



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**24 OCAK 2020 SİVRİCE-ELAZIĞ DEPREMİ ($M_w=6.8$) YÜZEY
DEFORMASYONLARI ve DEPREM ODAK BÖLGESİNİN
JEOLOJİK YAPISIYLA İLİŞKİSİ**

İsa ESHBAYEV

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayrettin KORAL**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 11.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Hayrettin KORAL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ethem GÖRGÜN
İstanbul Üniversitesi-cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Murat UTKUCU
Sakarya Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır. |

ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleninin fazlasını sunan ve tez konusunun belirlenmesinden her aşamasında engin bilgisi ile beni yönlendirerek sonuçlara ulaşmada yol gösteren, maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Hayrettin KORAL'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Saha çalışmasının yürütüldüğü kış hava koşullarına rağmen her zaman yanımda olan, tecrübesi ve derin bilgisi ile yönlendirici yorumları ve önerilerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ÖNAL'a minnet borçluyum.

Tez çalışmasının saha gözlem ve verilerinin toplanmasında Malatya Belediye Başkanı Sayın Selahattin GÜRKAN'a ve İnönü Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Ahmet KIZILAY'a ve kurum çalışanlarına vermiş oldukları lojistik destek için çok teşekkür borçluyum.

Tez çalışma sırasında kaynak, metin önerilerinde bulunan ayrıca bilgisayar programları kullanımında bana yardımını esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Serdal KARAAĞAÇ'a teşekkür ederim.

Tez çalışması giderleri kısmi olarak merhum Emekli Öğretmen Vasfiye HATİPOĞLU (Trabzon eşrafından) anısına tez danışmanı tarafınca desteklenmiştir.

Tüm eğitimim boyunca maddi ve manevi beni hep destekleyen bu günlere gelmemde büyük katkısı olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. |

Ocak 2022

|İsa ESHBAYEV|

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. ÇALIŞMANIN AMACI	3
2.2. İNCELEME ALANININ TANITIMI.....	4
2.2.1. İnceleme Alanının Konumu	4
2.2.2. Ulaşım.....	4
2.2.3. Topografya ve Morfoloji	5
2.3. ÖNCEKİ İNCELEMELER.....	6
2.3.1. Bölgesel Jeoloji ve Neotektonik	6
2.3.2. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun genel özellikleri ve segment yapısı	7
2.3.3. Tarihsel ve Aletsel Depremler.....	11
2.3.4. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) Mw=6.8 Depremi ile İlgili Çalışmalar.....	15
2.3.4.1. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesinden Kürçer ve diğ., (2020). Saha çalışması.....	15
2.3.4.2. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ, 2020) ön değerlendirme yazısı	17
2.3.4.3. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) ön değerlendirme raporu	17
2.3.4.4. TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Tatar ve diğ., (2020) Elazığ (Sivrice) depremi çalışması.....	18
2.3.4.5. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) ön çalışması	19
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	21
3.1. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ.....	21

3.1.1. Ön çalışmalar.....	21
3.1.2. Saha Çalışmaları.....	21
3.1.3. Büro Çalışmaları.....	22
4. BULGULAR.....	23
4.1. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ	23
4.1.1. Pütürge metamorfikleri (Pre-Kambiriyen-Üst Triyas)	25
4.1.2. Hazar Grubu (Üst Kretase-Alt Eosen).....	26
4.1.3. Maden Grubu (Orta Eosen)	26
4.1.4. Guleman Ofiyolitleri (Karbonifer-Permiyen).....	27
4.1.5. Plio-Kuvaterner çökelleri	27
4.2. DEPREM BÖLGESİNİN SİSMOLOJİK/SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ.....	28
4.2.1. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 Depremiyle İlişkili Sismik Aktivite	29
4.2.2. Deprem sırasında gelişen yüzey deformasyonları.....	30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
5.1. 24 OCAK 2020 DEPREMİ SIRASINDA HAREKET EDEN FAY BÖLÜTÜ (SEGMENTİ)	52
5.2. DEPREM VERİLERİNİN (GELECEKTEKİ) SİSMİSİTE BAKIMINDAN ANLAMİ.....	53
5.3. 24 OCAK 20 DEPREMİ SIRASINDA HAREKET EDEN FAY BÖLÜTÜNÜN (SEGMENT) DEPREM SIRASINDA GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARIYLA İLİŞKİSİ.....	64
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. a) Türkiye ve yakın çevresinin başlıca neotektonik unsurları. Kalın siyah renkli oklar levhaların hareket yönlerini göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992; Barka ve Reilinger, 1997; McClusky ve diğ., 2000; Bozkurt, 2001; Reilinger ve diğ., 2006'den düzenlenmiştir). b) Çalışma alanı ve çevresindeki başlıca faylar. DAFZ: Doğu Anadolu Fayı, MF: Malatya-Ovacık Fayı, SF: Sürgü fayı, BKK: Bitlis kenet kuşağı.	1
Şekil 2.1. İnceleme alanının (a) Türkiye'deki yeri ve (b) sayısal yükseklik modeli.	5
Şekil 2.2. Türkiye ve çevresindeki tektonik birimlerinin dağılımının harita görünümü (Okay ve Tüysüz, 1999).	7
Şekil 2.3. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun başlıca fay bölütleri (MTA; Şaroğlu ve diğ., 1985)'den değiştirilerek alınmıştır. Ocak 2020 deprem odağı yıldız ile işaretlenmiştir.	9
Şekil 2.4. DAFZ boyunca gelişmiş Tarihsel dönemdeki büyük depremlerin haritadaki yerleri (Ambraseys, 1989).	12
Şekil 2.5. DAFZ boyunca 1900-2021 tarihleri arasında meydana gelmiş aletsel dönemdeki Mw=6.0 ve üzeri depremlerin Harita üzerinde yerleri (AFAD). Kırmızı kutu Elazığ (Sivrice) depremi.	14
Şekil 2.6. Köşabaşı köyünün 300 metre güneyinde, insansız hava aracı (Drone) ile kaydedilen yüzey kırık deformasyon alanı (Kürçer ve diğ., 2020).	16
Şekil 2.7. Malatya (Pütürge)-Sivrice (Elazığ) deprem bölgesinde yapılan saha çalışmaları sırasında yapılan gözlem noktalarının Google Earth uyudu üzerindeki konumları (Kürçer ve diğ., 2020).	17
Şekil 2.8. Elazığ (Sivrice) depremi ve artçı şok aktivitesinin dağılımını gösteren harita (AFAD).	18
Şekil 2.9. DAFZ'nun orta bölümünde yer alan Pütürge fay bölütü üzerinde 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında gelişen artı şokların dağılım alanlarını veren sismotektonik harita (Tatar ve diğ., 2020).	19
Şekil 2.10. Elâzığ (Sivrice) depreminin hemen ardından meydana gelen yüzey deformasyon ve gelişen kırık-çatlakları, zemin yenilmeleri gibi parametrelerini Hazar gölü çevresi boyunca toplam 'da 16 tane gözlem altında gerçekleştirilmiştir (ODTÜ, 2020).	20

Şekil 4.1. Türkiye güneyinin ana morfolojik yapıları ve aktif fayları. Taramalı alanlar Toros dağlarını ve kırmızı renkle gösterilen alan ise Doğu Anadolu Fayı üzerindeki çalışma bölgesini göstermektedir (Yazgan ve Chessex, 1991'den sadeleştirilerek değiştirilmiştir).	24
Şekil 4.2. a) Malatya-L41-b3-c1-d2 ve Elazığ-L42-a4 paftalar arasında kalan çalışma alanının jeoloji haritası (1/100 000'lik MTA jeoloji haritalarının Erzurum ve Sivas paftalarından sadeleştirilerek hazırlanmıştır). b) Jeoloji haritası üzerinde gösterilmiş A-A' ve B-B' güzergâhlarına ait jeolojik enine kesitleri.....	25
Şekil 4.3. Çalışma bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.	28
Şekil 4.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinde 01 Ocak 2000 tarihinden 23 Ocak 2020 tarihine kadar yaklaşık 20 yıllık bir periyotta meydana gelen Mw=4.0 üzeri depremlerin alansal dağılımı (AFAD, 2020). 24 Ocak 2020 depreminin merkezi yıldız ile gösterilmiştir.....	29
Şekil 4.5. 24. 02. 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depreminden günümüze kadar gerçekleşen yaklaşık 1 yılı aşkın süre içerisinde meydana gelen Mw=4.0 ve üzeri artçı depremlerin alansal dağılımı (AFAD, 2020).	30
Şekil 4.6. Elazığ (Sivrice)-Malatya (Pütürge) İlçeleri arasında kalan ~85 km uzunluğundaki Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca beş bölüm altında çalışmanın gerçekleştirildiği ana fay hattı kısımlara ayrılarak incelenebilir: (A) Çevrimtaş ve Doğanbağı köylerinden başlayarak Ilıncak köyü ve güney doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca devam eden çalışma bölümü; (B) Koldere köyünün doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca batıda Tatlıca mahallesine kadar uzanan Fırat nehri'nin hem kuzey güney kıyıları hem de karada yürütülen çalışma bölümü; (C) Depremin en çok iz bıraktığı Ormaniçi köyün'de gerçekleştirilen çalışma bölümü; (D) Belki de depremin oluşturduğu kırık/deformasyonların bittiği yer dediğimiz Arıtoprak köyü ve batısında kalan Tekedere mahallesine kadar olan çalışma bölümü, ve (E) Bu çalışma esnasında göremediğimiz, fakat başka araştırmacılar tarafından deformasyonların gözlemlendiği çalışma bölümünü tanımlamak için kullanılmıştır. Saha incelemeleri sırasında yüzey deformasyonlarının Fırat nehri boyunca kuzey-güney kıyılarında bir kısmı bir kısmı tekne ile deprem sırasında ve sonrasında gelişen yüzey/deformasyon yapıları yerinde ölçülerek 1/25000'lik topoğrafya haritasına işlenmiştir.....	31
Şekil 4.7. Çevrimtaş ve Doğanbağı köylerinden başlayarak Ilıncak köyü ve güney doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca gelişen yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.	32
Şekil 4.8. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede deprem sırasında gelişmiş kırık deformasyon yapıları (Çevrimtaş köyü).....	33
Şekil 4.9. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde b) ile gösterilen 24 Ocak 2020 depremi sırasında ve sonrasında Ilıncak köyü ve civarında meydana gelen yüzey deformasyonları.....	33

Şekil 4.10. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde c) ile gösterilen 24 Ocak 2020 depremi sırasında ve sonrasında Ziyaret sırtında meydana gelen yüzey deformasyonları.	34
Şekil 4.11. Koldere ve yakın civarında gelişen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.	35
Şekil 4.12. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de tekne ile yapılan çalışmada Fırat nehrinin kuzey-güney kıyıları boyunca yapılan gözlemler.	36
Şekil 4.13. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Koldere köyü).	37
Şekil 4.14. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede deprem sırasında etkilenen su borusu (Koldere köyü).	38
Şekil 4.15. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde b) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Tosunlu köyü).	39
Şekil 4.16. Ormaniçi köyü ve civarının da gelişen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.	40
Şekil 4.17. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (C) kısmında Şekil 4.16.'da harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Ormaniçi köyü batısı).	41
Şekil 4.18. Şiro çayının kuzeyinde kalan Arıtoprak mahallesinde meydana gelen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.	42
Şekil 4.19. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (D) kısmında Şekil 4.18.'da harita üzerinde a) ile gösterilen alanda, Arıtoprak mahallesinin girişinde asfalt yolu üzerinde görülen heyalanımsı yüzey deformasyonları.	43
Şekil 4.20. Üst şekilde tez kapsamında yapılan saha çalışması sırasında alınan gözlem noktaları, alt şekilde ise Tatar ve diğ., (2020) tarafından, deprem bölgesinde yürütülen saha çalışması sırasında alınan gözlem noktaları Google Earth görüntüsü üzerinde görülmektedir.	44
Şekil 4.21. Deprem sırasında Sivrice İlçesini Doğanbağı köyüne bağlayan yollar üzerinde meydana gelen sismo-gravitasyonel yüzey-kırık deformasyon yapıları (Tatar ve diğ., 2020).	45
Şekil 4.22. a) ile gösterilen fotoğraflarda Ormaniçi köyünün yaklaşık 500 m güneyinde yer alan tarlalar boyunca gelişen sismo-tektonik yüzey deformasyonları. b) ile gösterilen fotoğraflarda ise Çevrimtaş köyünün eski yerleşim alanında gelişen sismo-tektonik yüzey kırık deformasyon yapıları (Tatar ve diğ., 2020).	45
Şekil 4.23. Üst şekilde tez kapsamında yürütülen saha çalışmasında alınan gözlem noktaları, alt şekilde ise Kürçer ve diğ., (2020) tarafından deprem bölgesinde	

yürütülen saha çalışmasında alınan gözlem noktaları Google Earth görüntüsü üzerinde görülmektedir.....	46
Şekil 4.24. Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminde Hazar Gölü kuzey, kuzey batısında Gezin ilçesini Sivrice ilçesine bağlayan karayolunun kuzey, kuzey batı yamaçlarında meydana gelen dairesel kaymalar (Kuzey, kuzey batıya bakış) (Kürçer ve diğ., 2020).	47
Şekil 4.25. Elazığ-Sivrice yolu ile Sivrice İlçesine kuzey batıdan girince, asfalt yolunu kesen K30 ⁰ D doğrultuda çok ince kırık-çatlaklar gözlenmektedir (Kürçer ve diğ., 2020).....	48
Şekil 4.26. Sivrice İlçesinin hemen 2 km batısında, yaklaşık K-G doğrultu yönünde kalan Yedikardeş Köyü'ne giden asfalt yolu üzerinde gelişen yüzey-kırık deformasyon yapıları (Kürçer ve diğ., 2020).	49
Şekil 4.27. Kösebayır Köyü'ne yakın afet evlerinin hemen 300 metre güneyinde görülen ağırlıklı olarak sağa aşmalı gelişen yüzey-kırık deformasyon yapıları (Kürçer ve diğ., 2020).....	50
Şekil 4.28. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından gerçekleştirilen ilk günkü toplam 16 tane olan gözlem noktalarından sadece 2,8,12 ve 15 gözlem noktalarında deprem sırasında gelişen kum-çamur volkanları ve yüzey deformasyonları görülmüştür.....	51
Şekil 5.1. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yer alan Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik segmentlerinde 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremine kadar olan son 21 yıllık süreçte en küçüğü 4.0 ve en büyüğü 5.9 büyüklüklerindeki depremlerin oluş sırası ve bölgesel dağılımı gösteren sismotektonik harita.	54
Şekil 5.2. 0, 5, 15 ve 20 km derinlik değerlerine göre coulomb stres değişim analizi. Siyah renkle gösterilen noktalar artçı depremlerin dış odak noktalarına karşılık gelmektedir (Bayrak ve Söyüncü, 2021).	55
Şekil 5.3. 0, 5, 15, 20, 25 ve 30 km derinlik değerleri boyunca Coulomb stres değişimi (Bayrak ve Söyüncü, 2021).	56
Şekil 5.4. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminden önce (sağdaki sütun) 20-22.5 km daha derinlerde stres artışı gözlenmezken, 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminden sonra (soldaki sütun) ise daha derinlerde yani 20-30 km aralığında stres artışı görülmektedir (Alkan ve diğ., 2021).....	58
Şekil 5.5. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında yapılan Coulomb stres analizi ve artçı depremlerin dağılımı (Demirtaş ve diğ., 2020).....	60
Şekil 5.6. a) DAFZ'da görülen tarihsel deprem yerleri. b) Hazar Gölü-Sincik segmentinin alt segmentleri ve artçı depremlerle ilişkisi (Demirtaş ve diğ., 2020).	61
Şekil 5.7. a) 1994-2019 tarihleri arasında meydana gelen başlıca depremler ile $M_w \geq 4.0$ olan depremlerin fay çözümleri. b) Ana depremin derinlik ve yırtılma süresinin fonksiyonu olarak kırılma sürecini göstermektedir. c) Ana şok ve artçı şokların	

Doğu Anadolu Fayının 2020 depreminde kırılan kesimindeki yerleri (Pousse-Beltran ve diğ., 2020).	62
Şekil 5.8. a) Siyah çizgiler fay hatlarını, kırmızı daireler hız tomografisinde kullanılan verilerin dağılımı. Mavi daireler ise depremlerin DAFZ’nu boyunca dağılımı gösterir. b) DAFZ’nu boyunca sismik hız değişiminin üç boyutlu görüntüsü. Kırmızı yıldız 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminin merkez üssünü göstermektedir (Şahin ve Öksüm, 2021).	63
Şekil 5.9. Wilcox ve diğ., (1973) tarafından yapılan kil deneyi üzerindeki sonuçları.	64
Şekil 5.10. Doğrultu atımlı fay düzlemindeki fay çiziklerinin karakterine göre yüzeyde gelişen kırık deformasyonlarının değişimi (Von Hagke ve diğ., 2019).	66



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2-1. DAFZ boyunca gelişmiş Tarihsel dönemdeki büyük depremlere ait veriler
(Ambraseys, 1989).13

Tablo 2-2. DAFZ boyunca gelişmiş aletsel dönemdeki büyük depremlere ait veriler
(AFAD).....14



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
G	: Güney
D	: Doğu
K	: Kuzey
B	: Batı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

24 OCAK 2020 SİVRİCE (ELAZIĞ) DEPREMİ ($M_w=6.8$) YÜZEY DEFORMASYONLARI ve DEPREM ODAK BÖLGESİNİN JEOLojİK YAPISIYLA İLİŞKİSİ

İsa ESHBAYEV

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

Doğu Anadolu Fay Zonu Alp-Himalaya dağ kuşağının Doğu Toroslar kısmında bulunmaktadır. Çalışma bölgesi, kıtasal çarpışmanın gözlemlendiği Bitlis-Zagros Kenet Zonunun GB ucunda yer almaktadır. Arabistan ve Avrasya plakasının Orta Miyosen dönemindeki çarpışmasını izleyen evrede, K-G yönlü sıkıştırma kuvvetleri doğu-batı doğrultulu bindirmeli ve naplı tektonik yapıların gelişmesine ve Anadolu Levhacığının K-G yönünde kısılmasında ve kalınlaşmasına yol açmıştır. Bu durum Anadolu Levhacığının batıya doğru hareketine ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) aktif hale geçmesine yol açmıştır. Tektonizmanın yoğun olduğu bu zonda birimlerin ilksel stratigrafik ilişkileri kaybolmuştur. DAFZ’nu boyunca gelişen depremler, bize Doğu Anadolu bölgesinde yer alan levhaların günümüzde de hareket ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmayla 24 Ocak 2020 tarihinde Doğu Anadolu Fayın üzerinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ depreminin sismo-tektonik özellikleri depremle ilişkili oluşan yüzey deformasyonları gözetilerek incelenmiştir. Bu amaçla, depreme yol açan fay segmentini

(bölütünü) belirlemek için deprem sonrasında saha çalışmaları gerçekleştirilmiş ve depremle ilişkili deformasyon yapıları incelenmiştir. Saha çalışmaları sonrasında toplanan veriler, sayısal yükseklik modeli (SYM), morfo-tektonik harita, jeoloji haritası, sismotektonik harita, paleosismolojik araştırmalar ve jeodezik bilgiler ışığı altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu çalışmayla, Malatya (Pütürge) ve Elazığ (Sivrice) yerleşim alanlarını kapsayan Doğu Anadolu Fay hattı ve yakın bölgelerinde yapılan önceki aktif tektonik çalışmaları ile korelasyonu yapılmıştır.

Bu depremde gelişen yüzey kırık-deformasyon yapıları incelenerek toplam uzunluğu ~85 km olduğu değerlendirilen Hazar Gölü-Sincik fay segmentinin bu deprem sırasında ~50-55 km'lik bir bölümünün hareket ettiği, fakat güney batı kısmının ~25-30 km'lik bir bölümünün ise kırılmadığı sonucuna ulaşılmıştır. DAFZ'nun orta bölümünde 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ meydana gelen depreminin çalışma bölgesinin kuzey-doğu veya güney-batısı boyunca bundan sonraki yıllar için nasıl etki oluşturacağı değerlendirildiğinde ise, depreme yol açan fayın güney batısının ~25-30 km'lik kırılmayan bölümü ve komşu Palu-Hazar Gölü segmenti 2020 Elazığ (Sivrice) depremi ile göreceli olarak deprem riski oluşturduğu görüşü ortaya konulmuştur. Bu öngöründe DAFZ'nu boyunca 2020 depremi öncesinde ~20-30 yıllık süreçte görece daha küçük ($M>4.5$) magnitüdlü depremlemlerin meydana geldiği gözlemi etkili olmuştur. Böylelikle, DAFZ'nun bu kesimi boyunca hem büyük ölçekli bir deprem ($M_w\geq 6.5$) öncesi oluşan depremler ve böyle bir deprem sonrasında meydana gelen artçı şoklarının alansal dağılımı takip edilerek bölgenin depremselliği (sismisite) hakkında öngörü yapılabilme potansiyeli vardır. Ayrıca, DAFZ'nun bu bölümü boyunca meydana gelen tarihsel ve aletsel depremleri de dikkate alarak bölgede oluşabilecek bir sonraki sismik boşluk özelliği taşıyan alanlar tahmin edilebilir.

Ocak 2022, 88 sayfa.

Anahtar kelimeler: | Doğu Anadolu Fayı, Bitlis-Zagros Suture Zonu, Anadolu Levhası, Arabistan levhası, Aktif Tektonik, Doğrultu atımlı fay geometrisi.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

**SURFACE DEFORMATIONS OF THE 24 JANUARY 2020 SİVRİCE
ELAZIĞ EARTHQUAKE (MW=6.8) AND RELATION TO THE
GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE EPICENTRAL REGION**

İsa ESHBAYEV

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

The Eastern Anatolian Fault Zone is located at the SW end of the Bitlis-Zagros Suture Zone, where the continent-continent collision is observed, in the Eastern Taurus part of the Alpine-Himalayan orogenic belt. The collision of the Arabian plate and the Eurasian plate at the end of the Middle Miocene and the increase in the compressional tectonics in the N-S direction in the following phase have caused the development of thrusts-nappes from the north to south and the accompanying shortening and thickening of the Anatolian Plate, which caused the westward movement of the Anatolian Plate and the initiation of the North Anatolian Fault. Zone (NAFZ) and East Anatolian Fault Zone (EAFZ). In this zone where tectonism is intense, the primary stratigraphic relationships of the units have been lost. Earthquakes occurring along the Eastern Anatolian Fault Zone are an indication that the compressional plate movements still continue.

In this study, the seismo-tectonic features of the Elazığ (Sivrice) Mw=6.8 earthquake that occurred on the Eastern Anatolian Fault Zone on January 24, 2020 were investigated by

considering the earthquake-related surface deformations and related seismicity. For this purpose, post-earthquake field studies were carried out to determine the fault segment that caused the earthquake, and earthquake-related deformation structures were examined. Data collected after the field studies were evaluated in the light of digital elevation model (DEM), morpho-tectonic map, geological map, seismotectonic map, paleoseismological studies and geodetic information. In addition, evaluations were made by comparing the previous active tectonic studies regarding the Eastern Anatolian Fault Zone and its surroundings, covering the Malatya (Pütürge) and Elazığ (Sivrice) settlements.

By examining field and seismicity data related to the January 24, 2020 earthquake, it is concluded that a ~50-55 km long portion of the Hazar Gölü-Sincik fault segment that is considered approximately ~85 km in length has been ruptured during this earthquake, but an approximately ~25-30 km long a south-westerly part in the of the fault has not moved. When seismological features of the $M_w=6.8$ Elazığ (Sivrice) earthquake of the January 24, 2020 are taken into account, it appears that the ~25-30 km unruptured part and the neighboring Palu-Hazar Lake segment have emerged as relative earthquake risk areas for the next period. A parameter used in this prediction is based on the observation that relatively smaller ($M>4.5$) magnitude earthquakes occurred along the EAFZ during the ~20-30 years before the 2020 event. If this assumption is valid, we could predict the potential seismic gaps in this region by tracking both the shocks before a large-scale earthquake ($M_w\geq 6.5$) and the areal distribution of aftershocks along the EAFZ. |

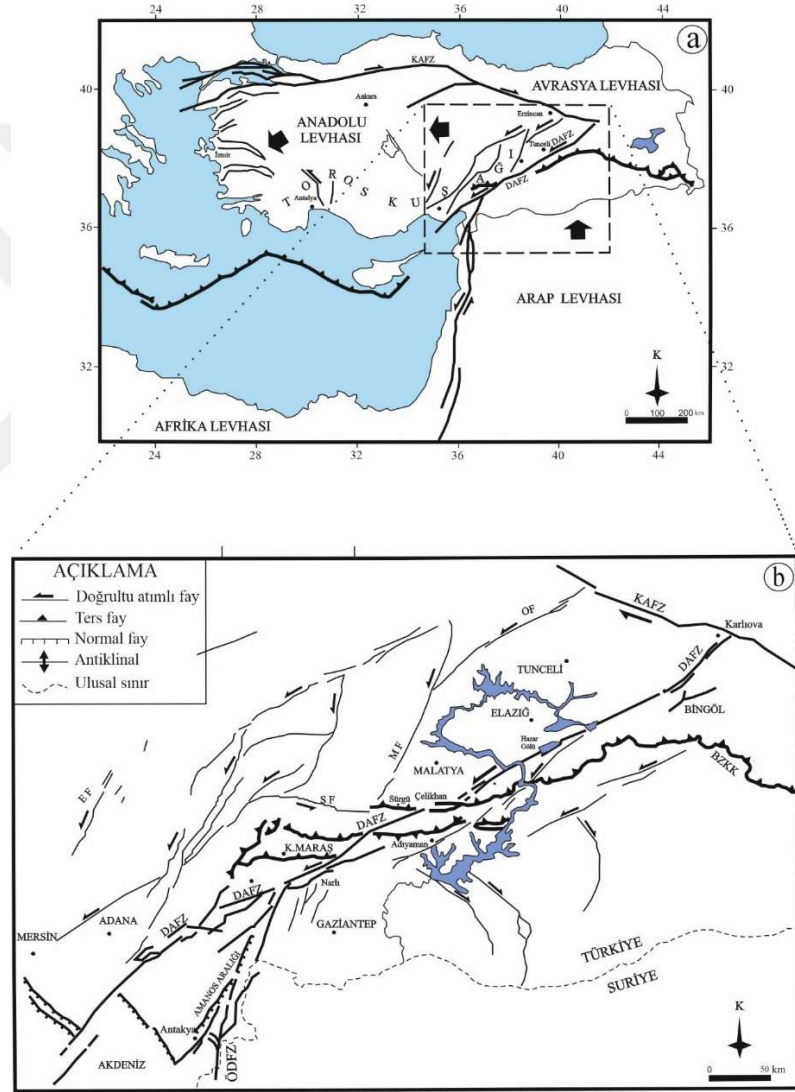
January 2022, 88 pages.

Keywords: | Eastern Anatolian Fault Zone, Anatolian Plate, Arabian Plate, Bitlis-Zagros Suture Zone, Active tectonics, Strike-slip fault geometry.

|

1. GİRİŞ

Ülkemiz dünya'nın en aktif tektonik kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kenet zonu üzerinde yer almaktadır. Türkiye'nin içinde bulunduğu bölgenin en önemli tektonik yapıları, Akdeniz içerisindeki dalma-batma zonu, Kuzey Anadolu Fay zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay zonu (ÖDFZ)'dur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. a) Türkiye ve yakın çevresinin başlıca neotektonik unsurları. Kalın siyah renkli oklar levhaların hareket yönlerini göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992; Barka ve Reilinger, 1997; McClusky ve diğ., 2000; Bozkurt, 2001; Reilinger ve diğ., 2006'den düzenlenmiştir). b) Çalışma alanı ve çevresindeki başlıca faylar. DAFZ: Doğu Anadolu Fayı, MF: Malatya-Ovacık Fayı, SF: Sürgü fayı, BKK: Bitlis kenet kuşağı.

Doğu Anadolu bölgesinin sınırları içerisinde kalan bölgelerin tektonik açıdan son derece aktif bir alanda bulunmasından dolayı tarih boyunca bu bölgelerde yaşayan çeşitli insan toplulukları tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen depremlerden etkilenmiştir. Yakın dönemde Doğu Anadolu bölgesinde Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca 24 Ocak 2020 tarihinde, Türkiye saati ile 20.55 te merkez üssü (Episentr) Elazığ (Sivrice) olan, yaklaşık yerin 8.06 km derinliğinde $M_w=6.8$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2020). Dolayısıyla bu deprem Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu gerçeği ile birlikte doğu Anadolu bölgesinin özellikle Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yerleşim yerlerinin bulunduğu illerin deprem tehlikesinin altında olduğunu bir kez daha bizlere hatırlatmıştır.

Çalışma alanı, metamorfizma ve tektonik etkinliğin yaşandığı Alp-Himalaya dağ kuşağının Doğu Toroslar kısmında kıta-kıta çarpışmasının etkili olduğu Bitlis-Zagros Kenet Zonunun batı ucunda bulunmaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresi Arap platformu, metamorfik masifler (Bitlis-Pütürge metamorfikleri, Keban Malatya metamorfikleri), İspendere-Kömürhan-Guleman ofiyolitleri, (Baskil magmatik kayalar, Elazığ magmatik kayalar), Maden karmaşığı, Hazar Grubu birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler Pliyo-Kuvaterner çökelleri ile örtülmüştür. Doğu Anadolu bölgesinin bu kısmı DAFZ'ni gibi aktif sol yönlü doğrultu atım özelliğindeki fay sistemlerinin etkisi altındadır. Dolayısıyla, çalışma bölgesinde görülen birimler Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca deformasyona maruz kalmıştır. |

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÇALIŞMANIN AMACI

DAFZ Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesi için en önemli neotektonik yapılarından ve aynı zamanda aktif tektonik unsurlarından biridir. Fayın başlangıç noktası Karlıova (Bingöl) için aynı görüşte olan araştırmacılar, fayın uzanımıyla ilişkili farklı görüşler ortaya koymuşlardır. Bazı araştırmacılar DAFZ güney kısmını Ölü Deniz Fay Zonu ile birleştirirken, bazıları ise DAFZ'nun Akdeniz'e kadar uzandığını, diğer bir kısmı da Kıbrıs yayı ile birleştiğini ileri sürmüşlerdir. Dolayısıyla bazı araştırmacılar DAFZ güney kısmını ÖDFZ ile birleştirirken (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şengör ve diğ., 1985; Kiratzi, 1993; Şaroğlu ve diğ., 1992; Perinçek ve Çemen, 1990; Över ve diğ., 2004), bazıları ise DAFZ'nun Akdeniz'e kadar devam ettiğini (McKenzie, 1970, 1972; Dewey ve diğ., 1973; Jackson ve McKenzie, 1984; Gülen ve diğ., 1987; Hempton, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Taymaz ve diğ., 1991; Westaway, 1994; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Robertson ve diğ., 2004), araştırmacıların bir kısmı da (McKenzie, 1976; Dewey ve Şengör, 1979; Muehlberger ve Gordon, 1987) Kıbrıs yayı ile birleştiğini ileri sürmektedir (Şekil 1.1b).

DAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile birlikte güneydeki Afrika ve Arap Levhaları'nın yakınsamasından kaynaklı Anadolu Levhasının batı-güneybatıya doğru olan hareketini karşılamaktadır (McClusky ve diğ., 2000). Uzunluğu yaklaşık 580 km olan DAFZ'nu, sol-yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Duman ve Emre, 2013). GPS çalışmaları DAFZ boyunca yaklaşık 9 mm/yıllık bir kayma hızının olduğunu göstermektedir (McClusky ve diğ., 2000). Böylelikle, Anadolu'nun batıya hareketi sürekli DAFZ'unda deformasyon (strain) birikimine neden olmaktadır.

Tarihsel ve aletsel dönemlerde fay zonu boyunca meydana gelen birçok yıkıcı depremler incelendiğinde, DAFZ'da geçtiği Elazığ-Malatya bölgelerinde 1874-1875 tarihleri arasında depremler meydana gelmiştir (Ambraseys, 1989). Dolayısıyla Elazığ-Malatya bölgesinde son ~145 yıl boyunca $M_w=6.0$ ve üzeri depremin meydana gelmemiş olması, bölgenin sismik tehlike özelliğini taşıdığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, DAFZ'nun orta bölümünde 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminin ~145 yıllık stresin birikmesi sonucunda meydana geldiği görüşü öne sürülmüştür. Bu çalışmada ise DAFZ'nun orta bölümünde meydana gelen 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ depreminin öncesinde ve

sonrasında meydana gelen depremlerinin yeryüzündeki iz düşümleri dikkate alınarak, ve deprem sırasında oluşan yüzey deformasyonlarından alınan ölçümler 1/25000’lik topoğrafya haritasına işlenerek ve daha önceki çalışmalarla karşılaştırma (korelasyon) yapılarak depreme yol açan fayın hareket eden kesimi belirlenecektir. Gelişen yüzey kırık deformasyon yapılarından alınan ölçümlerinden hazırlanan haritalar yardımıyla bölgedeki jeolojik birimlerin ve fayların yapısal özellikleri belirlenecektir. Böylelikle, söz konusu deprem sırasında hareket etmiş olan DAFZ’nun özellikleri saha verilerinden yararlanılarak değerlendirilecektir. Fayın kayma hızı, geçmiş dönem aktivitesi ve tarihsel depremlerin yüzey kırığı uzunlukları gibi parametrelerin bilinmesi, bölgenin deprem tehlikesinin ortaya konulabilmesi için önem taşımaktadır. Tarihsel ve aletsel dönemlerde DAFZ’nu üzerinde gelişen depremlerin büyüklüğü (Magnitüt) ile oluşum yerlerinin doğru saptanması daha sonraki süreçte oluşabilecek deprem odaklarının ve sismik boşlukların yaklaşık yerinin belirlenebilmesinde önemli rol oynayabilecektir.

2.2. İNCELEME ALANININ TANITIMI

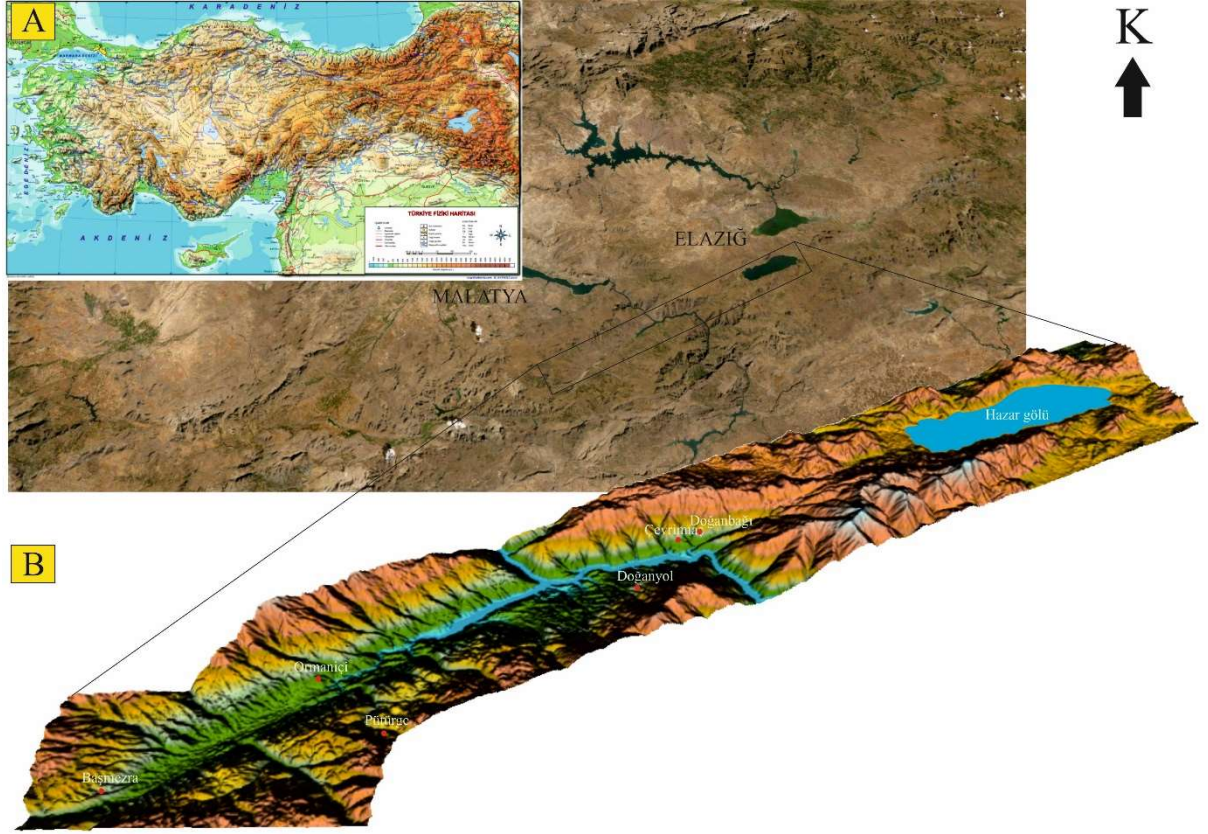
2.2.1. İnceleme Alanının Konumu

Çalışma alanı Malatya-L41-b3-c1-d2 ve Elazığ-L42-a4 paftalar arasında kalan Doğu Anadolu’da yer alan Pütürge (Malatya) ilçesine bağlı Arıtoprak, Başmezza, Körme, Ormaniçi, Sahiköy, Tekedere, Tosunlu ve Tatlıcak Mahalleleri, Doğanyol (Malatya) ilçesine bağlı Burçköy, Koldere ve Mezraa Mahalleleri ve Sivrice (Elazığ) İlçesine bağlı Çevrimtaş, Doğanbağı, Görgülü ve Ilıncak köyleri bulunmaktadır. Karakaya baraj gölü ve Şiro Çayı da çalışma alanının uzun eksenini boyunca uzanmaktadır (Şekil 2.1).

2.2.2. Ulaşım

Depremden etkilenen Malatya ve Elazığ illerine Türkiye’nin her bölgesinden hem karayolu hem de havayolu üzerinden rahatlıkla ulaşmak mümkündür. Fakat deprem bölgesi ve yakın çevresindeki köy, mahalle ve kasabaları bir birine bağlayan yollar genellikle asfalt ve bazı mahalle arası yollar stabilize olmasına rağmen ulaşım bazen hem hava şartlarının oluşturduğu zorluklardan hem de yol güzergahlarının engebeli arazi koşulları etkisi altında kalmasıyla

birlikte hedef alana gitmekte güçlükler çekilmiştir. Bununla birlikte Doğu Anadolu Fayının geçmiş olduğu derin vadi ve Karakaya baraj alanına ulaşmak her yerde mümkün olmamaktadır.



Şekil 2.1. İnceleme alanının (a) Türkiye’deki yeri ve (b) sayısal yükseklik modeli.

2.2.3. Topografya ve Morfoloji

Çalışma alanı Malatya ve Elazığ illerinin sınırları içersin de yer almaktadır. ~100 km uzunluğunda ve ~25-30 km genişliğinde bir alanı kapsayan çalışma bölgesi dağlık alanlardan, derin vadilerden ve platolardan oluşmaktadır. Çalışma bölgesinin güneyinde yer alan Pütürge (Malatya) İlçesinin Kuzeyinde yer alan yüksek dağları Kubbe Dağı ve Şakşak Dağları oluşturmaktadır. Bu dağların güneyinde Doğu Anadolu Fay DAFZ’nun şekillendirdiği ve GB-KD yönünde akan Şiro çayı vadi boyunca uzanarak Karakaya baraj gölü ile birleşmektedir. Şiro Çayı’nın doğusunda Ulubaba ve Meydan dağları yer almaktadır. Çalışma alanını aynı şekilde Sivrice (Elazığ) İlçenin güneydoğusunda Hazarbaba dağı ve Karaoğlan dağları yer almaktadır. Dik yamaçlar oluşturarak göle doğru inen bu dağlar, gölün etrafında çok geniş düz alanların gelişmesine yol açmaktadır. Dolayısıyla bölgenin genel olarak arazi yapısı engebeli ve sarptır. Düz alanları yok denecek derecede azdır. Bu sebeple tarıma en uygun alanlar dağ ve tepelerin

yamaçlarında yer almaktadır. Genellikle yükseltilerin oluşturduğu çalışma alanında hakim bitki örtüsü meşe ağaçlarıdır.

2.3. ÖNCEKİ İNCELEMELER

2.3.1. Bölgesel Jeoloji ve Neotektonik

Anadolu Levhası kuzeyden güneye, ofiyolitik kayalarla sınırlanan Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak tektonik bloklara ayrılmıştır (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 2.2). Ayrıca, Doğu Anadolu bölgesi, birçok kenet kuşaklarının bir arada toplandığı alandır. Bu kenet kuşakları Paleozoyik-Mezozoyik zaman aralığında Lavrasya ve Gondwana kıtalarının çarpışması sonucunda Tetis okyanusunun kapanmasıyla Doğu Anadolu bölgesinde bir araya gelmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Doğu Anadolu bölgesinin jeolojik yapısı kuzeyden güneye doğru, temelinde volkanik yay birimlerinin yer aldığı Doğu Pontid'ler, çarpışmayla ilişkili olarak oluşmuş üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik kayaların üzerinde bulunduğu Doğu Anadolu Yığılma Prizması Topluluğu ve Bitlis-Pötürge Masifinden oluşmaktadır (Robertson, 1990, 1993 ve Keskin, 2003). Kuzey'de Lavrasya ile Güneyde Gondwana kıtalarının arasında yeralan Tetis okyanusunun evrimi çalışma alanının yer aldığı bölgenin orojenik gelişiminde önemli yer tutmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesinin jeolojisi Kaledoniyen ve Hersiniyen Orojenezlerinden etkilenmiştir, bununla birlikte bugünkü jeolojik yapısı önemli ölçüde Alpin orojenik döneminde oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999).

Geç Triyas döneminin sonlarında güneyde Gondwana kıtasında başlayan riftleşme, Gondwana'nın kuzey kısmından Kimmer kıtasını kopararak; kuzeye doğru ilerlemesine yol açmıştır. Böylelikle Gondwana ve Kimmer kıtaları arasında Neo-Tetis'in oluşumu meydana gelmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Orta Jura dönemi boyunca Neo-Tetis'in kapladığı alan genişlerken, kuzeye doğru ilerleyen Kimmer Kıtası Paleo-Tetis'in kapanmasına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Erken Kretase boyunca maksimum boyutlarına ulaşmış olan Neo-Tetis okyanusunun Geç Kretase'deki yitime bağlı yakınsaması ile ofiyolitik kaya birimleri Bitlis-Pötürge bloğu ile Arap platformunun kuzey kenarına yerleşmiştir.

Orta Eosen dönemine kadar olan jeolojik süreçte ise Bitlis-Pötürge bloğu üzerine yerleşen ofiyolit napları parçalanmıştır ve dalma-batma zonu üzerinde Maden ve Çüngüş kenar havzalarının açılmasına yol açmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Serravaliyen (Orta Miyosen)

döneminde Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki çarpışmaya bağlı olarak Eosen’de oluşan havzalar kapanmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Çarpışma sonrasında devam eden yakınsamayla eş zamanlı olarak Anadolu Levhasının sağ yanal KAFZ ile sol yanal DAFZ boyunca güney-batıya Akdeniz’e kaçış tektoniği başlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981).



Şekil 2.2. Türkiye ve çevresindeki tektonik birimlerinin dağılımının harita görünümü (Okay ve Tüysüz, 1999).

2.3.2. Doğu Anadolu Fay Zonu’nun genel özellikleri ve segment yapısı

Türkiye’nin aktif iki ana fay zonundan birini temsil eden DAFZ, doğuda Bingöl (Karlıova) civarından GB’da Akdeniz’e doğru uzanarak, Türkiye’nin depremselliğinde başrol almaktadır. (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Mc Kenzie, 1972; 1976; Seymen ve Aydın, 1972; Herece ve Akay, 1992).

DAFZ’nu ilk defa Allen (1969) tarafından fay olarak tanımlanmış, DAFZ ismi ise ilk olarak Arpat ve Şaroğlu, (1972) tarafından verilmiştir. Mckenzie (1972) çeşitli deprem verilerinin analizlerini yaparak, DAFZ’nu transform fay olduğunu belirtmiştir. DAFZ boyunca sonraki yıllarda yapılan araştırmalarda farklı yöntemler ele alınarak, birçok yer bilimcilerin incelemeleri sonucunda farklı görüşler ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla fayın başlangıcı için Bingöl (Karlıova) olarak kabul ederken, fayın uzanımı için ise çeşitli görüşler öne sürmüşlerdir. Dolayısıyla bazı

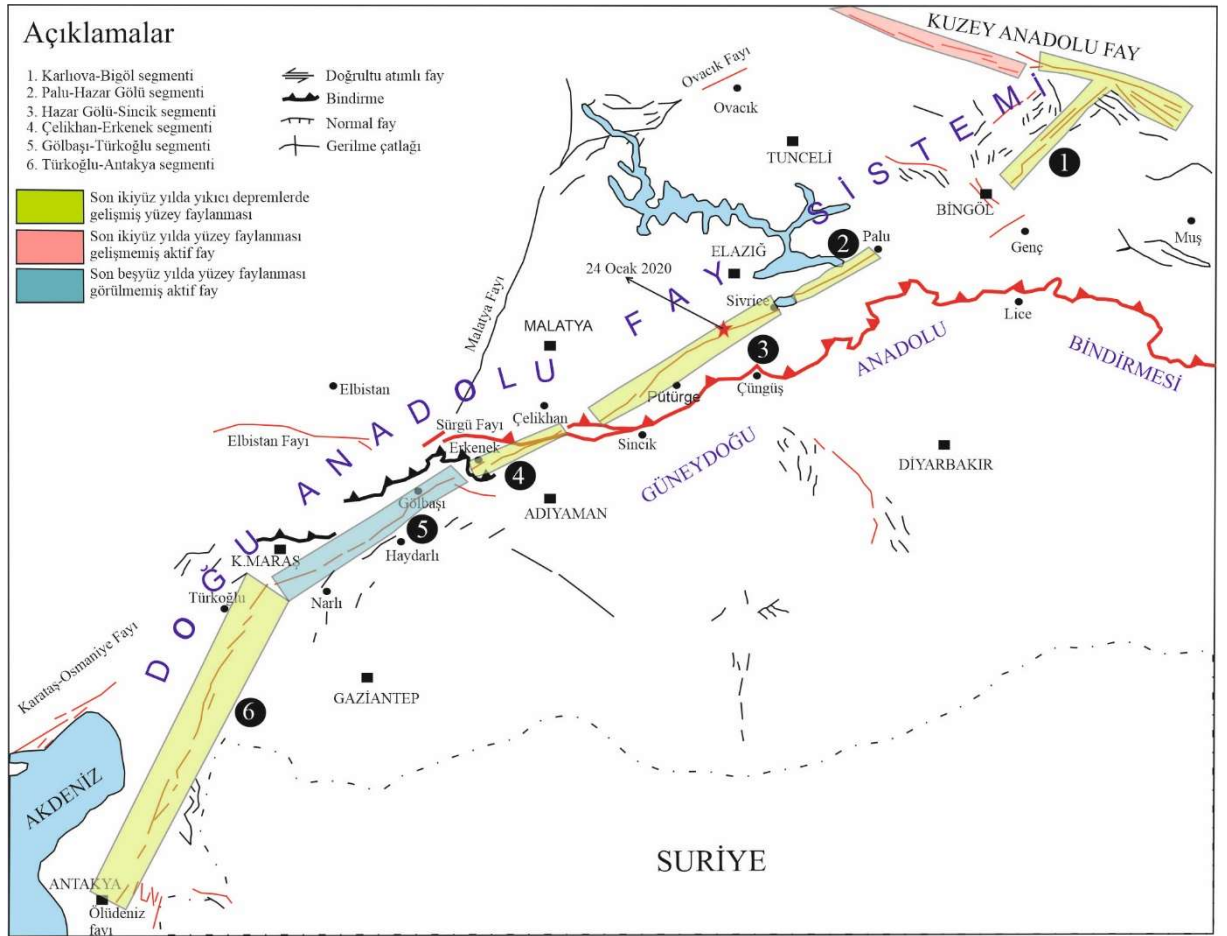
araştırmacılar DAFZ güney kısmını ÖDFZ ile birleştirirken (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şengör ve diğ., 1985; Kiratzi, 1993; Şaroğlu ve diğ., 1992; Perinçek ve Çemen, 1990; Över ve diğ., 2004), bazıları ise DAFZ'nun Akdeniz'e kadar devam ettiğini (McKenzie, 1970, 1972; Dewey ve diğ., 1973; Jackson ve McKenzie, 1984; Gülen ve diğ., 1987; Hempton, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Taymaz ve diğ., 1991; Westaway, 1994; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Robertson ve diğ., 2004), araştırmacıların bir kısmı da (McKenzie, 1976; Dewey ve Şengör, 1979; Muehlberger ve Gordon, 1987) Kıbrıs yayı ile birleştiğini ileri sürmüştür.

Çalışmacılar, DAFZ'nu üzerindeki hareketin geç Miyosen'de Arap ve Anadolu bloğu arasında gerçekleşen kıta-kıta çarpışmasından sonra başladığı konusunda aynı görüşte olmuşlardır. Bununla birlikte Doğu Anadolu Fay Zonunun yaşı ile ilgili farklı yerbilimciler tarafından birçok yaş sonuçları elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar fayın yaşını geç Miyosen-erkep Pliosen olarak belirlese de (Örn., Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve diğ., 1985; Hempton, 1987; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Perinçek ve Çemen, 1990) diğer araştırmacılardan Barka, (1992) ise fayın ortaya çıkış dönemini Pliyosenden itibaren başladığını öne sürmektedir. Herece ve Akay (1992) fayın yaşını Pliyosen-Kuvaterner olarak tanımlamışlardır.

DAFZ, Türkiye'nin önemli aktif tektonik unsurlarından biri olup aynı zamanda Doğu Anadolu bölgesi için depremsellik bakımından oldukça önemli bir fay zonunu teşkil etmektedir. Bu fay zonunun Arap levhası ile Anadolu Plakası arasında meydana gelen gerilmeyi (stress) yanal bir kaçma hareketiyle karşıladığı bilinmektedir (örn, Arpat ve Şaroğlu, 1972; Jackson ve Mckenzie, 1984; Şengör ve diğ., 1985; Gülen ve diğ., 1987; Muehlberger ve Gordon, 1987; Lyberis ve diğ., 1992; Şaroğlu ve diğ., 1992; Westaway, 1994; Westaway, 2003; Gürsoy ve diğ., 2003). Bu özelliği ile DAFZ'nu günümüze kadar birçok yer bilim araştırmacılarının ilgisini çekmiştir.

DAFZ'nun segmentasyonu konusunda araştırmacılar çeşitli görüşlerini ileriye sürmüşlerdir. Bazı araştırmacılar (McKenzie, 1976; Hempton ve diğ., 1981; Muehlberger ve Gordon, 1987) DAFZ'nu beş (5) segmente ayırarak incelemişlerdir. Barka ve Kadinsky-Cade, (1988) ise DAFZ üzerinde on dört (14) segment belirlemiştir. Perinçek ve Çemen (1990) DAFZ'nu üç (3) segment olarak öne sürerken, Şaroğlu ve diğ., (1992) ise Karlıova-Türkoğlu üçlü eklemleri arasında doğu Anadolu fay zonunun altı (6) segmente ayırmışlardır. Bunlar Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar Gölü, Hazar Gölü-Sincik, Çelikhan-Erkenek, Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya segmentleridir.

Herece, (2008) fay zonu boyunca gelişmiş topoğrafyadaki değişimleri dikkate alarak fay zonu üzerinde on bir (11) segment tanımlamıştır. Duman ve Emre (2013) tarafından DAFZ’nu üzerinde yapılmış olan çalışmada DAFZ’nu KD’dan GB’ya doğru sırasıyla Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos fay segmentleri adı altında yedi (7) ana segmente ayrılmıştır. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi belirlenen bu segmentlerden harita üzerinde üç numara ile gösterilen “Hazar Gölü-Sincik segmentine” karşılık gelmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Doğu Anadolu Fay Zonu’nun başlıca fay bölütleri (MTA; Şaroğlu ve diğ., 1985)’den değiştirilerek alınmıştır. Ocak 2020 deprem odağı yıldız ile işaretlenmiştir.

Birçok yer bilimcinin DAFZ’nun kayma hızıyla ilgili görüşleri farklı olmuştur. Bu sebeple DAFZ’nu üzerinde kayma hızın ortaya konulabilmesi için yerbilimcileri tarafından farklı yöntemlerle çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bazıları ise şöyledir:

- GPS ölçümleri yardımı ile 4-15 mm/yıl (Oral ve diğ., 1992; Reilinger ve diğ., 1997; Barka ve Reilinger, 1997; McClusky ve diğ., 2000; Westaway, 2003; Reilinger ve diğ., 2006);

- b) b) Sismik etkinlik analizleri yoluyla 6-31 mm/yıl (Taymaz ve diğ., 1991; Kiratzi, 1993);
- c) Kinematik analizleri ile 7.8-19 mm/yıl (Lyberis ve diğ., 1992; Yürür ve Chorowicz, 1998; Westaway, 2004, 2006);
- d) Jeolojik birim sınırları arasındaki atımlardan hareketle 4-13.5 mm/yıl hızı önerilmektedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1992; Kasapoğlu, 1987; Yürür ve Chorowicz, 1998; Koçyiğit ve diğ., 2001; Çetin ve diğ., 2003; Güneyli, 2002; Aksoy ve diğ., 2007).

DAFZ'nu başlangıç noktası olan doğuda Karlıova (Bingöl) yakınlarından GB yönünde Akdeniz'e kadar uzanan bölgede hem jeolojik birimler üzerinde hem de bölgenin morfolojisine baktığımızda fay zonu boyunca dere, çay, nehir ve gölleri öteleyen yerdeğiştirmeler görülebilmektedir. Dolayısıyla morfoloji ve jeolojik birimler üzerindeki değişimler yerbilimcilerin ilgisini çekmiştir. Bunun üzerine yerbilimciler çeşitli çalışma yöntemlerine başvurarak Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca dere, çay, nehir ve jeolojik birimlerdeki yerdeğiştirmeleri hesaplamışlar. Ortaya çeşitli görüşler atılmıştır, bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- a) Karlıova-Bingöl segmenti için Arpat, (1971) 22km, Seymen ve Aydın, (1972) 15km'lik bir atım önermiştir.
- b) Arpat ve Şaroğlu, (1972) volkanik kayalarda 22km sol yanal yerdeğiştirme miktarları belirlemiştir. Fayın bu kesimi için Dewey ve diğ., (1986) 22km, Herece ve Akay, (1992) 13km, Şaroğlu ve diğ., (1992) 17km'lik atım değeri belirlemiştir.
- c) Herece, (2003) ise Karlıova-Bingöl segmentinin toplam ötelemenin 15km olduğunu belirtmiştir. Palu-Hazar gölü bölütü (segment) boyunca Arpat, (1971) tarafından 27km, Arpat ve Şaroğlu (1972) Mesozoyik yaşlı çamurtaşlarında 27km, Herece ve Akay, (1992) ise Eosen yaşlı Simaki Formasyonu üzerinde 9km atım belirtmiştir.
- e) Çetin ve diğ., (2003) Hazar Gölünde 25km, Hemton, (1985) Hazar Gölü güneydoğusunda Eosen yaşlı Maden melanjında 21km, Koçyiğit ve diğ., (2001) formasyon sınırlarında 22km yerdeğiştirme miktarı ölçmüşlerdir.
- f) Arpat ve Şaroğlu (1975), Dewey ve diğ., (1986); Hemton (1987) Fırat nehri yatağının Hazar Gölü-Sincik segmenti tarafından 15km ötelendiğini ileri sürmüştür.

g) Fırat Nehri yatağında Muehlberger ve Gordon, (1987) tarafından hava fotoğraflarından yararlanılarak 13km, Perinçek ve Çemen, (1990) tarafından 12km olarak ötelenmeler, ölçülmüştür. Aynı segment üzerinde Aksoy ve diğ., (2007) 9km; Hemton, (1985) 21km; Şaroğlu ve diğ., (1987) 13km yerdeğiştirme miktarı ölçmüşlerdir.

h) Herece ve Akay, (1992) Çelikhan yakın dolaylarında tektonik bir dokanakta DAFZ tarafından 10 km'lik sol yanal öteleme belirlemiştir.

i) Ayrıca, Gülen ve diğ., (1987) DAFZ tarafından kesilen Bitlis kenet kuşağından 25 km atım değeri belirlemiştir. Turan, (1993) Elazığ yakınlarında bir bindirmede 11km'lik atım değerinden bahsetmektedir.

j) Erdoğan (1975), Perinçek ve diğ., (1987) Gölbaşı-Türkoğlu segmenti boyunca Miyosen yaşlı kayalarda 17-20km, Chorowicz ve diğ., (1994) Gölbaşı-Türkoğlu arasındaki ofiyolitlerde 18km'lik ötelenme tespit etmiştir.

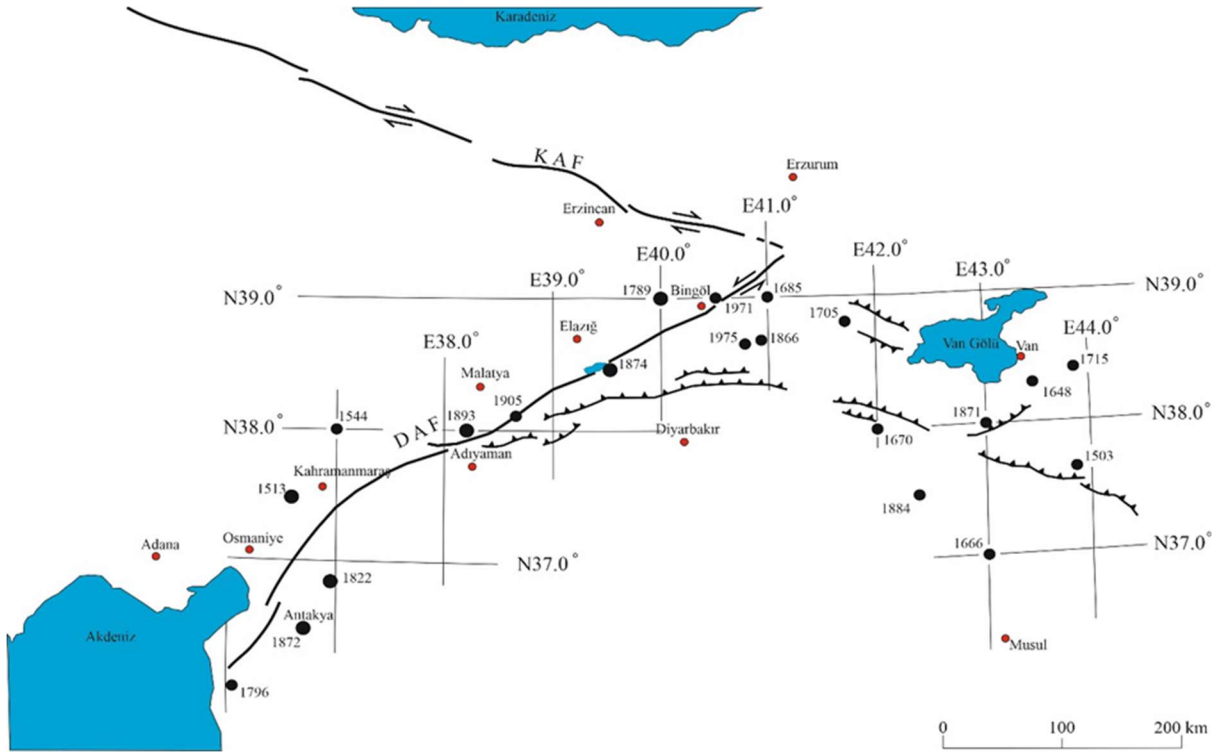
k) Westaway ve Arger, (1996) Eosen-Kretase yaşlı kayalarda 30km atım değeri vermekte, aynı ötelenmeyi Westaway ve Arger, (2001) 16km olarak önermektedir.

l) İmamoğlu, (1993) ise Koca dere'de 4750 m, Kısık dersinde 4250 m, Gök dere'de 4500 m öteleme miktarları belirlemiştir. Westaway ve Arger, (1996) Amanos Dağları'nın kuzeyinde 16 km ve Amanos Dağlarında Mesozoyik yaşlı kayalarda 28 km sol yanal ötelenme değerleri vermektedir.

2.3.3. Tarihsel ve Aletsel Depremler

Türkiye, tektonik açısından aktif bir bölge olduğundan Antik çağlardan günümüze kadar çok sayıda yıkıcı, can ve mal kayıplarının yaşandığı ve Antik kentlerinin tarihlerinde önemli izlerin bıraktığı depremlere tanıklık etmiştir. Dolayısıyla depremler hakkındaki tarihsel kaynaklar aktif faylanma ve sismik tehlikenin ortaya çıkarılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak tarihsel depremlere ait ikinci veya üçüncü elden edilen kaynaklardan toplanan bilgilerde depremlerin tarihlerinde ve konumlarında önemli hatalar olabilmektedir. Tarihsel dönemde yaşanan en yıkıcı depremlerin Kahramanmaraş bölgesinde sırasıyla 1114 tarihinde ($M>7.8$) büyüklüğünde bir depremin meydana geldiğini ve çok uzun zaman sonra aynı bölgede tekrar 1513 tarihinde ($M>7.4$) büyüklüğünde bir depremin daha meydana geldiğini belirterek bu

depremlerin Tarsus ve Malatya’da büyük hasarlara neden olduğu belirtilmiştir (Ambraseys ve Jackson, 1998; Bellettati ve diğ., 1993). Yine Doğu Anadolu Fay Zonu’nun bir fay bölümü olan Erkenek fay bölümünde 1893 yılında ($M>7.1$) bir deprem daha meydana gelmiştir (Ambraseys, 1989). Bu depremlerin tekrarlanma aralıklarını yaklaşık 390 yıl aralyla tekrarlandığını ifade edilmiştir (Ambraseys ve Jackson, 1998). DAFZ boyunca meydana gelen tarihsel depremleri Tablo 2.1. de verilmektedir (Ambraseys, 1989).



Şekil 2.4. DAFZ boyunca gelişmiş Tarihsel dönemdeki büyük depremlerin haritadaki yerleri (Ambraseys, 1989).

Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Ms	I o	Lokasyon
1503	—	37.4°	43.8°	6.9 -	—	Hakkari (?)
1513	—	37.5°	36.5°	7.4 +	IX*	Tarsus-Malatya
1544 Ocak	—	38.0°	37.0°	6.7 +	X*	Zitun-Malatya
1573 c.	—	35.5°	45.0°	6.9 -	IX*	Shahrizur
31 Mart 1648	2400	38.3°	43.5°	6.7	X	Van-Hayotsdzor
22 Eylül 1666	—	37.0°	43.0°	6.6	IX*	Kuzey Musul
1 Ağustos 1670	—	38.0°	42.0°	6.6 -	—	Hizan
22 Kasım 1685	2300	39.0°	41.0°	6.7 -	—	Gönek
27 Ocak 1705	—	38.7°	41.7°	6.7 -	IX*	Bitlis
8 Mart 1715	0600	38.4°	43.9°	6.6 +	IX*	Van
29 Mayıs 1789	—	39.0°	40.0°	7.0 +	—	Palu
27 Nisan 1796	0905	35.5°	36.0°	6.6 -	VIII*	Latakya
13 Ağustos 1822	2040	36.7°	36.9°	7.4 +	X*	Afrin
20 Haziran 1866	1400	38.5°	40.9°	6.8 -	IX*	Kulp
17 Mart 1871	—	38.0°	43.0°	6.8 +	—	Hakkari
3 Nisan 1872	0740	36.4°	36.5°	7.2 -	X	Amik Gölü
3 Mayıs 1874	0700	38.5°	39.5°	7.1 +	X*	Gölcük Gölü I
3 Mart 1875	2248	38.5°	39.5°	6.7	VII*	Gölcük Gölü II
10 Şubat 1884	0500	37.5°	42.5°	6.9 -	VIII*	Siirt
2 Mart 1893	2251	38.0°	38.3°	7.1 +	X	Doğu Malatya

Tablo 2-1. DAFZ boyunca gelişmiş Tarihsel dönemdeki büyük depremlere ait veriler (Ambraseys, 1989).

Türkiye’de aletsel dönemde meydana gelen deprem kayıtları, 1900’lü yıllardan sonra bazı deprem istasyonlarının faaliyete geçmesiyle, tutulmaya başlamıştır. KAFZ ile DAFZ’nu eşlenik faylar olarak bilinmektedir. Dolayısıyla bu tür özelliklere sahip olan faylarda bilinen en temel özellik; bir fay aktif iken diğerinin ise hareketsiz kalmasıdır (Çetin ve diğ., 2003). KAFZ’nu üzerinde doğudan batıya devam eden 1939-1999 yılları arasında meydana gelen deprem silsilesi KAFZ’nun son yüzyıl içinde aktif olarak çalıştığının belirtecidir. Buna benzer bir deprem serisi 1800-1900 tarihleri arasında DAFZ’nu üzerinde izlenmiştir. 1900 yılından günümüze Türkiye’nin ana tektonik yapılarından biri olan DAFZ üzerinde aletsel dönemde birçok deprem meydana gelmiştir. Bunlar, Mw~6.0 ve üzeri depremler 04 Aralık 1905 Pütürge (Malatya) Ms~6.8, 28 Eylül 1908 Ms~6.1, 20 Mart 1945 Ceyhan (Adana) Ms~6.0, 14 Haziran 1964 Sincik (Adıyaman) Ms~6.0, 22 Mayıs 1971 Bingöl Ms~6.8, 05 Mayıs 1986 Sürgü (Malatya) Mw~6.0, 27 Haziran 1998 Yüreğir (Adana) Mw~6.2, 01 Mayıs 2003 Bingöl Mw~6.3, 08 Mart 2010 Kovancılar (Elazığ) Mw~6.1 ve son olarak 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremleri olarak kayıt altına alınmışlardır (Tablo 2.2).



Şekil 2.5. DAFZ boyunca 1900-2021 tarihleri arasında meydana gelmiş aletsel dönemdeki $M_w=6.0$ ve üzeri depremlerin Harita üzerinde yerleri (AFAD). Kırmızı kutu Elazığ (Sivrice) depremi.



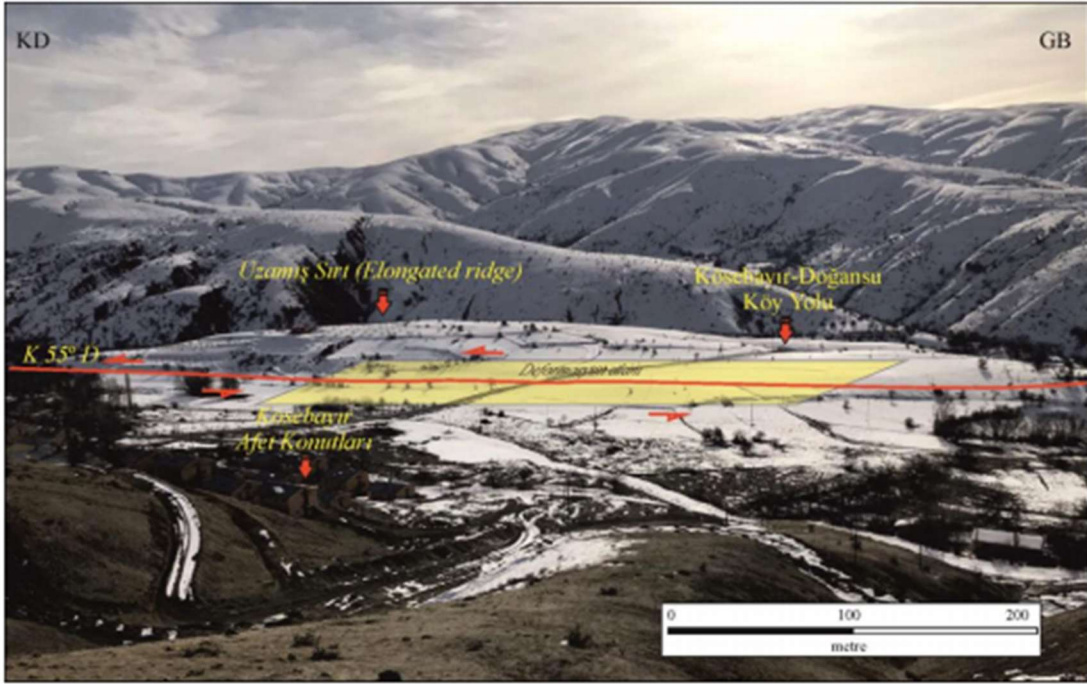
Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Tip	Büyüklik	Kaynak Açıklama
4 Aralık 1905	07:04	38.1200°	38.6300°	10.0	Ms	6.8	Amraseys Finkel 1987
28 Eylül 1908	06:27	38.3500°	39.1500°	10.0	Ms	6.1	Amraseys Finkel 1987
20 Mart 1945	07:58	37.1100°	35.7000°	60.0	Ms	6.0	Alsan ve Diğ 1975
14 Haziran 1964	12:15	38.1300°	38.5100°	3.0	Ms	6.0	Alsan ve Diğ 1975
22 Mayıs 1971	16:43	38.8500°	40.5200°	3.0	Ms	6.8	Ayhan ve Diğ 1981
6 Eylül 1975	09:20	38.5132°	40.7741°	31.0	Ms	6.6	Ayhan ve Diğ 1981
5 Mayıs 1986	03:35	38.0010°	37.7830°	4.10	Mw	6.0	EHB
27 Haziran 1998	13:55	36.9358°	35.3664°	10.0	Mw	6.2	EMSC-CSEM
1 Mayıs 2003	00:27	39.0100°	40.4600°	10.0	Mw	6.3	Kalafat ve Diğ 2011
8 Mart 2010	02:32	38.7700°	40.0700°	5.0	Mw	6.1	AFAD-DDA
24 Ocak 2020	17:55	38.3593°	39.0630°	8.06	Mw	6.8	AFAD-DDA

Tablo 2-2. DAFZ boyunca gelişmiş aletsel dönemdeki büyük depremlere ait veriler (AFAD).

2.3.4. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) Mw=6.8 Depremi ile İlgili Çalışmalar

2.3.4.1. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesinden Kürçer ve diğ., (2020). Saha çalışması

MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesinden Kürçer ve diğ., (2020) saha çalışması sırasında yapmış oldukları gözlemlerine dayanarak 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında oluşan yüzey deformasyon kırıklarının Hazar Gölü ile Pütürge bölgeleri arasındaki 48 km'lik uzunluğundaki alan boyunca geliştiğini öne sürmüşlerdir. Gelişen yüzey kırık-deformasyon yapılarının uzunlukları birkaç metreden birkaç yüz metre arasında değiştiğini belirtmişler. Yüzeyde gelişen deformasyonlarının çok iyi görüldüğü yerlerden birinin ise Sivrice (Elazığ) ilçesine bağlı Kösebayır köyü'nün 300 m güneyinde, insansız hava aracı (drone) ile görüntülediklerini belirtmişler (Şekil 2.6). Daha sonra Sivrice (Elazığ) ilçesine bağlı Ilıncak köyü'nün yaklaşık 500 m güneyinde iki paleosismolojik Hendek çalışması yaparak 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremine sebep olan fay üzerinde tarihleri verilmeyen en az bir kaç deprem olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.6. Kösabayır köyünün 300 metre güneyinde, insansız hava aracı (Drone) ile kaydedilen yüzey kırık deformasyon alanı (Kürçer ve diğ., 2020).

Sismolojik kayıtlara göre 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 depremi, DAFZ'nun orta kısmını oluşturan Pütürge fay bölütü (segment) boyunca meydana geldiği anlaşılmaktadır (Kürçer ve diğ., 2020).

Deprem sonrasında yapmış oldukları saha çalışmasında yaklaşık 45 farklı noktada yüzey deformasyon kırıkları gözlemlemişlerdir (Şekil 2.7).



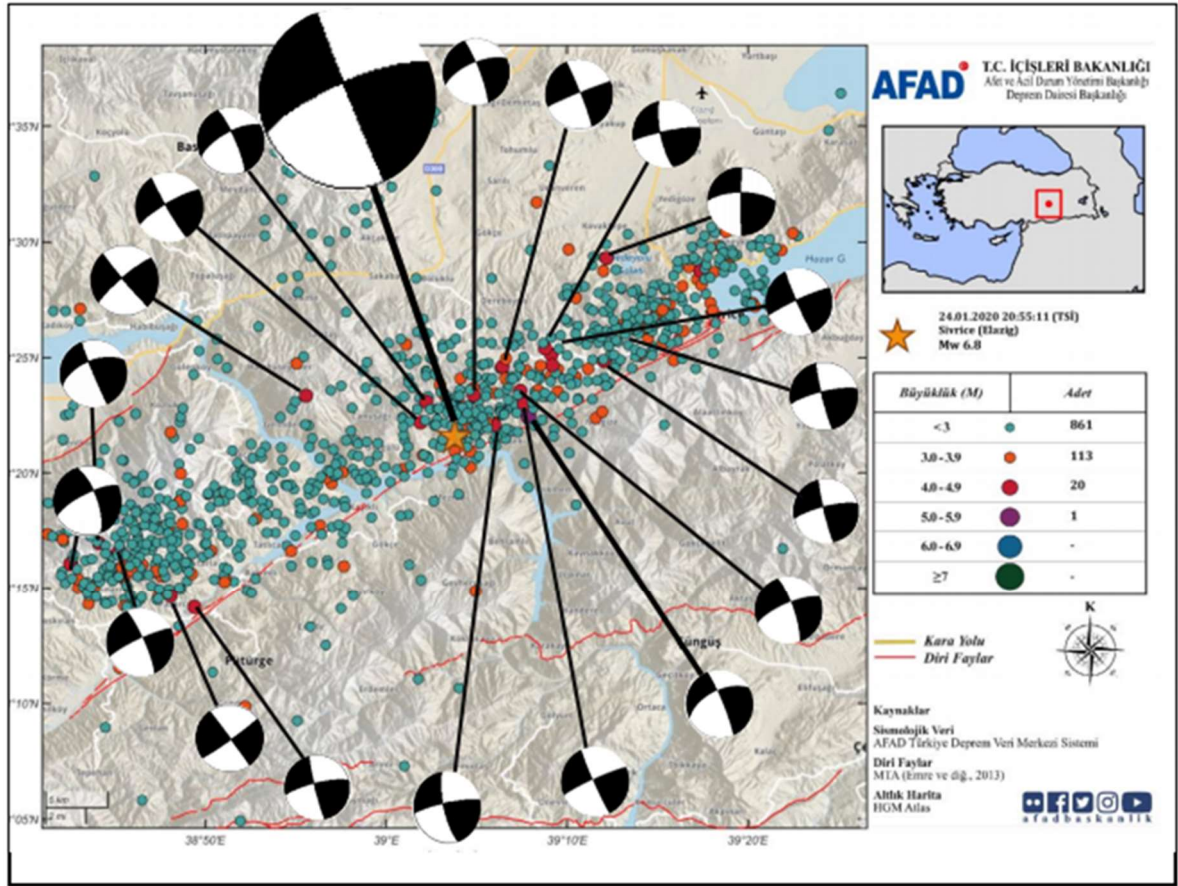
Şekil 2.7. Malatya (Pütürge)-Sivrice (Elazığ) deprem bölgesinde yapılan saha çalışmaları sırasında yapılan gözlem noktalarının Google Earth uydu üzerindeki konumları (Kürçer ve diğ., 2020).

2.3.4.2. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ, 2020) ön değerlendirme yazısı

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü KOERİ, (2020) tarafından düzenlenen ön değerlendirme yazısında 24 Ocak 2020 tarihinde Türkiye saati ile 20:55 meydana gelen merkez üssü (Episantr) Sivrice (Elazığ) depreminin odak (Hiposantr) merkezini yaklaşık 5 km derinlikte ve büyüklüğü ise $M_w=6.5$ olarak açıklanmıştır. Elazığ (Sivrice) depremi DAFZ'nun orta bölümündeki Pütürge fay bölütü ile ilişkilendirilerek, yaklaşık 30 km'lik bir kırılmanın gerçekleştiğini öne sürülmüştür.

2.3.4.3. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) ön değerlendirme raporu

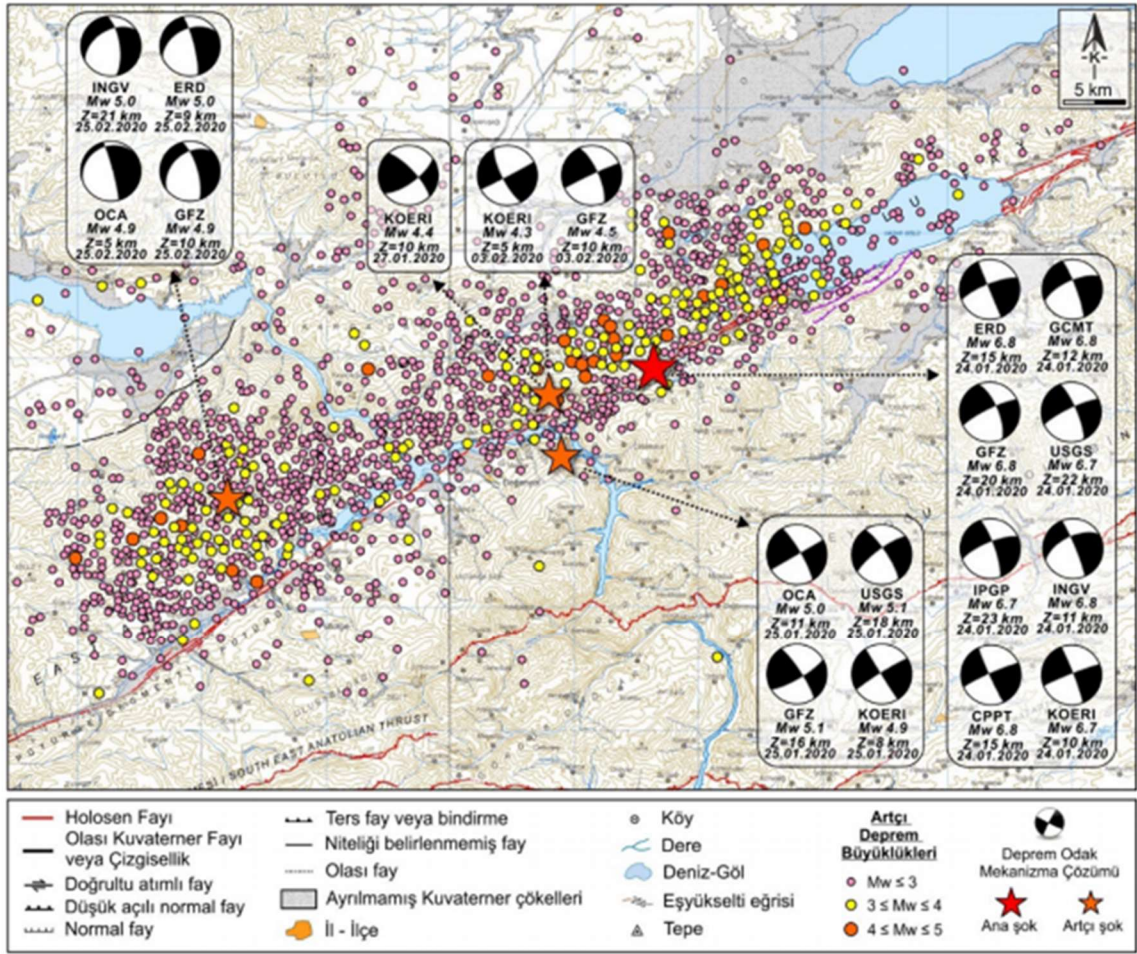
İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin odak (Hiposantr) mekanizmasının sonuçlarına göre değerlendirilerek sol yönlü doğrultulu atım fay olduğunu belirtmişlerdir. Depremin DAFZ'nu üzerinde yaklaşık 50-55 km uzunluğundaki Pütürge fay bölütünün kırılması sonucunda meydana geldiği görüşünü ileri sürmüşlerdir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Elazığ (Sivrice) depremi ve artçı şok aktivitesinin dağılımını gösteren harita (AFAD).

2.3.4.4. TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Tatar ve diğ., (2020) Elazığ (Sivrice) depremi çalışması

TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Tatar ve diğ., (2020) tarafından, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) Mw=6.8 depremi ile ilgili saha çalışması Gezin-Ormaniçi köyleri arasında kalan bölgelerde yürütülmüştür. Deprem sonrası gerçekleştirilen saha çalışmasında, depremle ilişkili olan yüzey deformasyonlarının DAFZ'nun orta bölümünü oluşturan Pütürge fay bölümü (segment) üzerinde meydana geldiği düşüncesini ileri sürerek yüzey deformasyonlarının Gezin ve Ormaniçi bölgeleri arasında geliştiği belirtilmiştir (Tatar ve diğ., 2020).



Şekil 2.9. DAFZ'nun orta bölümünde yer alan Pütürge fay bölütü üzerinde 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında gelişen artı şokların dağılım alanlarını veren sismotektonik harita (Tatar ve diğ., 2020).

2.3.4.5. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) ön çalışması

Elazığ (Sivrice) İlçesinde DAFZ'nu boyunca 2020 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında Orta doğu teknik üniversitesi (ODTÜ) tarafından hazırlanan rapor kapsamında, Elâzığ (Sivrice) depreminin hemen ardından meydana gelen yüzey deformasyon ve gelişen kırık-çatlakları zemin yenilmeleri gibi deprem sırasında ve sonrasında hasara yol açan deformasyon yapılarını Hazar gölü çevresi boyunca jeolojik, sismolojik, geoteknik ve yapısal gözlem çalışmaları altında incelenmiştir. Bu çalışma yerbilimci, jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendislerinden oluşan bağımsız mühendislik grupları tarafından gerçekleştirilerek toplamda 2 günlük çalışmada ilk günü Hazar gölü çevresi boyunca yapılan çalışmada 16 gözlem altında incelenirken, ikinci gün ise Kamışlık, Fırat Nehri, Malatya ve Elâzığ, Kapıkaya Baraj sahaları incelenmiştir. Bu çalışma,

ekibinin deprem sonrası oluşan toprak hareketleri, çatlaklar ve sıvılaşma izlerini ortaya koymak amaçlı yürütülmüştür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Elâzığ (Sivrice) depreminin hemen ardından meydana gelen yüzey deformasyon ve gelişen kırık-çatlakları, zemin yenilmeleri gibi parametrelerini Hazar gölü çevresi boyunca toplam 'da 16 tane gözlem altında gerçekleştirilmiştir (ODTÜ, 2020). |

3. MALZEME VE YÖNTEM

“24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Deprem (Mw=6.8) Yüzey Deformasyonları ile Deprem Odak Bölgesinin Jeolojik Yapısıyla İlişkisi” başlıklı tez çalışması; ön çalışmalar, saha çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu temel aşamaların haricinde, tez kapsamında uygulanan yöntemler, ilgili bölümler içerisinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

3.1.1. Ön çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında, tez konusu ve inceleme alanı ile ilgili çalışmaların detaylı literatür araştırması yapılmıştır. Ön çalışmalarla birlikte çalışma alanı ve kullanılacak yöntemlerin daha iyi kavranması, çalışmanın literatüre sağlayacağı katkının önemini arttırmıştır. Ayrıca saha çalışmaları öncesi inceleme alanına ait sayısal 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar, çeşitli ölçeklerde jeolojik haritalar ve uydu görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu materyaller bir ön hazırlık niteliğinde olup, saha öncesi çalışmalar için arazi hakkında önemli veri kaynağı oluşturmuştur. MTA, (2008) tarafından gerçekleştirilen “Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası isimli yayın içerisinde çalışma alanına karşılık gelen Malatya-L41-b3-c1-d2 ve Elazığ-L42-a4 paftalar ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası altlık olarak kullanılmıştır. İnceleme alanına ait aletsel dönem deprem verilerine ise AFAD ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli rasathanesi internet sitesi üzerinden erişim sağlanmıştır. Tarihsel deprem verilerine ise çeşitli yayınlardan elde edilmiştir. Bu ön çalışmaların tümü, arazi çalışmalarında hem zaman kazanma açısından hem de çalışmanın daha doğru bir şekilde gerçekleşmesine büyük katkılarının olduğu daha önceki çalışmalarda da tecrübe edinilmiştir.

3.1.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışması 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminden birkaç hafta sonra hava şartlarının bazı Kar, Yağmur ve Sis gibi zorluklarına rağmen bu çalışma yerinde ve zamanında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma 1/25000’lik Malatya-L41-b3-c1-d2 ve Elazığ-L42-a4 paftaları içersin de kalan alanı kapsamaktadır. İnceleme alanında yüzeyleyen kaya birimlerinden ölçümler alınarak Doğu Anadolu Fay hattı ile ilişkisinin anlaşılabilmesi için 1/25000’lik topografiya haritası üzerinde çalışılmıştır. Saha çalışması sırasında 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 depreminin kaynağı olan DAFZ’nu üzerinde yoğunlaşarak deprem sırasında ve

sonrasında gelişen yüzey deformasyon yapılarından ölçümler alınmıştır. Saha çalışması sırasında 1/25000 ve 1/100000'lik topografik haritaları, Silva jeolog pusulası ve jeolog çekici kullanılmıştır. GPS ile alınan koordinatlar UTM WGS84 sisteminde alınmıştır. Saha çalışması boyunca çekilen fotoğraflar Canon EOS 1200D 18-55 mm DC Profesyonel Dijital Fotoğraf Makinası ile çekilmiştir.

3.1.3. Büro Çalışmaları

Saha çalışmalarından elde edilen veriler, büro çalışması altında değerlendirilmesi için toplanmıştır. Büro çalışmaları sırasında saha çalışmalarından toplanan veriler kullanılarak DAFZ'nu ve ona paralel gelişen fayların, çalışma alanında gözlenen kayaçlarla olan ilişkisi 1/25000'lik jeoloji harita üzerinde gösterilerek hazırlanmıştır. Çizimler de genellikle CORELDRAW 19 programı kullanılmıştır. Uydu görüntü Google Eartch ve diğer 3D sayısal haritalar için GLOBAL MAPPER ve SURFER programlarından yararlanılmıştır. Son olarak tüm büro çalışması sonrasında elde edilen veriler birleştirilerek tezin yazımı gerçekleştirilmiştir. |

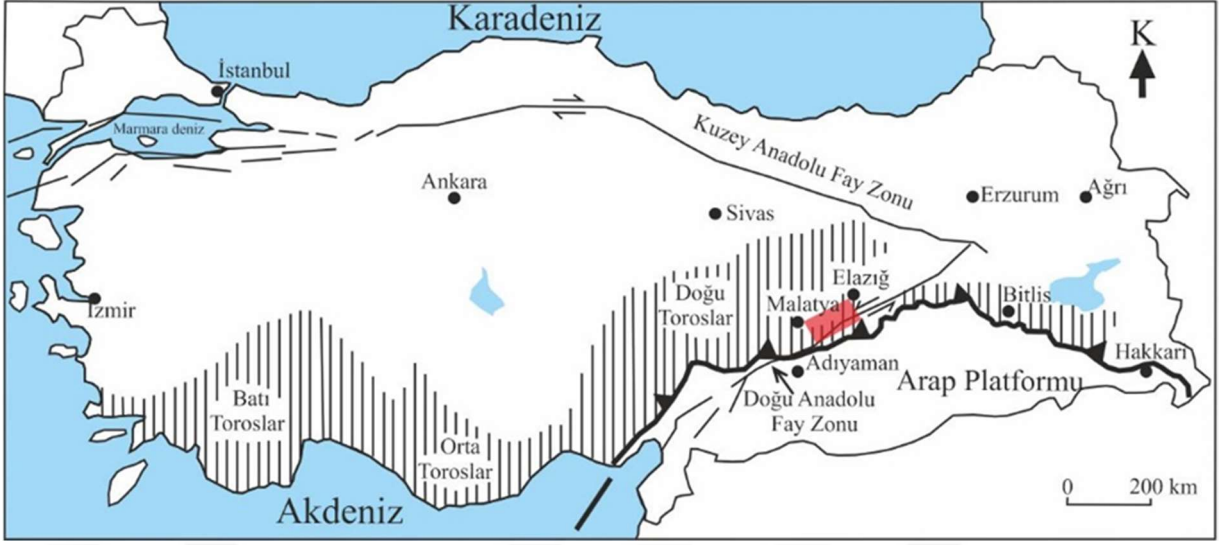
4. BULGULAR

4.1. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Alp-Himalaya dağ kuşağının Doğu Toroslar kısmında bulunmaktadır. Bu alanda Neotetis Okyanusu'nun güney kolu kuzeye doğru yitilerek, Orta Miyosen döneminde Arabistan ile Anadolu kıtasal plakalarının çarpışmasına yol açmıştır (Örn., Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; McKenzie, 1972).

Güney doğu Anadolu kuşağında geniş yayılımlara sahip metamorfik kayalar ile bu metamorfiklere sokulum yapan değişken bileşimdeki magmatik kayalar yer almaktadır. Dolayısıyla çalışma bölgesini birçok farklı kaya grupları oluşturmaktadır. Buna göre, inceleme sahasında yaşları Pre-Kambriyen'den Plio-Kuvaternere kadar değişen metamorfik, magmatik, sedimanter ve volkanosedimanter birimlerin birbirleriyle olan stratigrafik ve yapısal ilişkileri bu bölgede gerçekleşen dalma-batma ve takip eden kıtasal çarpışmayla yeniden düzenlenmiştir. Geç Jura-Erken Kretase'de açılmış olan Neotetis Okyanusu'nun güney koluna ait kaya birimleri (Örn., Guleman Ofiyoliti) Geç Kretase'de güney Neotetis okyanusal alanının kapanması sonucunda kıtasal kabuk üzerine yerleşmiştir. Neotetis Okyanusu'nun Geç Kretase'den Orta Eosen sonlarına kadar uzanan jeolojik süreci içerisinde farklı zaman aralıklarında Hazar ile Maden havzaları açılmıştır. Orta Eosen döneminde ise K-G yönlü yakınsama ile söz konusu bu havzalar kapanmıştır. Arabistan plakasının kuzeye doğru hareketinin devam etmesi bu havzalarda oluşan birimlerin güneye doğru bindirme dilimleri olarak birbirinin üzerine yürütmesine yol açmıştır (Örn., Perinçek, 1980; Perinçek ve Özkaya, 1981; Aktaş ve Robertson, 1984; Yılmaz, 1993; Yılmaz ve diğ., 1993; Yiğitbaş ve Yılmaz, 1996).

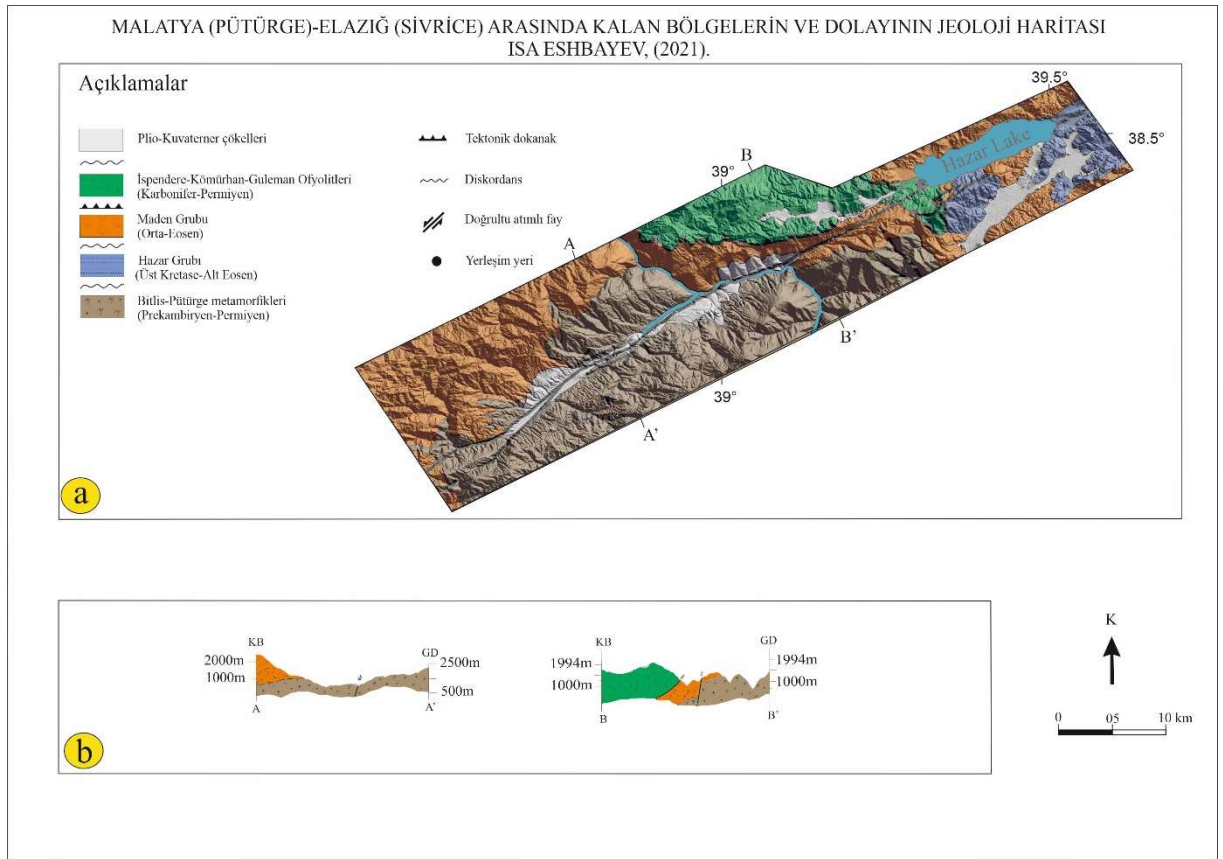
Orta Miyosenden itibaren kıtasal gerilmelerin artmasıyla KAFZ ile DAFZ şekillenmeye başlanmıştır. Söz konusu bu iki eşlenik doğrultu atımlı fay arasında kalan Anadolu plakası, batıya doğru hareket etmeye başlamış ve dünya ölçeğinde kaçma tektoniğinin (escape tectonics) güzel bir örneğini oluşturmuştur. Günümüzdeki kaydedilen depremler bu fay hatları boyunca söz konusu levha ölçeğindeki yakınsamaya bağlı sıkışma hareketlerinin devam ettiğinin belirteçidir. Bu çalışmayla ilgi alanı sahada mostra veren birimlerin bölgenin tektonik yapısıyla olan ilişkilerine bakılarak çalışma bölgesinin depremselliğini incelenmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye güneyinin ana morfolojik yapıları ve aktif fayları. Taramalı alanlar Toros dağlarını ve kırmızı renkle gösterilen alan ise Doğu Anadolu Fayı üzerindeki çalışma bölgesini göstermektedir (Yazgan ve Chessex, 1991'den sadeleştirilerek değiştirilmiştir).

Çalışma bölgesi Malatya (Pütürge) ve Elazığ (Sivrice) İlçeleri arasında kalan, yaklaşık 100 km uzunluğunda ve 25-30 km genişliğindeki alan içerisinde bulunmaktadır (Şekil 4.1). Çalışma bölgesi Güneydoğu Anadolu kenet zonuna yakın bir alanda yer aldığı için tektonizma etkilerinin yaygın olduğu alana denk gelmiştir. Dolayısıyla birimlerin birbirleriyle olan ilişkileri stratigrafik olmaktan çok tektonik kökenlidir. Üstelik DAFZ'nun çalışma sahasının içinde bulunması, inceleme alanındaki birimlerin ilişkisinin karmaşık hale gelmesine neden olmuştur.

Çalışma bölgesinde çok geniş alan kaplayan Pütürge metamorfikleri temeli oluşturmaktadır. Şiro Çayının kuzeyinde Pütürge metamorfiklerinin üzerinde Maden karmaşığına ait taban çakıltaşları ve kumtaşları, volkanik ara katkılı kayalar durmaktadır. Çalışma alanında görülen ve çalışma bölgesindeki diğer birimlerle stratigrafik ve tektonik ilişkisi oldukça değişken olan Guleman ofiyolitleri ise Hazar Gölünün güneyinde Maden karmaşığı ve Hazar Grubu üzerinde bindirmeli olarak durmaktadır. Çalışma alanında gözlenen bütün bu birimleri son olarak Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlar hepsini uyumsuzlukla örtmektedir. Bu birimlerin Neotetis okyanusunun Mesozoyik sonunda ve erken Miyosen döneminde kapanmasıyla oluştukları kabul edilir (Robertson ve diğ., 2007; Göncüoğlu ve diğ., 2010).



Şekil 4.2. a) Malatya-L41-b3-c1-d2 ve Elazığ-L42-a4 paftalar arasında kalan çalışma alanının jeoloji haritası (1/100 000’lik MTA jeoloji haritalarının Erzurum ve Sivas paftalarından sadeleştirilerek hazırlanmıştır). b) Jeoloji haritası üzerinde gösterilmiş A-A’ ve B-B’ güzergâhlarına ait jeolojik enine kesitleri.

4.1.1. Pütürge metamorfikleri (Pre-Kambriyen-Üst Triyas)

Çalışma alanında en yaşlı ve en geniş alan kaplayan Pütürge Metamorfikleri yerbilimcileri tarafından Pütürge Masifi veya Pütürge-Bitlis Masifi olarak ayrıntılı incelenmiştir. Çalışma alanının Hazar gölü güneyinin, Karakaya baraj gölü, Ormaniçi Köyü güneyi ve batısında ve adını aldığı Pütürge İlçesi boyunca yüzeyleyerek çalışma bölgesinin topografyasının önemli kısmını oluşturmaktadır. Pütürge metamorfikleri gözlü gnays, granitik gnays, amfibolit, granat-biyotit, mikaşistlerden oluşur (Yazgan ve Chessex, 1991).

Pütürge masifi paleontolojik, tektonik, stratigrafik ve radyometrik açıdan yaşlandırılmıştır. Çağlayan ve diğ., (1984); Güncüoğlu ve Turhan, (1985) tarafından paleontolojik olarak fosilli Devoniyen altında yer alan birimler Prekambriyen dönemi olarak tespit edilmiştir.

4.1.2. Hazar Grubu (Üst Kretase-Alt Eosen)

Bu birim ilk defa Rigo De Righi ve Cortesini, (1964) tarafından isimlendirilmiştir. Özkaya, (1974) Ergani-Maden bölgelerinde ve civarındaki saha incelemesinde volkanik kayaç içeriği olmayan kumtaşı-şeyl-marn tekrarlanmasından oluşan filiş istifine Hazar Formasyonu adını vererek Baykan Grubu'na eklemiştir. Perinçek ve diğ., (1979) Hazar Karmaşığı, Aktaş ve Robertson, (1984) ise bu birime Hazar Grubu ismini vermiştir.

Çalışma alanında Hazar grubu en altta kırıntılılar ile devam ederek yukarıya doğru ise çamurtaşı-kumtaşı tekrarlanması ve daha üst seviyelerinde karbonatlı kayaçları temsil etmektedir. Hazar Gölü ve civarında çok yaygın görüldüğü için, birimin adı buradan verilmiştir. Çalışma alanının dışında kalan bazı bölgelerde Hazar grubu ve Maden karmaşığı, Karbonifer-Permien yaşındaki Guleman ofiyolitinin üstüne çökelmişler. Guleman ofiyoliti çalışma alanının içerisinde kalan Hazar grubu ve Maden karmaşığı birimleriyle stratigrafik ve tektonik ilişkisi çok değişmektedir. Dolayısıyla Hazar gölünün güneyinde Guleman ofiyoliti Üst Kretase-Alt Eosen yaşındaki Hazar grubu ve Alt-Orta Eosen yaşlı Maden grubunun üzerine bindirmektedir.

4.1.3. Maden Grubu (Orta Eosen)

Bu birim Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından ilk defa Maden birimi Olarak isimlendirilmiştir. Fakat birim çeşitli yer bilimciler tarafından farklı gruplar şeklinde incelenmiştir. Bunlar, Maden Grubu (Örn., Erdoğan, 1982; Yiğitbaş ve diğ., 1991; Yılmaz, 1993) ve Maden Karmaşığı (Perinçek, 1979; Yazgan, 1983, 1984; Hempton, 1984; Aktaş ve Robertson, 1985) olarak verilen isimlendirmelerdir.

Çalışma sahasında Maden grubuna ait birimler, Hazar gölünün kuzey güneyinde, güneybatısında ve bölgesel olarak geniş bir alanda yayılım gösterir. Maden grubuna ait kayaların çalışma sahasındaki bulunan diğer kaya birimleriyle arasındaki taban-tavan ilişkileri yer-yer tektonik ve bazı bölgelerde ise stratigrafik özelliktedir. Buna göre inceleme alanında Pütürge metamorfikleri üstüne uyumsuz bir şekilde gelen Maden Karmaşığı alt seviyelerinden kırmızı çakıltaşlarıyla başlayarak ve üste doğru çamurtaşları ile tuf ve volkanik ara katkılı kumtaşı ve kireçtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Bu birimin en üst seviyelerini kırmızımsı çamurtaşları ve volkanik kayaçlar oluşturmaktadır.

4.1.4. Guleman Ofiyolitleri (Karbonifer-Permiyen)

Birimi ilk olarak Erdoğan (1982), Aktaş ve Robertson (1984), Bingöl, (1984); Perinçek, (1979) Guleman ofiyoliti olarak isimlendirmiştir.

Çalışma alanında Hazar gölünün batısında ve Kale ilçesinin çevresinde geniş mostralarını görmek mümkündür. Guleman ofiyolitlerinin, çalışma bölgesinde görülen diğer kaya birimleri ile stratigrafik ve tektonik ilişkisi oldukça farklılık göstermektedir. Buna göre Guleman ofiyolitleri çalışma alanı içerisinde kalan Kale ve civarında Maden grubunun üstüne bindirmeli olarak gelmektedir. Bu birim harzburjit, bantlı gabro, gabro, ve hepsini kesen diyabaz dayklarından oluşan ofiyolitik bir istif temsil etmektedir. Birimin yaşı önceki araştırmacılar tarafından Jura-Erken Kretase (Özkaya, 1978). Geç Jura-Erken Kretase (Perinçek ve Özkaya, 1981; Bingöl, 1984) olarak verilmiştir.

4.1.5. Plio-Kuvaterner çökelleri

Pliyo-Kuvaterner yaşlı güncel alüvyonlar çalışma bölgesinin en genç çökellerini temsil etmektedir. Bu çökeller Hazar Gölü çevresinde ve Şiro çayı'nın geçtiği vadi boyunca yaygın olarak görülmektedir. Birim kötü boylanmalı çakıltası, kumtaşı ile temsil olunmaktadır. Alüvyon içindeki taneleri çoğunlukla gevşek tutturulmuş olan bu birimler genellikle yatay'ya yakın tabakalıdır. İnceleme alanında en geç birimi olup diğer birimlerle dokanak ilişkisi diskordanslıdır.

Yaş	Formasyon	Litoloji	Açıklama
Plio-Kuvaterner	Q1		Birim kötü boylanmış çakıltaşı, kumtaşı ve kilaşı ile temsil edilmektedir.
Üst Jura	Guleman Ofiyoliti		Harzburjit, dünit, verlit, piroksenit, gabro, bantlı gabro ile bunları kesen diyabaz dayklarından oluşan ofiyolitik bir istifdir.
Orta Eosen	Maden Grubu		En altta kırmızı çakıltaşı ile başlamakta ve çamurtaşları ile arasında devamsız olarak tuf ve volkanik malzemelerden oluşan bir istiftten oluşur.
Alt Eosen-Üst Kretase	Hazar Grubu		Gri renkli volkanik kalıntılardan yoksun filiş özelliğindeki kumtaşı-şeyl-marn ardalanmasından oluşur.
Pre-Kambriyen	Pütürge Metamorfikleri		Gözlü gnayslar, granatlı granitik gnayslar, granatlı amfibolitler ve gnayslar, biyotit mikaşistlerden oluşur.

Şekil 4.3. Çalışma bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.

4.2. DEPREM BÖLGESİNİN SİSMOLOJİK/SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

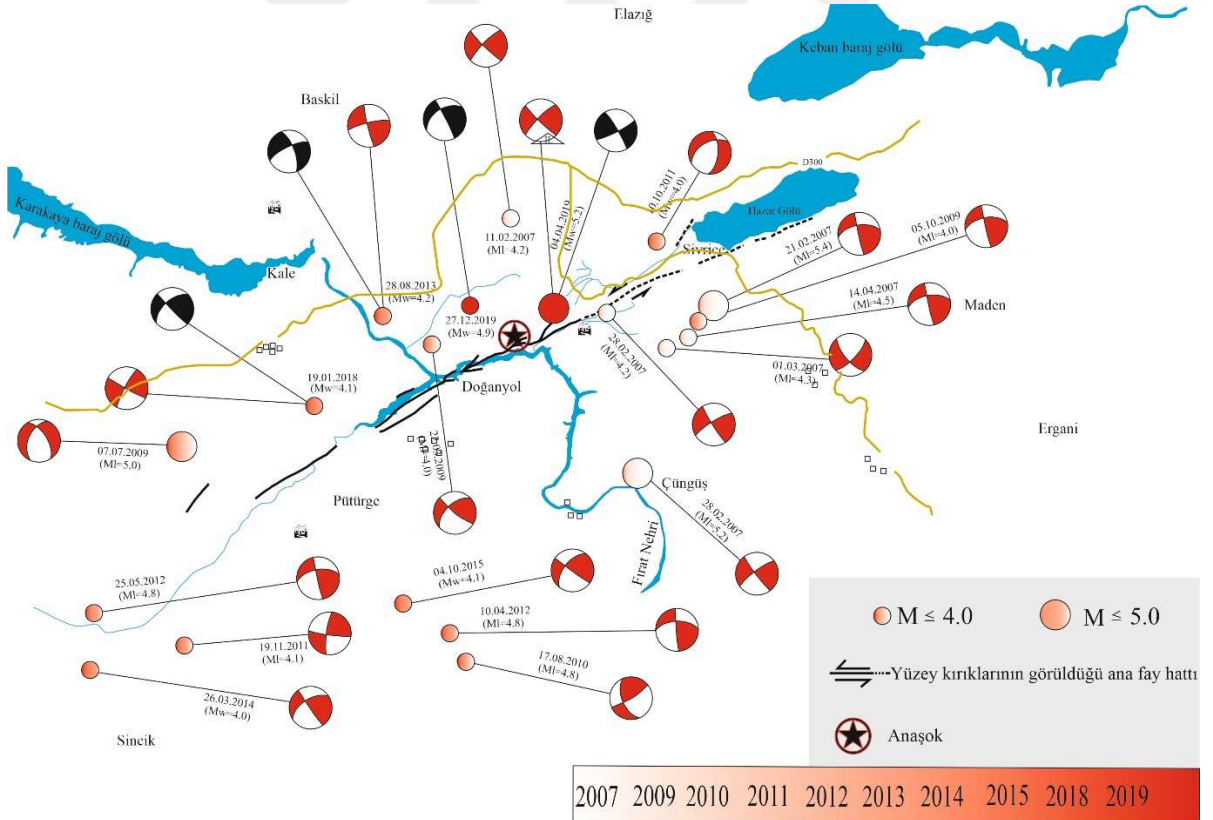
Türkiye'nin doğu Anadolu bölgesinde DAFZ'nu üzerinde 24 Ocak 2020 Cuma günü Türkiye saati ile 20:55'de 8.06 km derinlikte $M_w=6.8$ deprem meydana geldi (AFAD). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne göre büyüklüğü (Magnitüt) $M_w=6.5$ odak merkez derinliği ise 5 km ve merkez üssü Sivrice İlçesinin Çevrimtaş köyü olan deprem, Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) göre ise 11 km derinlikte ve büyüklüğü $M_w=6.7$ olduğu belirtilerek ve merkez üssü Doğanyol'un 11 km kuzey, kuzey doğusunda yer alan Kalaba köyüne yakın bir yerde meydana gelmiştir.

Çalışma bölgesinin depremselliğini belirlemede saha çalışmalarından elde edilen verilerle ve yakın geçmişte çalışma bölgesinde olduğu düşünülen tarihsel ve aletsel deprem kayıtlarıyla DAFZ'nu Türkiye'de KAFZ'dan sonraki en önemli fay zonudur. DAFZ üzerinde, Şekil 2.4. ve Şekil 2.5'de tarihsel ve aletsel dönemlerde bir kaç önemli depremler gözlenmiştir. Tarihsel ve aletsel dönemlerde DAFZ'nu boyunca gelişen birçok yıkıcı depremler göz önünde tutulduğunda, Elazığ-Malatya illerinde ve yakın çevresinde 1874-1875 yıllarından 24 Ocak 2020 tarihine kadar ~145 yıl boyunca $M_w=6.0$ ve üzeri depremin meydana gelmemiş olması, bölgenin sismik tehlike özelliğini taşıdığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, bu bölgenin bu kadar uzun süre sesiz kalması 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) $M_w=6.8$ olan depremine yol açmıştır olarak yorumlanmıştır. Bu deprem DAFZ'nun orta bölümünde meydana gelmiştir. DAFZ'nun orta bölümünü oluşturan fay bölümü (segment)

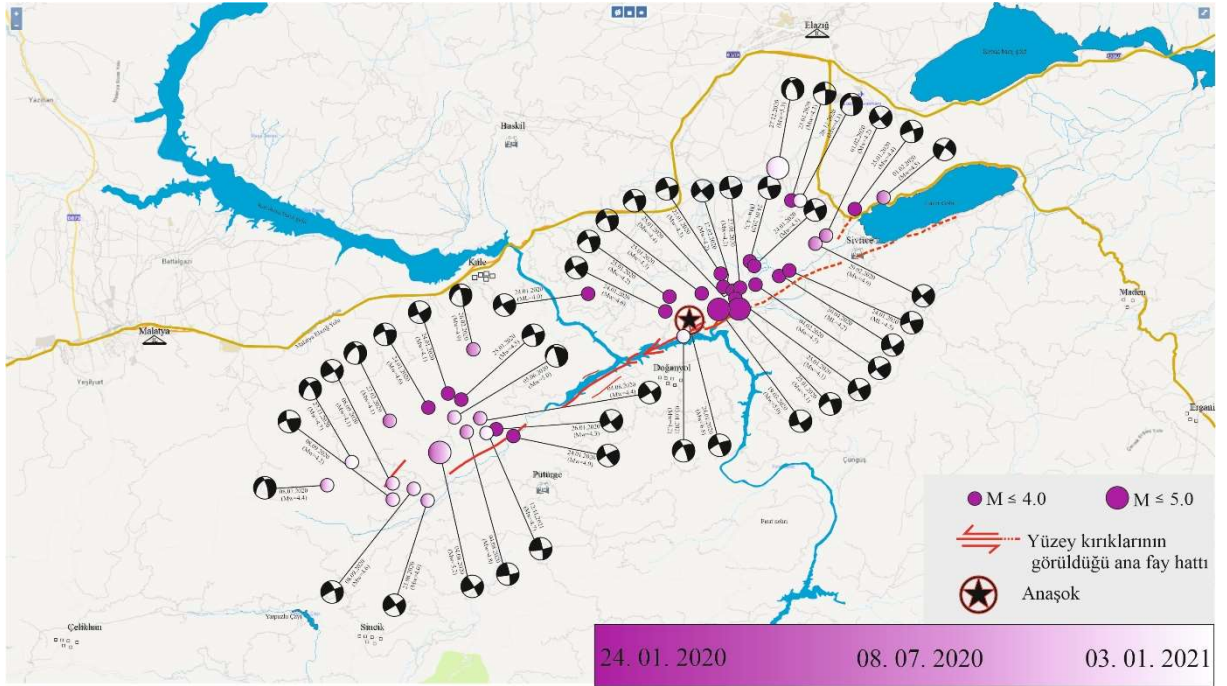
birçok yerbilimciler tarafından farklı isimler altında incelenmiştir. Hazar Gölü-Sincik segmenti (Şaroğlu ve diğ., 1992), Şiro fay bölümü (segment) (Herece, 2008) ve Pütürge fay bölümüdür (Duman ve Emre, 2013).

4.2.1. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 Depremiyle İlişkili Sismik Aktivite

DAFZ'nun orta bölümünde 24. 02. 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depreminden birkaç hafta sonra yapılan saha çalışması Hazar Gölü-Malatya (Pütürge) arasında kalan bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu bölge boyunca K60D doğrultulu uzanan ~85 km uzunluğundaki, Hazar Gölü-Sincik segmenti üzerinde 2000 yılından 23 Ocak 2020 tarihine kadar olan yaklaşık yirmi yıllık bir periyotta Mw=4.0 üzerinde meydana gelen depremlerin dağılımı ve odak mekanizması çözümleri Şekil 4.4.'de görülmektedir. Şekil 4.5.'de ise 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi ve sonrasında meydana gelen depremlerin odak yerleri mekanizma çözümleri verilmektedir.



Şekil 4.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinde 01 Ocak 2000 tarihinden 23 Ocak 2020 tarihine kadar yaklaşık 20 yıllık bir periyotta meydana gelen Mw=4.0 üzeri depremlerin alansal dağılımı (AFAD, 2020). 24 Ocak 2020 depreminin merkezi yıldız ile gösterilmiştir.



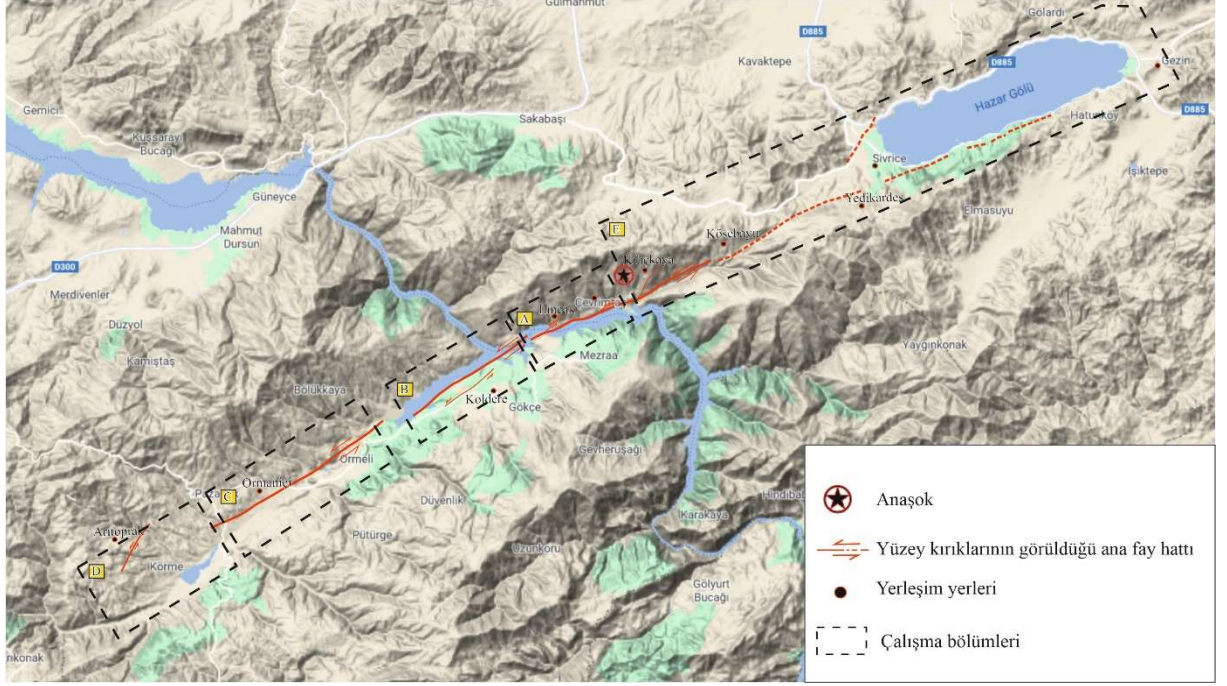
Şekil 4.5. 24. 02. 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depreminden günümüze kadar gerçekleşen yaklaşık 1 yılı aşkın süre içerisinde meydana gelen $M_w=4.0$ ve üzeri artçı depremlerin alansal dağılımı (AFAD, 2020).

4.2.2. Deprem sırasında gelişen yüzey deformasyonları

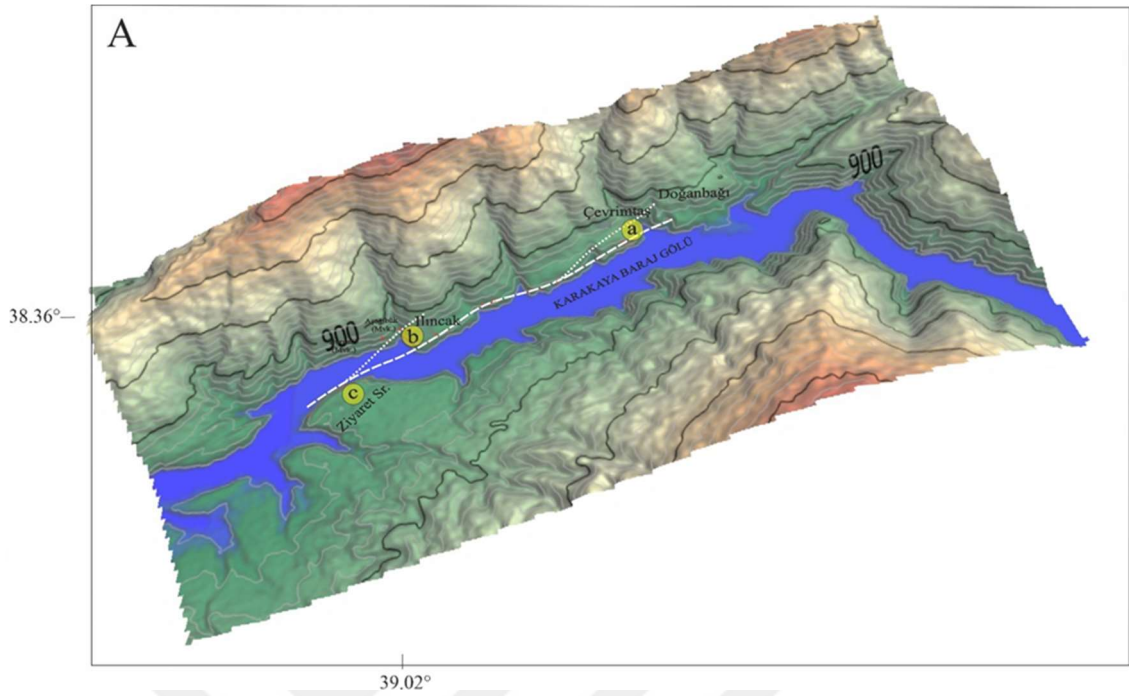
İnceleme alanında yapılan çalışma iki ayrı tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. İlk saha çalışması 06 Şubat 2020 tarihinden 13 Şubat 2020 tarihler arasından 8 günlük çalışma yapılmıştır. Saha çalışmasının ikinci bölümü ise 02 Mart 2020 tarihinden 10 Mart 2020 tarihler arasında 9 günlük çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Elazığ (Sivrice)-Malatya (Pütürge) sınırları içerisinde geçen DAFZ'nun orta kesimlerinde 2020 tarihinde meydana gelen depremin oluşturdukları yüzey deformasyonları incelenerek çalışma alanının jeolojik yapısı ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu amaçla deprem sırasında gelişen yüzey/deformasyon yapıları yerinde ölçülerek 1/25000'lik topoğrafya haritasına işlenmiştir.

Bu tez çalışmasında yürütülen saha incelemeleri sırasında yapılan gözlemlerde depremle ilişkili yüzey deformasyon yapıları Çevrimtaş, Ormaniçi ve Tekedere köyleri arasında kalan fay zone boyunca gözlenmiş ve taslak çizimlerle kayıt altına alınmıştır. Karakaya baraj göletinde ise tekne ile yapılan saha çalışma sırasında Fırat nehrinin kuzey ve güney kıyıları boyunca özellikle Ilıncak ve Koldere köyleri'nin göl kıyısına yakın bölgelerinde görülen deformasyon kırık yapıları çoğu ana fayla ilişkili özelliğini taşıırken, bazıları ise deprem sırasında oluşan sismik

sarsılma ve yer çekim kuvvetine bağlı olarak yüksek eğimli yamaçlar boyunca eğim aşağı doğru kayarak meydana gelmiş heyelanımsı yapılar gözlenmiştir. Buna göre Elazığ (Sivrice)-Malatya (Pütürge) İlçeleri arasında kalan yaklaşık ~85 km uzunluğundaki Doğu Anadolu Fay Zonu kendi içinde süreksizlikler dikkate alınarak beş parça olarak incelenmiştir. Söz konusu bu çalışma, beş bölüm altında daha detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılacaktır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Elazığ (Sivrice)-Malatya (Pütürge) İlçeleri arasında kalan ~85 km uzunluğundaki Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca beş bölüm altında çalışmanın gerçekleştirildiği ana fay hattı kısımlara ayrılarak incelenebilir: (A) Çevrimtaş ve Doğanbağı köylerinden başlayarak Ilıncak köyü ve güney doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca devam eden çalışma bölümü; (B) Koldere köyünün doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca batıda Tatlıca mahallesine kadar uzanan Fırat nehri'nin hem kuzey güney kıyıları hem de karada yürütülen çalışma bölümü; (C) Depremin en çok iz bıraktığı Ormaniçi köyü'nde gerçekleştirilen çalışma bölümü; (D) Belki de depremin oluşturduğu kırık/deformasyonların bittiği yer dediğimiz Arıtoprak köyü ve batısında kalan Tekedere mahallesine kadar olan çalışma bölümü, ve (E) Bu çalışma esnasında göremediğimiz, fakat başka araştırmacılar tarafından deformasyonların gözlemlendiği çalışma bölümünü tanımlamak için kullanılmıştır. Saha incelemeleri sırasında yüzey deformasyonlarının Fırat nehri boyunca kuzey- güney kıyılarında bir kısmı bir kısmı tekne ile deprem sırasında ve sonrasında gelişen yüzey/deformasyon yapıları yerinde ölçülerek 1/25000'lik topoğrafya haritasına işlenmiştir.



Şekil 4.7. Çevrimtaş ve Doğanbağı köylerinden başlayarak Ilıncak köyü ve güney doğusunda kalan Ziyaret sırtı boyunca gelişen yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.

20 Ocak 2020 depremiyle oluşan yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında depremin en çok yüzey kırıklarının oluşturduğu Çevrimtaş köyü ve yakın civarında depremle ilişkili olan kırık deformasyon yapıları yer yer sola aşmalı bazen ise sağa aşmalı olarak devam eden çatlak/kırık sistemleri gelişmiş ve bazı bölümlerde yaklaşık 10-15 cm düşey atımlar oluşturmuşlardır. Sağa aşmalı olanların doğrultusu $K85^0D$ ölçülürken sola aşmalı olarak gelişen kırıklardan alınan doğrultu ise $K50^0D$ ölçülmüştür. Bazı kırıklar $K10^0D$ doğrultulu ölçülmüştür (Şekil 4.8). Bu bölüm içinde yer alan Ilıncak köyü'nün güneyinde yani Fırat nehrinin kuzey kıyısında sola aşmalı gelişen kırık deformasyon yapılarının doğrultusu ise $K40^0D$ ölçülmüştür (Şekil 4.9). Bu alanda kırık sistemleri ile birlikte iki tane küçük ölçekli D-B doğrultulu heyelan gelişmiş. Tekne ile yapılan saha inceleme sırasında Fırat nehrinin güney kıyısında Ziyaret sırtı boyunca Anastomos (atkuyruğu) şeklinde gelişen kırıklar yaklaşık 1 metre sola aşmalı ötelenerek ve yer yer 40-50 cm düşey atımında geliştiği yaklaşık 50-60 m uzunluğunda kırık sistemleri gözlenmiştir (Şekil 4.10). Bu alanda gelişen kırık sistemlerinden alınan doğrultular $K60-70^0D$ ölçülmüştür.



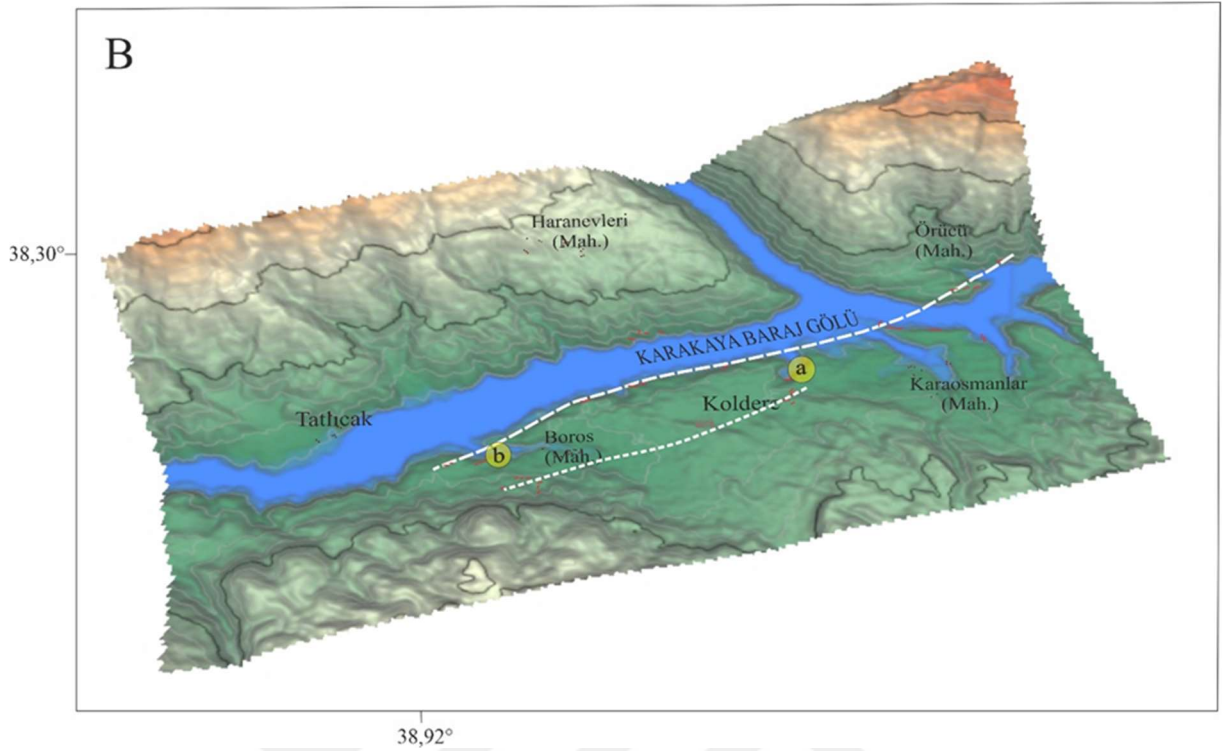
Şekil 4.8. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede deprem sırasında gelişmiş kırık deformasyon yapıları (Çevrimtaş köyü).



Şekil 4.9. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde b) ile gösterilen 24 Ocak 2020 depremi sırasında ve sonrasında Ilıncak köyü ve civarında meydana gelen yüzey deformasyonları.



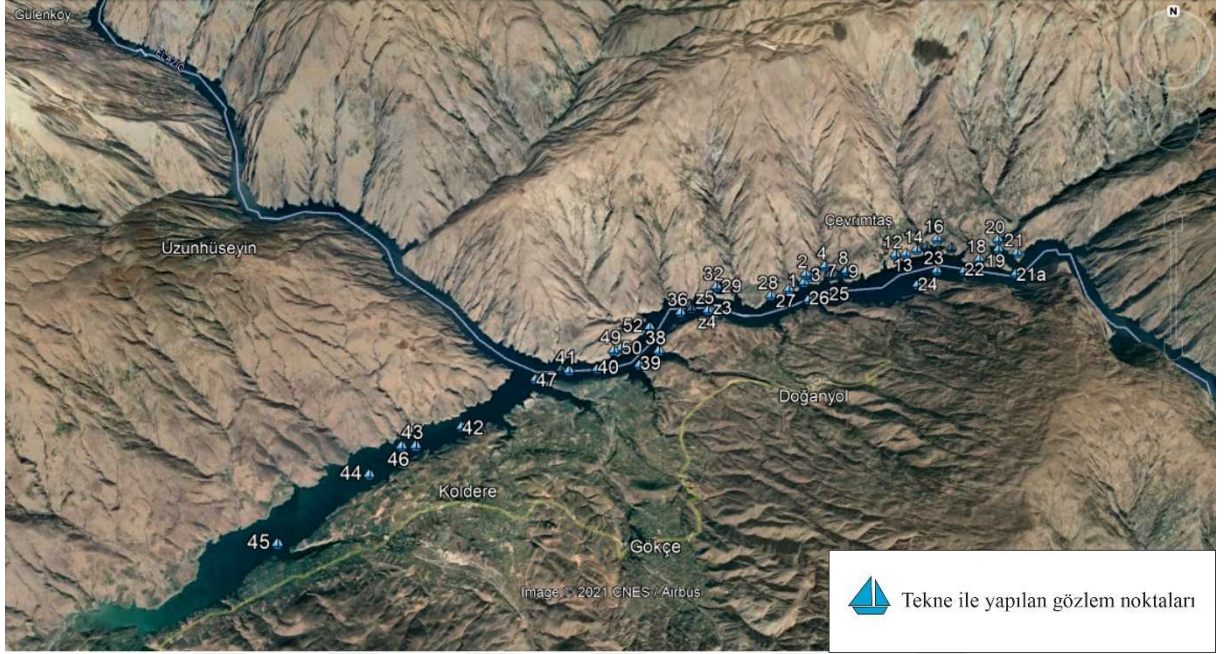
Şekil 4.10. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (A) kısmında Şekil 4.7.'de harita üzerinde c) ile gösterilen 24 Ocak 2020 depremi sırasında ve sonrasında Ziyaret sırtında meydana gelen yüzey deformasyonları.



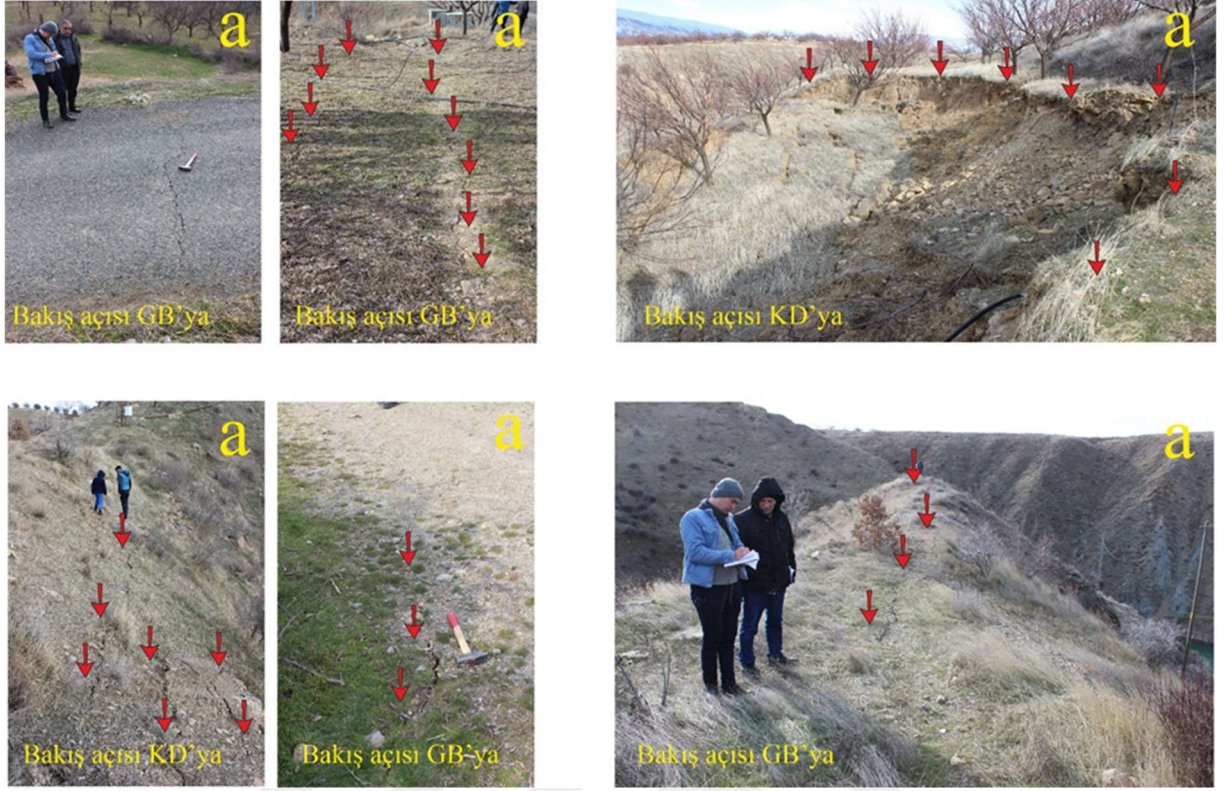
Şekil 4.11. Koldere ve yakın civarında gelişen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.

Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Koldere köyü ve yakın civarında deprem sırasında ve sonrasında gelişen yüzey kırık yapıları incelenmiştir. Daha sonra çalışmanın devamında ise tekne ile Fırat nehrinin kuzey-güney kıyıları boyunca yapılan gözlemler sırasında, gelişen kırık deformasyon yapılarından ölçümler alınarak ana fay hattını takip edebilme adına birçok önemli bilgiler ve veriler elde edilmiştir (Şekil 4.12). Anlatılan bu çalışma bölümünde bazı lokal ölçekli alanlarda dikkat çekici yüzey kırık deformasyon yapıları gelişmiştir. Buna en iyi örnek olarak Koldere köyünün kuzeyi Fırat nehrinin güney kıyısının üst bölümünde bulunan evin önündeki asfalt yolda ve kayısı bahçesinde yüzey kırık deformasyon yapıları ve buna bağlı birkaç heyelanların geliştiği gözlenmiştir. Asfalt yolu üzerinde görülen yüzey kırıklarının doğrultusu $K10-15^{\circ}D$ ölçülmüştür. Ölçülen bu yüzey kırıkları evin olduğu yerlerde aynı doğrultuda devam etmiştir. Kayısı bahçesinde görülen yüzey kırıkları $K80^{\circ}D$ doğrultu devam eden kırığın bazı kısımları ise $K50^{\circ}D$ doğrultulu ölçülmüştür. Bu bölgede deprem sırasında oluşan sismik sarsılma ve yer çekim kuvvetine bağlı olarak K-G doğrultuda meydana gelmiş heyelanımsı yapılar gözlenmiştir (Şekil 4.13). Bu noktada en dikkat çekici hareket ise sol yönlü atım ile hem su borusunun bükülmesi hem de yer değiştirmesidir (Şekil 4.14). Yine bu çalışma bölümünün içerisinde yer alan Koldere köyünün güney batısında

kalan Tosunlu köyünde yerleşim yerlerinin bulunduğu ve bazı ev duvarlarının yanından ve altından geçen yüzey kırık deformasyonları görülmüştür (Şekil 4.15). Yüzey kırıklarından alınan doğrultular $K55-60^0D$ ölçülmüştür.



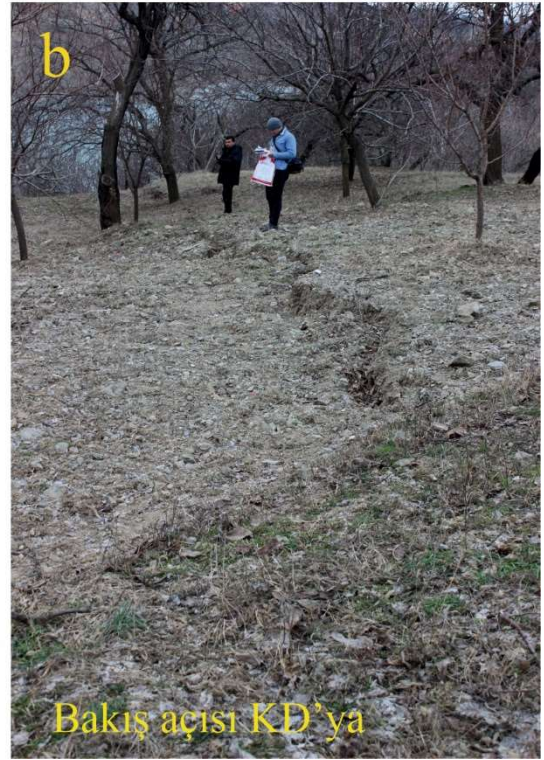
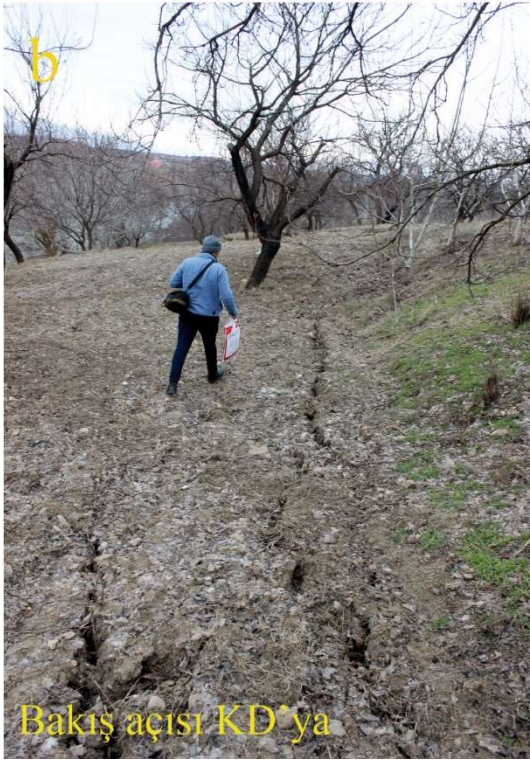
Şekil 4.12. Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de tekne ile yapılan çalışmada Fırat nehrinin kuzey-güney kıyıları boyunca yapılan gözlemler.



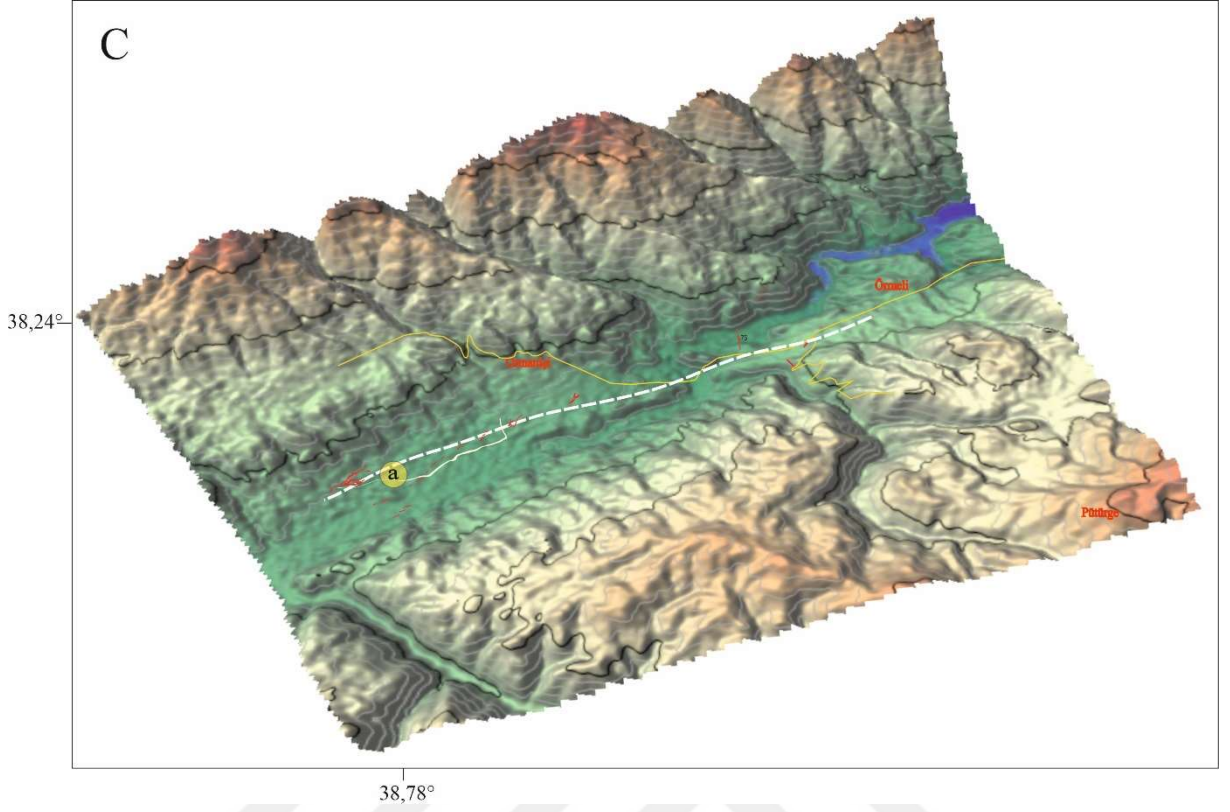
Şekil 4.13. Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Koldere köyü).



Şekil 4.14. Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede deprem sırasında etkilenen su borusu (Koldere köyü).



Şekil 4.15. Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (B) kısmında Şekil 4.11.'de harita üzerinde b) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Tosunlu köyü).

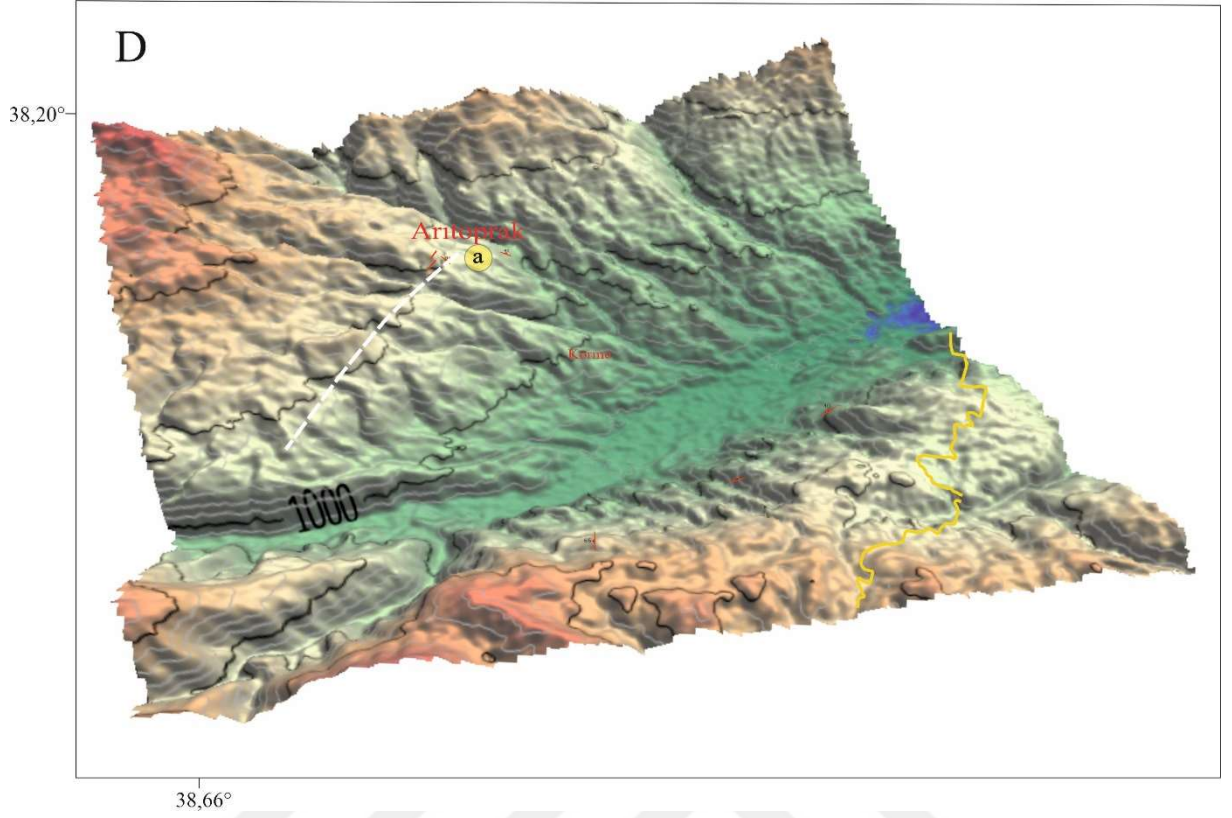


Şekil 4.16. Ormaniçi köyü ve civarının da gelişen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.

Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (C) kısmında Ormaniçi Köyü ve yakın civarında depremin etkili olduğu yerlerde görülen yüzey kırık deformasyonları yapıları incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümde Ormaniçi köyünün güney batısında kalan tarlalar içerisinde ve bu tarlaya giden patika yol üzerinde deprem sırasında meydana gelen yüzey kırık deformasyon yapıları gözlenmiştir. Tarla içinde gelişen yüzey kırıkları ağaç dalına benzer şekilde yapılar oluşturarak meydana gelmiştir. Bu noktada kırıklardan alınan doğrultular $K60^0D$ ve $K70-80^0D$ arasında değişken bir yapı sunmaktadır. Bazen iki kırığı birleştiren ara yüzey kırıkları D-B doğrultulu ölçülmüştür. D-B doğrultulu olan kırıklarda tansiyon çatlakları görülmektedir. Bu alanda gelişen deformasyon kırık yapılarında sol yanıl hareketinde geliştiği yaklaşık 40-50 cm düşey atımlar meydana gelmiştir (Şekil 4.17). Bu bölüm içinde yer alan Pütürge yolunun Malatya Doğanyol yoluna bağlandığı yol ayrımında Pütürge köyüne giden asfalt yolu üzerinde $K20^0D$ doğrultu ve $K10^0D$ doğrultulu yolu kesen iki tane yüzey çatlağı gözlenmiştir.

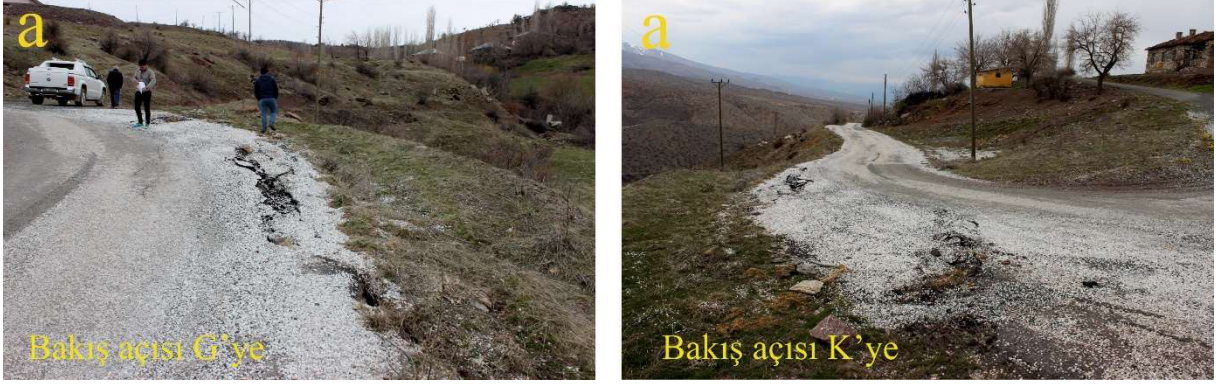


Şekil 4.17. Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (C) kısmında Şekil 4.16.'da harita üzerinde a) ile gösterilen bölgede gelişen yüzey deformasyonları (Ormaniçi köyü batısı).



Şekil 4.18. Şiro çayının kuzeyinde kalan Arıtoprak mahallesinde meydana gelen yüzey yüzey deformasyonlarının oluşturduğu genel yapı ve ilişkili fay hattını gösteren harita.

Yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği (D) kısmında artık depremin oluşturduğu yüzey kırıklarının son durakları diyebileceğimiz Arıtoprak mahallesi ve civarında gelişen deformasyon yapıları incelenmiştir. Şiro çayının geçtiği vadi boyunca çalışma alanının en geç akarsu çökellerinde yürütülen saha gözlemleri sırasında bu noktada yüzey kırık deformasyon yapıları gözlenmemiştir. Fakat Şiro çayının kuzeyinde bulunan Arıtoprak mahallesinde asfalt yolu üstünde yüzey kırıkları ve eş zamanlı olarak heyelanımsı yapılar gelişmiş (Şekil 4.19). Yüzey kırıkları sola aşmalı gelişirken doğrultusu $K65^0D$ ölçülmüştür. Başkada sadece Yazıca köyü ziyan mezrasında çok ince $K40^0D$ doğrultulu yüzey deformasyonları gelişmiş, fakat atım gözlenmemiştir.



Şekil 4.19. Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (D) kısmında Şekil 4.18.'da harita üzerinde a) ile gösterilen alanda, Arıtoprak mahallesinin girişinde asfalt yolu üzerinde görülen heyalanımsı yüzey deformasyonları.

Yüzey deformasyonlarının gözlendiği (E) kısmında yürütülen saha gözlemleri sırasında depremle oluşmuş yüzey deformasyonları gözlenmemiştir. Fakat farklı çalışma gruplarının yaptığı incelemelerde sismik sarsılma sırasında oluşan yüzey kırık deformasyonları ve buna bağlı gelişen küçük çaplı kütle hareketleri sırasında kaya bloklarının Sivrice ve Doğanbağı karayolu boyunca yolun bazı bölümlerinde boyutlarının ölçümleri değişen irili ufaklı malzemelerin yolun büyük bir bölümünü kapattığına dair görüşlerini öne sürmüşlerdir. Söz konusu bu çalışma Tatar ve diğ., (2020); Kürçer ve diğ., (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Hazar gölü çevresi boyunca jeolojik, sismolojik, geoteknik ve yapısal gözlem çalışmaları altında çalışmasını gerçekleştirmiştir.

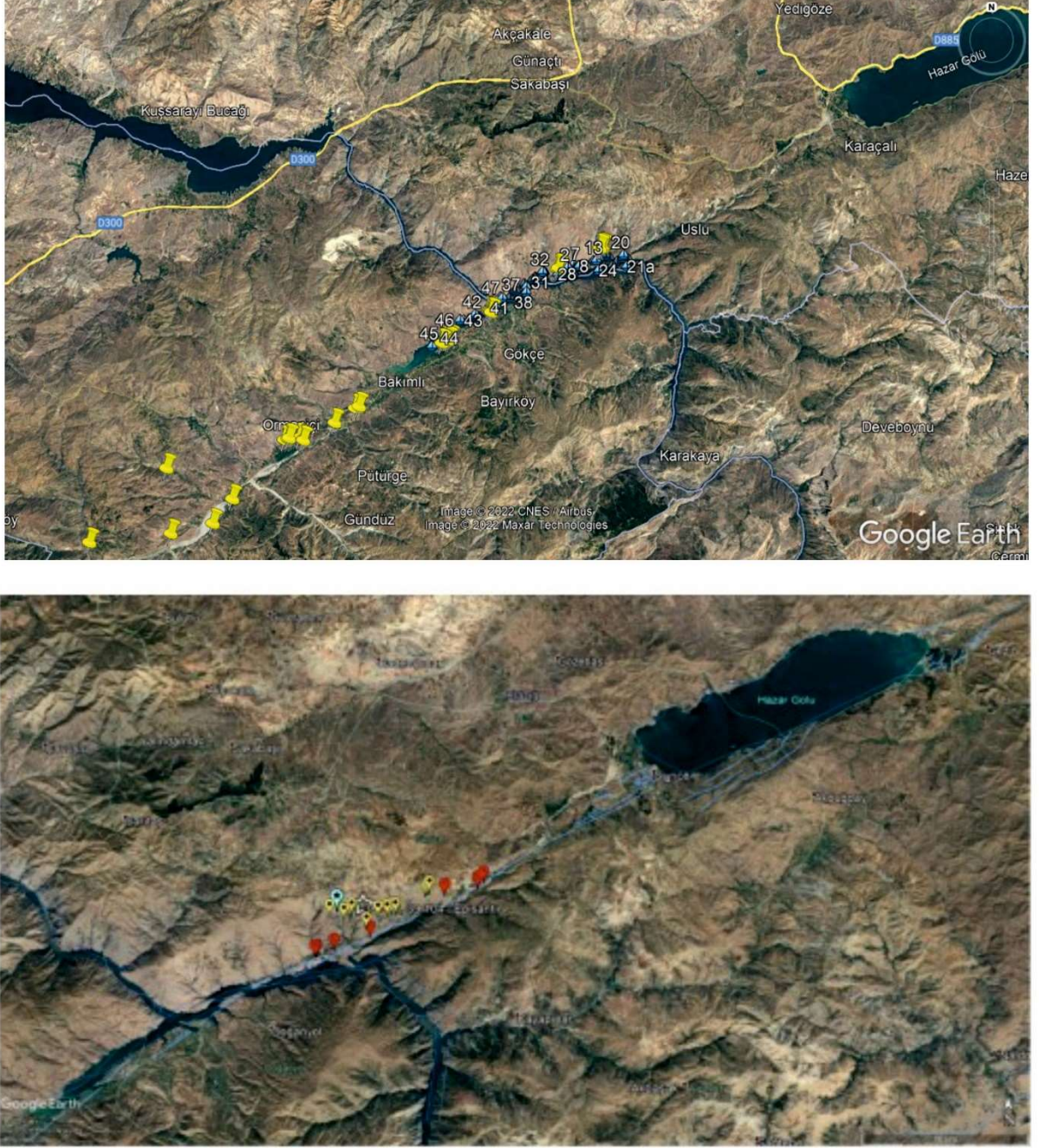
24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi Tatar ve diğ., (2020) tarafından yapılan incelemede deprem sırasında ve sonrasında meydana gelen yüzey kırık deformasyon yapılarını sismo-gravitasyonel ve sismo-tektonik yüzey yapıları olarak iki grup altında incelemiştir.

Sismotektonik: Tektonik gerilmeye (stres) bağlı olarak ortaya çıkan, yükselme-çökme-oturma ya da yüzeyde gelişen kırık-deformasyon yapılarıdır.

Sismo-gravitasyonel: Kütle hareketleri sonucunda, yanal yayılma veya yerçekim kuvvetine bağlı olarak gelişen, kılcal çatlaklar ve sıvılaşma şeklindeki deformasyonlar olarak değerlendirilmiştir.

Buna göre yürütülen saha incelemesi kapsamında Gezin-Sivrice-Doğanbağı yerleşim alanlarında ve bu yerleşim alanlarını bir birine bağlayan yollar boyunca Sismo-gravitasyonel deformasyonların gözlendiğini, Doğanbağı-Çevrimtaş-İlincak-Koldere-Ormaniçi yerleşim

bölgelerinde ise sismo-tektonik deformasyon yapılarının geliştiği görüşünü öne sürmüşlerdir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Üst şekilde tez kapsamında yapılan saha çalışması sırasında alınan gözlem noktaları, alt şekilde ise Tatar ve diğ., (2020) tarafından, deprem bölgesinde yürütülen saha çalışması sırasında alınan gözlem noktaları Google Earth görüntüsü üzerinde görülmektedir.



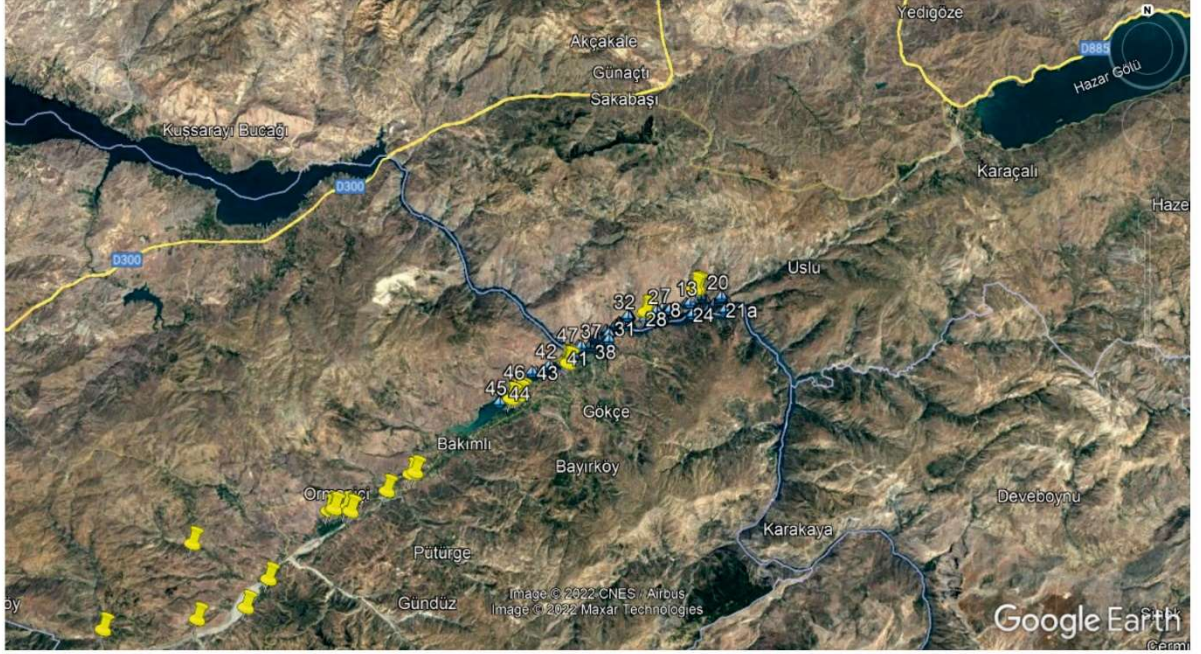
Şekil 4.21. Deprem sırasında Sivrice İlçesini Doğanbağı köyüne bağlayan yollar üzerinde meydana gelen sismo-gravitasyonel yüzey-kırık deformasyon yapıları (Tatar ve diğ., 2020).



Şekil 4.22. a) ile gösterilen fotoğraflarda Ormaniçi köyünün yaklaşık 500 m güneyinde yer alan tarlalar boyunca gelişen sismo-tektonik yüzey deformasyonları. b) ile gösterilen fotoğraflarda ise Çevrimtaş köyünün eski yerleşim alanında gelişen sismo-tektonik yüzey kırık deformasyon yapıları (Tatar ve diğ., 2020).

Kürçer ve diğ., (2020) çalışma alanının beşinci kısmı içerisinde kalan bölgede, gerçekleştirdikleri saha incelemelerini Maden ilçesine bağlı Gezin köyünden Doğanbağı ve

Çevrimtaş köyleri arasında kalan alan boyunca toplamda 15 gözlem noktası altında deprem sırasında gelişen yüzey kırık deformasyon yapılarını gözlemlemişler (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Üst şekilde tez kapsamında yürütülen saha çalışmasında alınan gözlem noktaları, alt şekilde ise Kürçer ve diğ., (2020) tarafından deprem bölgesinde yürütülen saha çalışmasında alınan gözlem noktaları Google Earth görüntüsü üzerinde görülmektedir.

Gözlem noktalarının sıralamasına göre çalışmayı Elazığ (Gezin) İlçesinden başlanmıştır. Burada deprem sırasında herhangi yüzey kırık deformasyon yapıları gözlenmemiştir. Fakat beş

kathı Mavi göz isimli binanın tamamen yıkılışını zemin sıvılaşmasına ve inşaat yapısının zayıflığına bağlanmıştır. Çalışmanın devamında Hazar Gölü kuzey, kuzey batısında Gezin İlçesini Sivrice İlçesine bağlayan karayolunun kuzey, kuzey batı yamaçlarında depremin meydana geldiği sırada ölçeklerinin boyutları değişen genellikle küçük ölçekli dairesel kaymaların geliştiği kütle hareketlerini belirtmişler (Şekil 4.24). Üç ve dördüncü gözlem noktalarında asfalt karayolunu K30⁰D doğrultuda kesen kılcal kırık-çatlaklar görülmüştür. Gelişen kırıklarda yanal veya düşey hareket gözlenmemiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.24. Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminde Hazar Gölü kuzey, kuzey batısında Gezin ilçesini Sivrice ilçesine bağlayan karayolunun kuzey, kuzey batı yamaçlarında meydana gelen dairesel kaymalar (Kuzey, kuzey batıya bakış) (Kürçer ve diğ., 2020).



Şekil 4.25. Elazığ-Sivrice yolu ile Sivrice İlçesine kuzey batıdan girince, asfalt yolunu kesen K30⁰D doğrultuda çok ince kırık-çatlaklar gözlenmektedir (Kürçer ve diğ., 2020).

Yedikardeş köyüne yolun batısında ve doğusunda kar üstünde, 50 m'lik geniş bir alandaki deformasyon zon içinde farklı yönlerde K55⁰D ve D-B yönünde ve ağırlıklı olarak sağa sıçramalı kılcal çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Sivrice İlçesinin hemen 2 km batısında, yaklaşık K-G doğrultu yönünde kalan Yedikardeş Köyü'ne giden asfalt yolu üzerinde gelişen yüzey-kırık deformasyon yapıları (Kürçer ve diğ., 2020).

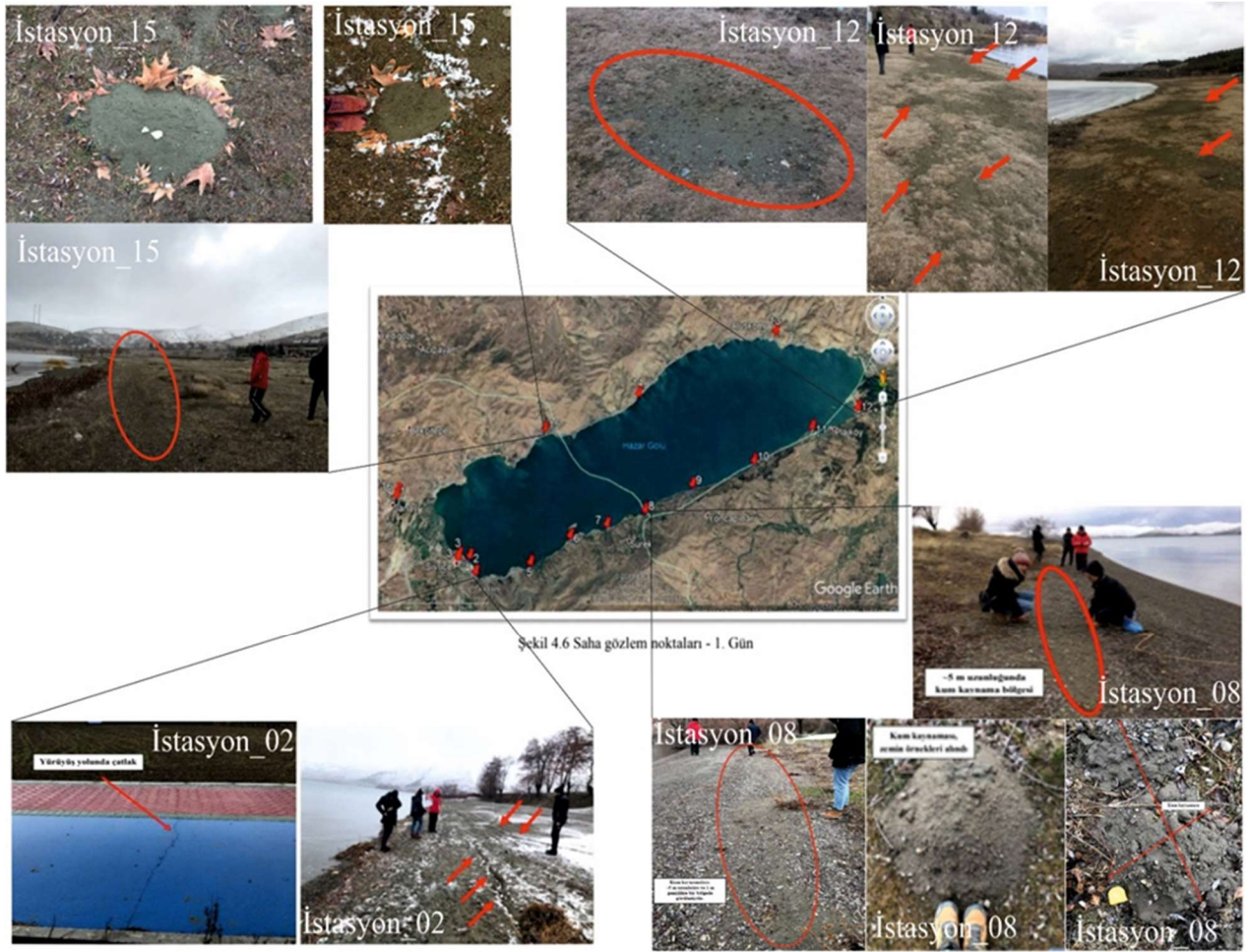
Sivrice İlçesinin yaklaşık 12,5 km GB'da yapılan yedinci gözlem noktasında Kösebayır Köyü afet evlerinin 300 metre güneyinde, K55⁰D doğrultulu, uzunluğu 300 metre genişliği ise 5 metreye varan bir fay zonu içerisinde sağa aşmalı yüzey-kırık deformasyon yapıları görülmüş.

Bu fay zonunda görülen tansiyonel yüzey çatlakları IHA yardımıyla kaydedilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Kösebayır Köyü'ne yakın afet evlerinin hemen 300 metre güneyinde görülen ağırlıklı olarak sağa aşmalı gelişen yüzey-kırık deformasyon yapıları (Kürçer ve diğ., 2020).

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından hazırlanan rapor kapsamında, Elâzığ (Sivrice) depreminin hemen ardından meydana gelen yüzey deformasyon ve gelişen kırık-çatlakları zemin yenilmeleri gibi deprem sırasında ve sonrasında hasara yol açan deformasyon yapılarını Hazar gölü çevresi boyunca jeolojik, sismolojik, geoteknik ve yapısal gözlem çalışmaları altında incelenmiştir. Bu çalışma yerbilimci, jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendislerinden oluşan bağımsız mühendislik grupları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, ekibinin deprem sonrası oluşan toprak hareketleri, çatlaklar ve sıvılaşma izlerini ortaya koymak amaçlı yürütülmüştür (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından gerçekleştirilen ilk günkü toplam 16 tane olan gözlem noktalarından sadece 2,8,12 ve 15 gözlem noktalarında deprem sırasında gelişen kum-çamur volkanları ve yüzey deformasyonları görülmüştür. |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. 24 OCAK 2020 DEPREMİ SIRASINDA HAREKET EDEN FAY BÖLÜTÜ (SEGMENTİ)

Doğu Anadolu Fay Zonu'nun orta kesimlerinde 24 Ocak 2020 tarihinde merkez üssü Elazığ (Sivrice) olan $M_w=6.8$ deprem ilişkili saha çalışmaları sonucunda elde edilen verileri daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirdiğimizde, bu depremin DAFZ'nun orta bölümünü oluşturan, Hazar Gölü-Sincik segmenti boyunca meydana geldiğini göstermektedir. Hazar Gölü-Sincik segmentini Hazar Gölü ile Sincik arasında uzatarak ~85 km uzunluğunda olduğunu belirtmişlerdir (Herece ve Demirtaş, 2003).

Hazar Gölü-Sincik segmenti üzerinde 24 Ocak 2020 tarihinde Sivrice (Elazığ, $M_w=6.8$) meydana gelen deprem sırasında ve sonrasında gelişen yüzey kırık-deformasyon yapılarını ve diğer çalışma gruplarının yapmış olduğu incelemeleri de dikkate alarak değerlendirdiğimizde ~50-55 km uzunluğunda bir deformasyon zonu boyunca yüzey-kırık deformasyonları gelişmiştir (Şekil 4.6). Dolayısıyla, deprem sırasında Hazar Gölü-Sincik segmentinin önemli bir kısmının faylanmayla hareket ettiği görüşü öne sürülebilir. Çünkü saha çalışmasında, deprem sırasında ve sonrasında gelişen yüzey kırık-deformasyon yapıları Çevrimtaş köyünden başlayarak Karakaya Baraj Gölünün kuzey-güney kıyıları boyunca Ilıncak ve Koldere köylerinden geçerek Ormaniçi mahallesinin güneyinde Şiro Çayının geçtiği vadi içerisinde kalan tarlalarda etkisini artırarak Arıtoprak mahallesine kadar uzandığı görülmektedir (Şekil 4.6). Yapılan saha çalışmasına ek olarak ayrıca Doğanbağı köyünden Sivrice ilçesine kadar ve Sivrice-Gezin İlçeleri arasında kalan alan boyunca yüzey kırık-deformasyon yapıları diğer çalışma grupları tarafından gözlenmiştir ve bu gözlemler söz konusu bölgeler boyunca fayın bu bölümünün deprem sırasında hareket ettiği görüşünü daha da güçlü kılmaktadır (Şekil 4.21, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28).

Ayrıca, DAFZ'nu üstünde 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından hazırlanan raporda Hazar gölü çevresinde fayın aktivitesini gösteren yüzey kırıkları ve çamur-kum volkanlarının geliştiğini belirtilmiştir (Şekil 4.28). Literatürde bu tür deformasyon yapıları sismik aktivitesinin belli bir büyüklüğün üzerine çıktığı zamanlarda geliştiği belirtilmiştir (Moretti ve diğ.,1999). Örneğin, deprem sırasında sıvılaşma ve kum volkanları ile dayklarının oluşması için minimum 5.0 büyüklüğündeki bir

depremin meydana gelmesi sonucunda oluşabilmesi mümkün olmaktadır (Atkinson, 1984; Rodriguez-Pascua ve diğ., 2000). Kum volkanlarının kırık hat boyunca oluşması: a) tabanda bir kum tabakası seviyesinin olduğunu; b) bu kum tabakası seviyelerinden kopan kum taneciklerinin belirli bir yön boyunca kum daykı oluşturacak şekilde basınçlı sıvıların yardımıyla dizildiğini göstermektedir. Bu yapıların oluşması onların geliştiği alanın taşkın ovası olmasıyla da uyum içerisindedir. Bazı kısımlarda yüzey kırık-deformasyon yapıların gelişmemesine rağmen zemin sıvılaşması bu kısımda fayın yüzey kırığı oluşturamayacak miktarda hareket ettiğinin bir belirteci olabileceği şeklinde de yorumlanabilir. Bununla birlikte bölgede inşaat yapısının zayıflığına bağlı olarak deprem Elazığ il merkezinde ve Hazar gölünün kuzey doğusunda kalan Elazığ (Gezin) ilçesinde birçok binanın yıkımı dikkat çekmektedir.

5.2. DEPREM VERİLERİNİN (GELECEKTEKİ) SİSMİSİTE BAKIMINDAN ANLAMİ

DAFZ'nın orta kısmında yer alan (Hazar Gölü-Sincik) segmenti üzerinde 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ deprem bölgesinde ve yakın civarında tarihsel dönemde Palu-Hazar Gölü fay bölütünde 03 Mart 1874 $M_w\sim 7.1$ depremi, Hazar Gölü-Sincik fay bölütünde 03 Mayıs 1875 $M_w\sim 6.7$ depremi, Çelikhan-Erkenek fay bölütünde tarihsel dönemde 03 Mart 1893 $M_w\sim 7.1$ depremi Malatya'nın güney doğusunda Şiro Çayı yakınında aletsel dönemde ise 04 Aralık 1905 $M_w\sim 6.8$ depremi meydana gelmiştir. Bu depremler yerleşim alanlarında can kaybına ve ağır hasarlara yol açmıştır (Amraseys, 1989).

24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) depremi aslında bize Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca bir sonraki deprem riski taşıyan bölgeleri belirlemek için önemli ipucular sunmaktadır. Ayrıca, 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ depremi sırasında hareket eden Fay Bölütünün (Segment), deprem bölgesinin çevresi ve yakın civarının depremselliğini (sismisite) değerlendirildiğinde Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik fay bölütleri (segment) arasında ortaya çıkan ilginç depremsellik ilişkisi bu bağlamda çalışmayı daha da önemli hale getirmiştir. Söz konusu iki fay bölütü (segment) üzerinde son 21 yıllık süreçte en küçüğü 4.0 ve en büyüğü 5.9 büyüklüklerindeki meydana gelen depremlerin oluşum sırası ve bölgesel dağılımlarına göre Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik fay bölütlerinin (segment) birlikte hareket ettiği görüşünü güçlendirmektedir (Şekil 5.1). Deprem oluş tarihlerini yıllara göre ayırdığımızda kırmızı renk tonunun açık renkten koyu renkleri arasında takip edilebilir. Bu şekilde depremler hem sırası hem de tarihlerine göre takip edilebilmektedir.

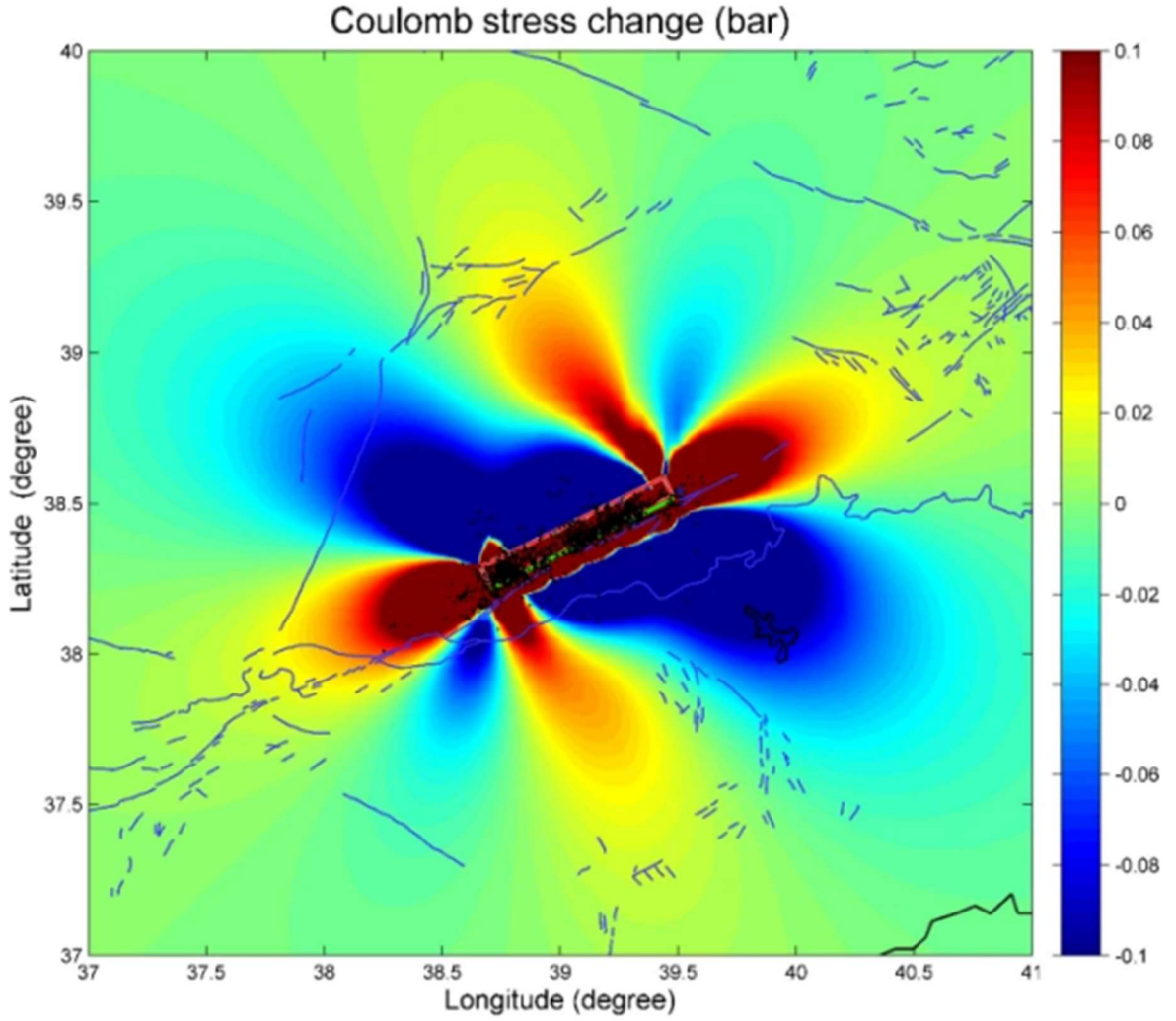


Şekil 5.1. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yer alan Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik segmentlerinde 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremine kadar olan son 21 yıllık süreçte en küçüğü 4.0 ve en büyüğü 5.9 büyüklüklerindeki depremlerin oluş sırası ve bölgesel dağılımı gösteren sismotektonik harita.

~85 km uzunluğundaki Hazar Gölü-Sincik segmentinin 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminde ~25-30 km'lik bir parçasının kırılmadığı fay bölümünün geçtiği bölgenin yakınlarında eski çalışmalarda aletsel dönemin hemen başında 04 Aralık 1905 tarihinde Malatya'nın güney doğusunda Şirolu çayı civarında 6.8 büyüklüğünde depremi kaydedilmiştir. Bu depremde Pütürge ile Sürgü arasındaki yerleşim alanlarında can kaybına ve ağır hasarlara yol açmıştır (Ambraseys, 1989). Dolayısıyla hem artçı depremlerin o bölgede yoğunlaşması, hem de 04 Aralık 1905 depreminin üzerinden uzun yılların geçmesi Hazar Gölü-Sincik segmentinin güney batı ucunda kırılmayan bölümü için deprem riski oluşturan bölgelerden biri olarak değerlendirmeye gidilmiştir. Şekil 5.1'de ise Hazar Gölü-Sincik ve Palu-Hazar Gölü segmentleri üzerinde son 21 yıllık süreçte meydana gelen deprem aktiviteleri karşılaştırıldığında ise Hazar Gölü-Sincik segmentinin ~50-55 km'lik bir bölümünün kırıldığını ve Palu-Hazar Gölü segmentinin ise hala deprem riski oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminden sonra yayınlanan bazı çalışmalarda coulomb stres analiz modeli kullanılarak deprem bölgesinde ve yakın civarında önümüzdeki yıllarda olabilecek olası deprem bölgesini veya deprem üretme potansiyeline sahip fay segmentini tanımlamaya çalışılmıştır. Bazı yer bilimciler ise diğer jeofizik araştırma yöntemlerini kullanarak deprem sırasında yerin farklı derinliklerdeki atımları ve yırtılmanın hangi yönlerde ilerlediğini belirlemeyi amaçlamıştır.

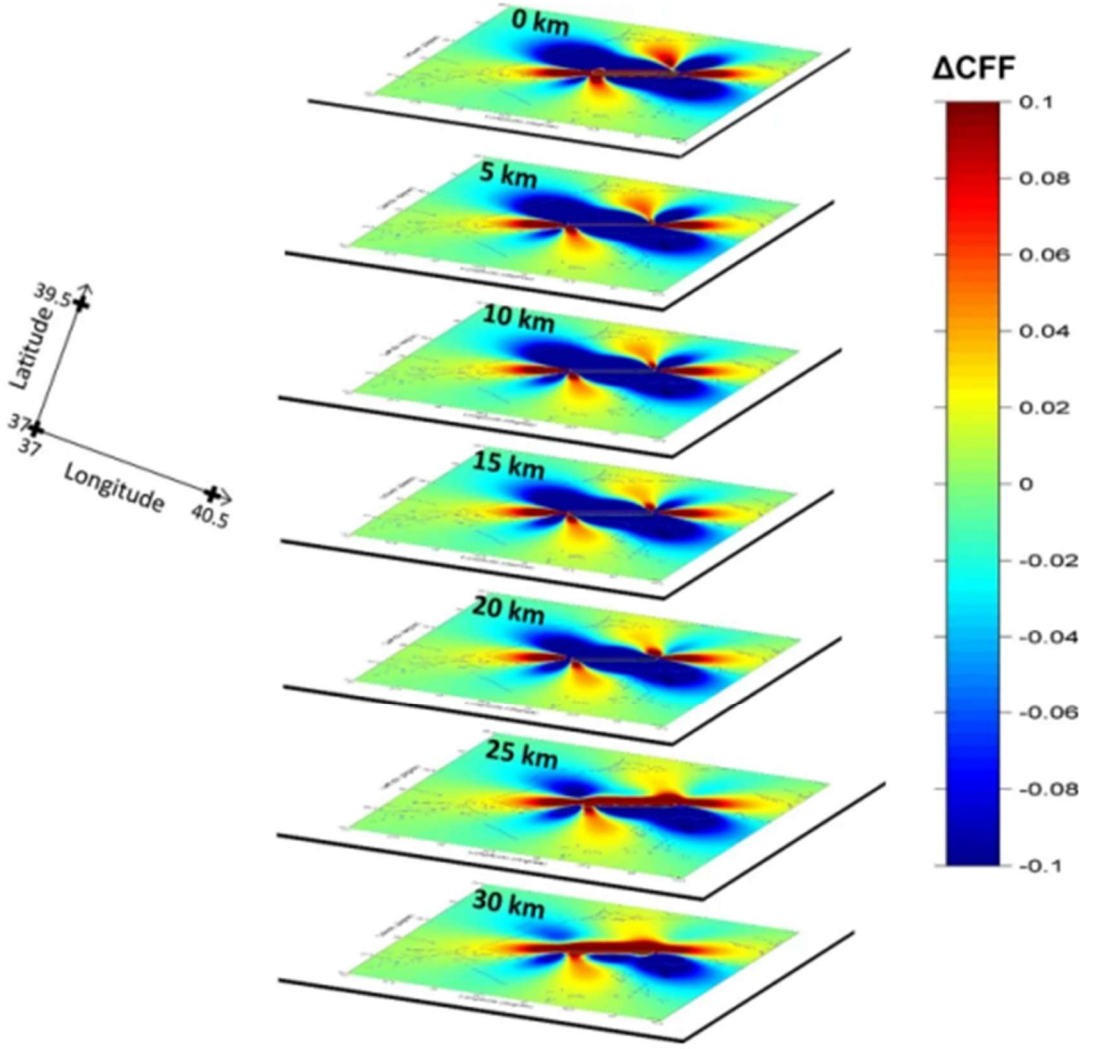
Doğu Anadolu Fay Zonun'da 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ (Sivrice) Mw=6.8 depremi sonrasında yapılan çalışmada, deprem bölgesinde iki farklı derinlik değerlerine göre Coulomb stres değişimi analiz edilmiş olup, gelecekteki olası deprem bölgesi belirlenmeye çalışılmıştır (Bayrak ve Söyüncü, 2021). Buna göre farklı (0, 5, 15 ve 20 km) derinlik değerlerine göre yapılan Coulomb stres değişim analiz sonuçları deprem bölgesinin KB-GD kesimlerinde gerilmenin azaldığını gösterirken KD-GB kesimlerinde ise gerilmenin arttığını göstermektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. 0, 5, 15 ve 20 km derinlik değerlerine göre coulomb stres değişim analizi. Siyah renkle gösterilen noktalar artçı depremlerin dış odak noktalarına karşılık gelmektedir (Bayrak ve Söyüncü, 2021).

Ayrıca, aynı çalışmada, farklı (0, 5, 15, 20, 25 ve 30 km) derinlik değerline göre yapılan Coulomb stres değişim analiz sonucu ana şok'un meydana geldiği deprem bölgesinin ilk 20 km kadar derinlik için negatif değerleri verirken 20-30 km aralığında ise pozitif Coulomb stres

değerleri görülmüştür (Bayrak ve Söyüncü, 2021). Dolayısıyla derinlik artınca negatif Coulomb stres değerden pozitif Coulomb değerine geçiş olduğu görülmüştür (Şekil 5.3).

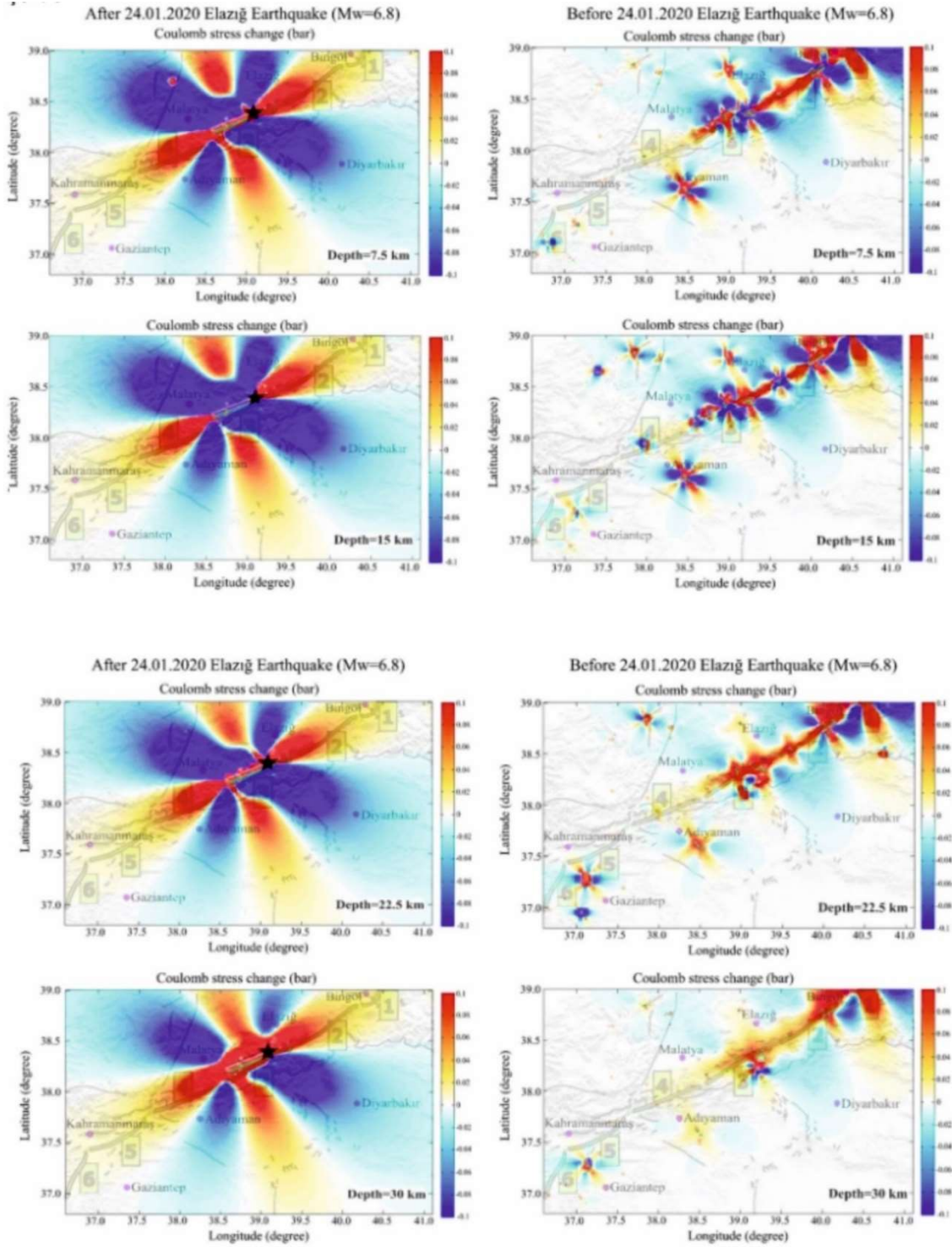


Şekil 5.3. 0, 5, 15, 20, 25 ve 30 km derinlik değerleri boyunca Coulomb stres değişimi (Bayrak ve Söyüncü, 2021).

Bir başka araştırma grubu 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında yaptıkları çalışmada yerin farklı derinliklerinde (7.5, 15, 22.5 ve 30 km) 1997-2000 tarihleri arasında DAFZ'da meydana gelen toplam 89 depremi ($M_w=4.5$) kullanarak yaptıkları Coulomb stres değişim analiz sonuçlarını, 24 Ocak 2020 depreminden sonra meydana gelen artçı depremlerden elde edilen Coulomb stres değişim analiz sonuçlarıyla karşılaştırarak olası deprem bölgesi tanımlanmaya çalışılmıştır (Alkan ve diğ., 2021). Analiz sonuçları deprem bölgesinin KD-GB kesimlerinde pozitif Coulomb stres değeri vermiştir. Dolayısıyla deprem

bölgesinin KD-GB yönlerinde stres artışı devam etmektedir. Bu sonuçlara göre Palu-Hazar Gölü ve Çelikhan-Gölbaşı segmentlerinde yüksek Coulomb stres değerleri belirtilmiş ve söz konusu segmentlerin yer aldığı bölgeler deprem tehlikesi potansiyeli olan bölge olarak belirtilmiştir (Alkan ve diğ., 2021).

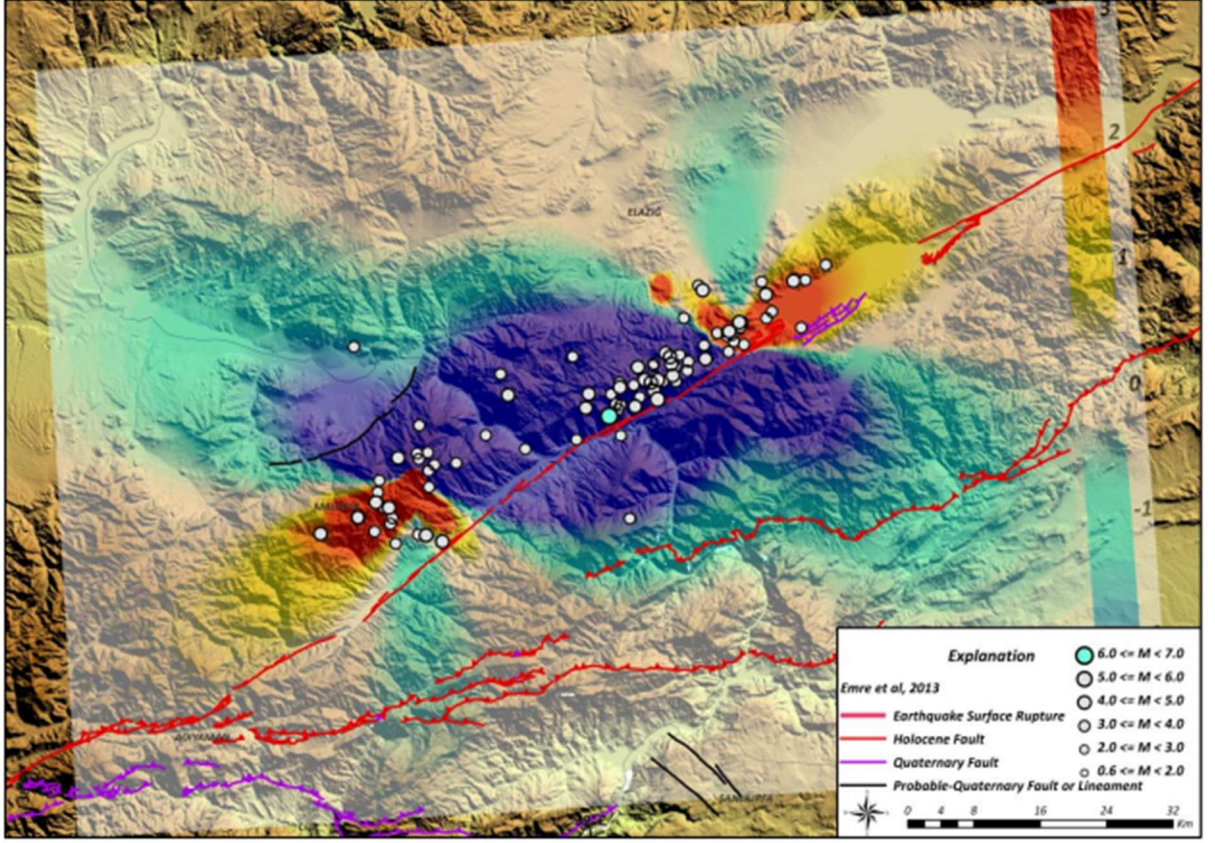




Şekil 5.4. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminden önce (sağdaki sütun) 20-22.5 km daha derinlerde stres artışı gözlenmezken, 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminden sonra (soldaki sütun) ise daha derinlerde yani 20-30 km aralığında stres artışı görülmektedir (Alkan ve diğ., 2021).

Bayrak ve Söyüncü, (2021); Alkan ve diğ., (2021) tarafından yapılan Coulomb stres analiz modelinde elde edilen sonuçlar bu tez kapsamında varılan sonuçlarla uyumlu gözükmektedir. Coulomb stres analizleri deprem bölgesinin hem kuzey doğu hem de güney batı yönlerinde gerilmenin arttığını göstermektedir. Tez içinde Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de görülen tarihsel ve aletsel depremlerin yerleri değerlendirilerek varılan sonuçta deprem bölgesinin kuzey doğu ve güney batı alanları deprem riskin olduğu bölgeler olarak belirlenmiştir. Ayrıca şekil 5.1’de deprem bölgesinin kuzey doğu kesiminde neden deprem riskinin arttığı tartışılmaktadır.

24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ (Sivrice) depremi DAFZ’da ~85 km uzunluğundaki Sivrice-Pütürge segmentinin alt segmenti olan Doğanyol segmentinde meydana gelmiştir (Demirtaş ve diğ., 2020). Depremden sonra bölgedeki gerilme değişimini ortaya koymak için Coulomb stres analizi yapılmıştır. Yapılan Coulomb analizi sonucunda deprem bölgesinin KD’da Hazar Gölü ve GB’da Pütürge ilçesinin kuzey batısına 1 ile 3 bar arasında stres yüklendiği görülmüştür (Şekil 5.5). Fakat deprem bölgesinin KD’da görülen artan gerilmenin, deprem (ana şok) sonrasında bu bölgede meydana gelen artçı depremleri ile boşaldığı ve GB’da bu durumun tam tersi söz konusu olup gerilmenin arttığı ileri sürülmektedir (Demirtaş ve diğ., 2020). Bu çalışmada verilen artçı depremlerin yerleri tez kapsamında incelenen $M \geq 4.0$ artçı depremlerin dağılımı ile uyumlu gözükmektedir. Tez kapsamında yürütülen çalışmada deprem bölgesin hem GB’da hem de KD’da stresin arttığı görüşü belirtilmiştir.

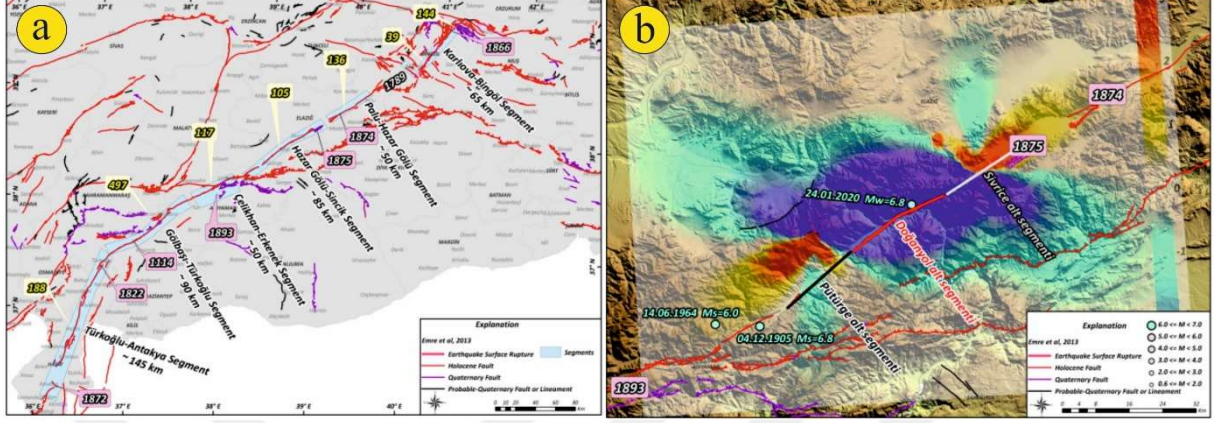


Şekil 5.5. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi sonrasında yapılan Coulomb stres analizi ve artçı depremlerin dağılımı (Demirtaş ve diğ., 2020).

Ayrıca, bu çalışmada Hazar Gölü-Sincik segmentini üç ayrı alt segmente ayırarak incelenmiştir. Bunlar, Kuzey doğudan güney batıya doğru sırasıyla Sivrice (~28 km), Doğanyol (~25-30 km) ve Pütürge (~25 km) segmentleridir (Şekil 5.6b). 24 Ocak 2020 depreminde yırtılma Doğanyol alt segmentinde meydana gelmiştir. Deprem bölgesinin yakın civarında tarihsel döneme ait Hazar Gölü-Sincik fay bölümünde 1875’de $M_w \sim 6.8$ ve Palu-Hazar Gölü fay bölümünde 1874’ $M_w \sim 7.1$ depremleri kayıt edilmiştir (Şekil 5.6a). Dolayısıyla 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi Hazar Gölü-Sincik fay bölümünün alt segmenti olan Doğanyol segmentinde meydana gelmiştir ve 1875 depreminin tekrarı olmadığı söylenmiştir (Demirtaş ve diğ., 2020).

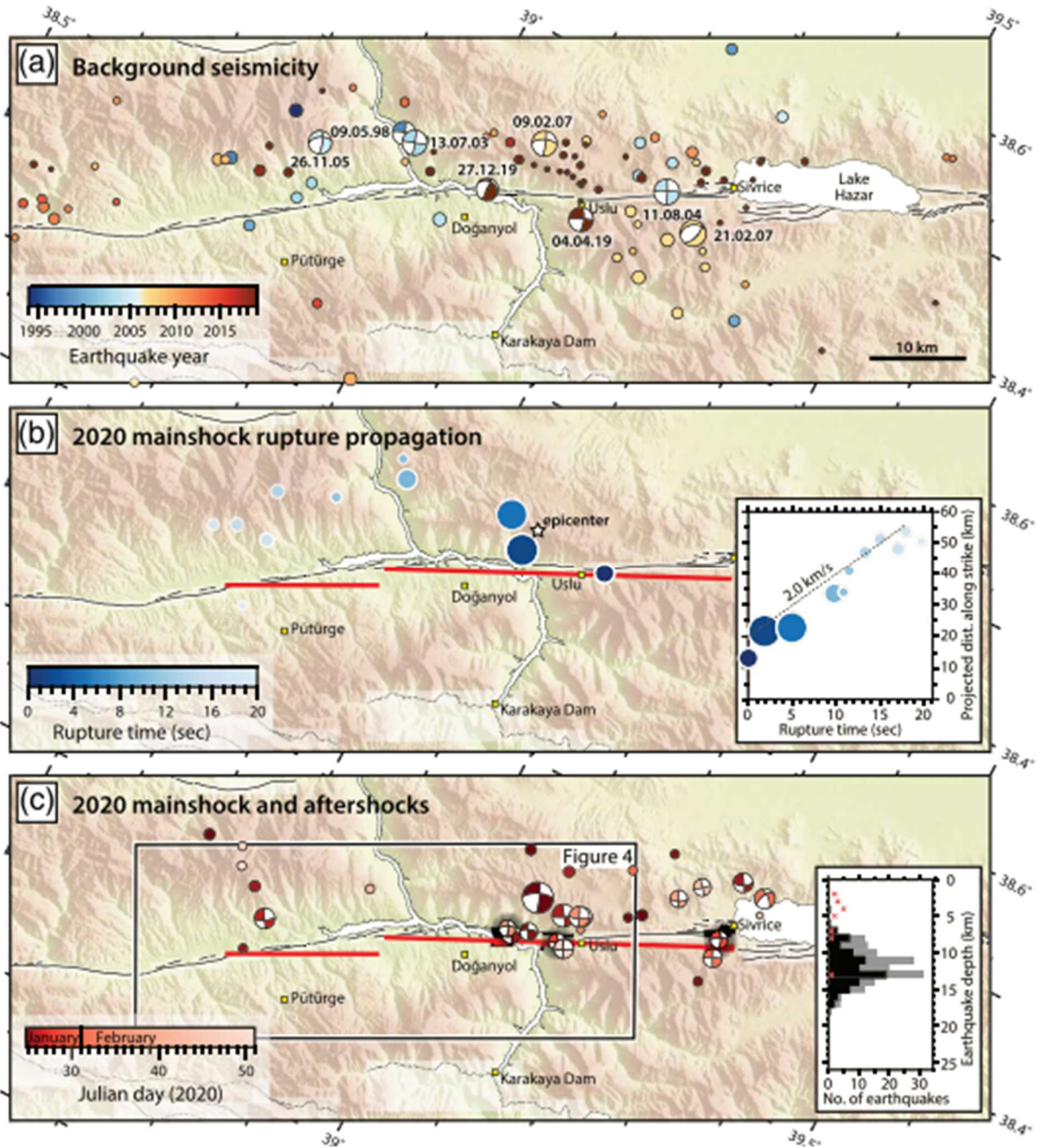
Ancak, tez kapsamında yürütülen incelemede Hazar Gölü-Sincik fay bölümü tek parça olarak kabul edilmiştir. 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) $M_w = 6.8$ depremi sırasında Hazar Gölü-Sincik fay bölümünün ~50-55 km’lik parçasının kırıldığı düşünülmektedir. Tarihsel ve aletsel dönemlerde Elazığ-Malatya bölgelerinde 1874-1875 tarihleri arasında meydana gelen depremler kayıtlara geçmiştir. Dolayısıyla Elazığ-Malatya bölgesinde son ~145 yıl boyunca $M_w = 6.0$ ve üzeri depremin meydana gelmemiş olması, bölgenin sismik tehlike özelliğini

taşıdığı bir göstergesi olarak tanımlanmış ve 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremi 1875 depreminin tekrarı olma olasılığı yüksek olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.6. a) DAFZ’da görülen tarihsel deprem yerleri. b) Hazar Gölü-Sincik segmentinin alt segmentleri ve artçı depremlerle ilişkisi (Demirtaş ve diğ., 2020).

Pousse-Beltran ve diğ., (2020) tarafından yapılan çalışmada; uydu jeodezisinden ve ana şok depreminden sonra meydana gelen artçı depremlerinin mekânsal dağılımına bakılarak 24 Ocak 2020 depreminde gerçekleşen yerkabuğu derinliklerindeki yırtılma miktarını belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 5.7).



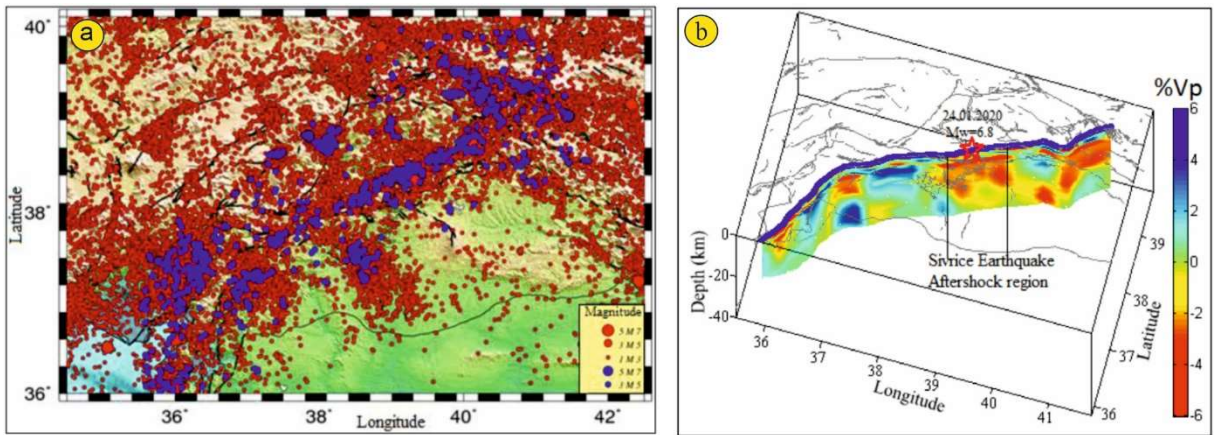
Şekil 5.7. a) 1994-2019 tarihleri arasında meydana gelen başlıca depremler ile $M_w \geq 4.0$ olan depremlerin fay çözümleri. b) Ana depremin derinlik ve yırtılma süresinin fonksiyonu olarak kırılma sürecini göstermektedir. c) Ana şok ve artçı şokların Doğu Anadolu Fayının 2020 depreminde kırılan kesimindeki yerleri (Pousse-Beltran ve diğ., 2020).

Bu çalışma, tez kapsamında yürütülen saha çalışmasında gözlemlenen yüzey deformasyonları 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) $M_w=6.8$ depreminden önce son 20 yıllık süre içerisinde meydana gelen depremlerin ve depremden sonra meydana gelen artçı depremlerin alansal dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.7a’da görülen 1995-2015 yılları aralığından meydana

gelen depremlerin dağılımı tez içinde Şekil 4.4'deki depremlerin alansal dağılımıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 5.7b'de deprem anındaki yırtılmanın ~20 saniyelik bir sürede 2.0 km/s hızla deprem odak merkezinden güney batı yönüne doğru ilerlediği görülmektedir. Tez kapsamında yürütülen saha verilerine göre Şekil 4.6'da görüldüğü gibi yırtılmanın oluşturduğu deformasyonun çoğunlukla deprem odak merkezinin güney batısında görülmesine rağmen odak noktasının kuzey doğusunda da olduğu görülmektedir. Saha çalışmasında görülen deformasyon yapıları deprem odak merkezinin kuzey doğusunda iyi gelişmemiş ise de, yırtılmanın derinde yavaş yavaş devam ettiğini depremden sonra artçı şokların kuzey doğuda yoğunlaşmasıyla açıklayabiliriz. Sivrice-Doğanbağı ve Hazar Gölü çevresindeki deformasyon yapıları Şekil 4.21, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de görülmektedir.

DAFZ'nı kendi içinde farklı uzunluklarda birçok fay bölütlerinden oluşmaktadır. Bu fay bölütlerinde tarihsel ve aletsel dönemlerde en büyüğü $M_w=6.8$ olmak üzere birçok yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bunların en yakın örnekleri olarak aletsel dönemde Palu-Bingöl bölütünde 1971 tarihinde büyüklüğü $M_w=6.6$ olan Bingöl depremi ve Hazar Gölü-Sincik fay bölütünde meydana gelen 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depremidir (Şahin ve Öksüm, 2021).

Tarihsel ve aletsel dönemdeki depremler dikkate alındığında DAFZ'nu boyunca birçok fay bölütü sessizliğini korumaktadır (Şahin ve Öksüm, 2021). Bu çalışmada DAFZ'nu boyunca sessiz ve aktif fay bölütleri üzerinde oluşan küçük büyüklüklü depremlerin oluşturdukları sismik hız dalgalarından sismik harita ve kesit oluşturulmuştur (Şekil 5.8). Bu süreçte 2007-2019 yılları arasında meydana gelen deprem verileri kullanılmıştır.



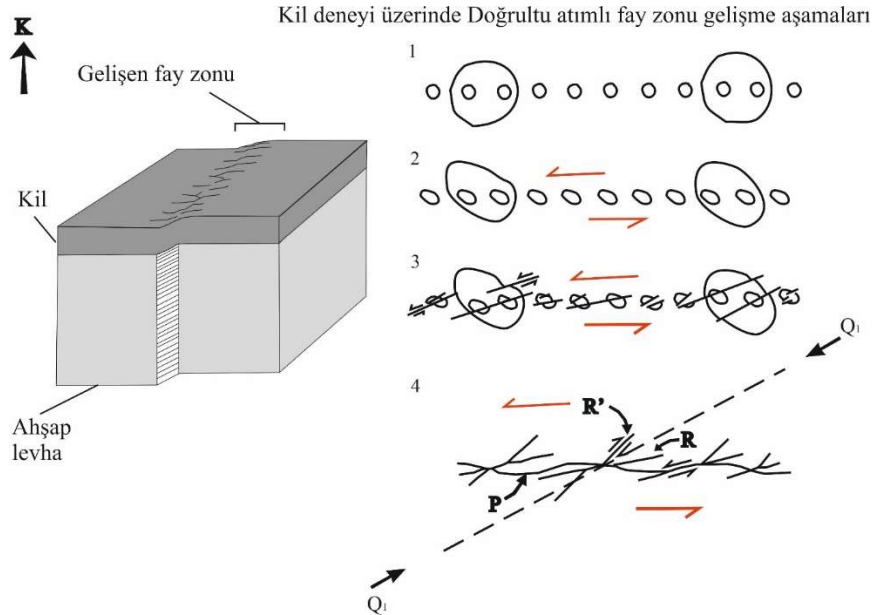
Şekil 5.8. a) Siyah çizgiler fay hatlarını, kırmızı daireler hız tomografisinde kullanılan verilerin dağılımı. Mavi daireler ise depremlerin DAFZ'nu boyunca dağılımı gösterir. b) DAFZ'nu

boyunca sismik hız değişiminin üç boyutlu görüntüsü. Kırmızı yıldız 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminin merkez üssünü göstermektedir (Şahin ve Öksüm, 2021).

Bu çalışmayı özetlediğimizde sismik hız dalgaları ile deprem odak merkezinin ilişkisine bakılarak yer kabuğunun derinliklerindeki kayaların fiziksel özelliklerine göre hız dalgalarının değiştiğini söylemektedir. Dolayısıyla deprem bölgesinde derinliklere doğru sismik hızın yüksek olması deprem bölgesindeki en yaşlı birimi olan Pre-kambriyen metamorfikleri ile ilişkilendirilebilir. Metamorfiklerin Şekil 4.2a’da çalışma alanının jeolojik haritasında geniş bir alanda yüzeylendiği görülmektedir.

5.3. 24 OCAK 20 DEPREMİ SIRASINDA HAREKET EDEN FAY BÖLÜTÜNÜN (SEGMENT) DEPREM SIRASINDA GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARIYLA İLİŞKİSİ

Doğrultu atımlı fay çalışma sistemini ortaya koymak amaçlı ilk deneysel çalışmalar Reidel, (1929) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma daha sonraki yıllarda Wilcox ve diğ., (1973) tarafından yeniden ele alınmıştır ve kil üzerinde yaptıkları deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde bir çift ahşap ve metal levhanın üstüne kil katmanı yerleştirilmiştir. Daha sonra kil katmanı altındaki levhalar birbirlerine göre aksi yönlerde hareket ettirilmiş ve deney gerçekleştirilmiştir.

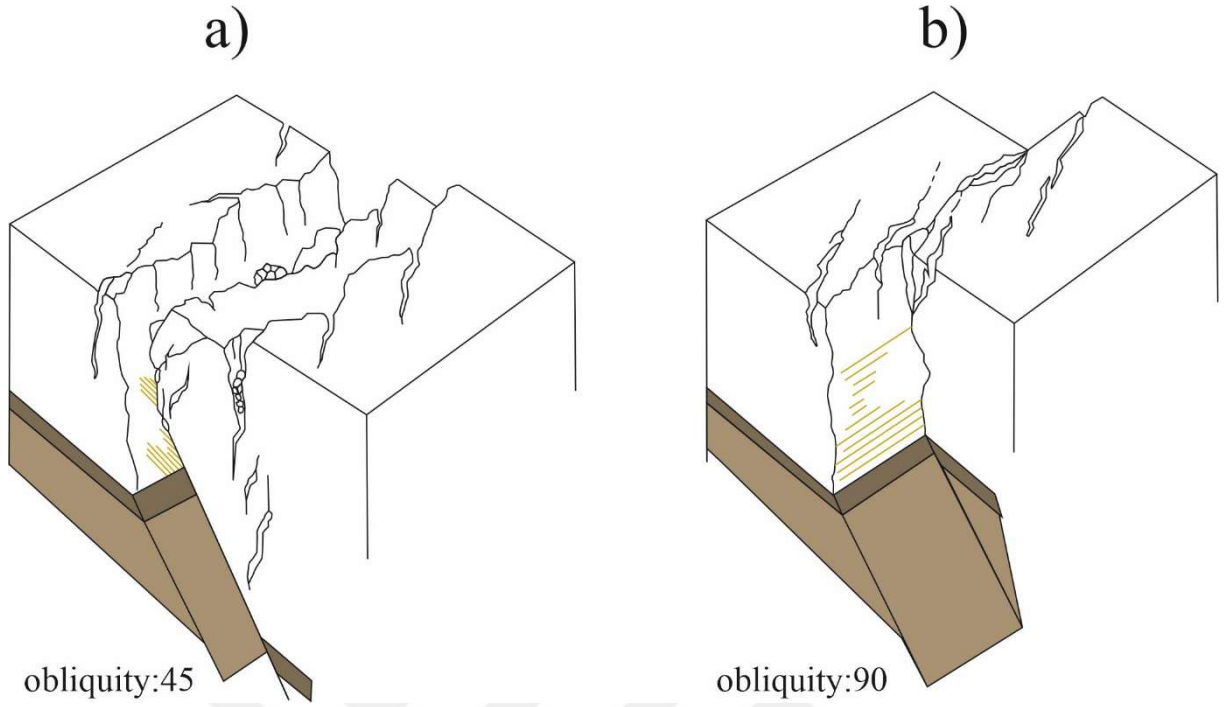


Şekil 5.9. Wilcox ve diğ., (1973) tarafından yapılan kil deneyi üzerindeki sonuçları.

Söz konusu deney dört ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama herhangi çekme ve sıkıştırma kuvvetleri uygulanmamış olan başlangıç aşamasıdır. İkinci aşama sırasında çekme ve sıkıştırma

kuvvetleri etkisi altında dairesel referans halkaları deformasyona uğramaya başlamış ve elipse dönüşmüştür. Üçüncü aşamada deformasyon etkisinin artmasıyla makaslamalar oluşmuş ve elipse şekilli halkalar kırılıp, parçalanmaya başlamıştır. Dördüncü aşamada sıkışma kuvvetini takip eden dönemde eşlenik sentetik (R), antitetik (R') ve ikincil sentetik (P) makaslama fayları, aşmalı (En Echelon) açılma çatlakları gelişmiş ve deformasyonun ilerlemesiyle birlikte oluşmuş olan kırık-çatlaklar rotasyonla dönerek ana fay sistemine paralel konum kazanmıştır. Böylelikle doğrultu atımlı fay zonu benzeri bir minyatür bir yapı oluşmuştur.

Bu deneysel çalışmadan yola çıkılarak 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) depreminde meydana gelen yüzey kırık deformasyonlarının ana fay ile olan ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ ($M_w = 6.8$) depreminde meydana gelen yüzey deformasyonlarının doğrudan ana fayı temsil edip, etmedikleri tartışmalıdır (Tatar ve diğ., 2020). Yüzey deformasyon izlerinin yüzey kadar ulaşan bir fayı göstermediği tartışma konusu olsa bile, yeryüzeyinde bir deformasyon zonunun olduğu gözlenmektedir. Bu deformasyon zonunun deprem bölgesini oluşturan kaya birimlerinin reolojik özelliklerine, fayın geometrisine, depreme yol açan faylanmanın niteliğine ve fayı üzerleyen kaya-toprak sınırının derinliğine bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Yeryüzündeki bu deformasyon zonu ana fay düzleminin doğrudan yüzeye kadar uzanan uzantısını temsil etmese bile, yerkabuğunun derinliklerinde sönümlenen fay hareketine bağlı olarak oluşan farklı karakterler gösteren yüzey deformasyonlarının toplamı şeklinde açıklanabilir (Şekil 5.9). Deprem bölgesindeki deformasyon yapıları saha gözlemlerine göre sol yönlü doğrultu atımlı fayın iki türlü çalışmasıyla gelişmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Doğrultu atımlı fay düzlemindeki fay çiziklerinin karakterine göre yüzeyde gelişen kırık deformasyonlarının değişimi (Von Hagke ve diğ., 2019).

Şekil 5.10a' daki Doğrultulu atımlı fay düzleminde görülen fay çiziklerinin gösterdiği gibi fayın doğrultusuna yaklaşık 45 derece oblik bileşenli faylanmada gelişen yüzey deformasyonları geniş alanlarda yayılım gösterecektir ve heyelanımsı bir görüntü sunabilecektir (Von Hagke ve diğ., 2019) Şekil 5.10b' deki gibi doğrultu atımlı fay düzleminde görülen fay çiziklerinin fayın doğrultusuna paralel olduğu durumda yüzey deformasyonları dar bir zon içerisinde yoğunlaşacaktır. Bu deformasyonlar aşmalı bir görüntü sergileyebilecektir (Von Hagke ve diğ., 2019). Bu hipotezlere göre deprem sırasında gelişen yüzey deformasyonlarının görüldüğü Ormaniçi mahallesinin yaklaşık 500 metre güney batısında kalan tarlalardaki yüzey deformasyonları (Şekil 4.17), Şekil 5.10a'da görülen normal bileşenli oblik sol yönlü doğrultu atımlı fay hareketini anımsatmaktadır. Buna karşılık, yüzey kırıklarının net görüldüğü Çevrimtaş köyü'ndeki deformasyonların (Şekil 4.8) ise, Şekil 5.10b'de görülen sol yönlü doğrultu atımlı fayın yatay hareketi sonucunda geliştiğini söyleyebilmek mümkündür. |

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı, 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. 9 sf.(<https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1825>)
- Ambraseys, N. N., 1989. Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331.
- Ambraseys, N. N., Jackson, J. A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü. Ankara, 44-50.
- Alkan, H., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Işık, E., 2021. Coulomb stress change before and after 24.01. 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake (Mw= 6.8) on the East Anatolian Fault Zone. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(23), 1-12.
- Bayrak, E. ve Ozer, C., 2021. The 24 January 2020 (Mw 6.8) Sivrice (Elazığ, Turkey) earthquake: a first look at spatiotemporal distribution and triggering of aftershocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 1-15.
- Bellettati, D., Camassi, R., Molin, D., 1993. Fake quakes in Italy through parametric catalogues and seismological compilations: case histories and typologies. *Terra Nova*, 5(5), 488-495.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2020. 24 Ocak 2020 (20:55) Elazığ-Sivrice Depremi Sismotektonik Yapı, Kuvvetli Deprem Yer Hareketi Dağılım Özellikleri ve Bina Hasar Tahminleri Ön Rapor, 20 sf.
- Çetin H. , Güneyli H., Mayer L., 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 374, 163-197.
- Demirtaş, R., 2020. 24 January 2020 Sivrice-Doğanyol earthquake (Elazığ, Malatya), M 6.8. (https://www.researchgate.net/publication/339135875_24_Ocak_2020_Sivrice_Elazig-Doganyol_Malatya_Depremi)
- Demirtaş, R., Erkmen, C., 2019. Doğu Anadolu Fay Sistemi Deprem Etkinliği-Gelecek Deprem Potansiyeli.
- Demirtaş, R., Mart 2019. Doğu Anadolu Fay sistemi deprem etkinliği-gelecek deprem potansiyeli, https://www.researchgate.net/publication/331772728_Doğu_Anadolu_Fay_Sistemi_Deprem_Etkinligi-Gelecek_Deprem_Potansiyeli.

- Emre, Ö., Özalp, S., Yıldırım, C., Özaksoy, V. ve Doğan, A., 2005. 12 ve 14 Mart 2005 Karlıova Depremleri'nin Değerlendirilmesi. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 10.
- Kartal, R. F. ve Kadıroğlu, F. T. April 2013. Doğu Anadolu Fayının sismotektoniği ve bu fay üzerindeki son beş yıllık deprem aktivitesinin istatistiksel analizi.....
- Herece, E., 2008a, Doğu Anadolu Fayı Atlası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi: 13, Ankara.
- Herece, E., 2008b, DAF Boyu Jeoloji Haritası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara.
- Kürçer, A., Elmacı, H., Yıldırım, N. ve Özalp, S., 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremi (mw=6,8) saha gözlemleri ve değerlendirme raporu, https://www.mta.gov.tr/images/duyuru_ek/belgeler/609_07-02-2020_2b82a14b.pdf.
- Kaya, A., 2004. Gezin (Maden-Elazığ) Çevresinin Jeolojisi. Pamukalle Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 41-50.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, Hüseyin., Çağlan, D., 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35(2), 175-200.
- Kalyoncuoğlu, Y., Öksüm, Erdiç., Elitok, Ömer., Aydın, İbrahim., Dolmaz, N., Pyraz, S., 2012. Güneydoğu Anadolu Çarpışma Kuşağındaki (Malatya-Elazığ-Bingöl-Diyarbakır-Adıyaman) Litosferik Yapının Manyetik ve Gravimetrik Yöntemler ile Araştırılması. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22(2), 105-118.
- Kürçer, A., Elmacı, H., Yıldırım, N., Özalp, S., 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elâzığ) Depremi (Mw= 6, 8) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, S 41
- Yönlü, Ö., 2012. Doğu anadolu fay zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç kuvaterner aktivitesi (Doctoral dissertation, Eskisehir Osmangazi University).
- Yazgan, E., Chessex, R., 1991. Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya. *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 3(1), 1-42.
- Cetin, H., Güneşli, H., Mayer, L., 2003. Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197.
- Özdemir, M. A., Sunkar, M., 2002. Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve Çevresinin Jeomorfolojisi. *Journal of Social Science*, 25.
- Önal, A., Altunbey, M., 1999. Dedeyazı-Çavuşlu (Doğanşehir/Malatya) yöresindeki skarn oluşumlar ve ilişkili demir cevherleşmeleri.
- Özdemir, M. A., 1994. Örmeli Çayı Havzasının (Pütürge-Malatya) Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi. FÜ Sos. Bil. Enst. Doktora Tezi (Yayınlanmamış).

- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Dünder, M. K., 2006. Maden Grubu (Malatya–Pütürge) kayaçlarında diyajenez/metamorfizma ve jeotektonik konum arasındaki ilişkiler. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A, Yerbilimleri, 23(1-2), 1-24.
- Tatar, O., Sözbilir, H., Koçbulut, F., Bozkurt, E., Aksoy, E., Eski, S., Metin, Y., 2020. Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake ($M_w=6.8$) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures. Mediterranean Geoscience Reviews, 2(3), 385-410.
- Karlıoğlu, A., Alkayış, M. H., Onur, M. İ., 2021. Sentinel-1 uydusu ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2), 510-521.
- Kartal, R. F., Kadiroğlu, F. T., Demirtaş, R. Sismotektonik ve Jeodezik Veriler Işığında 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ ($M_w=6.8$) Depreminin Değerlendirilmesi.
- Önal, M., Şahinci, A., Gözübol, A. M., 1986. Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelemesi. Jeoloji Mühendisliği, 29, 5-12.
- Şıkoğlu, E., Güney, Y. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi'nin Kent Merkezindeki Yansıması Üzerine Coğrafi Bir Değerlendirme. Resilience, 4(2), 275-292.
- Şaşmaz, A., Türkyılmaz, B., Öztürk, N., Yavuz, F., Kumral, M., 2014. Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazığ–Malatya region, eastern Turkey. *Ore geology reviews*, 56, 352-372.
- ŞAHİN, Ş., ÖKSÜM, E., 2021. The relation of seismic velocity and attenuation pattern in the East Anatolian Fault zone with earthquake occurrence: example of January 24, 2020 Sivrice Earthquake. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 165(165), 1-26.
- Temür, R., Damcı, E., Öncü-Davas, S., Öser, C., Sarğın, S., Şekerci, Ç., 2021. Structural and geotechnical investigations on Sivrice earthquake ($M_w=6.8$), January 24, 2020. Natural Hazards, 106(1), 401-434.
- Şahin, Ş., Öksüm, E. The Relation of Seismic Velocity and Attenuation Pattern in the East Anatolian Fault Zone with Earthquake Occurrence: Example of January 24, 2020 Sivrice Earthquake. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 164(164), 1-26.
- Palutoğlu, M., Şaşmaz, A. (29). 29 November 1795 Kahramanmaraş Earthquake, Southern Turkey. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 155(155), 187-202.
- Pousse-Beltran, L., Nissen, E., Bergman, E. A., Cambaz, M. D., Gaudreau, É., Karasözen, E., Tan, F., 2020. The 2020 $M_w 6.8$ Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian Fault. *Geophysical Research Letters*, 47(13), e2020GL088136.
- Von Hagke, C., Kettermann, M., Bitsch, N., Bücken, D., Weismüller, C., Urai, J. L., 2019. The effect of obliquity of slip in normal faults on distribution of open fractures. *Frontiers in Earth Science*, 7, 18.

EKLER |

