri üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır.

Bitişik nizam binalarda yapısal hasar, deprem sırasında binaların birbirlerine çarpması ile meydana gelmektedir. Özellikle kat seviyeleri farklı binalar birbirlerine çekiçleme etkisi ile ağır

hasar verebilmektedir. İncelenen binalar arasında sadece bir binada bu seviyede ağır hasar gözlenmiştir. Şekil 5.27'de çekiçleme hasarı görülmektedir. Çekiçleme etkisiyle kolon-kiriş birleşimi ağır hasar almıştır.



Şekil 5.25 Kalıpsız dökülmüş kolon betonu



Şekil 5.26 Bitişik nizam bina hasarı



Şekil 5.27 Çekiçleme hasarı

# 5.3.7 Kalkan ve Parapet Duvar Hasarları

Bugüne kadar incelenmiş tüm depremlerde olduğu gibi Elâzığ'da da uygun yapılmamış kalkan duvarlar ve parapet duvarlar hasar almıştır. Apartmanların çatısından düşen tuğla duvarlar büyük tehlike oluşturmaktadır. Şekil 5.28'de bu hasarlara birer örnek verilmektedir.



Şekil 5.28 Kalkan duvar ve parapet duvar hasarları

#### 5.3.8 Zemin Çökmesi

Çok kısıtlı sayıda da olsa deprem sonrası zemin oturması görülmüştür. Bu hasar zemin katın doğrudan zemin üzerine grobeton dökülerek yapıldığı binalarda görülmüştür. Şekil 5.29'da zeminin oturması kaynaklı döşeme çatlaması görülmektedir. Zemin üzerine oturan bu giriş katı döşemesindeki çökme yaklaşık olarak 10 cm civarındadır. Şekil 5.30'da ise zemin çökmesine bağlı olarak duvarlarda oluşan hasar verilmektedir. Aynı tip yan yana birkaç yapının zemin katlarında bu zemin hasarına bağlı yaygın ağır duvar çatlakları gözlenmiştir.



Şekil 5.29 Zemin oturması kaynaklı hasarlar



Şekil 5.30 Zemin çökmesi kaynaklı duvar hasarı 144

# 5.4 Güçlendirilmiş Bina Performansı

Elâzığ merkezde toptan göçmüş olan binanın hemen yanında kendisiyle özdeş bir bina daha bulunmaktadır. Bu yapının bodrum katı bir şekilde daha önce güçlendirilmiştir. Bu amaçla bodrum kattaki 7 adet iç akslarda bulunan kolon betonarme mantolama ile güçlendirilmiştir. Güçlendirmenin detayları, beton dayanımı ve donatı detayları bilinmemektedir. Ancak güçlendirme uygulaması yanlış yapılmış dahi olsa binanın toptan göçmesini engellemiştir. Hatta bina hasarı da sınırlı seviyede kalmıştır. Bu uygulama dahi binaların depreme karşı güçlendirilmesinin önemini göstermektedir. Bir bina toptan göçerken diğeri depremi neredeyse sorunsuz olarak atlatabilmiştir.



Şekil 5.31 Betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonlar

# 5.5 Sonsöz

Elâzığ depremi sonrası sahada yapılan gözlemler ve tespitler neticesinde aşağıdaki sonuçlar sıralanabilir:

- Elâzığ merkezde ölçülen yer hareketi, tasarım deprem yer hareketi seviyesinin çok altında olmasına rağmen pek çok binada orta ve ağır hasar gözlemlenmiştir.
- Hasarın, 2000 yılları öncesi düşük kalite ile inşa edilmiş yapılarda yoğunlaştığı belirlenmiştir.
- 2000'li yıllardan sonra inşa edildiği belirtilen binalarda, hasarın göreceli olarak çok daha az olduğu söylenebilir.
- Yapısal hasar türleri diğer depremlerde gözlemlenen hasarlara benzerdir.
- Yapısal olmayan dolgu duvar hasarlarının insanların psikolojisi, hasar tespitinin gerçekçiliği ve mal kayıpları açısından önemli olduğu bir kez daha gözlemlenmiştir.
- Bir binanın toptan göçmesi veya göçmemesi durumu oldukça ince bir çizgi olup mühendislik açısından zor karar verilebilecek bir durumdur. Binanın güçlendirilmesi ile bina toptan göçmesi engellenerek can kaybının önüne geçilebilir.
- Elâzığ depremi gibi, şehir merkezinde yer hareketi düzeyi düşük olan depremlerde dahi toptan göçmesi beklenen binaların önceden tespit edilerek dönüştürülmesi, depremlerden sonra can kaybının engellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.
- Deprem sonrası ağır hasar alması beklenen binaların, önceden ekonomik bir şekilde güçlendirilmesi, deprem riski azaltma hususunda büyük önem taşımaktadır.
- Dolgu duvarların yapısal sistemden ayrıldığı ve yeterli düzlem dışı kapasiteye sahip olduğu sistemlerin yaygınlaşması gerektiği gözlemlenmiştir.

# 6. BÖLÜM DEPREM SONRASI KIRSAL BÖLGELERDE HASAR İNCELEMESİ

Prof. Dr. Murat Altuğ ERBERİK<sup>1</sup>

Prof. Dr. Ayşegül ASKAN GÜNDOĞAN<sup>1</sup>

Arş. Gör. Aylin ÇELİK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

# 6.1 Giriş

Bu bölümde, Elâzığ depremi sonrası 29-30 Ocak tarihlerinde fay hattına yakın kırsal yerleşim birimlerinde yapılan saha incelemeleri, gözlemler ve tespitler sunulmaktadır. Bu kapsamda Sivrice ilçesi ve bu ilçeye bağlı bulunan beş kırsal yerleşim merkezi detaylı olarak incelenmiştir. Bu yerleşim merkezlerinin konumları Şekil 6.1'de verilmiştir. Depremin merkez üssü de aynı şekilde yıldız işaretiyle gösterilmiştir. Bu tespitlere ait gözlemler ve değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 6.1 Fay hattı boyunca detaylı saha incelemeleri yapılan kırsal yerleşim bölgeleri

#### 6.1.1 Sivrice İlçesi

İlk olarak, depreme de adını vermiş olan Sivrice ilçesi ziyaret edilmiştir. Sivrice, uydu fotoğrafından da (Şekil 6.2) görüldüğü üzere Hazar gölünün güneybatısında ve neredeyse fay hattı üzerinde konumlanmış 400-500 yapıdan oluşan bir yerleşim merkezidir. İlçenin nüfusu yaklaşık 10.000 olup ilçeye bağlı 52 köy bulunmaktadır. İlçedeki binaların çoğu az katlı yığma ile az/orta katlı eski betonarme çerçeveli yapılardan oluşmaktadır (Şekil 6.3). Fay hattına çok yakın olan ilçede, yıkılan bina sayısı az olmasına karşın; farklı derecelerde de olsa hasar almış bina sayısı oldukça fazladır (Şekil 6.4).



Şekil 6.2 Sivrice ilçesinin uydu fotoğrafı (Google Earth)



Şekil 6.3 Sivrice ilçesinin yapı stokuna bir bakış



Şekil 6.4 Sivrice ilçesinde hasar görmüş yapılardan fotoğraflar

İlçede, hasarlı yapılar içerisinde bulunan en büyük ve en karmaşık bina Sivrice Merkez Camii'dir (Şekil 6.5). Bölge halkından alınan bilgilere göre, söz konusu camii 2019 Aralık ayında meydana gelmiş olan hafif depremi az hasarla atlatmıştır. Ancak son deprem sonucunda ağır hasarlı bir binaya dönüşmüştür. Şekil 6.5'te de görüldüğü üzere, caminin dış duvarlarında geniş kesme çatlakları ve düzlem dışı kısmi yıkılmalar mevcuttur.

Hasarlı cami daha yakından incelendiğinde çok sayıda yapısal zayıflığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Taşıyıcı kolon ve kiriş elemanlarında beton dayanımının oldukça düşük olduğu, enine donatıların yetersiz olduğu ve boyuna donatılarda korozyon meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6.6). Buna ek olarak, söz konusu hasarlı yapının bodrum katında yapılan incelemelerde, boyları kısaltılmış olan kolonlarda mafsallaşma türü ağır hasarlar olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.5 Deprem esnasında ağır hasar görmüş olan Sivrice Merkez Camii



Şekil 6.6 Sivrice Merkez Camii'nde tespit edilen hasarlar

## 6.1.2 Kürk Köyü

Sivrice ilçesinin güney batısında yer alan Kürk köyü, fay hattının biraz kuzeyinde kalmaktadır. Köyün girişinde iki adet birbirine oldukça benzeyen tek katlı taş yığma bina yer almaktadır (Şekil 6.7). Bölge sakinlerinden elde edilen bilgilere göre bu binalar geçmişte okul ve lojman binası olarak kullanılmıştır. Söz konusu binalar yapı olarak 2010 Elâzığ-Karakoçan depremi esnasında Palu'da yıkılmış olan tek katlı taş yığma okul binasına oldukça benzemektedir (Şekil 6.8). Deprem esnasında metruk olan binalardan birinde zayıf taş duvar köşe bağlantısından kaynaklanmış olan yerel göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.7 Kürk köyünde zamanında okul ve lojman olarak kullanılmış iki taş yığma bina



Şekil 6.8 Elâzığ-Karakoçan depreminde Palu'da yıkılmış olan benzer bir taş yığma okul binası

İncelenmekte olan Kürk köyünün içlerine doğru ilerlenince mühendislik hizmeti görmemiş taş ve kerpiç yığma binaların genellikle ağır hasar gördüğü veya yıkıldığı gözlenmiştir (Şekil 6.9). Bunun başlıca sebebi, yapıların taşıyıcı duvar ve harç malzemesinin düşük mukavemete ve kaliteye sahip olmasıdır. Ayrıca aynı duvar içerisinde farklı malzeme türlerinin kullanılması, duvarın homojen yapısını ve bütünlüğünü olumsuz şekilde etkilemektedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.9 Kürk köyünde deprem esnasında ağır hasar görmüş veya yıkılmış yığma yapılar

Kürk köyündeki ağır hasarlı ve yıkılmış yapıların yanı sıra, çok az hasar görmüş binalar da mevcuttur (Şekil 6.11). Bu binaların göreceli olarak daha yakın zamanda yapıldıkları, genellikle betonarme çerçeveli yapı olarak inşa edilmiş oldukları ve diğer yapılara nazaran daha az yapısal zayıflığa sahip oldukları söylenebilir. Bu tespit, benzer seviyede deprem tehlikesine sahip binalarda deprem performansının, bu binaların yapısal özelliklerine ve deprem hasar görebilirliğine bağlı olarak tamamen farklı olabileceği gözlemini teyit etmektedir.



Şekil 6.10 Kürk köyünde yıkılan yığma duvarların malzeme açısından homojen olmayan yapısı



Şekil 6.11 Kürk köyünde depremi hafif hasarla atlatmış az katlı betonarme bina

## 6.1.3 Sanayi Mahallesi

Sivrice ilçesinin dış mahallelerinden biri olan Sanayi mahallesinde yapılan incelemeler, bu bölgedeki yapıların çok fazla hasar görmediğini göstermiştir (Şekil 6.12). Yapı stoku kalitesi bir önceki incelenen köyden (Kürk köyü) daha iyi göründüğü için, binalar bu depremi genellikle hafif hasar ile atlatmıştır. En ciddi hasarlardan biri, Şekil 6.13'te görüldüğü üzere cami minaresinin tepesinde meydana gelmiştir.



Şekil 6.12 Sanayi mahallesindeki binaların deprem sonrası durumları



Şekil 6.13 Sanayi mahallesinde minaresi hasar görmüş olan cami

## 6.1.4 Akpınar Köyü

Akpınar köyü, Sanayi mahallesi gibi Sivrice ilçesinin yakınlarında, ancak göl seviyesinden daha yüksek bir rakımda bulunmaktadır. Bu köyde yer alan binaların büyük bir çoğunluğu tek katlı yığma yapılardır (Şekil 6.14). Bu yapılar içerisinde taş ve kerpiç malzeme kullanılarak yapılmış olanlardan bazıları hasar görmüştür. Tuğla malzemesi kullanılarak inşa edilmiş olan yapılarda ciddi hasarlar gözlenmemiştir. Köyde deprem esnasında yıkılmış bina bulunmamaktadır.



Şekil 6.14 Akpınar köyündeki binaların deprem sonrası durumları

#### 6.1.5 Duygulu Köyü

Sivrice ilçesi ve civarında bulunan yerleşim birimlerindeki incelemeler tamamlandıktan sonra fay hattı güneybatı yönünde takip edilmiş ve bir dağ köyü olan Duygulu köyüne ulaşılmıştır. Köyde yapılan incelemeler sonucunda hafif hasardan göçmeye kadar farklı hasar seviyelerinde yapılar olduğu görülmüştür (Şekil 6.15). Köyde yıkılmış binalar mevcuttur ama köy sakinlerinden alınan bilgilere göre depremde can kaybı olmamıştır. Köydeki yapıların çoğu yığmadır ve farklı malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Az sayıda yeni yapılmış yığma ve betonarme yapı mevcuttur ve bu yapılarda ciddi bir hasar tespit edilmemiştir (Şekil 6.16). Farklı hasar derecelerine sahip binaların içinde de inceleme yapılmış olup meydana gelmiş olan hasarın genellikle düşük malzeme dayanımı ve duvar-duvar, duvar-döşeme bağlantılarındaki zayıflıklardan kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 6.17). Bağlantı zayıflıkları binaların deprem esnasında kutu davranışı göstermesini engellemiş ve bağımsız çalışan duvarlar özellikle düzlem-dışı yönünde hasar görmüştür.



Şekil 6.15 Duygulu köyünde farklı hasar seviyelerine sahip kırsal yapılar



Şekil 6.16 Duygulu köyünde yeni yapılmış ve az hasarlı binalar



Şekil 6.17 Duygulu köyünde detaylı incelenen yapılarda deprem hasarları

Bu köyde bulunan cami yapısı için ayrı bir paragraf açmak gerekmektedir. Çünkü alınan bilgilere göre cami yapısı, Kültür ve Turizm Bakanlığı'na tescilli tarihi bir yığma yapıdır (Şekil 6.18). Kapısında yer alan tabelada 1883 yılında inşa edilmiş olduğu yazmaktadır. Ancak köylüler bu yapının daha eski olduğunu iddia etmektedir. Tarihi köy camisinin farklı zamanlarda tadilatlar geçirdiği, özellikle minaresinin birkaç yıl önce restore edildiği söylenmektedir. Ancak buna rağmen cami yapısında ciddi hasarlar olduğu görülmektedir. Cami içerisinde yer alan kemerlerin ayaklarında ve kaplamalarında hasarlar, çatlaklar ve dökülmeler mevcuttur (Şekil 6.19). Duvarlarda kesme çatlakları görülmektedir. Yeni tadilat görmüş olduğu söylenen minarenin gövdesinde çatlaklar ve derzlerden ayrılmalar mevcuttur.



Şekil 6.18 Duygulu köyündeki tarihi caminin görünümü



Şekil 6.19 Duygulu köyündeki tarihi camide tespit edilen hasarlar

## 6.1.6 Çevrimtaş Köyü

Çevrimtaş köyü, fay hattı üzerinde bulunan ve depremin merkez üssüne en yakın olan yerleşim birimidir. Köy mekânsal olarak iki mahalleye ayrılmıştır: Nehir yatağına yakın olan aşağı mahalle ve tepenin yamaçlarında yer alan yukarı mahalle (Şekil 6.20). Bu iki yerleşim bölgesi arasında yaklaşık 300-400 metre gibi bir mesafe olmasına karşın hasar dağılımları oldukça farklıdır. Aşağı mahallede yer alan tüm yapılar yıkılmış ve bu bölgede can kayıpları meydana gelmiştir (Şekil 6.21). Ancak yukarı mahalledeki yapılar incelendiğinde farklı hasar seviyelerini (az hasar, orta hasar, ağır hasar ve göçme) bir arada görmek mümkün olmaktadır (Şekil 6.22). Alınan bilgilere göre yukarı mahallede can kaybı meydana gelmemiştir. Aşağı ve yukarı mahalledeki binalar incelendiğinde yapım kalitesi olarak birbirine benzer yapıların farklı

seviyelerde performans gösterdikleri tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeni, aşağı mahallenin fay hattına çok yakın olması, hatta belki de fay hattının tam üstünde olması; ancak yukarıdaki mahallede yer alan yapıların bu hattan biraz daha uzakta bulunmasıdır. Fay hattının üzerine inşa edilmiş yapıların ağır hasar görmesi ya da yıkılması daha önceki depremlerde de (özellikle 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi) tespit edilmiş olan önemli bir bulgudur. Bu depremde ve daha önceki depremlerde yapılmış olan bu tür gözlemler, fay hattı doğrultusunda yapılaşmaya izin verilmeyen bir güvenlik şeridi uygulanmasının gerekliliği konusunu destekleyici tespitlerdir. Buna ek olarak, aşağı mahallenin 50 metre kadar uzağında bulunan yapısal kalıntılar, köyün daha önce kurulmuş olduğu bölgeyi göstermektedir (Şekil 6.23). Bu durum, bölgenin daha önce de yerleşim yeri olarak kullanılıp, büyük bir olasılıkla tarihsel depremler sonrası terkedildiğine bir işarettir.



Şekil 6.20 Çevrimtaş köyüne ait aşağı ve yukarı mahallelerin görünümü



Şekil 6.21 Çevrimtaş köyü aşağı mahallede tamamen yıkılmış yapılar



Şekil 6.22 Çevrimtaş köyü yukarı mahallede farklı hasar seviyelerinde yapılar



Şekil 6.23 Aynı bölgede daha önce kullanılmış yerleşim yerinin kalıntıları

# 6.1.7 Fay Hattı Civarındaki Diğer Yerleşim Birimleri

Yukarıdaki bölümlerde bahsi geçen yerleşim birimleri dışında, teknik ekip tarafından çok detaylı olarak incelenmemiş olan köyler ile ilgili edinilmiş olan sınırlı bilgiler Şekil 6.24'te gösterilmiştir. Söz konusu bilgiler ışığında, faya ve merkez üssüne yakın köylerde kırsal yapı hasarının yoğun olduğu, taş ve kerpiç yığma yapıların çok ciddi hasar gördüğü, tuğla yığma ve az katlı betonarme yapıların ise göreceli olarak daha iyi performans gösterdikleri söylenebilir.



Şekil 6.24 Fay hattı civarındaki diğer yerleşim birimlerinde hasar durumları

# 6.2 Kırsal Yapılarla İlgili Deprem Sonrası Genel Gözlemler

Deprem sonrası kırsal bölgelerdeki yapı hasarlarıyla ilgili olarak genel gözlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Mühendislik hizmeti görmemiş, dayanımı zayıf malzemeler kullanılarak inşa edilmiş kırsal yapı stoku dolayısıyla köylerde yıkımın kent merkezlerindeki yıkımdan daha fazla olduğu söylenebilir. Ancak depremin kışa denk gelmesi ve köy nüfusunun çoğunun şehre göç etmiş olması nedeniyle can kaybı yıkılan bina sayısına oranla daha az seviyede kalmıştır.
- Kırsal bölgelerde daha çok kerpiç ve taş yığma binalar hasar görmüştür. Hasarlı binalarda düşük dayanıma sahip duvar ve harç malzemesi kullanıldığı, duvar ve döşeme bağlantılarının yeterli olmadığı, yapısal bağlantıların zayıf olmasından dolayı taşıyıcı elemanlar arasında yük aktarımı sağlanamadığı ve böylece yığma duvarların genellikle düzlem-dışı yönde yıkıldıkları tespit edilmiştir.
- Kırsal bölgelerde inşa edilmiş olan az katlı betonarme yapıların ise kerpiç ve taş yığma yapılara göre göreceli olarak daha az hasar gördüğü gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni, bu tür binalarda yapısal zayıflıkların daha az olmasıdır ve malzeme kalitesi ve dayanımının daha yüksek olmasıdır.
- Saha çalışması esnasında fay hattına yaklaştıkça hasar oranının arttığı gözlenmiştir. Özellikle fay hattının tam üzerinde olduğu düşünülen yerleşim merkezlerinde tamamen yıkım olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, fay hattı boyunca bir güvenlik şeridinde imara izin verilmemesi veya ileri mühendislik hizmetleri kullanılarak yerleşilmesi konusunu desteklemektedir.
# 7. BÖLÜM DEPREM SONRASI KÖPRÜ PERFORMANS GÖZLEMLERİ

Prof. Dr. Alp CANER<sup>1</sup>

Andrea NATALE<sup>1</sup>

Kerem BOYACI<sup>1</sup>

Doğucan YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi

### 7.1 Giriş

Bu bölüm, köprülerin deprem sonrası performanslarını gözlemlemek için 1-2 Şubat 2020 tarihlerinde yapılan saha gezisini kapsamaktadır. Gezilen köprüler deprem merkezinden 100 km yarıçap içinde bulunmaktadır.

Sivrice depreminden bir hafta sonra köprülerin yapısal davranışını gözlemlemek için deprem bölgesine altı kişiden (Alp Caner, Nejan Huvaj Sarıhan, Kâmil Ergüner, Andrea Natale, Burak Akbaş ve Muhamet Durmaz) oluşan bir mühendis grubu olarak teknik bir gezi düzenlenmiştir. Bu rapor, teknik gezi sırasında 19 adet köprünün yapısal incelenmesini içermektedir. Bu köprülerin yapım seneleri 1950'den günümüze kadar uzanmaktadır. Bazı köprüler faya tahmini olarak 1 km mesafeden daha yakın bulunmaktadır. Yapılan gözlemler sonucunda köprüler hemen kullanım performansını sağlamışlardır ve hiçbir köprü deprem sonrası trafiğe kapatılmamıştır. Gözlem yapılan köprülerin yerleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Benzer gözlemler 2011 Van depremi Mw 7.1 sonrasında da bölge köprüleri için yapılmıştır.

Aşağıda, incelenen köprülerin konumları verilmiştir.



Şekil 7.1 Köprü konumları

### 7.2 Gözlemler

Gezilen köprülerin sadece ikisinde önemli derecede olmayan deprem kaynaklı hareketlilik oluştuğu gözlemlenmiştir. Diğer köprülerde faya yakın olsun veya olmasın bu tip bir hareket gözlemlenmemiştir. Yapımı devam eden ve özel köprü tipinde olan kablo askılı Yeni Kömürhan Köprüsü'nün, yapım sırasında depreme maruz kalmasına rağmen deprem sonrası yapımına devam edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 7.2). Köprünün hemen yanında bulunan ve

dengeli konsol yapım sistemi ile inşa edilmiş diğer Kömürhan köprüsünde de gözlemlerde bir sorun görülmemiştir. Bu köprünün ana açıklığı 135 metre civarındadır.



Şekil 7.2 Yapımı devam eden kablo askılı Yeni Kömürhan Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 23,5 km, faya uzaklık: 18 km) ve beton ardgermeli Kömürhan Köprüsü (yapım senesi: 1986)



Şekil 7.3 Beylerderesi Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 74 km, faya uzaklık: 35 km yapım senesi: 2010)

Yine aynı bölgede bulunan yaklaşık olarak 150 metre ana açıklığa sahip, dengeli konsol yöntemi ile 2010 senesinde inşa edilmiş ve sonrasında 2018 senesinde servis yükleri için tamir görmüş Beylerderesi Köprüsü de deprem sonrası kullanıma açık olarak kalmıştır (Şekil 7.3).

Fay hattına çok yakın gerber kirişli betonarme Talis köprüsünde de deprem kaynaklı yapısal bir hareketlenme görülmemiştir (Şekil 7.4). 1978 senesinde inşa edilmiş olan köprü üst yapı olarak gerber kirişlere sahip olup köprünün maksimum açıklığı 23 metre civarındadır.



Şekil 7.4 Talis Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 19,7 km, faya uzaklık <1 km ve yapım senesi: 1978)

Talis köprüsünün yakınında bulunan köy geçişi köprüsü çelik kompozit bir üst yapıya sahip olup 1950 senesinde yapıldığı düşünülmektedir. Bu köprünün ayakları da çelik olup köprünün kenar ayak mesnet bölgesinde depremden dolayı hareketlendiği anlaşılmıştır. Köprüde enine

yönde yaklaşık olarak 10 cm kadar hareketlilik olduğu gözlemlenmiştir. Köprünün her ayağında bulunan beş adet çelik kolondan, su akış yönünün sonundaki kolonun saat yönünde



Şekil 7.5 Çelik kompozit köy köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 19,7 km, faya uzaklık <1 km ve yapım senesi: 1950'ler olarak tahmin edilmektedir)

biraz döndüğü gözlemlenmiştir. Köprü deprem sonrası hemen kullanım performansını sağlanmış olsa da köprünün kalan ömrü göz önüne alındığında bu köprüyü tamir etmek yerine yeni bir köprü yapılmasında fayda vardır (Şekil 7.5). Köprü yeri, yapılan drone uçuşları ile incelenmiş ve çevre sayısal bir ortama aktarılmıştır.

Ziyaret edilen köprülerden Köprügözü Köprüsü, iki açıklıklı ve sürekli betonarme kirişlerden oluşmaktadır. Köprünün yapım senesi 2001 olarak tespit edilmiştir. Bu köprü de her ne kadar faya uzak olsa da bir hasar görmemiş ve hemen kullanım durumunu sağlamıştır. Köprü açıklıkları yaklaşık olarak 21 metredir.



Şekil 7.6 Köprügözü Köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 140 km, faya uzaklık: 60 km ve yapım senesi: 2001)



Şekil 7.7 Elâzığ tipik şehir içi köprüsü (deprem merkezine uzaklık: 35 km ve faya olan uzaklık: 19 km)

Elâzığ şehir içi köprüleri deprem sonrası hemen kullanıma açık olarak kalmıştır. Bu köprülerin son zamanlarda inşa edilenleri öngerme kirişli ve beton döşemeli olarak imal edilmiştir. Köprülerin sadece birisinde kenar ayak deprem takozlarından birisinde hafif bir zorlama gözlemlenmiştir (Şekil 7.7). Bu köprülerin kenar ayak ve yaklaşımlarında kullanılan toprakarme yapılarda deprem sırasında hemen kullanım performansını sağlamışlardır.

## 7.3 Sonuçlar

- Yapılan gözlemler sonucunda köprüler hemen kullanım kriterini sağlamıştır. Bu köprülerin bazıları faya 1 km uzaklıktadır. 1950'lerde tasarlandığı düşünülen faya yakın köprünün muhtemelen el hesabı ile yapılan tasarımlarında basit bir şekilde deprem etkilerinin dikkate alındığı tahmin edilmektedir.
- İncelenen 19 köprünün 17 tanesi hiçbir şekilde deprem kaynaklı hasar görmez iken faya
  1 km kadar yakın çok narin çelik köprünün kenar ayak mesnetlerinde hafif bir oynama
  olmuş, benzer şekilde faya yaklaşık 20 km mesafede olan modern bir karayolu
  köprüsünün yine kenar ayak mesnetlerinden birinde deprem takozu benzer bir harekete
  izin vermeyerek hafif çatlamıştır. Her iki köprü de sorunsuz bir şekilde kullanıma
  açıktır. Belki modern köprü tasarımlarında özellikle kenar ayaklarda kısıtlı da olsa
  enine yönde deprem hareketine biraz izin verilse deprem takozunun da çatlamama
  ihtimali olabilir. Çelik köprüde her ayakta bulunan beş kolondan en sonuncusunun
  deprem veya su etkisinden dolayı ekseninde bir dönme olduğu gözlemlenmiştir.
- Köprü kalan ömürleri göz önüne alındığında çelik köprü örneğinde olduğu gibi tamir etmek yerine yenisinin yapılmasında fayda vardır.
- Benzer şekilde Van 2011 depremi sırasında da köprüler hemen kullanım performans şartını sağlamıştır. Köprülerin binalar kadar hasar görmemesinin başlıca sebepleri arasında binalara göre daha fazla mühendislik hesabı ve kontrol görmüş olmaları ve köprü mesnet sistemlerinin deprem sırasında deprem hareketlerine izin vermesi olarak düşünülebilir.

#### Kaynakça

Abrahamson, N., Atkinson, G., Boore, D., Bozorgnia, Y., Campbell, K., Chiou, B., Idriss, I. M., Silva, W., and Youngs, R., (2008). "Comparisons of the NGA ground-motion relations", Earthquake Spectra 24, 45–66.

Akkar, S., A. Aldemir, A. Askan, S. Bakır, E. Canbay, I.O. Demirel, M.A. Erberik, Z. Gülerce, P. Gülkan, E. Kalkan, S. Prakash, M. A. Sandıkkaya, V. Sevilgen, B. Ugurhan, E. Yenier (2011). 8 March 2010 Elâzığ-Kovancılar (Turkey) Earthquake: Observations on ground motions and building damage. Seismological Research Letters, 82, 42-58. (DOI: 10.1785/gssrl.82.1.42).

Akkar, S., Azak T., Çan T., Çeken U., Demircioğlu Tümsa M. B., Duman, T. Y., Erdik, M., Ergintay, S., Kadirioğlu, F. T., Kalafat, D., Kale, Ö., Kartal R. F., Kekovalı K., Kılıç T. S., Zülfikar Ö. (2018). "Evolution of seismic hazard maps in Turkey", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol.16, Issue 8, pp 3567-3570.

Akkar, S., Kale, Ö., Yenier, E., and Bommer, J. J. (2011). "The high-frequency limit of usable response spectral ordinates from filtered analogue and digital strong-motion accelerograms", Earthquake Engineering and Structural Dynamics 40, 1387–1401.

Aksoy, E., (1993). "Elâzığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri". Doğa Türk Yerbilimleri dergisi.

Ambraseys, N.N. (2009). "Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900". Cambridge University Press, Cambridge, UK 947pp.

ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM D6913 (2017). Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.

ASTM D7928 (2017) Standard test method for particle-size distribution (gradation) of finegrained soil using the sedimentation (hydrometer) analysis. ASTM International: West Conshohocken (PA).

Avşar, N., (1983). "Elâzığ yakın kuzeybatısında stratigrafik ve mikropaleontolojik araştırmalar" Doktora tezi.

Barka, A. (1996). "Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967", Bull. Seismol. Soc. Am. 86, 1238-1254.

Bilal, M. and A. Askan (2014). "Relationships between Felt Intensity and Recorded Ground-Motion Parameters for Turkey", Bulletin of the Seismological Society of America, 104 (1), 484–496. (DOI: 10.1785/0120130093).

Boore, D. M., and Atkinson, G. M., (2008). "Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s", Earthquake Spectra 24, 99–139.

Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., and Atkinson, G. A., (2014). "NGA-West 2 equations for predicting PGA, PGV, and 5%-damped PSA for shallow crustal earthquakes", Earthquake Spectra 30, 1057–1087.

Bozkurt E. (2001). "Neotectonics of Turkey-a synthesis". Geodinamica Acta 14: 3-30.

Chiou, B. S. J., and Youngs, R. R., (2008). "Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters", Earthquake Spectra 24, 173–217.

Chiou, B. S. J., and Youngs, R. R., (2014). "Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra", Earthquake Spectra 30, 1117–1155.

Duman T. Y., Emre Ö. (2013). "The East Anatolian Fault: geometry segmentation and jog characteristics". Geol Soc London Spec Publ 372: 495-529.

Emre Ö., Duman T. Y., Özalp S, Elmaci H., Olgun Ş., Şaroğlu F. (2013). "Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text". Ankara, Turkey: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).

Gülerce, Z., Kargioglu, B., and Abrahamson, N. A. (2016) "Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models," Earthquake Spectra 32, 75–100.

Gülerce, Z., Shah, S. T., Manekşe, A., Özacar, A. A., Kaymakci, N., & Çetin, K. O. (2017). "Probabilistic seismic-hazard assessment for East Anatolian fault zone using planar fault source models", Bulletin of the Seismological Society of America, 107(5), 2353–2366.

İnceöz, M., (1994). "Harput (Elâzığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri". Doktora tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst.

Kale, Ö., Akkar, S., Ansari, A. and Hamzehloo, H. (2015). "A ground-motion predictive model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV and 5%-damped response spectrum: Investigation of possible regional effects", Bulletin of the Seismological Society of America, 105, 2A, 963-980.

Kale, Ö. (2019). "Some Discussions on Data-Driven Testing of Ground-Motion Prediction Equations under the Turkish Ground-Motion Database", Journal of Earthquake Engineering, 23(1), 160–181.

Kurtuluş, C., Sertçelik, F., Sertçelik, İ., Kuru, T., Tekin, K., Ateş, E., Apak, A., Kökbudak, D., Sezer, S., & Yalçın, D. (2019). "Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi", Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP), AFAD.

Palutoğlu,M., Tanyolu E. (2006). "Elâzığ İl Merkezi Yerleşim Alanının Depremselliği", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (4), 577-588.

Sandıkkaya, M. A., Yılmaz, M. T., Bakır, B. S., & Yılmaz, Ö. (2010). "Site classification of Turkish national strong-motion stations". Journal of Seismology, 14(3), 543–563.

Sengör A. M. C., Gorur N., Saroglu F. (1985). "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study". Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37: 227 – 264.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Kuşçu, İ. (1992). "Active Fault Map of Turkey at Scale 1:1 000 000", Mineral Research and Explorations Institute of Turkey Publication, Ankara, 3 sheets.

Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği TBDY, 2019.

Taymaz, T., Jackson, J. & Mckenzie, D. P. (1991). "Active tectonics of the north ve central Aegean Sea", Geophysical Journal International, 106, 433–490.

Tsuchida, H. (1970). Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits. Abstract of the Seminar in the Port and Harbor Research Institute.

USGS, United States Geological Survey.

Utkucu, M., Nalbant, S., McClusky, J., Steacy, S., Alptekin, Ö., (2003). "Slip distribution and stress changes associated with the 1999 November 12, Düzce (Turkey) Earthquake (Mw = 7.1).", Geophys. J. Int. 153, 229–241.

Wells D. L., Coppersmith K. J. (1994). "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement". Bulletin of the Seismological Society of America; 84 (4): 974–1002.