

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ: DOĞU
ANADOLU FAYI'NIN HAZAR GÖLÜ VE PALU ARASINDA KALAN
KESİMİNDEN BULGULAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrem Çakır

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Ocak, 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ: DOĞU
ANADOLU FAYI'NIN HAZAR GÖLÜ VE PALU ARASINDA KALAN
KESİMİNDEN BULGULAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İrem Çakır
(505191339)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cengiz Zabcı

Ocak, 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505191339 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İrem Çakır, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ: DOĞU ANADOLU FAYI'NIN HAZAR GÖLÜ ve PALU ARASINDA KALAN KESİMDEN BULGULAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç Dr. Cengiz Zabcı**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cengiz Zabcı**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gürsel Sunal
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Korhan Erturaç
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 17 Ocak 2022



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, pandemi koşulları ve araya giren fiziksel mesafelere rağmen yardımlaşma ve dayanışma ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için en başta, lisans yıllarımdan itibaren benimle çalışan; bana her zaman bilimsel etik çerçevesi içinde tartışmayı öğreten, sadece bu tez için değil, profesyonel hayatımı şekillendirecek tüm yönlendirmeleri için ve her şeyden önemlisi bana olan desteğini her zaman hissettirdiği için danışman hocam Doç. Dr. Cengiz Zabcı'ya çok şey borçluyum.

Bu tez kapsamında yapılan saha çalışmaları için her zaman yanımda olan, Elazığ'ın jeolojisine dair tüm sorularımı sabırla yanıtlayan, bir Elazıglı gibi hissetmemi sağlayan ve orada bir ailem varmış gibi hissettiren Dr. Mehmet Köküm ve ailesine, fay kayaçlarının minerolojisi için XRD ölçümlerini gerçekleştiren, XRD bölümü için yazılı, sözlü katkı sağlayan ve ölçümleri büyük uğraşlar sonucu tez teslim tarihine yetiştiren Dr. Öğr. Üyesi Hatice Ünal Ercan'a çok teşekkür ederim.

Fay kayaçlarını ölçümlere hazırlamak için, laboratuvar çalışmalarında, bana her cihazı bıkmadan anlatan, sabırla sorularıma cevap veren, yoğun çalışma hayatlarına rağmen benim ile beraber laboratuvarda saatler geçiren Araş. Gör. Cemre Ay ve Araş. Gör. Ali Akın'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi teslim etme aşamasında her zaman yanımda olduğunu hissettiren sevgili arkadaşım Havva Neslihan Kıray olmasaydı her şey daha zor olabilirdi.

Elazığ'da yapılan GNSS ve sismoloji çalışmaları için, önerdiği modeller ve çalışmalar için Prof. Dr. Semih Ergintav'a teşekkür ederim.

Bu çalışma 118Y450 no.lu TÜBİTAK projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, tüm yoğunluğum içinde hayatımı kolaylaştıran, desteği ve enerjisi ile bu süreci olabildiğince yüksek motivasyonla geçirmemi sağlayan hayat arkadaşım İhsan Türkoğlu'na, her zaman yanımda olan aileme ve çalışma hayatı ile tez süreci arasında kurmaya çalıştığım dengede, bana desteklerini ve anlayışlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ocak, 2023

İrem Çakır



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ: DOĞU ANADOLU FAYI'NIN HAZAR GÖLÜ VE PALU ARASINDA KALAN KESİMİNDEN BULGULAR	xvii
ÖZET	xvii
FAULT ROCKS AND FAULT MECHANICS: IMPLICATIONS FROM THE EAST ANATOLIAN FAULT BETWEEN PALU AND THE LAKE HAZAR (ELAZIĞ, TÜRKİYE)	xix
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMA PROBLEMİ VE AMAÇ	1
1.2 YÖNTEM VE MATERYAL.....	3
2. TÜRKİYE'NİN NEOTEKTONİĞİ VE DOĞU ANADOLU MAKASLAMA ZONU ...ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
2.1 TÜRKİYE VE YAKIN ÇEVRESİNİN NEOTEKTONİĞİ.....	5
2.2 DOĞU ANADOLU MAKASLAMA ZONU (DAMZ) VE DOĞU ANADOLU FAYI (DAF)	6
3. UZAKTAN ALGILAMA	9
3.1 YÖNTEM VE MATERYAL.....	9
3.1.1 Ön işlem süreci	10
3.1.2 Analiz süreci	10
3.1.2.1 Bant kombinasyonları	11
3.1.2.2 Bant oranı.....	11
Temel bileşen analizi (PCA).....	14
3.1.2.3	14
3.1.2.4 Minimum gürültü faksyonu (MNF)	14
3.2 HAZAR GÖLÜ VE PALU ARASINDA KALAN BÖLGENİN YALANCI RENK HARİTALARI.....	17
4. JEOLojİ.....	19
4.1 STRATİGRAFI.....	19
4.1.1 Guleman Ofiyoliti (Kg)	19
4.1.1.1 Gabro (Kgg).....	21
4.1.1.2 Diyabaz (Kgd).....	22
4.1.1.3 Bazalt (Kgb).....	22
4.1.2 Hazar Grubu (Kh)	22
4.1.3 Maden Karmaşığı (Tem).....	24
4.1.3.1 Kardere Formasyonu (Temk)	26
4.1.3.2 Melefan Formasyonu (Temm)	26
4.1.3.3 Gehroz Formasyonu (Temg)	27
4.1.4 Kırkgeçit Formasyonu (Teok)	27
4.1.4.1 Akmezra Kireçtaşı Üyesi (Teoka).....	28
4.1.5 Palu Formasyonu	29

4.1.6 Alüvyon (Qal).....	30
4.2 YAPISAL JEOLJİ: DAF'IN PALU VE HAZAR GÖLÜ ARASINDA KALAN KESİMİ.....	30
4.2.1 DAF'ın Palu ve Hazar Gölü Arasında geometrik segmentasyonu.....	31
4.2.2 DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasında kinematik özellikleri	33
5. FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİNE ETKİLERİ.....	37
5.1 YÖNTEM VE MATERYAL.....	39
5.1.1 Killerin tanımlaması için dekantasyon yöntemi ile numune hazırlama	43
5.1.2 Yönlendirilmiş X-ışını toz kırınımı için numune hazırlama	44
5.1.3 X-ışını toz kırınımı için ısıtma işlemleri	44
5.1.4 Etilen glikol uygulaması	44
5.2 FAY KAYAÇLARININ PETROFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	45
5.2.1 Gezin-1 kesiti.....	45
5.2.2 Gezin-2 kesiti.....	47
5.2.3 Küçükova kesiti	48
5.2.4 Yeşilova kesiti	49
5.2.5 Kartaldere-1 kesiti	51
5.2.6 Kartaldere-2.....	52
5.2.7 Kartaldere-3 kesiti	54
5.2.8 Palu-1 kesiti	56
5.2.9 Palu-2 kesiti	57
5.2.10 Palu-3 kesiti	61
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	63
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

Ant	: Antigorit
BAGB	: Batı Anadolu Genişleme Bölgesi
Cal	: Kalsit
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DAMZ	: Doğu Anadolu Makaslama Zonu
DAKB	: Doğu Anadolu Kısalma Bölgesi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
H	: Helenik Yay
GYP	: Jips
K	: Kıbrıs Yayı
KAMZ	: Kuzey Anadolu Makaslama Zonu
MNF	: Minimum Gürültü Fraksiyonu
OAB	: Orta Anadolu ‘ova’ bölgesi
OIF	: Optimum İndeks Faktörü
PCA	: Temel Bileşen Analizi
Qtz	: Kuvars
Sim	: Simektit
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi
UTM	: Evrensel Enlem Merkatörü Koordinat Sistemi
XRD	: X Işınları Kırınımı
Vrm	: Vermikülit
Zeol	: Zeolit



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1 :** Anadolu Bloku'nun orta-geç Miyosen'den (~13-11 milyon yıl) günümüze gelişen neotektonik yapıları (Şengör ve Zabcı, 2019). Kırmızı renk doğrultu atımlı fayları, yeşil renk normal fayları ve mor renk sıkışmayla ilişkili bindirme fayları ve kıvrımları, turuncu renk çalışma alanının kaba sınırlarını göstermektedir. Kısaltmalar: H – Helenik Yay, K – Kıbrıs Yay, KAMZ – Kuzey Anadolu Makaslama Zonu, DAMZ – Doğu Anadolu Makaslama Zonu, BAGB – Batı Anadolu Genişleme Bölgesi, OAB – Orta Anadolu 'ova' Bölgesi, DAKB – Doğu Anadolu Kısılma Bölgesi..... 3
- Şekil 3.1:** Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin işlenmesi için takip edilen iş-akış şeması..... 10
- Şekil 3.2 :** DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin bant kombinasyonu tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1 : Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 8a-10-2 band kombinasyonu uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 7-5-1 band kombinasyonu uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışması kapsamında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli 7-5-1 band kombinasyonu uygulanmış görüntü. Siyah çerçeve çalışma alanının sınırlarını gösterir. 12
- Şekil 3.3 :** DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin bant oranı tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 4/3-11/2-12/4 bant oranları uygulanmış görüntü. (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 4/3-6/2-7/4 bant oranları uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışmasında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli 4/2-5/6-6/7 bant oranları uygulanmış görüntü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir 13
- Şekil 3.4 :** DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin PCA tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü.. (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü(Zabcı, 2021). b: Bu çalışma kapsamında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir..... 15
- Şekil 3.5 :** DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin MNF tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışmasında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir..... 16
- Şekil 4.1 :** Hazar Gölü-Palu Arasında kalan kesimde görülen birimlerin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (ölçeksizdir). 20
- Şekil 4.2 :** Guleman Ofiyoliti'ne ait gabro ağırlıklı yüzleklerin DAF'a bağlı olarak deformasyonu. Fotoğrafın bakış yönü kuzeye doğrudur. 21
- Şekil 4.3 :** Hazar Grubu'nun Gezin bölgesinin güneyinde konumlanmış marn ara katkılı kırıntılı kahve-bordo kumtaşı-şeyl birimlerinden oluşan kesiti..... 24

Şekil 4.4 : Maden Karmaşığı'nın kırmızı renkli kumtaşı ve kiltaşlarının oluşturduğu kesimleri. Birimin farklı seviyelerinde açık renkli mikritler dikkati çeker.	25
Şekil 4.5 : Kırkgeçit Formasyonu'nun, Akmezra kireçtaşı üyesine ait yüzlek. Beyaz, sarı, yer yer bej renkli kireçtaşları, yer yer marn seviyeleri içermektedir.	28
Şekil 4.6 : Palu Formasyonu'nun Ortatepe mevkiinde sahip olduğu yüzlekler. Birim DAMZ'na ait yapılar tarafından kesilerek deforme edilmiştir.	30
Şekil 4.7 : Sıkışmalı ve büküm yapılarının iki boyutlu görselleştirilmesi. (a) Doğrultu atımlı faylar boyunca, P- ve R-makaslamalarının bağlı olarak gelişen genişlemeli ve sıkışmalı bükümlerin oluşumu (Cowgill ve diğ., 2004b; Gamond, 1987). (b) Swanson (2005) tarafından mezoskopik haritalama ve kıtasal doğrultu atımlı fayların meydana getirdikleri genişlemeli ve sıkışmalı bükümlerin oluşum havzaları için model. (c) Mann ve diğerlerine (2007a)'nin yapmış olduğu birden fazla sıkıştırmalı büküm ve genişlemeli oluşumu için model.	31
Şekil 4.8 : Palu kuzeydoğusu ve Hazar Gölü arasında DAF'ın sahip olduğu geometri (Çakır ve diğ., 2022; Köküm ve diğ., 2022). Fay, yüzey izine göre toplam beş segmentten oluşur.	32
Şekil 4.9 : Palu ve Hazar Gölü arasında DAF boyunca gerçekleştirilen kinematik ölçüm yüzleklerinin yerleri.	33
Şekil 4.10 : Kırkgeçit Formasyonu içerisinde ölçülen kinematik verilerin SG2PS yazılım çıktısı (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).	34
Şekil 4.11 : STOP 12 (Fay kayacı olarak Gezin-1 kesiti) boyunca ölçülen fay düzlemleri ve bunlardan elde edilmiş kinematik verilerin SG2PS sonuçları. Bu verilere göre bölge KB-GD yönde genişlemektedir (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).	35
Şekil 4.12 : DAF'ın Hazar Gölü KD'sunda fs5 üzerinde ölçülen kinematik verilerin SG2PS çıktısı. Buna göre BKB-DGD yönlü açılmalı gerilme koşulları hakimdir (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).	36
Şekil 5.1 : DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasında kalan kesiminin çok kısa dönemini temsil eden ve GNSS tabanlı hız profillerinin (Özarpacı, 2017) lokasyonları.	38
Şekil 5.2: DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde B-B' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).	38
Şekil 5.3 : DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde C-C' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).	38
Şekil 5.4 : DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde D-D' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).	39
Şekil 5.5 : Çalışma alanında örneklenen fay kayacı lokasyonları	45
Şekil 5.6 : G001 örneğine ait X ışını kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	46
Şekil 5.7 : G001b örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	46
Şekil 5.8 : G002 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	47
Şekil 5.9 : G007 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	47
Şekil 5.10 : Gezin-2 kesiti. Guleman ofiyolitine ait serpantinleşmiş gabro, diyabaz daykları ile kesilmiştir.	48
Şekil 5.11 : GZ-004 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	49
Şekil 5.12 : Yeşilova kesitinde görülen makaslanmış ana kaya yüzleği.	50
Şekil 5.13 : YO-002 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit)	51
Şekil 5.14 : Kartaldere-1 kesitinin yeri. Kartaldere Vadisi'nin girişinde yer alan bu kesim, Guleman Ofiyoliti'nin breşik bir zon boyunca uzanması ile karakterize olur.	52
Şekil 5.15 : Kartaldere-2 kesitinde yüzeyleyen Guleman ofiyolitinin gabro birimi.	53
Şekil 5.16: Kartaldere-2 kesitinde gabroların içinde gelişen fay breşi.	54
Şekil 5.17: KR-003 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: vermikülit, Zeo: Zeolit).	54

Şekil 5.18 : (a) Hazar Formasyonu'na ait borda-kahve kumtaşları ile Guleman Ofiyolitine ait mafik kayaçların dokanağı. (b) Ofiyolitik birimde sıralanmış fiber kristalen beyaz mineral gelişimleri.	54
Şekil 5.19 : KYZ-03 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Ant: Antigorit).	55
Şekil 5.20 : KYZ-04 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Ant: Antigorit, Chl: Klorit, Zeo: Zeolit)	55
Şekil 5.21 : KYZ-06 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Zeo: Zeolit, Vrm: Vermikülit)	56
Şekil 5.22 : Palu-1 kesitini oluşturan, Maden Karmaşığı ve Palu Formasyonu arasındaki tektonik dokanak.	56
Şekil 5.23 : PL-02 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit)	57
Şekil 5.24 : Palu-2 kesiti boyunca Maden Karmaşığı'na ait kayaçlar içerisinde görülen kohezyonlu fay kayaçları.	58
Şekil 5.25 : Palu-2 kesitinde Maden Karmaşığı ve Kırkgeçit Formasyonu arasında kohezyonlu fay kayaçları.	59
Şekil 5.26 : P-2 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Zeo: Zeolit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	60
Şekil 5.27 : P-13 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Zeo: Zeolit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	60
Şekil 5.28 : P-033 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Gyp: Jips).	61
Şekil 5.29 : P-05 örneğine ait örneğin X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit).	61
Şekil 5.30 : Ph-01 örneğine ait X kırınım difraktometre verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Hem: Hematit).	62
Şekil 5.31 : PH-19 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).	62
Şekil 5.32 : Ph-22 kahverengi örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Hem: Hematit).	62
Şekil 6.1 : Fay killerine ait G-001, KR003, P-05, Ph-22 kahve örneklerinin, farklı işlemlerden sonra d- aralığını gösteren yönlendirilmiş tipik XRD paternleri: Siyah: işlem görmemiş (havada kurutulmuş), lila: etilen glikol (EG) ile şişme, yeşil: 400°C'de ısıtma ve turuncu: 550°C'de ısıtma. G-001 Gezin beldesinden alınan örneklerde vermikülit, simektit ve klorit bazal yansımasına uygun bir difraktometre sergilemektedir. Kartaldere civarından alınan illi-klorit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir. KR-003 Kartaldere civarından alınan illi-klorit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir. P-005 örneği, Palu'nun güneyini temsil etmektedir. Dioktahedral illit-vermikülit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemiştir. Ph-22-kahve örneği ise, Palu güneyinden alınan örnektir. Trioktahedral vermikülit bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir.	64



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Çalışma bölgesinde örneklenen fay kayaçları. XRD ölçümü olan numuneler gri renk ile gölgelendirilmiştir.	39
--	----





FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ: DOĞU ANADOLU FAYI'NIN HAZAR GÖLÜ VE PALU ARASINDA KALAN KESİMİNDEN BULGULAR

ÖZET

Anadolu Bloğu'nun doğu sınırını oluşturan Doğu Anadolu Makaslama Zonu (DAMZ) ve onun ana yer değiştirme makaslama alanı olan Doğu Anadolu Fayı (DAF), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Türkoğlu (Kahramanmaraş) arasında toplam 450 km uzunluğa sahiptir. Bu sol yanal transform fayın Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan kesimi üzerinde günümüze kadar gerçekleştirilen GNSS, InSAR ve sismoloji çalışmaları, genel tektonik yüklemeye göre kayda değer miktarda asismik kayma (krip) meydana geldiğine işaret eder. Bu tez çalışmasının konusu, DAF'ın yüzeyleyen fay kayaçlarının, fayın çok yakın tarihini temsil eden bu krip hareketi üzerinde etkisinin olup olmadığıdır.

Bu çalışma kapsamında, uzaktan algılama ve saha tabanlı jeoloji verileri denetlenilerek DAF'ın Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan kesiminin jeoloji haritası derlenmiştir. Bunun için ilk olarak önceki çalışmalarda elde edilen uzaktan algılama bulgularına ek olarak yeni tarihli Landsat 8-OLI görüntüleri bant kombinasyonu, bant oranlaması, temel bileşenler analizi (PCA) ve minimum gürültü fraksiyonundan (MNF) oluşan dört farklı teknik kullanılarak işlenmiş ve jeolojik birimlerin analizi için yeni yalancı renk haritaları üretilmiştir. Yapılan saha çalışmaları ile formasyonların mekânsal dağılımı kontrol edilmiş ve DAF'ın ilgili kesimindeki fay yüzlekleri belirlenmiştir. Bu fay zonları boyunca temsili kayaç numuneleri alınmış ve X-ışını kırılımı (XRD) incelemeleri yapılarak bu kayaçların içinde fay killerin çeşitleri belirlenmiştir.

DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasında kalan kesiminin, genel olarak ofiyolitik (ultramafik ve mafik) kayaçlar ve yığılma karmaşıklıklarından (şeyl, kumtaşı, volkanikler, ofiyolit parçaları) oluştuğu görülür. Bu temel kayaçlar özellikle çalışma bölgesinin orta kesimlerinde genç alüvyonlarla örtülmüştür. Fay zonu boyunca toplanan fay kayacı örneklerinin XRD incelemeleri, deformasyon zonlarında baskın mineral birliğinin vermikülit, simektit ve klorit kil gruplarından oluştuğunu ortaya koymuştur. Fay kayaçlarının belirtilen kil türlerinden oluşması, boşluk suyu basıncındaki değişime bağlı olarak DAF'ın ilgili kesimi boyunca mekanik zayıflamaya ve bunun bir sonucu olarak sığ seviyelerde asismik kaymaya neden olabileceğine işaret eder.



FAULT ROCKS AND FAULT MECHANICS: IMPLICATIONS FROM THE EAST ANATOLIAN FAULT BETWEEN PALU AND THE LAKE HAZAR (ELAZIĞ, TÜRKİYE)

SUMMARY

The East Anatolian Shear Zone (EASZ), which forms the eastern border of the Anatolian Block, and its principal displacement shear, the East Anatolian Fault (EAF), has a total length of 450 km between Karlıova (Bingöl) in the northeast and Türkoğlu (Kahramanmaraş) in the southwest. Tectonic geodesy (GNSS and InSAR) and seismological studies suggest a significant amount of aseismic slip (creep) with respect to total tectonic loading especially for the fault section between Palu and Hazar Lake (Elazığ). In this study, I correlate fault rock petrophysics and creeping fault sections in order to evaluate any possible control of fault rock properties on the earthquake cycle.

First, I compiled the geological map for the region between Palu and Hazar Lake (Elazığ) along the EAF by using the multi-spectral satellite images of previous studies, my own pseudo-colour maps based on Landsat 8-OLI images and field based studies. For processing the Landsat 8-OLI images, I used four different techniques, including band combination, band ratio, principal component analysis (PCA) and minimum noise fraction (MNF) to produce my own pseudocolour maps. The spatial distribution of the formations was controlled by field studies and the fault outcrops in the relevant part of the EAF were determined. I sampled fault zones and used X-ray diffraction (XRD) to determine the fault clay mineralogy.

The fault rocks of the EAF, collected between Palu and Lake Hazar, are generally from ophiolitic (ultramafic and mafic) rocks and accretionary complexes (shale, sandstone, volcanics, ophiolite fragments). These basement rocks are covered with young alluvium, especially in the central parts of my study area. XRD analysis of these fault rock suggest that the dominant clay mineral associations in the deformation zone are composed of vermiculite, smectite and chlorite. The fact that the fault rocks are composed of the specified clay types indicates that mechanical weakening along the relevant section of the EAF are most possibly due to the change in pore water pressure may cause aseismic slip at shallow.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Problemi ve Amaç

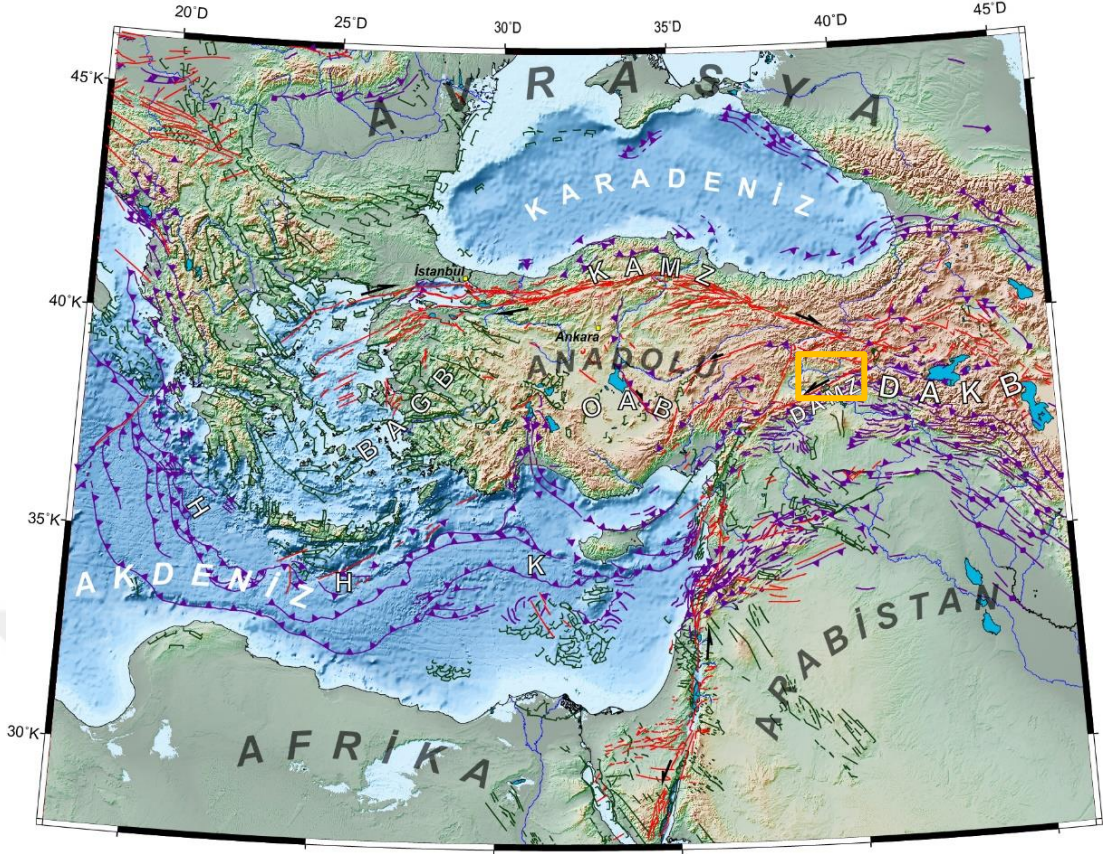
Fay zonlarının çalışma prensibini kavrayabilmek için deprem döngülerini iyi anlamak gerekir. Deprem döngüleri içerisinde bir dizi sismik ve asismik süreçler barındırır. Bu süreçlerin birbirleri arasındaki ilişkisi fay davranışı ve enerjisi hakkında bilgi verir (Pascal ve diğ., 2014; Richard ve diğ., 2014; Harris, 2017). Faylarda biriken yamulmanın salınımı, fay boyunca zamanla birikmiş gerilmenin aniden serbest kalması şeklinde ortaya çıkabileceği gibi, asismik kayma veya krip olarak adlandırılan yavaş, sünek ve kalıcı davranışlar biçiminde de meydana gelebilir (Peng ve Gombert, 2010; Beroza ve Ide, 2011; Barbot ve diğ., 2012). Asismik kayma hareketinin fay zonlarında yeni bir depremin çekirdeklenmesine veya gerilme enerjisinin bir kısmını başka bir fay segmentiyle paylaşmasına sebep olabileceği konusunda çeşitli görüşler mevcuttur (Stein ve diğ., 1997). Bu nedenle asismik kayma/krip hareketinin iyi anlaşılması, sismik döngünün ve fayın mekanik davranışını anlayabilmek adına oldukça önemli bir yere sahiptir (Richard ve diğ., 2014; Harris, 2017).

Son yıllarda araştırmacılar kıtasal faylar boyunca meydana gelen asismik kayma hareketine dair oldukça önemli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalardan bazıları; San Andreas Fayı, California (Titus ve diğ., 2006; De Michele ve diğ., 2011), Haiyuan Fayı, Çin (Jolivet ve diğ., 2013; Jolivet ve diğ., 2014), El-Pilar Fayı, Venezuela (Jouanne ve diğ., 2011, Pousse Beltran ve diğ., 2016), Longitudinal Valley Fayı, Tayvan (Thomas ve diğ., 2014), Chaman Fayı, Pakistan (Fattahi ve Amelung, 2016), ve Kuzey Anadolu Fayı, İsmetpaşa Segmenti, Türkiye (Ambraseys, 1970; Barka, 1992; Çakır ve diğ., 2005; Kaneko ve diğ., 2013; Çetin ve diğ., 2014; Kaduri ve diğ., 2017). Bu farklı fay zonlarına ait çalışmalarda asismik kaymanın farklı akışkanlara ait süreçlerde, kayaçların petrofiziksel özelliklerinin kayma hareketine dair etkisi ile ilgili önemli bulgular elde edilmiştir. Fayın davranışını anlayabilmek için fay kayaçları (Engelder 1974; Knipe ve diğ., 1998) içerisinde kil minerallerini büyük öneme sahiptir (Sibson, 1977; Carpenter ve diğ., 2011). Kil minerallerine ait düşük sürtünme direnci

(Collettini ve diğ., 2009a; Handy, 1990), normal gerilme bileşeni (Hobbs ve diğ., 1976; Ramsay, 1967; Siddans, 1972; Wood, 1974) ve boşluk suyu basıncı (Chester ve diğ., 1993; Etheridge ve diğ., 1984; Rice, 1992; Sleep ve Blanpied, 1992) gibi parametrelerin fayların mekaniği ile doğrudan ilişkilidir (Louderback, 1942; Byerlee and Brace, 1968; Irwin ve Barnes, 1975; Mavko, 1982; Wesson, 1988; Reinen ve diğ., 1991, 1992; Marone, 1998; Scholz, 1998; Rutter ve diğ., 2001; Collettini ve diğ., 2009; Fagereng and Sibson, 2010; Gratier ve diğ., 2011; Hreinsdóttir ve Bennett, 2009; Thomas ve diğ., 2014a, 2014b; Avouac, 2015).

Bu tezin çalışma alanı, Arap Levhası ve Anadolu Bloku'nun arasında uzanan ve ülkemizin en aktif tektonik unsurlarından biri sol yanal Doğu Anadolu Makaslama Zonu (DAMZ) (Barka ve Reilinger, 1997; Şengör, 1980; Şengör vd, 1985) içerisinde yer alır (Şekil 1.1). DAMZ'nun ana yerdeğiştirme makaslama olan Doğu Anadolu Fayı, kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl), güneybatıda Türkoğlu (Maraş) arasında yaklaşık 450 km uzunluğa sahiptir. Eşleneği Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile beraber Anadolu Bloku'nun batıya doğru kaçış tektoniğini sağlamada önemli bir rol oynar (McKenzie, 1972, 1978; Reilinger vd, 2006; Şengör vd, 1985). 5 ana segmentten oluşan DAF, oldukça KAF'a göre göreceli olarak uzun sismik döngülere sahiptir aktif (Dewey ve diğ., 1986; Gülen ve diğ., 1987).

DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasındaki kesimini de içine alan parçaları üzerinde son yıllarda gerçekleştirilen tektonik jeodezi çalışmaları sonucu asismik kayma (krip) hareketi belirlenmiştir (Özarpacı ve diğ., 2017; Konca ve diğ., 2021;). Bölgenin depremselliği üzerine de ciddi etkisi olabilecek bu asismik hareketin nedeni ve zamasal davranışı büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda Dünya'nın en aktif transform faylarından biri olan DAF'ının Hazar Gölü-Palu arasındaki yaklaşık 96 km uzanan kesiminde fay zonu boyunca oluşmuş fay kayaçlarının petrofiziksel özellikleri ve asismik kayma hareketi üzerindeki olası etkileri bu tez çalışmasının araştırma sorusunu oluşturur.



Şekil 1.1 : Anadolu Bloku'nun orta-geç Miyosen'den (~13-11 milyon yıl) günümüze gelişen neotektonik yapıları (Şengör ve Zabcı, 2019). Kırmızı renk doğrultu atımlı fayları, yeşil renk normal fayları ve mor renk sıkışmayla ilişkili bindirme fayları ve kıvrımları, turuncu renk çalışma alanının kaba sınırlarını göstermektedir. Kısaltmalar: H – Helenik Yay, K – Kıbrıs Yayı, KAMZ – Kuzey Anadolu Makaslama Zonu, DAMZ – Doğu Anadolu Makaslama Zonu, BAGB – Batı Anadolu Genişleme Bölgesi, OAB – Orta Anadolu 'ova' Bölgesi, DAKB – Doğu Anadolu Kısılma Bölgesi.

1.2 Yöntem ve Materyal

Bu çalışma kapsamında, uzaktan algılama ve saha tabanlı jeoloji verileri deneştirilerek DAF'ın Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan kesiminin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası derlenmiştir. Bu derlemede temel olarak uzaktan algılama (Zabcı, 2021) ve saha tabanlı (Ketin, 1948; Açıkbaş ve Baştuğ, 1975; Özkaya, 1978; Erdoğan, 1982; Özkaya 1978; Perinçek, 1979; Avşar, 1983; Asutay ve diğ., 1986; Türkmen, 1991; Kerey ve Türkmen 1991; Herece ve diğ., 1992; Sümengen, 2011a; Sümengen, 2011b) önceki çalışmaların yanı sıra, 2021 senesine ait Landsat 8-OLI görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen analizler ve saha gözlemleri kullanılmıştır. Çok bantlı Landsat

görüntüleri bant kombinasyonu, bant oranlaması, ana bileşen analizi ve minimum gürültü fraksiyonu gibi temel uzaktan algılama teknikleri kullanılarak işlenmiş ve jeolojik birimlerin analizi için yalancı renk haritaları üretilmiştir. Yapılan saha çalışmaları ile formasyonların mekânsal dağılımı kontrol edilmiş ve DAF'ın ilgili kesimindeki fay yüzlekleri belirlenmiştir. Bu yüzleklerden alınan fay kayaçları gerekli ön işlemlerden geçirildikten sonra, X-ışını kırılımı (XRD) yöntemi kullanılarak incelenmiş ve bu kayaçların mineralojik bileşimleri ortaya konmuştur.



2. TÜRKİYE’NİN NEOTEKTONİĞİ VE DOĞU ANADOLU MAKASLAMA ZONU

2.1 Türkiye ve Yakın Çevresinin Neotektoniği

Türkiye’nin neotektonik sürecini anlamak için sadece Türkiye’ye değil yakın çevresine, özellikle Doğu Akdeniz’e bakmak gerekir. Anadolu Bloku, Afrika, Avrasya ve Arap levhaları arasında yer alır. Arap ve Avrasya levhalarının birbirlerine göre gerçekleştirdiği yakınsama hareketinin bir sonucu olarak kuzeyde ve doğuda yer alan transform fay sınırları boyunca batıya doğru kaçış tektoniği ile karakterize edilir (McKenzie, 1972, 1978; Şengör ve diğ., 1985; Burke ve Şengör, 1986; Reilinger ve diğ., 2006; Şengör ve Yazıcı, 2020).

Türkiye ve ait olduğu coğrafyanın neotektonik dönemine ait iki ana yapı öne çıkar: Anadolu’nun kuzey sınırını oluşturan Kuzey Anadolu Makaslama Zonu (KAMZ) ve onun ana yer değiştirme makaslama olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile doğu ve güneydoğu sınırını oluşturan Doğu Anadolu Makaslama Zonu (DAMZ)’nun ana yer değiştirme makaslama olan Doğu Anadolu Fayı (DAF)’dır (McKenzie, 1972; Şengör, 1979; Şengör ve diğ., 1985; Bozkurt, 2001; Şengör ve Yazıcı, 2020). Birbirinin eşleneği olan bu faylar, Karlıova Havzası’nda kesişerek bir üçlü eklem meydana getirirler (Şengör, 1979; Şengör vd. 1985; Şengör ve diğ., 2019). DAF’nın güneyinde yer alan sol yanal doğrultu atımlı Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) (Şaroğlu ve diğ., 1992; Koçyiğit ve diğ., 2001), Arap Levhası’nın kuzey ucundan başlayarak Kızıldeniz’e kadar uzanır (Şengör, 1979; Reilinger ve diğ., 2006). Doğu Akdeniz ile Arap Levhası’nın arasındaki transform fay sınırı görevi gören ÖDFZ, doğrudan Anadolu’nun güney ve güneybatısındaki yitim zonunu meydana getiren Helen-Kıbrıs Yay sistemine etki eder (Şengör ve diğ., 1985; Bozkurt, 2001).

Farklı zamanlarda oluşmuş, farklı kinematik özelliklere sahip fay sistemleri arasındaki ilişki, oldukça karmaşık tektonik olayları beraberinde getirmiştir. Batı Anadolu’da genişlemeye bağlı gelişen normal faylar ve horst-graben sistemleri, Doğu Anadolu’da

çarpışmaya bağlı gelişen bindirme fayları ve kıvrımlar, kuzey ve doğu sınırı boyunca transform faylara bağlı gözlenen doğrultu atım hareketi ve bunlara bağlı gelişen havzaların oluşumu Türkiye'nin tektonik anlamda çok çeşitli yapılara sahip olduğunu gösterir. Bu süreci daha kolay kavrayabilmek adına Türkiye dört farklı neotektonik bölgeye ayrılmıştır. (1) Doğu Anadolu Sıkışma/Kısalma bölgesi, (2) Kuzey Anadolu Bölgesi (3) Orta Anadolu 'Ova' bölgesi (4) Batı Anadolu Genişleme bölgesi (Şengör, 1980; Şengör ve diğ., 1985) (Şekil 1.1).

2.2 Doğu Anadolu Makaslama Zonu (DAMZ) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF)

Arap Levhası ve Anadolu Blok'unun arasındaki sınırı oluşturan DAMZ, kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ve güneybatıda Türkoğlu (Kahramanmaraş) arasında toplam 450 km uzunluğa sahiptir (McKenzie, 1972; Şengör, 1979). KD-GB uzanımlı bu hattın ana yer değiştirme makaslama olan Doğu Anadolu Fayı (DAF), farklı çalışmalara göre 5 mm/yıl – 11 mm/yıl arasında değişen kayma hızı değerlerine sahiptir (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Kiratzi, 1993; Westaway, 1994; Yürür ve Chorowicz, 1998; Çetin ve diğ., 2003; Reilinger ve diğ., 2006; Aksoy ve diğ., 2007; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013; Yasser, ve diğ., 2013; Koç ve Kaymakçı, 2013; Bayrak ve diğ., 2015; Yönlü ve diğ., 2013; Aktuğ ve diğ., 2016, Gülerce ve diğ., 2017; Yönlü ve diğ., 2017;).

DAF'ın geometrisi ve fay parçalarının sınıflaması hakkında farklı görüşler bulunur. Hempton vd. (1981) fayı 5 segmentte sınırlarken, Barka ve Kadinsky-Cade (1988) Karlıova ve Türkoğlu arasında 14 segment, Şaroğlu vd. (1992a) ise 6 segment önermiştir. Son çalışmalardan biri olan Duman ve Emre'ye (2013) göre, Türkoğlu'na gelmeden ayrılan ikinci bir kol (Misis-Sürgü Fayı) ile toplam 13 segment bulunur. Aynı çalışmada DAF'nın Karlıova ve Türkoğlu arasındaki segmentleri, kuzeydoğudan güneybatıya doğru sırasıyla Karlıova (Karlıova–Bingöl), Palu (Palu–Sivrice), Pütürge (Sivrice–Çelikhan), Erkenek (Çelikhan–Gölbaşı) ve Pazarcık (Gölbaşı–Türkoğlu) olarak adlandırmıştır.

DAF, segmentasyon özellikleri bakımından oldukça çeşitlidir. Karlıova Segmenti'nin güney sınırında Gökdere'de, sıkışmalı büklüm ve buna bağlı gelişen KD-GB ve D-B doğrultulu kıvrımlar ve bindirme fayları gözlenir (Duman ve Emre, 2013).

Palu Segmenti, tarihsel kayıtlara göre DAF'ın sismik olarak en aktif ve yıkıcı depremlerini üreten segmentidir (Ambraseys, 1988). Uzunluğu yaklaşık 75 km olan bu fay parçası, kuzeydoğuda Gökdere sıkıştırmalı bükümüne ile güneybatıda yanal harekete bağlı gelişen ve normal faylarla sınırlanan bir çek-ayır havzası özelliği gösteren Hazar Gölü ile sınırlanmıştır (Moreno, 2010).

Hazar Gölü'nden güneybatıya doğru uzanan Pütürge Segmenti, yüksek dağlar arasında uzanan derin çizgisel vadileri takip ederek, Paleozoik-Mesozoik metamorfik kayalar, ofiyolitleri ve volkano sedimanter kayalar keser (Hempton, 1985; Herece ve Akay, 1992; Herece, 2008).

Erkenek Segmenti, birkaç yüz metreye varan sol yanal akarsu ötelemeleri ile karakterize olur (Duman ve Emre, 2013). Güneyinde DAF'ın kestiği en büyük havza olan (Yönlü ve diğ., 2013) Gölbaşı Gölü ile sınırlanan Erkenek segmenti, Göksu Nehri'ni 13 km ötelemiştir (Şaroğlu vd, 1992a, 1992b). Herece (2008) ve Duman ve Emre (2013)'e göre buradaki kayma hızı 6.5-8.3 mm/yıl'dır. Yönlü vd. (2013), Gölbaşı Havzası'nın bugünkü Aksu Nehri'ne ait çok daha geniş bir vadi olduğunu ancak DAF'ın vadinin yönünü yanal yönde değiştirdiğini, buranın eski bir heyelan ile kapandığını öne sürmüşlerdir.

Pazarcık Segmenti aletsel döneme ait depremlerden kaynaklanan yüzey kırıkları içerir. Burada gözlenen genişlemeye bağlı sıçramalı yapı yönü değişen Gölbaşı Havzası'nın yerinin burası olduğuna işaret eder (Duman ve Emre, 2013). DAF'ın bu kesimde kayma hızı 9 mm/yıl olarak kestirilmiştir (Yalçın, 1979; Meghraoui ve diğ., 2006; Westaway ve diğ., 2006; Herece, 2008; Karabacak ve diğ., 2011).



3. UZAKTAN ALGILAMA

Jeoloji’de çok veya hiper bantlı görüntülerin analizi ile gerçekleştirilen uzaktan algılama, yapısal unsurların tanımlanması ve litolojik sınırların kontrolü için oldukça etkili bir yöntemdir. Çok bantlı yakalanan görüntüler, kullanım amacına uygun doğrultuda önce iyileştirme işlemlerinden geçirilir (ör: atmosferik düzeltme) ve daha sonra manipüle edilerek zenginleştirilmiş renk haritaları elde edilir. Kısaca belirli bir görüntünün kullanım amacına uygun doğrultuda daha kolay yorumlanabilmesi adına daha fazla bilgi içeren görüntüye dönüştürülmüş halidir (Gupta, 2008).

Uzaktan Algılama yöntemlerinde litoloji haritası yapımı için iki önemli unsur vardır: (1) Hedef alanda gittikçe artan mineral gruplarının yerinin tespiti ve (2) mineral topluluklarının karakteristik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekliliği (Gad and Kusky, 2006).

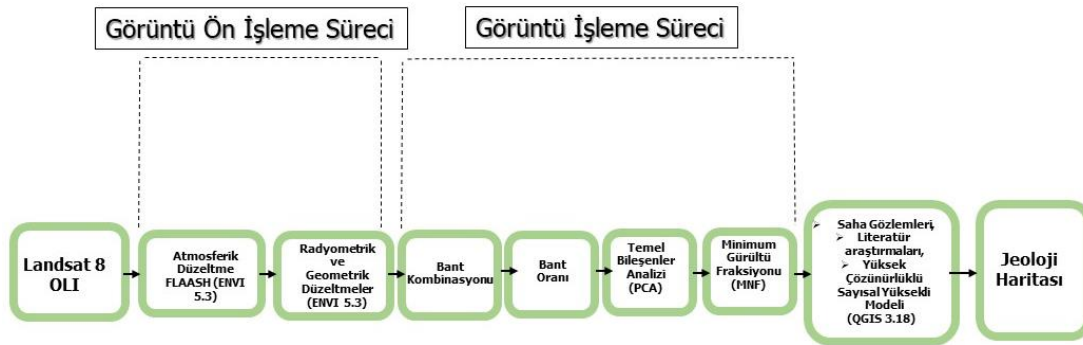
Çalışma bölgesi için Ağustos 2019 tarihlerinde üretilen çok bantlı Landsat 8 OLI ve Sentinel 2A MSI görüntüleri kullanılan bir çalışma mevcuttur (Zabcı, 2021). Ancak bu çalışma iki farklı kaynaktan elde edilen görüntülerin karşılaştırması ile sınırlıdır. Bu tez çalışmasında Zabcı (2021) tarafından gerçekleştirilen analiz sonuçlarına ek olarak, Ekim 2021 tarihinde çekilen Landsat 8 OLI görüntülere işlenmiş DAF boyunca Palu ve Hazar Gölü arasında kalan bölgenin jeoloji haritasının derlenmesinde kullanılmıştır. Farklı yıllara ve farklı çözünürlüklere ait uydu görüntüleri çalışma boyunca yüzeydeki değişimi gösterdiği gibi çok çeşitli renk kontrastları ve farklı parlaklık seviyelerinde görüntüler sunmaktadır. Uyduların, farklı günlük periyotlarda veri toplamaları, birbirlerine daha yakın zamanlara ait yüzey görüntülerini inceleme imkânı vermektedir.

3.1 Yöntem ve Materyal

Bu tez çalışması kapsamında analiz edilen Landsat 8 OLI verisi Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov>) sunucularından ücretsiz olarak elde edilmiştir. Ön işlem ve analiz süreçleri için ENVI 5.3 yazılımı

kullanılmıştır. Elde edilen yalancı renk haritaları QGIS 3.18 ile düzenlenmiştir (Şekil 3.1).

Landsat 8 uydusunun, OLI (Operasyonel Land Imager) sensörü, 185 kilometrelik bir hat boyunca 30 metre çözünürlüklü 8 spektral band ve 15 metre çözünürlüklü 1 pankromatik banda sahiptir. Landsat 8 OLI’de görünür dalga boyuna (VNIR) sahip 4 band, yakın kızılötesi dalga boyuna (NIR) sahip 1 band, kısa dalga kızılötesi (SWIR1, SWIR2) 2 bandı bulunmaktadır. Landsat 8, 16 günlük bir sürede misyonunu tamamlar.



Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin işlenmesi için takip edilen iş akış şeması

3.1.1 Ön işlem süreci

Uydudan sağlanan ham verileri bir dizi geometrik ve radyometrik düzeltmeler amacıyla ön işlem sürecinden geçirdikten sonra ana işlem sürecine hazır hale getirilir. Landsat 8 OLI ‘den 17 Ekim 2021 tarihinde bulutsuz bir zamanda seçilen LC08_L1TP_172033_20211117_20211125_02_T1 veri seti, ENVI 5.3 yazılımında radyometrik ve geometrik düzeltmelerden sonra aynı yazılımın FLAASH aracı ile atmosferik filtreden geçirilmiştir. Termal atmosferik düzeltme araç kutusu seçeneği olan FLAASH (Hiperküplerin görüş hattı atmosferik analizi), görünür dalga boylarını, NIR ve SWIR dalgaları aracılığı ile düzelten bir çalışma prensibine dayanır.

3.1.2 Analiz süreci

Geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapılan Landsat 8 OLI veri seti sırasıyla Bant Kombinasyonu, Bant oranı, Temel Bileşenler Analizi (PCA) Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) işlemlerinden geçirilmiştir (Şekil 3.1).

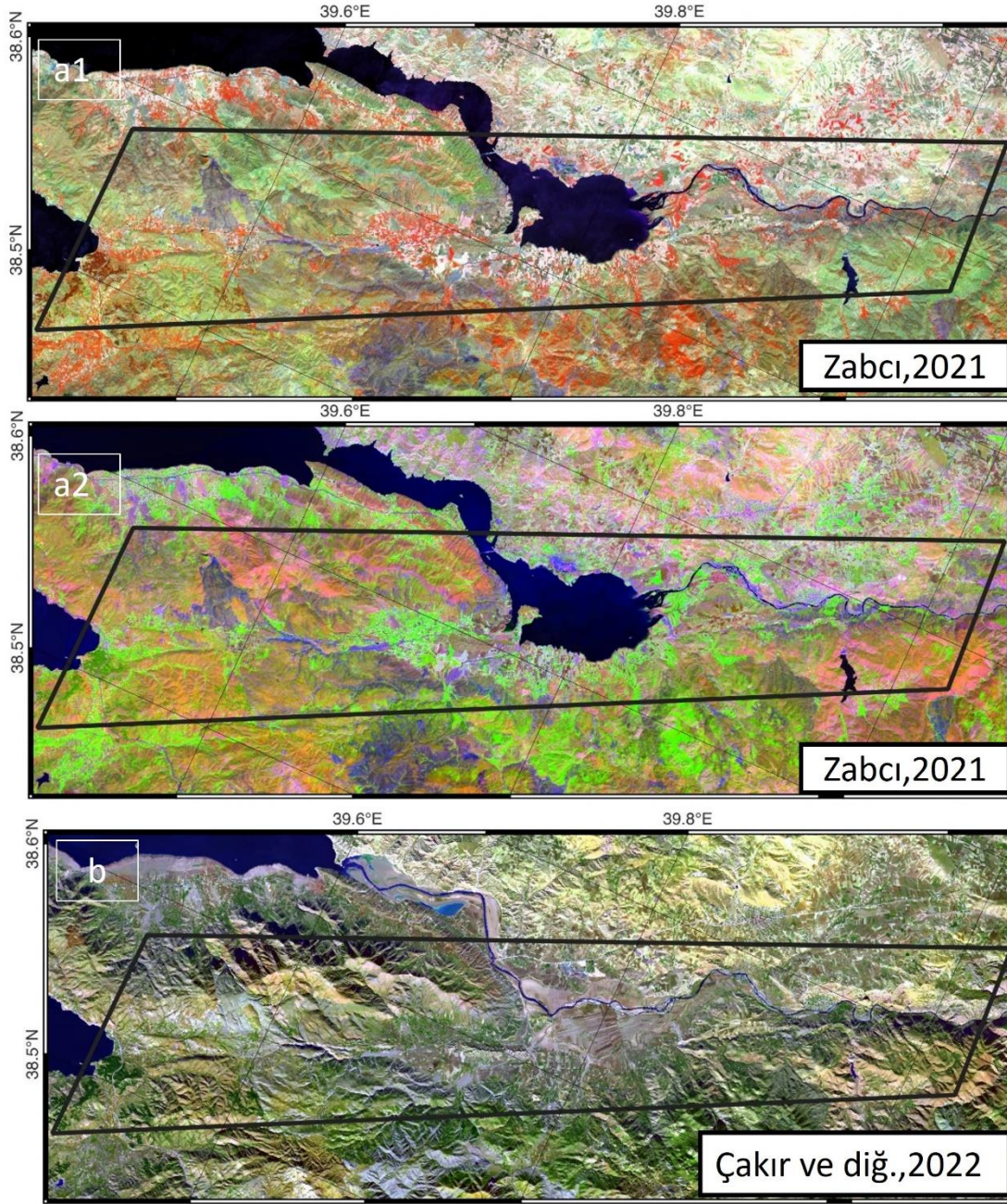
3.1.2.1 Bant kombinasyonları

Bant kombinasyonları belirli spektral aralıklara sahip bantların farklı kombinasyonlarda bir araya getirilip yalancı renk haritaları üretilmesidir. En az korelasyon en yüksek varyans değeri prensibine dayanır (Jensen, 1996). Jeoloji çalışmalarında, aynı band kombinasyonlarında aynı kayaçlar için farklı alanlarda farklı sonuçlar verebilir. Bu sebeple, bölgeye ait saha bazlı gözlemler göz önünde bulundurularak en uygun kombinasyonların seçilmesi önemlidir (Bishta, 2009) (Şekil 3.2).

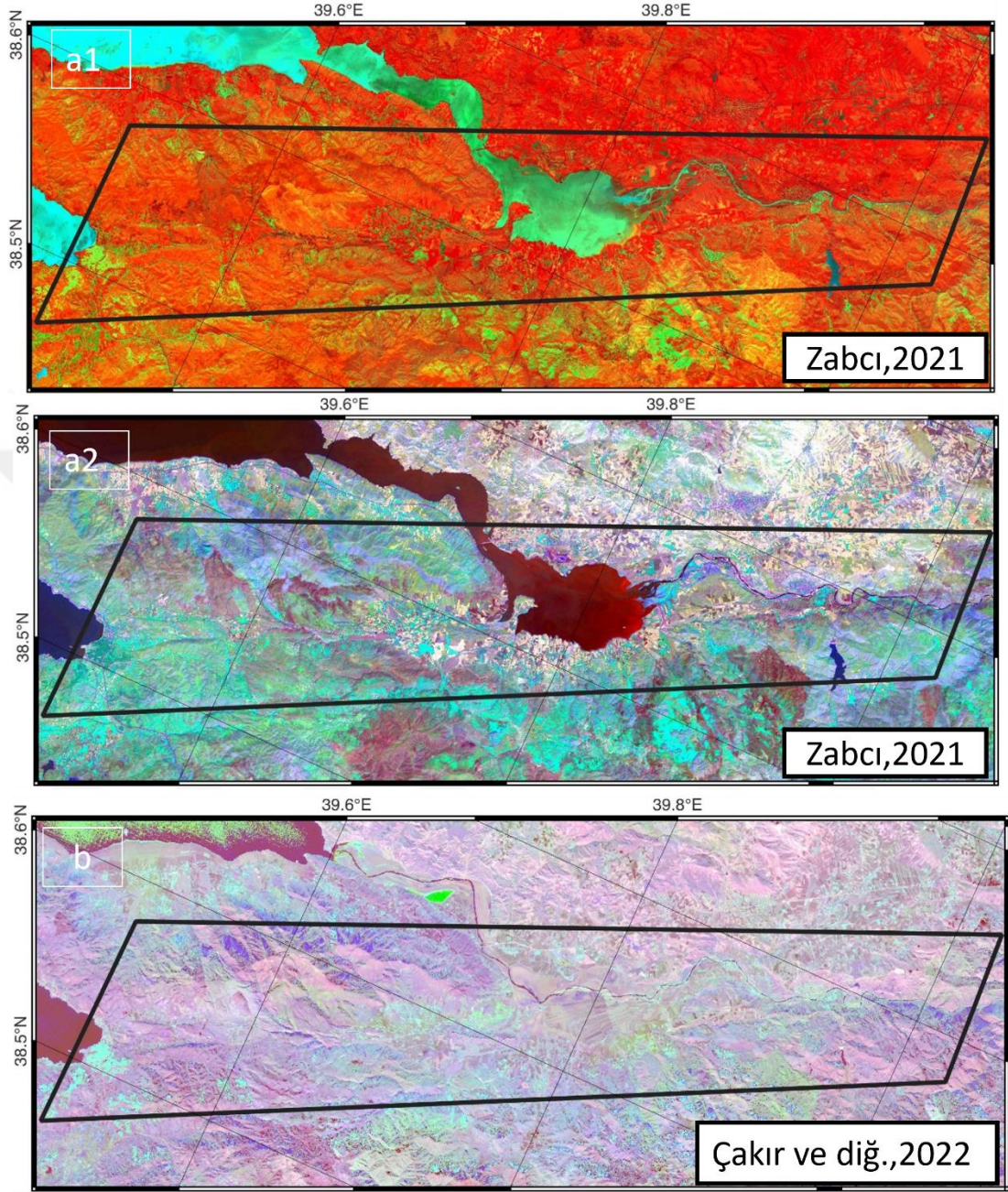
Bu kombinasyonlarda amacına uygun band seçimi iki faktöre bağlıdır. (1) Ayırıştırılmak istenen mineralin spektral özelliklerine ve yoğunluk dağılımına, (2) Optimum Index Faktörüne (OIF).

3.1.2.2 Bant oranı

Bant oranı, görüntüden atmosferik etkiler çıkarıldıktan sonra, yansıma özelliklerinin arasındaki kontrastı iyileştirmek amacıyla, parlaklık değerlerini bir yansıma eğrisinin tepe noktasından ve dip noktasından ayırır. Landsat 8 görüntüleri için SWIR1 bandında yüksek yansıtma özelliği ve SWIR2 bandı için düşük yansıtma özelliği atanır (Ourzif, 2019). Bu oran kombinasyonları amacına uygun ayarlanarak yüksek yansıtma özellikleri olan minerallerin üzerinde denenerek ayırdı sağlanabilir (Gupta, 2003). Spektral bant ataması hedef yüzey ile ilgili varolan bilgileri bastırıp sadece bileşimsel bilgiyi ortaya çıkarır bu sayede yüzeyde ham veride görülemeyen özelliklerin tespiti yapılır (Şekil 3.3). Örnek olarak; bu yöntem hidrotermal alterasyona sahip kayaçların tespiti için oldukça kullanışlıdır (Ourzif, 2019).



Şekil 3.2 : DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin bant kombinasyonu tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1 : Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 8a-10-2 band kombinasyonu uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 7-5-1 band kombinasyonu uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışması kapsamında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli 7-5-1 band kombinasyonu uygulanmış görüntü. Siyah çerçeve çalışma alanının sınırlarını gösterir.



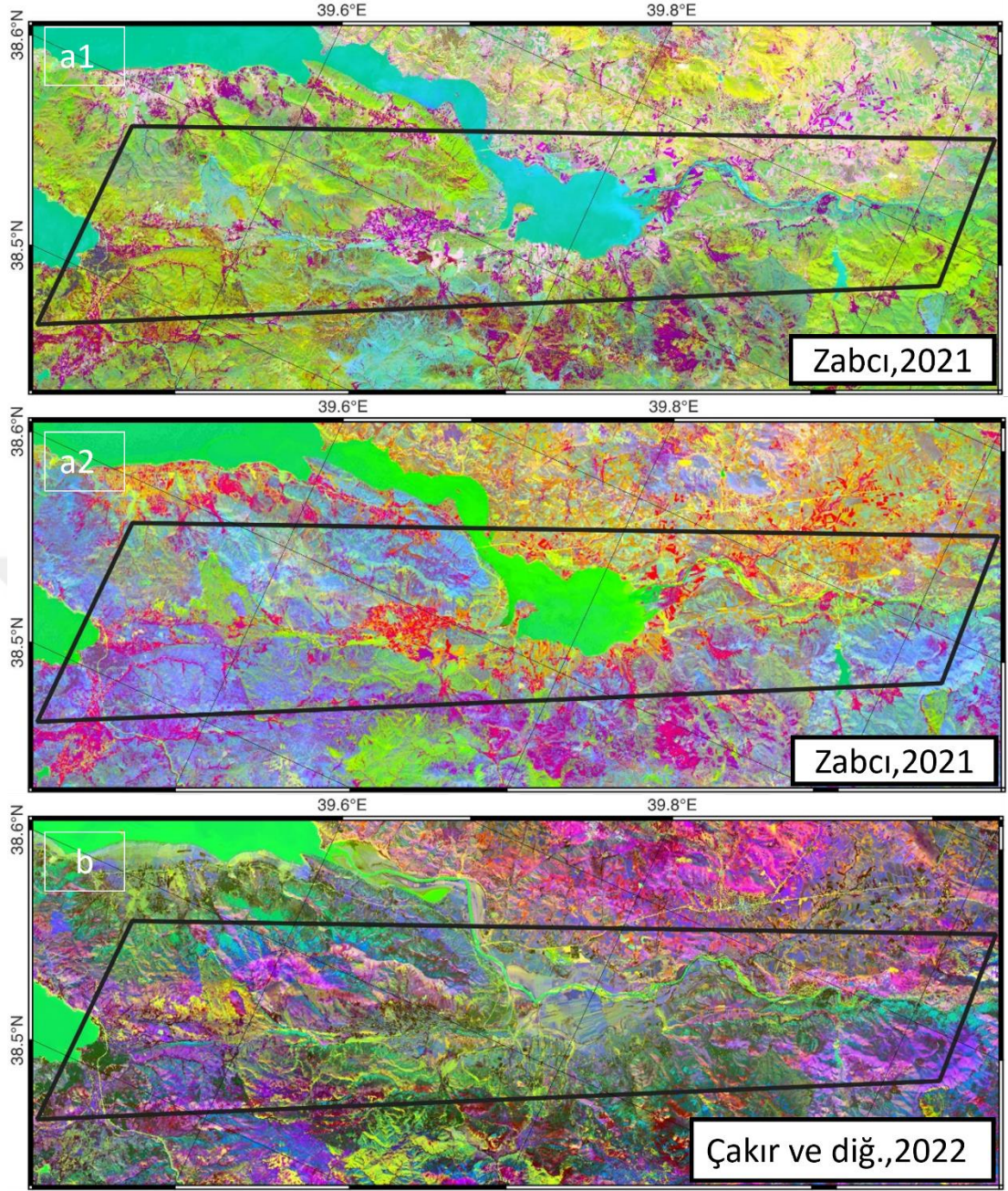
Şekil 3.3 : DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin bant oranı tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 4/3-11/2-12/4 bant oranları uygulanmış görüntü. (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli 4/3-6/2-7/4 bant oranları uygulanmış görüntü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışmasında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli 4/2-5/6-6/7 bant oranları uygulanmış görüntü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir

3.1.2.3 Temel bileşen analizi (PCA)

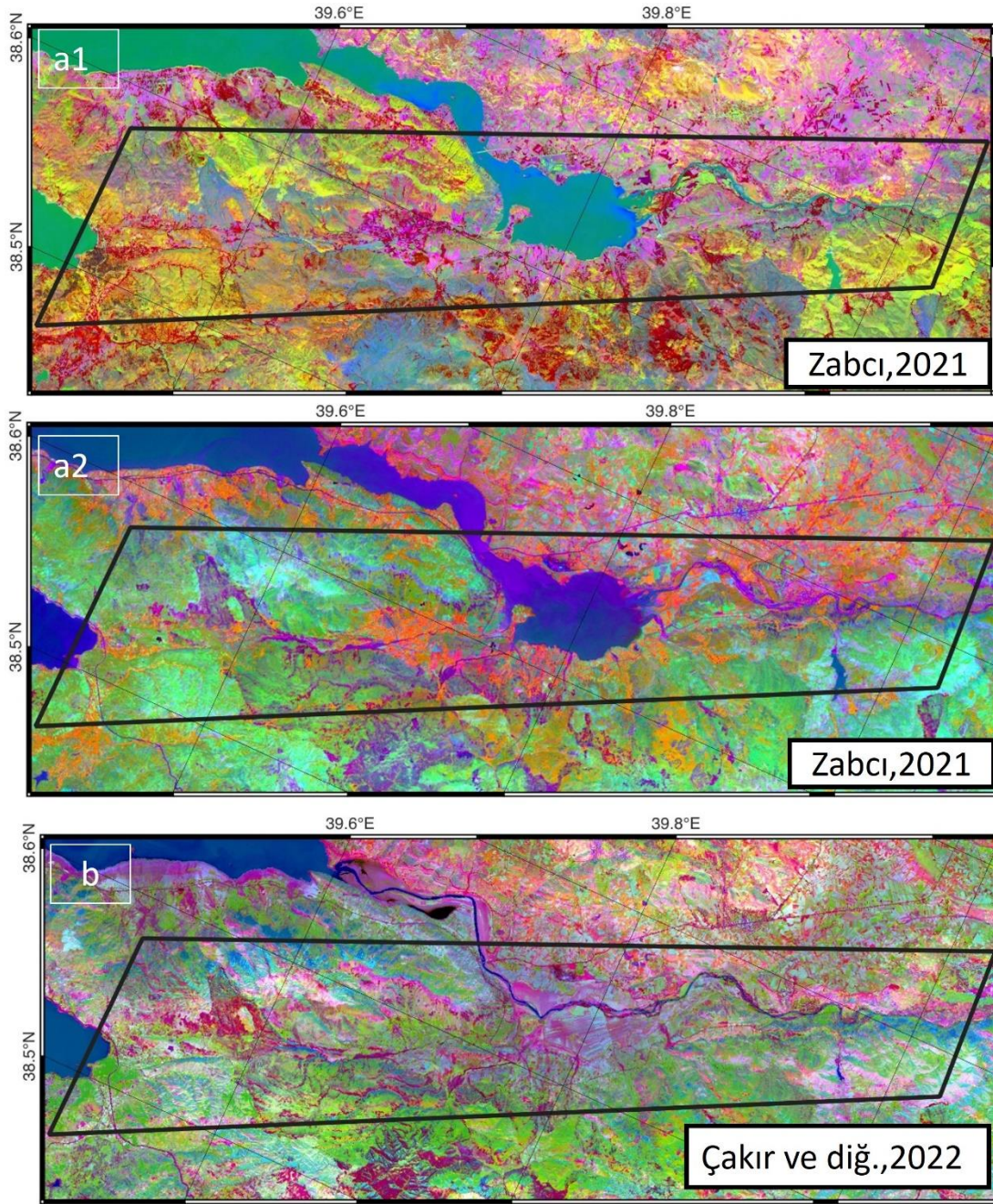
Temel Bileşen Analizi, jeolojide minerallerin spektral özelliklerine dayanan bir analiz yöntemidir (Crosta ve Moore, 1989). Bu sayede benzer verileri birbirlerinden ayırarak Temel Bileşenler (PCs) adı verilen birbiri ile ilişkisiz hale getirir. (Ruiz-Armenta ve Prol-Ledesma, 1998; Ourzif ve diğ., 2018). Bu yöntem sinyal/gürültü oranını yükselterek hedef alanda belirlenen maddelerin doğru seçimini sağlamaktadır (Nafigin ve diğ., 2022). İlişkisiz doğrusal kombinasyonlara ait bilgi OLI sensörü için VNIR ve SWIR bandları ile sağlanabilir. (Crosta ve Moore, 1989; Pour ve Hashin, 2015). Bu bantlarda minerallere ait pozitif yükler ilgili mineral grubunu parlak pikseller halinde gösterirken, negatif yüke sahip mineraller koyu renk ile gösterilir (Loughlin, 1991; Ourzif ve Algouti, 2019). Bu çalışmada PCA işlemi 7 adet özvektöre uygulanmıştır (Şekil 3.4).

3.1.2.4 Minimum gürültü fraksiyonu (MNF)

Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF), gürültü faktörünü veri setinden ayıran veya minimuma indiren çoklu spektral ve hiperspektral düzeltme yöntemidir (Green ve diğ., 1988). Kovaryans gürültülü matrislerini kullanarak 2 ardışık PCA görüntüsü dönüşümünden oluşur. Bunlardan ilki ayırma ve ikincisi de düzelterek yeniden yerleştirmek amacıyla kullanılır. PC görüntüleri gibi MNF görüntülerinin temel benzerliği verilerin maksimum değişkenlikte sıralanmasıdır. Ancak PC görüntüleri minimum varyans koşullarına göre, MNF ise yarar gürültü seviyelerine göre azalır (Nafigin, 2022) (Şekil 3.5).



Şekil 3.4 : DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin PCA tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü.. (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü(Zabcı, 2021). b: Bu çalışma kapsamında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli PCA işlemi ile elde edilen görüntüsü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir



Şekil 3.5 : DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminin MNF tekniği ile işlenmiş yalancı renk haritaları. a1: Sentinel 2A MSI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü (Zabcı, 2021). a2: Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ağustos 2019 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü (Zabcı, 2021). b: Bu tez çalışmasında, Landsat 8 OLI görüntüsüne ait Ekim 2021 tarihli MNF işlemi ile elde edilen görüntüsü. Siyah çerçeveler çalışma alanının sınırlarını gösterir.

3.2 Hazar Gölü ve Palu Arasında Kalan Bölgenin Yalancı Renk Haritaları

Bu tez çalışmasında analiz edilen ve Ekim 2021 tarihine ait Landsat 8 OLI görüntüleri, Zabcı (2021) tarafından üretilen toplam 8 adet yalancı renk haritası ile birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen görüntüler, Eosen ve genç birimlerin ayırt edilmesinde için çok iyi sonuç vermese de, Üst Kreatese Guleman Ofiyoliti'nin mekânsal dağılımı yalancı renk haritalarında oldukça belirgindir. Saha gözlemleri ve mevcut literatüre ait jeoloji haritası temel alındığında, elde edilen görüntülerle formasyon sınırları arasındaki farklılıklar mevcuttur. Haritalardaki renk ve parlaklık farkları kayaçların içindeki mineral topluluklarının spektral özelliklerine göre sonuç vermektedir. Bu sebeple, görüntüler üzerinde birimlerin jeolojik ayırdı, korelasyonun az kontrastın fazla olması prensibine göre incelenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler doğrultusunda Landsat 8 OLI, Ekim 2021 band kombinasyonu görüntüsü, yüksek korelasyon özelliği sebebi ile bölgede iyi sonuç vermemiştir. Uygulanan 7-5-1 kombinasyonu için kullanılan ve özellikle SWIR2 ve NIR band türlerinin dalga boyları bölgedeki kayaçlar için yer yüzeyi ile benzer aralıklarda kalmıştır. Ancak bu görüntü yine de farklı birimlerde farklı parlaklık oranları ve röliyef ayırdı sunarak, formasyon sınırları kontrolü için minimal düzeyde değerlendirilmeye alınmıştır. Landsat 8 OLI Ağustos 2019 görüntüsü için kullanılan 7-5-1 görüntüsü yüksek renk kontrastları sayesinde formasyon sınırları kontrolü için oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Guleman Ofiyolitine ait ultramafik ve mafik kayaçlar için düşük röliyef, az parlaklık ve koyu yeşil renk kontrastı sunarken, ofiyolitik birimin gabro üyesini orta parlaklıkta mor renk ile göstermiştir. Maden karmaşığına ait birimler, sarımsı-pembe renklerle ve yüksek röliyef ile belirginleşmiştir. Ancak Maden Karmaşığı birimine ait Gehroz Formasyonu dışında diğer formasyonların ayırdını net bir şekilde gösterememiştir. Gehroz Formasyonu'na ait kireçtaşlarının spektral aralığı kullanılan band kombinasyonlarına uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarında aynı kontrast yakalanamamıştır. Bu bölge özelinde, Eosen'den genç birimler için tutarlı sonuçlar alınamadığını gösterdiği gibi tane boyutu ve topoğrafyadaki değişimin görüntü farklarına neden olduğunu doğrular (Adam ve Felic, 1961; Sultan ve diğ., 1987). Yine aynı zamana ait ve aynı bant kombinasyonunda Hazar Grubuna ait mineral toplulukları, sarımsı-yeşil renk ile ayırt edilebilmiş ve görüntüde en yüksek röliyefi vermiştir. Sentinel 2A Ağustos 2019'a ait görüntüde 8a-10-2 band kombinasyonu kullanılmıştır. Buradaki renk kontrastı Landsat 8 OLI Ekim

2021 görüntüsünden daha geniş aralıkta olsa da Guleman ofiyoliti birimleri dışında diğer birimlerin ayırdı için güvenilir sonuçlar alınamamıştır. Bant oranları tekniğinden elde edilen görüntüler genelde yüksek korelasyon düşük kontrast özelliği sebebiyle birimler hakkında detaylı bilgi vermemiştir. Ağustos 2019 tarihine ait Landsat 8 OLI görüntüsü kullanılan 4/3, 6/2, 7/4 band oranları ile nispeten yüksek kontrastı sayesinde, Hazar Grubu'na ait birimleri yüksek parlaklık mavi-mor renk özellikleri ile düşük parlaklıklı bordo renk ile ortaya çıkan Guleman Ofiyolit birimlerinden ayırmaktadır. Bunun sebebi, kullanılan bant oranlama tekniğinin bir uzun, orta ve kısa dalga boylarının tüm gruplarından en az birer bant oranı içermesidir (Crippen, 1989). PCA tekniği ile işlenen haritaların tamamı çok çeşitli renk kontrastları ve parlaklık farklılığı sunar. Aynı zamanda bölgenin karmaşık jeolojisi PCA ile algılanan hassas teknik için oldukça iç içe geçmiş karmaşık sonuçlar vermiştir. PCA görüntülerinin yüksek rölyef ve yüksek parlaklık seviyelerinde renk kontrastları ele alındığında,

Hazar Grubu'nun birim sınırları ayrıca Guleman ofiyolitine ait birimlerin sınırları ayırt edilebilmektedir. Ayrıca PCA tekniği Landsat 8 OLI 2019 ve 2021 görüntüleri için sulak arazileri fosforlu yeşil ile göstermiştir. Ancak 2021 tarihine ait Landsat 8 OLI görüntüsünde haritanın merkezindeki Keban Baraj Gölü'ne ait alanda aynı renk kontrastını vermemiştir. Bu nedeni, 2021 yılında sınırlı yağış olması ve baraj gövdesinde su tutulmamasından dolayı Keban Baraj Gölü'ne ait su seviyesinin ciddi oranda çekilmesidir. MNF tekniği kullanılarak işlenen haritalardan en iyi sonucu Ekim 2021 tarihine ait Landsat 8 OLI görüntüsü vermiştir. Miyosen'den yaşlı birimler için formasyon sınırları gözle görülür şekilde birbirinden ayrılmaktadır. Bordo renkli orta parlaklıklı alanlar Guleman ofiyolitinin üyelerini gösterirken, yüksek rölyefli düşük parlaklığa sahip yeşil birimler, yer yer Hazar Grubu'nu ayırt etmeyi sağlamaktadır. Yüksek parlaklıklı mavi-yeşil birimler Maden Karmaşığı'na ait birimler ile ilgili ayırdı, daha çok bölgenin kuzey batısında iyi sonuç vermektedir. Bu durum, yalnızca renk haritalarının topoğrafyadaki değişime bağlı olarak farklı sonuçlar verebildiğini ortaya koymaktadır (Adam ve Felic 1967; Sultan ve diğ., 1987).

4. JEOLojİ

4.1 Stratigrafi

Hazar Gölü ve Palu arasında kalan bölgede gerçekleştirilen, saha tabanlı gözlemler, uzaktan algılama çalışmaları ve önceki çalışmalar kullanılarak (Keskin, 2011; Sümengen, 2011a, 2011b) bir jeoloji haritası derlenmiştir (EK 1).

Derlenen jeoloji haritasına göre istifin en altında Kampaniyen yaşlı Guleman ofiyoliti (Kg) yer alır. Bunu Maastrichtiyen yaşlı Hazar Grubu (Kh) açısal uyumsuzluk ile üzerler. Stratigrafik olarak altındaki birimleri açısal uyumsuzlukla örten Eosen yaşlı Maden Karmaşığı (Tem), çalışma alanı içerisinde genelde tektonik dokanakla yapısal olarak altta kalır. Paleojen, Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu (Teok) ile sonlanırken, Murat Çayı'nın erken Kuvaterner flüvyal çökelleri Palu Formasyonu (Qp) olarak adlandırılmıştır. Güncel ana akarsu sistemlerine ait alüvyal çökeller (Qal), altında kalan bütün birimleri uyumsuz bir şekilde örter (Şekil 4.1).

4.1.1 Guleman Ofiyoliti (Kg)

Guleman Ofiyoliti; dunit, harzburgit, lertzolit, gabro, yastık lav ve diyabaz gibi mafik ve ultramafik yoğunluklu kayalardan meydana gelmiştir (Sümengen, 2011a; 2011b). Birim Kızıldağ (Hatay)'dan Ağrı'ya kadar geniş bir yayılım gösterir. En iyi gözlemlendiği yer, Elazığ ilinin 80 km güneyinde bulunan Alacakaya (Guleman) bölgesidir (Köküm, 2017). Çalışma alanında en iyi gözlemlendiği bölge Kartaldere'nin güneyi ve Gezin'in doğusudur. Ayrıca Palu'nun doğusunda ve Hazar Gölü'nün güneyinde de sınırlı yüzlekler verir.

Guleman Ofiyoliti birimi ilk defa Çüngüş-Maden-Hazar bölgelerinde Sungurlu (1974) tarafından "Guleman Ultramafikleri" olarak adlandırılmıştır. Erdoğan (1982) ise Ergani-Maden civarındaki çalışmasında "Guleman Grubu" olarak isimlendirmiş, aynı bölge için Özkaya (1978) bu birimi "Bahro ultrabazik ve serpantinitle", Engin vd. (1982) "Guleman Peridotit Birimi", Bingöl (1984, 1986) ve Herece vd. (1992) Guleman Ofiyoliti olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada referans alınan çalışmasına (Sümengen 2011a, 2011b) göre Guleman ofiyoliti adlaması kullanılmıştır.

Üst Sistem	Sistem	Seri	Grup	Formasyon	Üye	Simge	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen		Alüvyon				Güncel Çökeller
		Pleyistosen		Palu fm.		Qp		Çakıltı, kumtaşı çamurtaşı
	Paleojen	Oligosen		Kırkgöçü fm.	Akmezra Kireçtaşı.	Teoka		Çakıltı, killi kumlu kireçtaşı silttaşı, şeyl, marn
						Teok		
		Eosen	Maden Karmaşığı	Kardere fm.		Tenk		Spilit, miltası kiltası, aglomera, kumtaşı ve olistostrom
				Gehroz fm.		Teng		Kırmızı kumtaşı, marn, şeyl biyomikritik kireçtaşı, kırmızı marn
				Melafan fm.		Term		Kumtaşı, şeyl, miltası-kiltası, killi kireçtaşı, çakıltı
		Maastrichtiyen	Hazar Grubu			Kh		Çakıltı, kumtaşı şeyl, lamelli kavkılı, gri killi kireçtaşı
								Volkano sedimanter kayaçlar
MESOZOYİK	Kretase	Kampaniyen	Guleman Ofiyoliti		Gabro	Kgg		Dunit, harzburgit, lerzolit, gabro yastık lav, diyabaz
					Diyabaz	Kgd		
					Bazalt	Kgb		

Şekil 4.1: Hazar Gölü-Palu Arasında kalan kesimde görülen birimlerin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (ölçeksizdir) (Sümgen 2011a, 2011b çalışmalarından derlenerek hazırlanmıştır).

Bölgenin en yaşlı birimini oluşturan Guleman ofiyoliti'nin tabanı çalışma alanı içerisinde gözükmez. Birimin üzeri genel olarak Üst Kretase yaşlı Hazar Formasyonu ile uyumsuz bir şekilde üzerlenirken, çalışma alanında yer yer Eosen yaşlı Maden karmaşığı ile tektonik dokanağı vardır (Sümgen, 2011a, 2011b).

Guleman ofiyoliti yer yer ilksel konumlarını korusa da eksik bir ofiyolitik istif özelliği göstermektedir. Birim genelde geçişli dokanak ilişkisi olan gabro, diyabaz ve bazalt'tan oluşurken, altlarında serpantinleşmiş dunit, harzburgit ve lerzolitler, onların üzerinde ise bantlı gabro ve pegmatitik dayklar, en üstte ise yastık lav ve diyabaz daykları bulunmaktadır (Erdoğan, 1982) (Şekil 4.2).

Birimin yaşı, Soytürk ve Baştuğ (1973) tarafından Üst Kretase, Açıkbaz ve Baştuğ (1975) Jura ve Özkaya (1978) Kretase kabul etmiştir. Perinçek (1990) tarafından

Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı kabul edilen birim, Bingöl vd. (2018)'in zirkon U-Pb tarihlendirme sonuçları, 92 ± 2 Myıl'a işaret eder.



Şekil 4.2 : Guleman Ofiyoliti'ne ait gabro ağırlıklı yüzleklerin DAF'a bağlı olarak deformasyonu. Fotoğrafın bakış yönü kuzeye doğrudur.

4.1.1.1 Gabro (Kgg)

Küçükova'nın güneyinde, Kartaldere'nin doğusunda kuvarsdiyorit, diyorit, diyabaz daykları ve gabro pegmatitleri şeklinde gözlenir (Hempton, 1985). Yer yer pegmatitik dokular gözlense de genellikle granüler ve heterogranüler dokular ile karakterize edilir. Alterasyon renkleri genellikle gri, yeşil ve kahve renklidir. Kayaçların taze yüzeyleri koyu yeşil-siyah renkli görünür. İçerlerinde plajiyoklas, piroksen ve opak mineraller vardır (Yıldırım ve Karabulut, 2021). Guleman ofiyoliti'ne ait gabroların Kartaldere ve yakın çevresinde gözlenen DAF'ın ana kayayı kestiği kısımları boyunca breşik yapı kazandığı dikkati çeker.

4.1.1.2 Diyabaz (Kgd)

Guleman ofiyoliti içerisinde yer alan diyabazlar Özkaya (1978) tarafından Bahro Ultrabazikleri olarak adlandırılırken, Erdoğan (1982)'ye göre Bazalt ve Gabro birimlerinin ara geçişleri olarak tanımlanmaktadır (Herece ve diğ., 1992).

Guleman ofiyolitik birimine ait diyabazlar Elazığ'ın güneydoğusu, Hazar Gölü'nün kuzeydoğusu boyunca gözlenir. Dış yüzeyleri de iç yüzeyleri gibi genelde yeşil- koyu yeşil renklidir. Bunun sebebi kloritik-epidotik alterasyona sahip olmasıdır. Birim, çoğunlukla diyabaz ve mikrogabrolardan meydana gelmiş, mikro yayımlı gabro sokulumları da içermesine rağmen levha daykı olarak gözlenememiştir. İçerisinde plajiyoklas, anhedral ve nadiren subhedral piroksenler ve eser miktarda olivin mineralleri gözlenir (Yıldırım ve Karabulut, 2021).

4.1.1.3 Bazalt (Kgb)

Guleman ofiyolitine ait Bazalt birimleri çalışma alanının güneydoğusunda Muratbağı civarında oldukça sınırlı bir alanda yeşil bazaltik lav akıntıları ve yastık lavlar halinde yüzlek vermektedir. Birim, yer yer radyolaryalı çört ara kavkısı barındırır. Çörtler, Aktaş ve Robertson (1984) tarafından Türoniyen-Kampaniyen olarak tarihlendirilmiştir.

4.1.2 Hazar Grubu (Kh)

Çalışma alanında oldukça geniş yer kaplayan özellikle Gezin ve Palu bölgelerinin güneyinde, Kartaldere'nin kuzeyinde gözlenir. Kumtaşı, şeyl ve lamelli kavkılı killi kireçtaşlarının ardalanmasından oluşan birim, ilk kez Rigo De Righi ve Cortesini (1964) tarafından Hazar Birimi olarak adlandırılmıştır. Sungurlu (1974), Perinçek (1979b) ve Herece vd. (1992) tarafından Simaki Formasyonu adı tercih edilmiştir. Özkaya (1978)'nin Ergani-Maden yöresindeki yaptığı çalışmada Hazar Formasyonu olarak isimlendirilen birim için Aktaş ve Robertson (1984) Hazar Grubu adlamasını kullanmıştır.

En alt seviyelerinde kötü boylanmış taban konglomerası, Guleman ofiyolitinden türemiş serpantin ve gabro çakılları ile başlar (Kaya, 2004). Birim rengi daha çok kırmızı-kahve renklidir. Üste doğru kırmızı renkli kumtaşı ve çakıltısı

ardalanmalarıyla devam eder. Onları gri-kahve renkli şeyl, ince taneli kumtaşı, silt taşı, killi lamelli kavkılı kireçtaşları takip eder (Sümengen, 2011a, 2011a) (Şekil 4.3).

Hazar Grubu, Maden Karmaşığı tarafından uyumsuz bir şekilde üzerlenir. Altta ise Guleman ofiyoliti ile açısız uyumsuz dokanağa sahiptir. Birim yaklaşık 1500 metre kalınlığa sahip olduğu önerilmiştir (Sümengen 2011a, 2011b).

Birimin yaşı, Perinçek (1980), Aktaş ve Robertson (1984), Sungurlu (1995), Herece vd. (1992) tarafından taban fasiyeslerinde saptanan *Orbitoides medius* (d'Archiac), *Lepidorbitoides sp.*, *Siderolites sp.* ve *Siderolites calcitrapoides Lamarck* fosillerine dayanarak istifin tamamının yaşı Maastrichtyen olarak kabul edilmiştir.

Perinçek ve Özkaya (1981) Hazar Grubu'nun oluştuğu havzayı erken Maastrichtyen'de meydana gelen sıkışma ve geç Maastrichtyen'deki transgresyon ile ilişkili olan dar bir okyanusun gelişmesi ve burada meydana gelen transgressif istifin, daha kuzeyde sığ denizel kavkılı lamelli killi kireçtaşları tarafından ardalanmalı devam ettiğini öne sürmüştür. Aktaş ve Robertson (1984), Hazar Grubu için başlangıçta yarı karasal bir havzada kırıntılı çökellerin çökeldiğini daha sonra ani atmosferik değişimlerle kireçtaşlarının çökmeye devam ettiğini onu ise kalk-alkalin özellikteki volkanik aktivitelerin takip ettiği öne sürmüştür.

Bu çalışmada, çalışma alanı içerisinde Palu'nun doğusunda küçük bir alanda yüzlek veren, volkano-sedimanter kayalardan oluşan ve Perinçek (1979) tarafından "Yüksekova Karmaşığı" olarak adlandırılan birim, Hazar Grubuna dahil edilmiştir. Birimin yaşı Hazar Grubu'nun çökelim yaşıyla aynı olduğu gibi, çökelim havzaları ve kayaç yapısı bakımından aynı grup içinde yer alması tercih edilmiştir.



Şekil 4.3 : Hazar Grubu’nun Gezin bölgesinin güneyinde konumlanmış marn ara katkılı kırıntılı kahve-bordo kumtaşı-şeyl birimlerinden oluşan kesiti.

4.1.3 Maden Karmaşığı (Tem)

Birim, genelde volkano sedimanter kayaçlar ile karakterize edilir. İlk kez Ketin (1948) tarafından Maden Serisi olarak isimlendirilmiş, Rigo de Righi ve Cortesini (1964) Maden Serisi olarak bahsetmiş, Özkaya (1978) tarafından Baykan Grubu’na dahil edilerek Maden Formasyonu olarak adlandırılmış, Erdoğan (1982), Herece vd. (1992) çalışmalarında Maden Grubu olarak nitelendirilmiştir. Perinçek (1980) çalışmasında Maden Karmaşığı olarak isimlendirdiği birim, bu çalışma içinde aynı isimle kullanılacaktır.

Çalışma alanında Mastar Dağı ve çevresinde geniş yüzlekler veren birim, Palu’nun güneyinde de gözlenir.

Maden Karmaşığı içerisine nummulit fosili içeren, gri neritik ve miktirik kireçtaşlarını, çakıltaşı-kumtaşı-miltaşı-marn şeyl gibi sedimanter kayaçlar, Bazalt ve andezit kökenli volkanikler ve piroklastik kayaçlarla hem yatay hem de düşey yönden geçişlidir. Birimin en üst seviyelerinde kırmızı-pembe pelajik kireçtaşları bulunur. Genellikle düzensiz bir stratigrafik yerleşim sunan Maden Karmaşığı, yapısındaki

düzensizlik sebebiyle “karmaşık” adını almıştır. Farklı kalınlıklarda ve boyutlarda bulunan kireçtaşları ve çakıltaşları alt dokanaklarında genelde yapısal bozulmaya uğramışlardır (Şekil 4.4). Birimin içerisinde bulunan çamurtaşları ile aynı yaşta oldukları tespit edilen kireçtaşları ve çakıltaşları, ayrıca yanal yönde gelişen süreksizliklere sahiptirler. Oldukça deforme olan bu birimlerin içerisinde Eosen yaşlı fosiller tespit edilmiştir (Özkaya, 1978; Herece ve diğ., 1992).

Çalışma alanı, güneyden kuzeye eğimli ve doğu-batı doğrultuğu Eosen-Miyosen aralığında oluşmuş bindirmelerle karakterize edilir, bu sebeple Maden Karmaşığı Hazar Formasyonu ve Guleman Ofiyoliti birimleri tektonik dokanaklıdır (Yiğitbaş, 1990).

Perinçek (1989 ve 1990) ve Yılmaz ve Yiğitbaş (1990) tarafından içerisinde bulunan nummülitli kireçtaşları göz önünde bulundurularak, yaşları Erken-Orta Eosen olarak tespit edilmiştir. Birimin çökeldiği havza ortamı ise sığ deniz-derin deniz olarak yorumlanmıştır.

Maden Karmaşığı, Kardere, Melefan ve Gehroz olarak üç alt birimde incelenir (Herece vd. 1992).



Şekil 4.4 : Maden Karmaşığı’nın kırmızı renkli kumtaşı ve kilaşlarının oluşturduğu kesimleri. Birimin farklı seviyelerinde açık renkli mikritler dikkati çeker.

4.1.3.1 Kardere Formasyonu (Temk)

Maden Karmaşığının, tabanını oluşturan, Gehroz ve Melefan Formasyonlarına yanal ve düşey yönde geçişli, içerisinde spilit, miltaş, kıltaşı, aglomera, kumtaşı ve olistostromlar olan birim Kardere Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Açıkbaş ve Baştuğ, 1975; Perinçek, 1979; Herece ve diğ., 1992).

Çalışma alanında tip kesiti Palu'nun güneyinde yer alan Keldağ ve Umutkaya köyleri ve çevresinde görülür.

Ara ara dayklar ile kesilen birim, spilit, aglomera, andezit, tüfit, yeşil renkli kil, yeşil-gri kumtaşları, bordo renkli rodyalaritli miltaş, yeşil renkli yastık lavlar ve olistostromlardan meydana gelmiştir (Sümengen, 2011a, 2011b).

Kardere Formasyonu içerisinde muhafaza ettiği *Cocalithus formosus Kampteri*, *Coccolithus eopelagicus*, *Discuaster deflandrei*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Reticulofenestra bisecta* gibi nannoplankton fosillerinden elde edilen yaş tayini sonucu Orta Eosen dönemine ait olduğu ortaya konmuştur (Herece ve diğ., 1992).

Birimin çökme ortamı, havza tipi şelf veya abisal düzlük olarak yorumlanmıştır (Sümengen 2011a, Sümengen, 2011b).

4.1.3.2 Melefan Formasyonu (Temm)

İçerisinde kumtaşı, şeyl, miltaş-kıltaşı, killi kireçtaşı, çakıtaşı ve kireçtaşı olistostromları bulunan birim, Açıkbaş (1978), Perinçek (1979b), Herece ve diğ., (1992) tarafından Melefan Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Melefan Formasyonu, çalışma alanında Küçükova kuzeyinde, Mastar Dağı ve civarında yüzlek verir.

Birimin en alt seviyelerinde kumtaşı şeyl ardalanması görülür. Onu gri-koyu gri, ince-orta tabakalı, alg ve bentonik foraminifer içeren, çört yumrulu istif taşları ve çakıtaşı, kum, şeyl ve killi kireçtaşları takip eder. En üstte ise killi kireçtaşları ile birlikte vake taşları bulunur (Açıkbaş 1978; Perinçek 1979b; Herece ve diğ., 1992).

İçerisinde bulunan *Lanternithus minutus*, *Discoaster barbadiensis*, *Cyclicargolithus formosus*, *Corannulus germanicus* ve *Coronocyclus nitescens* fosilleri birimin yaşının Orta Eosen olduğunu ortaya koymuştur (Herece ve diğ., 1992).

4.1.3.3 Gehroz Formasyonu (Temg)

Değişik boyutlarda bloklar halinde konumlanmış birim, Özkaya (1978) tarafından Gehroz Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Genelde çalışma alanının kuzeybatısında oldukça dar bir alanda yüzeyleyen birim, en altta kırmızı kumtaşları marnlar ile başlar, daha sonra masif, bej, gri fosilli mikritik ve biyo mikritik kireçtaşları ile devam eder (Özkaya, 1978).

Birimin yaşı kireçtaşlarının içinde bulunan *Discocyclina sp.*, *Assilina sp.*, *Operculina sp.*, *Mastopora sp.*, *Nummulites sp.*, fosillerinden Orta Eosen tayin edilmiştir (Özkaya, 1978).

4.1.4 Kırkgeçit Formasyonu (Teok)

Kaba taneliden ince taneliye silikatlı ve karbonatlı sedimanter kayaçların ardalanmasından meydana gelmiş birim, Perinçek (1989), Avşar (1983), Asutay vd. (1986); Herece ve diğ., (1992) Kırkgeçit Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

Birim çalışma alanının kuzey-kuzeydoğusunda, Palu ve özellikle Palu kalesi etrafında yüzeyler. Ancak en iyi gözlendiği yer çalışma alanının dışında Van iline bağlı Kırkgeçit köyüdür (Sümengen 2011a, 2011b).

Kırkgeçit Formasyonu, en alt seviyelerinde kötü boylanmış, tane ve matriks destekli çakıltaşlarından oluşur. Seviyeyi, açık gri-beyaz renkli çok farklı kalınlıklarda kumtaşı seviyeleri takip eder. Bu seviyelerin üstüne killi kumlu kireçtaşı-şeyl-marn ardalanmaları gelir (Perinçek, 1989; Avşar, 1983; Asutay ve diğ., 1986; Herece ve diğ., 1992).

Maden Karmaşığının üzerine açısız uyumsuzlukla çökelen birim, üzerinde bulunan Çaybağı Formasyonu ile yine açısız uyumsuz olarak ayrılır. Birim kalınlığı yaklaşık 250-500 metre aralığındadır.

Birime ait kireçtaşlarından içerisindeki *Fabian cassis*, *Nummulites* sp., *Asterigerina* sp., *Gypsina* sp., *Eorupertia* sp., *Nummulites* cf. *Aturicus* isimli fosiller birime Lütésiyeñ yaşına işaret ederken, *Reticulofenestra coenua*, *Helicosphaera recta*, *Zgyrhablithus bijugatus* fosilleri ise Orta-Üst Oligosen yaşıñı gösterir. Bu nedenle birimin yaşı Lütésiyeñ-Oligosen (Herece ve diğ., 1992) olarak belirlenmiştir.

Birimin çökelme ortamı, alt seviyelerdeki çakıltaşları göz önünde bulundurularak karasal ortamda başladığını üst seviyelere doğru derinleşen bir şelf ortamı ve en üst seviyelerde sığ şelf karasal ortamı işaret etmektedir (Sümengen 2011a, 2011b).



Şekil 4.5 : Kırkgeçit Formasyonu'nun, Akmezra kireçtaşı üyesine ait yüzlek. Beyaz, sarı, yer yer beğ renkli kireçtaşları, yer yer marn seviyeleri içermektedir.

4.1.4.1 Akmezra Kireçtaşı Üyesi (Teoka)

İçerisinde bulundurduğu bentonik foraminiferli kireçtaşından oluşan birim Herece vd. (1992) Akmezra Kireçtaşı Üyesi olarak isimlendirmiştir.

Kırkgeçit formasyonunda kumtaşlarının üzerinde ve formasyonun da en üstünde yer alan kireçtaşları, beyaz-sarı renkli orta ve kalın tabakalı marn ara katkılarından oluşur (Şekil 4.5).

Çalışma alanının güneydoğusunda yüzlek vermiştir.

Herece vd. (1992) tarafından, *Nummulites spp.*, *N. cf. orbigny*, *Gypina sp.*, *Asterigerina sp.*, *Planorbulina sp.*, fosillerine dayanılarak birime Üst Eosen yaşı verirken, *Nummulites cf. vascus*, *Halkyardia sp.*, *Asterigerina sp.*, fosilleri erken Oligosen’de çökelmeye işaret eder. Bu nedenle birim yaşı Üst Eosen-Oligosen olarak tayin edilmiştir (Herece ve diğ., 1992).

Orta Eosen’de kuzeyde Avrasya Levhası’nın yitimiyle sonuçlanan kıta kıta çarpışmasının neden olduğu tektonizmaya bağlı oluşan havza koşullarında çökeldiği düşünülmektedir (Özkul, 1988). Ancak kaya türü özelliklerine göre değerlendirildiğinde çökeltme ortamı sığ şelf koşullarına işaret etmektedir (Sümengen 2011a, 2011b).

4.1.5 Palu Formasyonu

Çakıлтаşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından meydana gelen Palu Formasyonu, Çetindağ (1985) tarafından adlandırılmıştır. Daha sonra Kerey ve Türkmen (1991), Herece vd. (1992) de çalışmalarında birimden bu isimle bahsetmişlerdir.

Birim bölgede çeşitli alanlarda geniş yüzlekler vermektedir. Çalışma alanı içerisinde Kumla ve Kumyazı köyleri civarında, Yeşilova köyünün güneyinde, Keban Baraj Gölü’nün batısında ve Palu ilçesinde geniş alanlarda yüzeylenir.

Palu Formasyonu tane ve matriks destekli iyi boylanmış çakıлтаşları, tane ve matriks destekli kötü boylanmış çakıлтаşları, gri ve kırmızı renkli tekne tipi çapraz tabakalar ile karakterize edilen kırmızı ve gri kumtaşı, orta ve yer yer iri tane çakıлтаşları ve kalışli yer yer çakıлтаşlı kırmızı-gri çamurtaşılarından oluşur. Birime ait çökeltme havzaları, örgülü nehirlerle ait akarsu çökelleri ve alüvyon yelpaze çökelleridir (Şekil 4.6).

Birim, Kırkgeçit Formasyonu üzerine aşısız uyumsuz olarak gelirken, çalışma bölgesi içerisinde sadece güncel alüvyon tarafından aşındırılarak örtülmüştür.

Birimin yaşı Kerey ve Türkmen (1991) tarafından Pliyo-Kuvaterner olarak tayin edilirken, Herece vd. (1992) Pleyistosen’e dahil etmişlerdir.



Şekil 4.6 : Palu Formasyonu'nun Ortatepe mevkiinde sahip olduğu yüzlekler. Birim DAMZ'na ait yapılar tarafından kesilerek deforme edilmiştir.

4.1.6 Alüvyon (Qal)

Palu Formasyonu üzerine örtü olarak gelmiş, düz alanlardaki oldukça gevşek malzemeleri çökellerdir. Genellikle akarsu ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluşurlar.

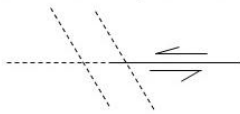
4.2 Yapısal Jeoloji: DAF'ın Palu ve Hazar Gölü Arasında Kalan Kesimi

Kıtasal doğrultu atımlı faylar, içinde yer aldıkları kıtasal kabuğun heterojen yapısı nedeniyle oldukça karmaşık geometrik özellikler kazanabilir (Şengör ve diğ., 2019). Bu tektonik yapıların yüzey izleri, genelde birbirlerinden geometrik süreksizliklerle ayrılan ve çeşitli uzunluklarda segmentlerden oluşur. Doğrultu atımlı fayların segmentasyon yapısı ve geometrilerinin doğrudan sismik davranışları üzerine etkisi vardır. Özellikle büyük geometrik süreksizlikler, yırtılma sürecini durduran sismik bariyer özelliği taşıyabilir (Das ve Aki, 1977; King ve Yieldin, 1984; Schwartz ve Coppersmith, 1984; Bellier ve Sebrier, 1995;).

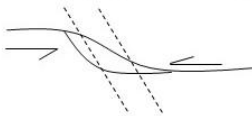
Doğrultu atımlı faylara ait segmentler, doğrultuları boyunca düz bir şekilde ilerleme özellikleri gösterebildiği gibi, bazen sıçramalar ve bükümler yapar. Bu süreksizliklerin, fayın kinematiklerini de göz önünde bulundurduğumuzda sağ veya sol yönlü oluşu, kestiği ortamı sıkıştırıp yükseltebileceği gibi, çöküntü yaratıp

genişlemesine de sebep olabilir (Şekil 4.7). Bu lokal sıkışma veya çökme alanları, zamana ve geometrik süreksizliğin boyutlarına bağlı olarak, çek-ayır havzaları veya basınç sırtlarına evrilebilir. Gelişen bu yapılar olası bir sismik hareketin çekirdeklenmesi veya gerilme enerjisini azalttığına dair fikir verebilir. Ayrıca fayın segmentasyon özellikleri sebebiyle meydana gelen havzaların, her zaman ideal şekilde gelişemeyeceği düşünülürse, bölge morfolojisinin ne kadarı tektonik süreçlerle ne kadarı ise erozyonel süreçlerle ilişkili olduğu konusunda yorum yapma imkanı verebilir.

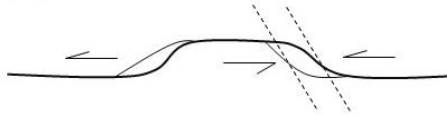
(a) Fay oblik olarak kabuksal zayıflıkları keser.



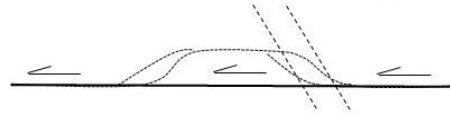
(b) Sıkışmalı büküm oblik yapı üzerinde gelişmeye başlar



(c) Fayın gelişerek ilerlemesiyle sıkışmalı büküm ve büküm çifti gelişir.



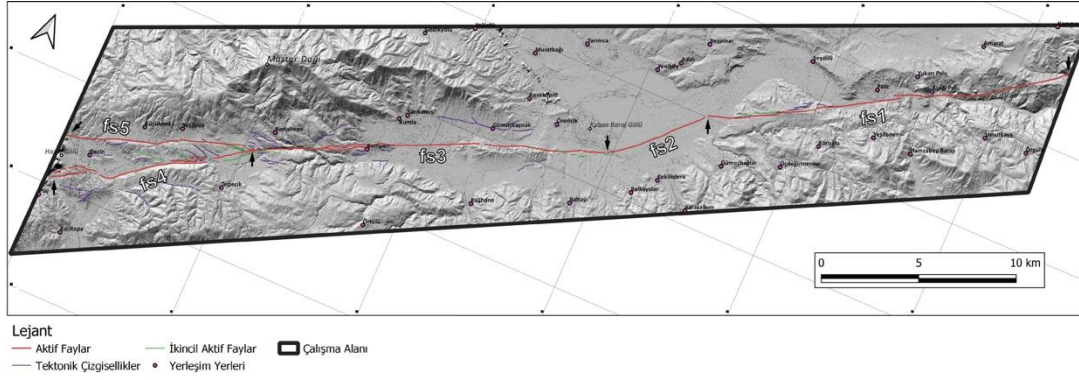
(d) Fayın evriminin ilerleyen kesimlerinde fay, en kısa yolu seçerek büküm çiftini terk eder.



Şekil 4.7 : Sıkışmalı ve büküm yapılarının iki boyutlu görselleştirilmesi. (a) Doğrultu atımlı faylar boyunca, P- ve R-makaslamalarının bağlı olarak gelişen genişlemeli ve sıkışmalı bükümlerin oluşumu (Cowgill ve diğ., 2004b; Gamond, 1987). (b) Swanson (2005) tarafından mezoskopik haritalama ve kıtasal doğrultu atımlı fayların meydana getirdikleri genişlemeli ve sıkışmalı bükümlerin oluşum havzaları için model. (c) Mann ve diğerlerine (2007a)'nin yapmış olduğu birden fazla sıkıştırılmalı büküm ve genişlemeli oluşumu için model.

4.2.1 DAF'ın Palu ve Hazar Gölü Arasında geometrik segmentasyonu

DAF, çalışma alanı içerisinde Palu ve Hazar Gölü arasında yaklaşık 77 km uzunluğa sahiptir (Duman ve Emre, 2013). DAF'a ait bu fay parçası Karlıovanın güneybatısında Gökdere'de başlar ve Hazar Gölü'nde biter. Bu aralıkta, Çakır vd. (2022) ve Köküm vd. (2022) tarafından önerilen fay geometrisi göz önünde bulundurulduğunda, toplam 5 segment dikkati çeker (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Palu kuzeydoğusu ve Hazar Gölü arasında DAF'ın sahip olduğu geometri (Çakır ve diğ., 2022; Köküm ve diğ., 2022). Fay, yüzey izine göre toplam beş segmentten oluşur.

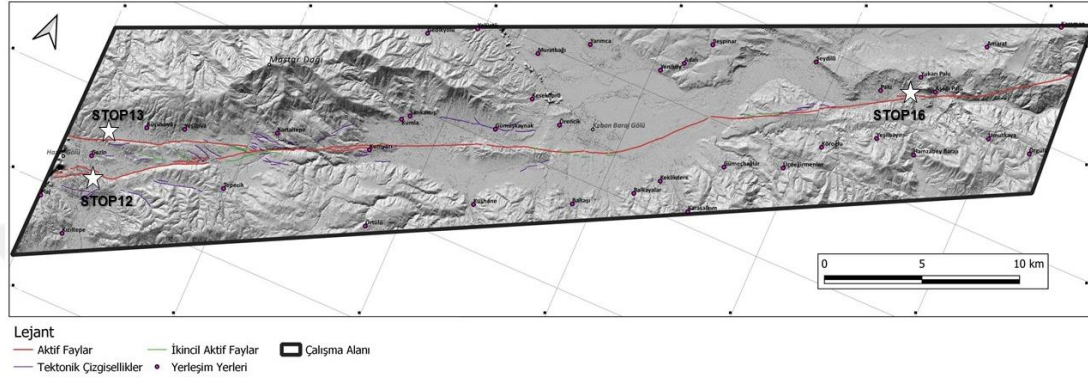
Fs1 kuzeydedoğuda Gökdere sıkışmalı bükümünün oluşturduğu yükseltiler ile başlar ve güneybatıya doğru Murat Vadisi'nin çizgiselliği boyunca uzanır. Burada Murat Nehri'ne dik akan ikincil akarsu kanalları boyunca meydana gelmiş ve 200 metreye kadar varan sol yanal bükümler/atımlar fayın etkinliği ile ilgili önemli göstergelerdir (Duman ve Emre, 2013). Palu ilçesinin güneyinde küçük bir açılmalı sıçrama dikkati çeker.

Fs2, Gümeçbağlar ve Balkayalar köylerinin kuzeyi arasında açılmalı çift bükümle karakterize olur. Bölgedeki genişleme ve bununla ilgili geniş alüvyal düzlük oluşumu, fayın morfoloji üzerinde takip edilmesini zorlaştırır.

Fs3, sıkışmalı çift bükümün güneybatı ucundan başlar, Orta Tepe sırtını kuzeyden sınırlayarak devam eder ve Kartaldere Vadisi'ni takip ettikten sonra, Kartaldere Köyü'nün hemen kuzeydoğusunda sonlanır. Faya paralel uzanan Ortatepe sırtı, geniş alüvyal düzlük içerisinde fayın en belirgin morfotektonik yapılarından biridir. Sırt eksenine dik gözlenen kesitlerde ana yerdeğiştirme makaslmasına uzak, çok sayıda ikinci yapı dikkati çeker (Şekil 4.6). Fayın doğrultusu boyunca, birbirine paralel kollar ve özellikle Kartaldere Vadisi'nin 'v' biçimli derin vadisi dikkati çeker. Fs4 ve Fs5, Kartaldere Köyü'nün orada ikiye çatallanan fayın sırasıyla güney ve kuzey kollarını oluşturur. Fs4 için Gezin Fayı, fs5 için ise Havri Segmenti önceki çalışmalarda yer alan diğer adlandırmalar arasındadır (Çetin ve diğ., 2003). İki segmentin çatallandığı yerde, fs5'in sıkışmalı sıçraması, Kartaldere köyü'nün üzerinde yer aldığı sırtın oluşumuna yol açmıştır. Fs4, Hazar Gölü'ne girdikten sonra sonlanırken, fs5 bir Hazar Gölü içerisinde devam eder (Moreno ve diğ., 2010).

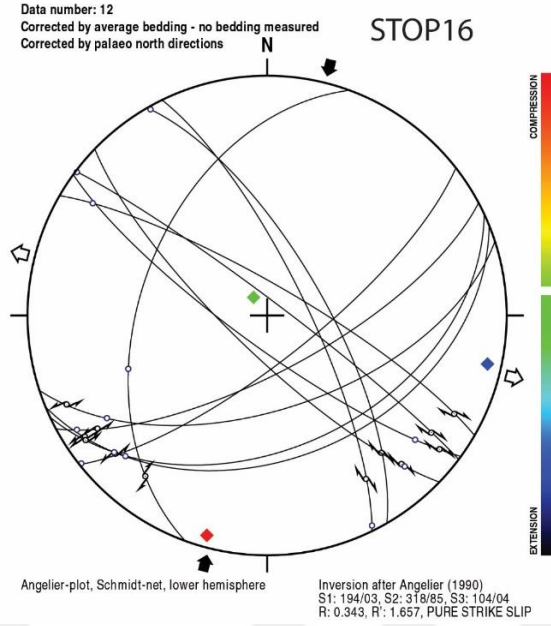
4.2.2 DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasında kinematik özellikleri

Çalışma bölgesi içerisinde, DAF'ın veya DAMZ'ye ait diğer makaslamaların ana kayayı kestiği yerlerde Köküm (2017) ve Köküm ve İnceöz (2018) tarafından fay çiziklerine dayalı olarak paleostres çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında aynı yüzleklerden fay kayacı örneklendiği için, bu ölçümlerin analiz sonuçları kuzeydoğudan güneybatıya doğru sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.



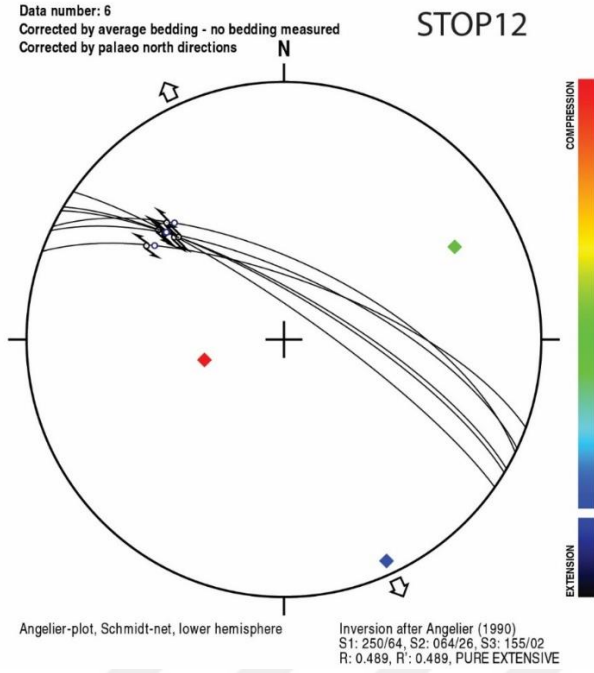
Şekil 4.9 : Palu ve Hazar Gölü arasında DAF boyunca gerçekleştirilen kinematik ölçüm yüzleklerinin yerleri.

STOP16, fs1 üzerinde Palu ve yakın civarında Kırkgeçit Formasyonu'na ait yüzlekleri temsil eder (Şekil 4.9). DAMZ'nun bu birimi kestiği noktalardan alınan ölçümler, saf sol yanal doğrultu atım tektoniğine işaret eder (Şekil 4.10) (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).



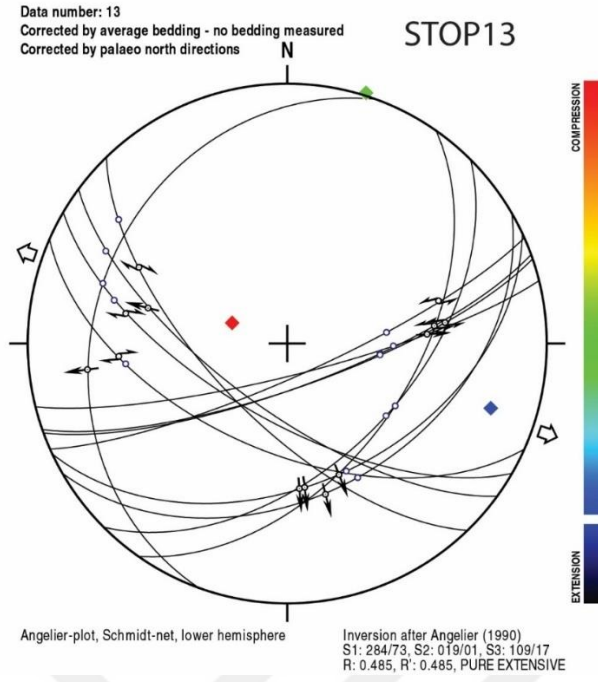
Şekil 4.10 : Kırkgeçit Formasyonu içerisinde ölçülen kinematik verilerin SG2PS yazılım çıktısı (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).

STOP12, fs4 üzerinde DAMZ'nun Hazar Grubu'na ait şeyle ve kumtaşı kayaçlarını kestiği bir yüzlektir. Genelde kıltaşları içinde gelişmiş fay düzlemlerinde ölçülen kinematik verilerin SG2PS yazılımı ile yapılan analizi, KB-GD yönünde saf genişlemeli bir gerilme rejimine işaret eder (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : STOP 12 (Fay kayacı olarak Gezin-1 kesiti) boyunca ölçülen fay düzlemleri ve bunlardan elde edilmiş kinematik verilerin SG2PS sonuçları. Bu verilere göre bölge KB-GD yönde genişlemektedir (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).

Fs5 üzerinde ise Guleman ofiyolitinin üyeleri içerisinde belirlenen fay yüzleklerinde (STOP 13) Köküm, (2017) ve Köküm ve İnceöz (2018) çalışmalarında ölçülen toplam 13 adet kinematik veriye göre, BKB-DGD yönünde saf genişleme mevcuttur (Şekil 4.12).

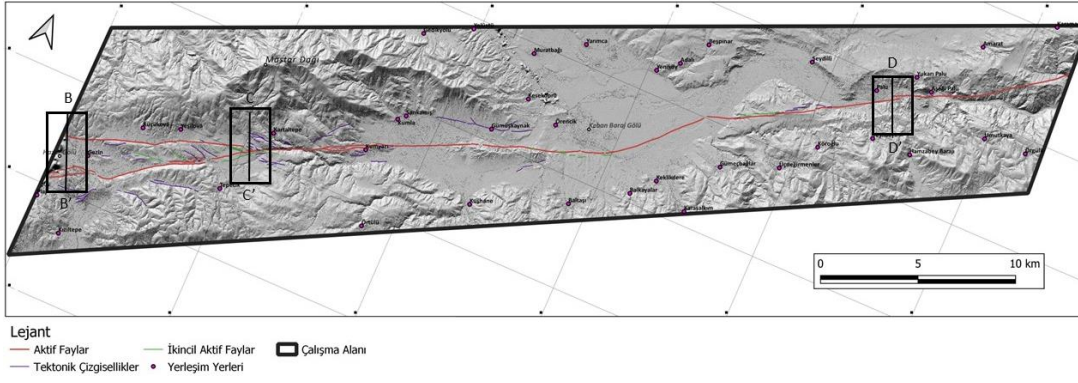


Şekil 4.12 : DAF'ın Hazar Gölü KD'sunda fs5 üzerinde ölçülen kinematik verilerin SG2PS çıktısı. Buna göre BKB-DGD yönlü açılmalı gerilme koşulları hakimdir (Köküm, 2017; Köküm ve İnceöz, 2018).

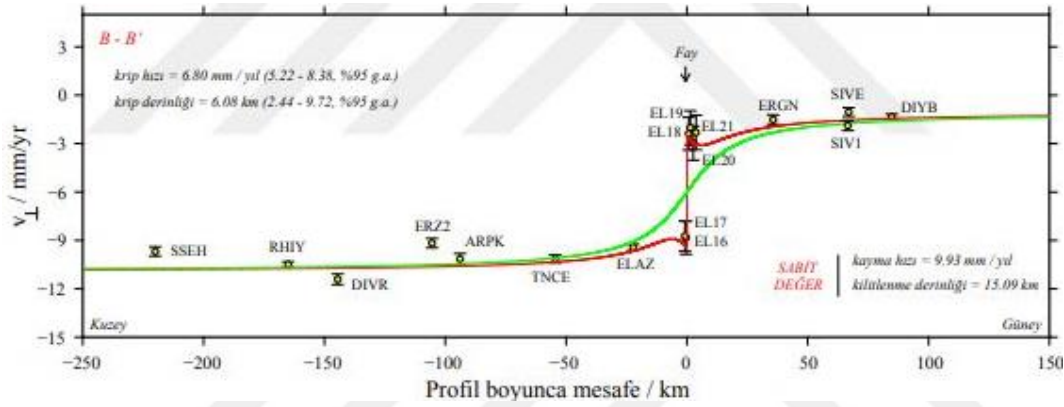
5. FAY KAYAÇLARININ FAY MEKANİĞİNE ETKİLERİ

Bir faya ait enerji, fay zonlarında zamanla birikmiş gerilmenin aniden serbest kalması olarak ortaya çıkabileceği gibi, asismik kayma veya krip olarak adlandırılan yavaş, sünek ve kalıcı davranışlar ile de kendini gösterebilir (Peng ve Gomberg, 2010; Beroza ve Ide, 2011; Barbot ve diğ., 2012). Farklı fay zonlarına ait çalışmalarda, asismik kaymanın farklı minerolojik ve akışkanlara ait süreçlerde, kayaçların petrofiziksel özelliklerinin, fayın mekanik davranışına dair önemli bulgular ortaya koyduğu sonucuna varılmıştır. Fayın davranışını anlayabilmek için fay kayaçları (Engelder 1974; Knipe ve diğ.,1998), özellikle fay zonlarında oluşmuş kil minerallerini incelemek önemlidir (Sibson, 1977; Carpenter ve diğ., 2011). Kil minerallerine ait düşük sürtünme direnci (Collettini ve diğ., 2009a), normal gerilme bileşeni (Ramsay, 1967) ve boşluk suyu basıncı (Rice, 1992) gibi parametreler fayların çalışma prensibini etkiler. Tüm bu bileşenler dikkate alındığında fay killerinin fayın mekanik davranışı hakkında bilgi verebileceği anlaşılmıştır (Sibson, 1977; Carpenter ve diğ., 2011; Moreno ve diğ., 2012; Xu, ve diğ., 2015; Balima ve diğ., 2019).

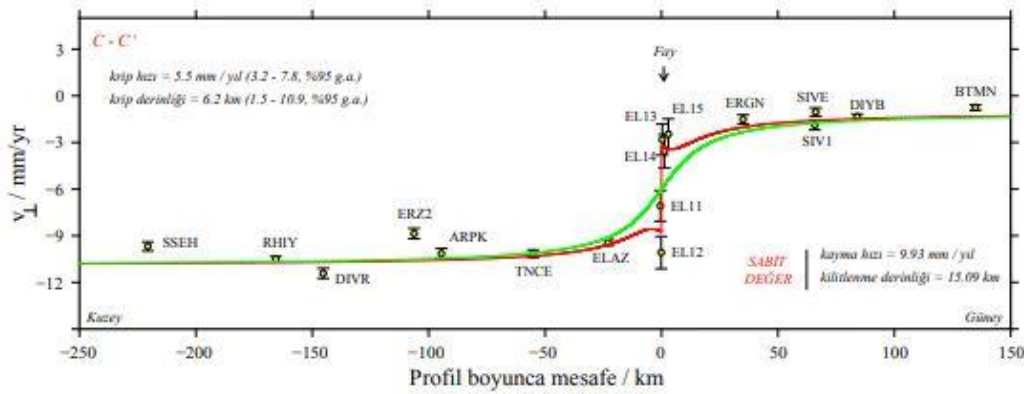
Doğu Anadolu Fayı'nın Palu ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında kalan kesimi üzerinde günümüze kadar gerçekleştirilen GNSS, InSAR ve sismoloji çalışmaları, genel tektonik yüklemeye göre kayda değer miktarda asismik kayma (krip) meydana geldiğine işaret eder (Özarpacı ve diğ., 2017; Konca ve diğ., 2021). Şekil 5.1, GNSS tabanlı hız profillerinin yerlerini gösterirken, Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 (Özarpacı, 2017) DAF'ın bu kesiminin çok kısa dönem hız yapısını gösteren profillere aittir.



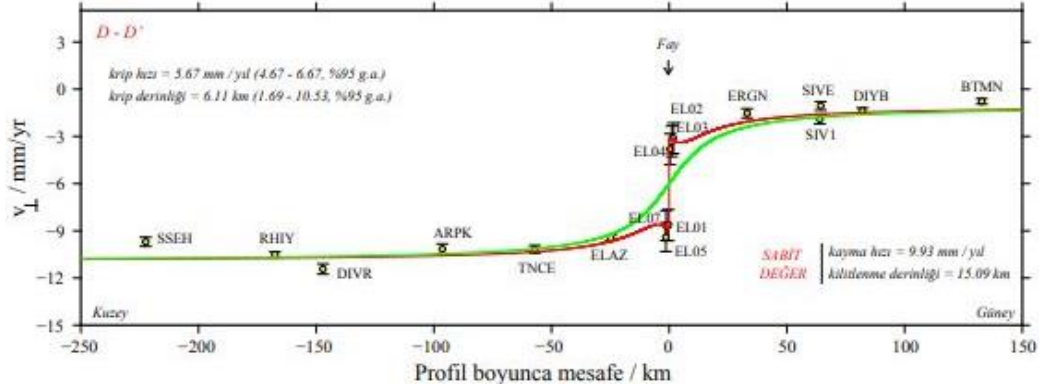
Şekil 5.1 : DAF'ın Palu ve Hazar Gölü arasında kalan kesiminin çok kısa dönemini temsil eden ve GNSS tabanlı hız profillerinin (Özarpacı, 2017) lokasyonları.



Şekil 5.2: DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde B-B' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).



Şekil 5.3 : DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde C-C' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).



Şekil 5.4 : DAF'ın Hazar Göl-Palu arasında kalan kesiminde Gezin civarından ölçülmüş, faya dik yönde D-D' kesitinden oluşturulmuş hız profili ve hesaplanan krip oranı (Özarpacı, 2017).

5.1 Yöntem ve Materyal

Yapısal kaya numunelerinin konumları, derlenen jeoloji haritası, optik uydu görüntüleri ve ortofolar ve önceki saha çalışmaları kullanılarak belirlenmiştir. Bu noktalarda fayın ana kayayı kestiği konumlardan fay parçalarının genelini temsil edecek şekilde 10 lokasyondan 57 adet adet örnek alınmış bu örneklerin uygun bulunan 44 adeti XRD yöntemi ile analiz edilmiştir. Toplanan örnekler arasında fay boyu mekânsal dağılımları göz önünde bulundurarak, dört adet örnek seçilmiş, bunlar kil zenginleştirmesine tabi tutulduktan sonra tekrar XRD analizine tabi tutulmuşlardır.

Çizelge 5.1 : Çalışma bölgesinde örneklenen fay kayaçları.

KESİT	ÖRNEK NO	BOYLAM	ENLEM	FORMASYON	SEMBOL	LİTOLOJİ
GEZİN-1	G001	39.52276	38.49908	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G001A	39.52276	38.49908	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G001B	39.52276	38.49908	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G002	39.52276	38.49908	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G003	39.52276	38.49908	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G005	39.52313	38.49878	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G006	39.52313	38.49878	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G007	39.52313	38.49878	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G008	39.52313	38.49878	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn

KESİT	ÖRNEK NO	BOYLAM	ENLEM	FORMASYON	SEMBOL	LİTOLOJİ
	G009	39.52313	38.49878	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G010	39.52336	38.49844	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
	G011	39.52336	38.49844	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn
GEZİN-2	D-023	39.52623	38.52833	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
KARTALDERE-1	KR-001	39.61153	38.55483	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
KARTALDERE-2	KR-002	39.61136	38.55296	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	KR-003	39.61132	38.55295	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	KR-004	39.61132	38.55295	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	KR-005	39.61132	38.55295	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	KR-006-AK	39.61132	38.55295	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
KARTALDERE-3	D-029	39.64266	38.56603	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	KYZ-01	39.64266	38.56603	Hazar Formasyonu/Guleman Ofiyoliti	Kh/Kgg	Çamurtaşı - Ultramafik ve mafik magmatikler
	KYZ-02	39.64266	38.56603	Hazar Formasyonu/Guleman Ofiyoliti	Kh/Kgg	Çamurtaşı - Ultramafik ve mafik magmatikler
	KYZ-03	39.64266	38.56603	Hazar Formasyonu/Guleman Ofiyoliti	Kh/Kgg	Çamurtaşı - Ultramafik ve mafik magmatikler
	KYZ-04	39.64266	38.56603	Hazar Formasyonu/Guleman Ofiyoliti	Kh/Kgg	Çamurtaşı - Ultramafik ve mafik magmatikler
	KYZ-06	39.64266	38.56603	Hazar Formasyonu/Guleman Ofiyoliti	Kh/Kgg	Çamurtaşı - Ultramafik ve mafik magmatikler
KÜÇÜKOVA	GZ-004	39.55268	38.53073	Hazar Formasyonu	Kh	Çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, marn

KESİT	ÖRNEK NO	BOYLAM	ENLEM	FORMASYON	SEMBOL	LİTOLOJİ
PALU-1	PL-001	39.88295	38.66625	Maden Karmaşığı	Tem	Kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	PL-002	39.88295	38.66625	Maden Karmaşığı	Tem	Kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
PALU-2	P-02	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-04	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-05	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-09	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-11	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-12	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-13	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-14	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-15	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-19	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-31	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-32	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	P-33	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	PO-30	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)

KESİT	ÖRNEK NO	BOYLAM	ENLEM	FORMASYON	SEMBOL	LİTOLOJİ
	PO-31	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	PO-32	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	PO-33	39.95038	39.88295	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
PALU-3	Ph-01	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-16	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-17	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-18	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-20	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-21	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-22_kahve	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
	Ph-22_yeşil	39.96908	38.70416	Kırkgeçit Formasyonu/Maden Karmaşığı	Teok/Tem	Killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanik (bazalt, andezit)
YEŞİLOVA	YO-001	39.57084	38.5362	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	YO-002	39.57084	38.5362	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	YO-003	39.57084	38.5362	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro
	YO-004	39.57084	38.5362	Guleman Ofiyoliti gabro birimi	Kgg	Gabro

Örnek toplama aşamasında fayların ana kayayı kestiği noktalar belirlendikten sonra saha çalışmaları boyunca iki farklı örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. 1) Kohezyonlu kayaların çekiç yardımı ile numunelendirilmesi 2) Kohezyona sahip olmayan

kayaçların 20 cm uzunluğunda ve 4 cm çapında ölçülerinde silindirik metal borular yardımıyla hava ile temas etmeden paketlenmesi yolu ile. Alınan numuneler, hidrolik öğütücü ve agat havanı yardımıyla pudra kıvamına getirilip XRD yöntemine hazır hale getirilmiştir. Tam kaya örneklerinin bir kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü XRD Laboratuvarında, diğer büyük kısmı ise Yıldız Teknik Üniversitesi, Merkez Laboratuvarında ölçülmüştür. Kil zenginleştirilmesinden geçirilen ve Gezin, Kartaldere ve Palu kesitlerine ait 4 adet örneğin XRD ölçümleri ise Konya Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarına XRD için Bruker marka cihazda kullanılmıştır. Ölçümler sırasında $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu, 40 mA, 40 kV çalışma koşullarında, $0,005^\circ$ tarama hızında, 0,1 sn zamanda, 0,2 mm slit aralığında ve LynxEye dedektör kullanılarak $5-72^\circ$ arasında gerçekleştirilmiştir. Konya Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ise, GNREUROPE 600 XRD model cihazda, $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu (0.1540596 nm), 40 mA, 40 kV çalışma koşullarında, $0,005^\circ$ tarama hızında, 0,250 mm slit aralığında gerçekleştirilmiştir. 2θ aralıkları XRD grafikleri üzerinde belirtilmiştir.

5.1.1 Killerin tanımlaması için dekantasyon yöntemi ile numune hazırlama

Daha önce XRD incelemeleri yapılmış örneklerden yüksek miktarda kil içeren ve fayın farklı kesimlerinden toplanmış PH-22-kahverengi, G-001, KR-003 ve P-05 ayrıntılı kil tanımlanması için seçilmiştir. Bu örnekler oda sıcaklığında 24 saat kurutulduktan sonra, agat havanda iyice öğütülmüş ve sonrasında elde edilen malzeme ile çamurlu bir süspansiyon hazırlanmıştır. Örneklerin eklendiği ve iyice karıştırılan beherler, ultrasonik banyo içerisine yerleştirilip oda sıcaklığında 20 dakika karıştırılmıştır. Takip eden adımda, numuneler çalkalamalı su banyosunda oda sıcaklığında bir saat daha karıştırılmıştır. Su banyosundan sonra numuneler 20°C sıcaklıkta 4 saat bekletilmiştir. Silt ve killerin ayrıştırılması için şırınga ile çekilen karışım, santrifüj tüplerine eşit hacimlerde aktarılmıştır. Bu işlem, yeterli kil miktarı elde edilene ve süpernatant neredeyse berraklaşana kadar tekrarlanmıştır. Santrifüj tüpleri karıştırıcıda iyice karıştırıldıktan sonra 4000 dev/ 30 dk santrifüj edilmiş, mumunelerin üzerinde kalan süpernatant dikkatlice boşaltılarak, tabanda kalan kil mikro spatül ile başka bir kaba aktarılmıştır.

5.1.2 Yönlendirilmiş X-ışını toz kırınımı için numune hazırlama

Yönlendirme prosedürü, levha şekilli fillosilikatlardan olan kil minerallerine ait kristallerin yatay durmalarını sağlayarak, X-ışınının minerallerin z ekseninden aşağı doğru yönlenmesini ve tanısal olarak bazal kırınımları kaydetmesini amaçlar.

Bu işlem, bir difraktometrenin numune tutucusuna uygun olarak kesilmiş cam slaytların distile su ile durulanıp, numune etiketlemesi ile başlar. Filtreleme cihazına dökülen 20 ml kil süspansiyonu, tamamen filtreden çekilir çekilmez cam huniye çıkarılır. Üzerinde kil biriken nemli filtre kağıdı, cihazdan metal spatula yardımıyla çıkarılarak, filtre üzerindeki kil lam üzerine aktarılır. Kil yayılımlar birkaç dakika oda sıcaklığında kurutulur ve X-ışını kırınım analizi için gerekli aşama tamamlanmış olur.

5.1.3 X-ışını toz kırınımı için ısıtma işlemleri

Çeşitli sıcaklıklarda ısıtma işlemleri, kristal yapı aralıklarındaki değişiklikleri veya yapı kaybını ortaya çıkararak kil minerallerini tanımlamaya yardımcı olmak için yaygın olarak kullanılır. Sıcaklığa ve mineral türlerine bağlı olarak, bu işlemler yapıyı dehidrasyonla çöktürebilir veya diğer mineraller söz konusu olduğunda kristal yapıları bozabilir.

İlk adım olarak yüksek sıcaklık fırını 400 °C'a ısıtılır. Yönlendirilmiş kil içeren yayılımlar maşa kullanılarak fırına yerleştirilir. 30 dakika fırında bırakılan numuneler, XRD incelemesinin hemen öncesinde fırından çıkartılarak, difraktometreye yerleştirilip analiz işlemlerine başlanır. Aynı prosedür 500 °C için de tekrar edilir.

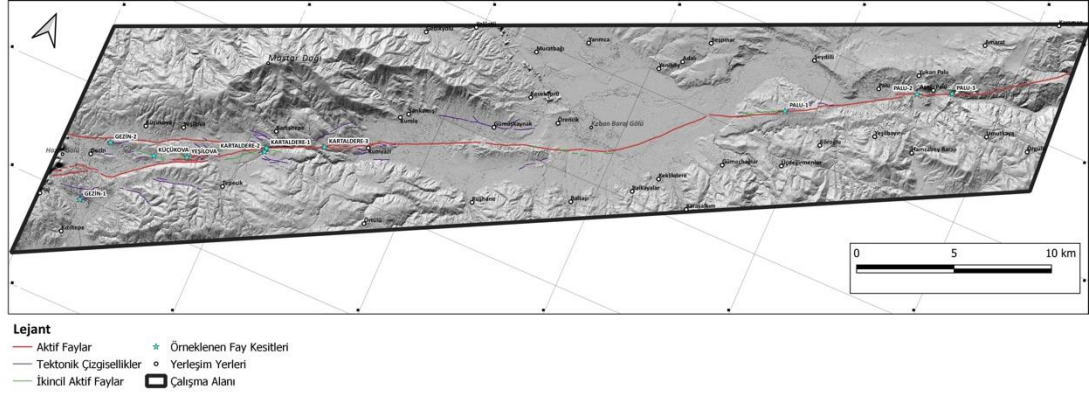
5.1.4 Etilen glikol uygulaması

Etilen glikol, şişen killeri genişletmek için yardımcı bir işlem olarak kullanılır. Bir mineralin genişleme oranı, ek bilgi vermektedir.

Bu işlem için desikatörün tabanına 1 cm derinliğe kadar etilen glikol eklenir, yönlendirilmiş kil yayılımları desikatörün rafına yerleştirilir. Yaklaşık 4 saat boyunca 60°C sıcaklıkta fırında bekletirli. Bu süre sonucunda X-ışını difraktometresinde ölçümler gerçekleştirilir.

5.2 Fay Kayaçlarının Petrofiziksel Özellikleri

Çalışma alanında toplanan fay kayacı örneklerinin XRD ölçümleri, sonucunda kil, kuvars, karbonat, zeolit, feldispat ve Fe-oksit mineralleri tanımlanmıştır. Örneklenen her bir fay kesiti (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.5) için elde edilen sonuçlar aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

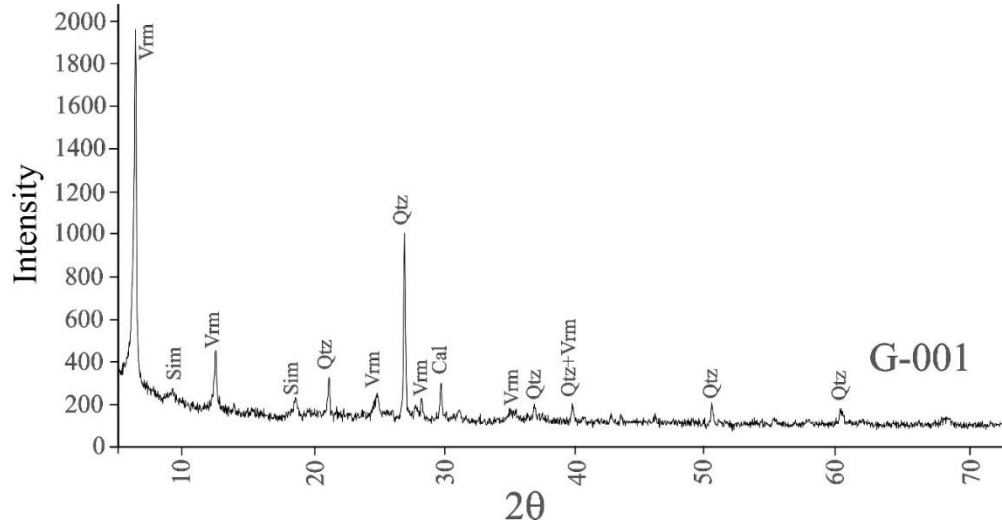


Şekil 5.5 : Çalışma alanında örneklenen fay kayacı lokasyonları

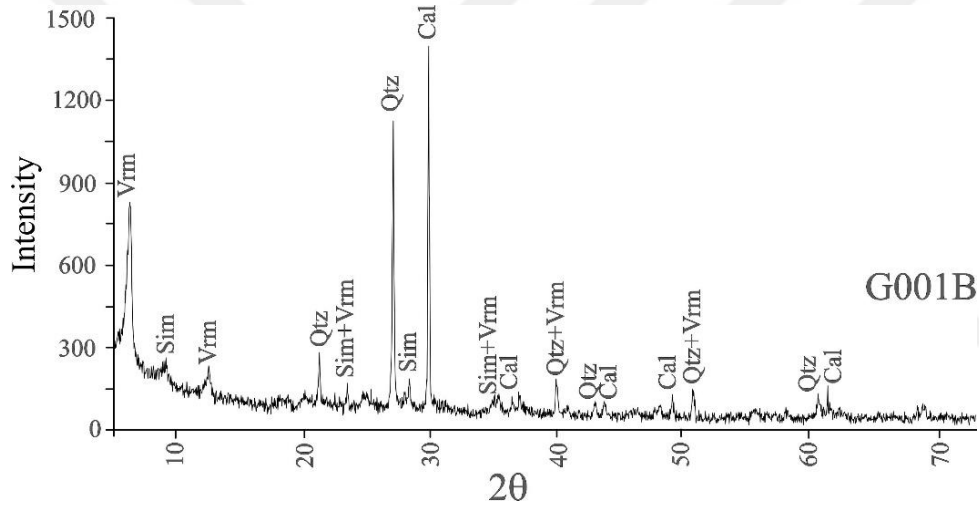
5.2.1 Gezin-1 kesiti

Gezin-1 kesiti, Hazar Gölü'nün kuzeydoğusunda, çalışma alanının en güneybatı kesiminde yer alır. DAF'ın fs4 segmenti Hazar Gölü'ne girmeden hemen önce iki küçük kola ayrılır. Örneklenen fay kayaçları, Hazar Grubu'nun açık kahve-gri renkli şeyl ve kumtaşı içinde gelişmiştir.

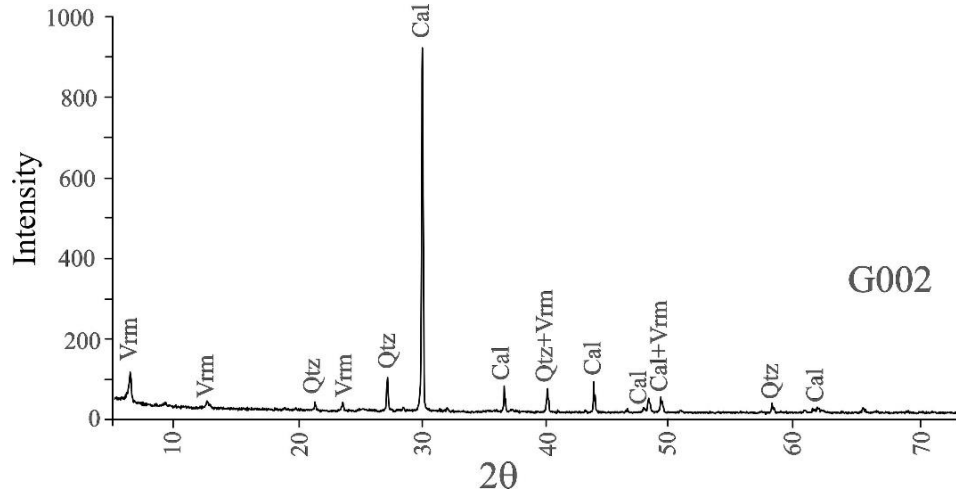
Alınan örneklerden, G001 ve G001b baskın olarak vermikülit içerirken, ikincil olarak simektit grubu killeri görülür (Şekil 5.6 ve 5.7). G002, G003, G009 ve G011D örneklerinin kil oranları düşük, kalsit ve kuvars içerikleri yüksektir (Şekil 5.8 ve 5.9).



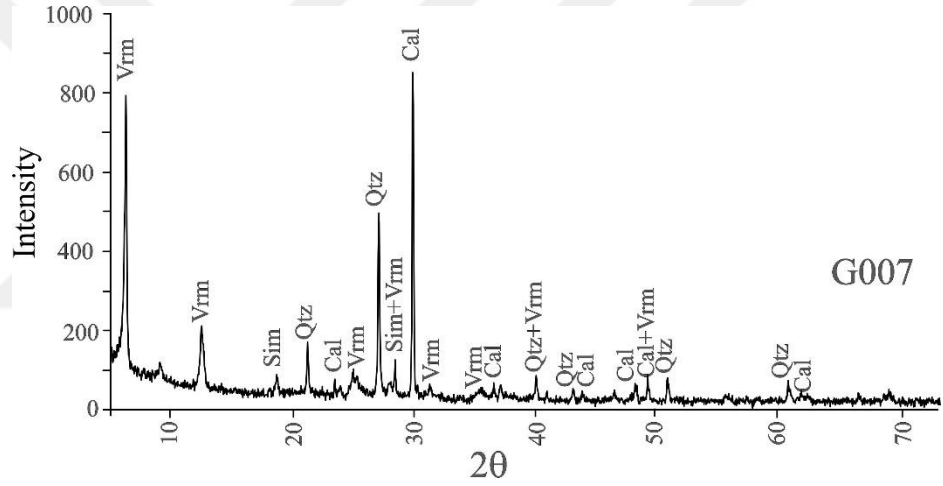
Şekil 5.6 : G001 örneğine ait X ışını kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



Şekil 5.7 : G001b örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



Şekil 5.8 : G002 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



Şekil 5.9 : G007 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).

5.2.2 Gezin-2 kesiti

Gezin-2 kesiti, DAF'ın Hazar Gölü kuzeydoğusunda fs5' yakın bir çizgisellik üzerindedir (Şekil 5.5). Çok sayıda ikincil fayla kesilen Gulemen ofiyolitine ait serpantinleşmiş gabro, örnekleme alanında diyabaz daykları ile kesilmiştir (Şekil 5.10).

Bu ikincil fay kollarına ait zondan alınan D-023 numunesi, XRD'ye uygun boyutta öğütülemediği için ölçümü gerçekleştirilememiştir.

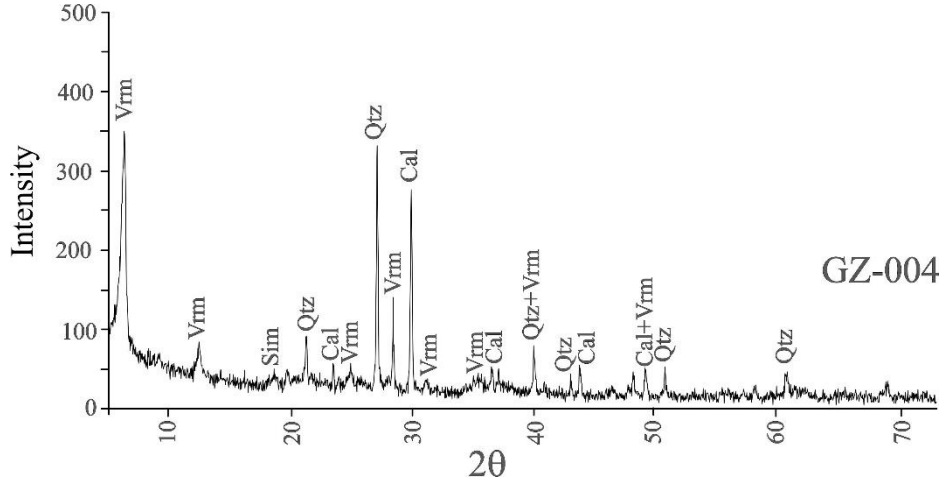


Şekil 5.10 : Gezin-2 kesiti. Guleman ofiyolitine ait serpantinleşmiş gabro, diyabaz daykları ile kesilmiştir.

5.2.3 Küçükova kesiti

Küçükova kesiti, Gezin'in kuzeydoğusunda fs4'e paralel ikincil makaslamalardan biri üzerinde yer alır (Şekil 5.5). Buradan alınan tek örnek olan GZ-004, fayın Hazar Grubu'na ait ince kırıntılı sedimanter kayaları içerisinde oluşturduğu zondan alınmıştır. Yüzlek boyunca altere rengi sarı-beyaz şeyller gevşek ve dağılmış haldedir. Burada kayaçların matrisinde yer alan karbonat dolguları dikkat çeker.

XRD ölçümleri, GZ-004 içerisinde kuvars, kalsit ve kil mineral gruplarının varlığına işaret eder. Fay kayaçlarının içinde en baskın kil mineralini vermikülit oluşturken, ayrıca kuvars ve kalsit varlığı dikkati çeker (Şekil 5.11).



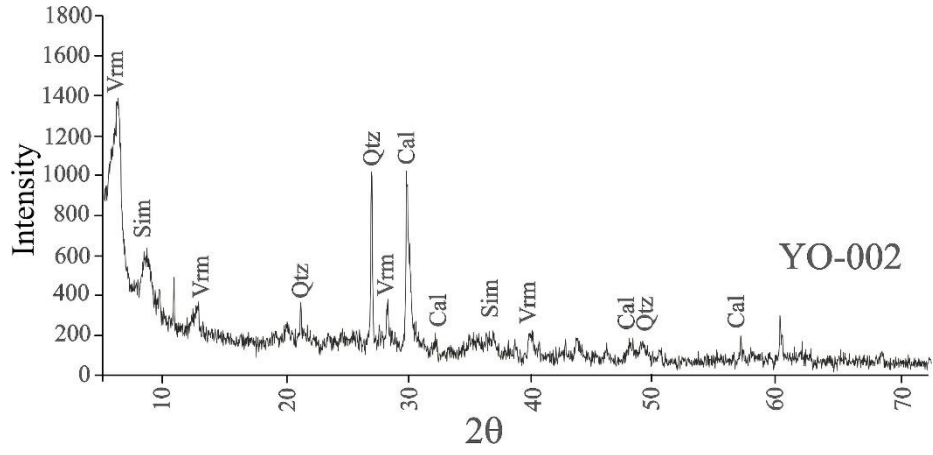
Şekil 5.11 : GZ-004 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).

5.2.4 Yeşilova kesiti

Yeşilova Kesiti, YO-001, YO-002, YO-003, YO-004 örneklerini içerir. Guleman Ofiyoliti'ne ait gabroların içinde yer alan kesit, fs4'e paralel ikincil bir makaslama yapısı üzerindedir (Şekil 5.5). Yüzlek, ayrılmış deforme Guleman ofiyoliti ile Hazar Grubu'na ait kırmızı-bordo çamurtaşları ve şeyller dokanaklıdır. Birimin üst seviyelerine doğru yamaç molozu gözlenir. Kuvartner çökellerine ait bu döküntü ters bileşenli bir fayla Üst Kreatese çökellerinin üzerinde yer alır. Beyaz renkli birimlerin arasında serpantinleşmiş malzeme açıkça seçilebilmektedir (Şekil 5.12). Bu kısımda breşik zonlar görülmektedir. Bu deformasyon zonlarından alınan numunelerde YO-002 XRD ile ölçülmüş, içerisinde kuartz, kalsit ve kil grubu mineralleri saptanmıştır. Killer ağırlıklı olarak smektit ve vermikülit grubuna aittir (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 : Yeşilova kesitinde görülen makaslanmış ana kaya yüzleği.



Şekil 5.13 : YO-002 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim: Simektit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit)

5.2.5 Kartaldere-1 kesiti

Kartaldere-1 kesiti, Kartaldere köyünün doğusunda, fs3'ün hemen üzerinde yer alır (Şekil 5.5). Guleman ofiyilotinin Gabro üyesini aşındırarak oluşan V tipi vadinin yamacında, ana yerdeğiştirme makaslaması üzerinde görülen fay kayaçlarından bir adet örnek alınmıştır (Şekil 5.14). Ancak numune hazırlama aşamasında yeterli materyal ayıklanamadığı için XRD ölçümü gerçekleştirilememiştir.



Şekil 5.14 : Kartaldere-1 kesitinin yeri. Kartaldere Vadisi'nin girişinde yer alan bu kesim, Guleman Ofiyoliti'nin breşik bir zon boyunca uzanması ile karakterize olur.

5.2.6 Kartaldere-2

Kartaldere-2 kesiti Kartaldere'nin güneyinde yüzlekler veren masif, beyaz-gri oldukça deforme olan mafik kayaların içerisinde yer alan fay zonlarından oluşur (Şekil 5.5). Kesitte Guleman ofiyoliti'ne ait gabrolarda yer yer sarı-kahve renklerde alterasyonlar gözlenir (Şekil 5.15). KR-003, KR004 ve KR 005 fay zonunda alınan killer ve breşik kayalardan oluşurken, KR006 örneği ofiyolitik birime ait mafik kayalardan alınmıştır (Şekil 5.16).

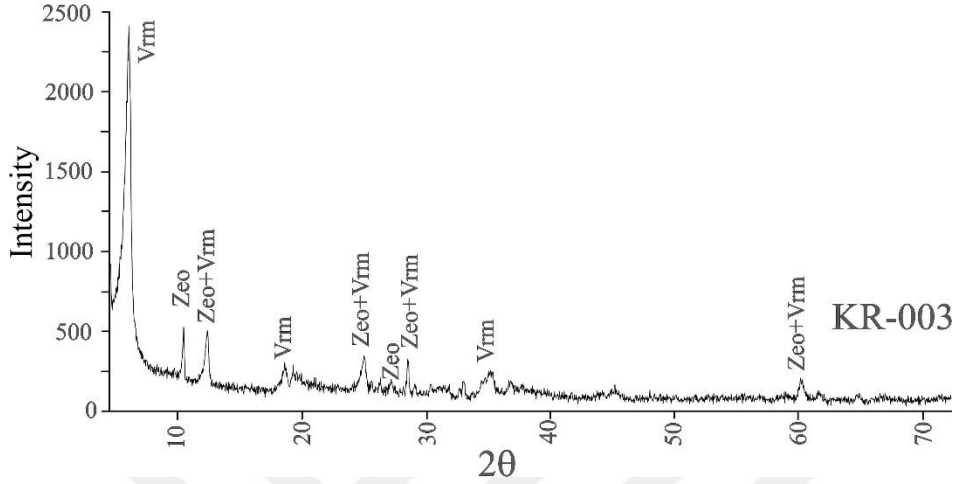


Şekil 5.15 : Kartaldere-2 kesitinde yüzeyleyen Guleman ofiyolitinin gabro birimi.



Şekil 5.16: Kartaldere-2 kesitinde gabroların içinde gelişen fay breşi.

Bu kesite ait toplanan numunelerde bölgeyi temsil eden KR003'ün XRD ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda zeolit, vermikülit ve bunların karışımına rastlanmıştır (Şeil 5.17).



Şekil 5.17: KR-003 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: vermikülit, Zeo: Zeolit).

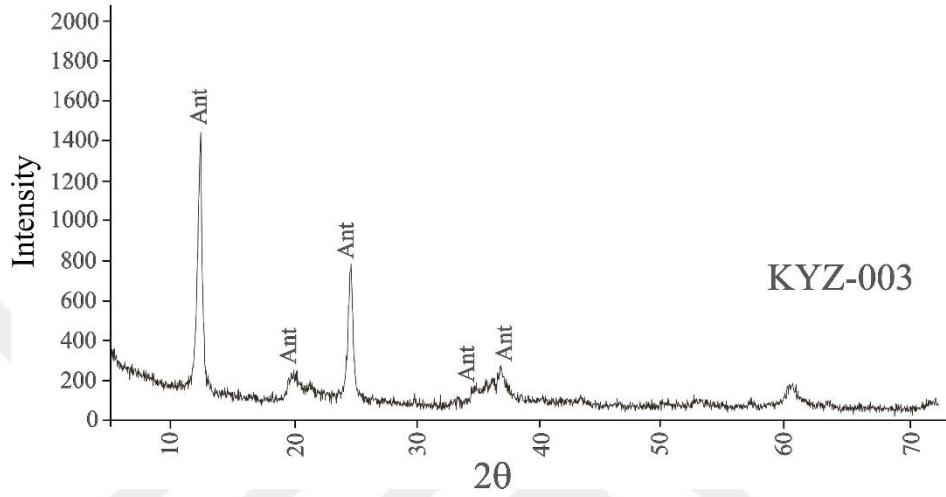
5.2.7 Kartaldere-3 kesiti

Kartaldere-3 kesiti Kartaldere vadisinin yakınında Gezin ile Kumyazı arası bölgesinde yer alır. Bölgede DAF, Hazar Grubu'na ait bordo-kahve kırıntılı kayalar ile Guleman ofiyolitine ait mavi-gri renkli mafik ve ultramafik kayalar arasındaki tektonik dokanağı oluşturur (Şekil 5.18).

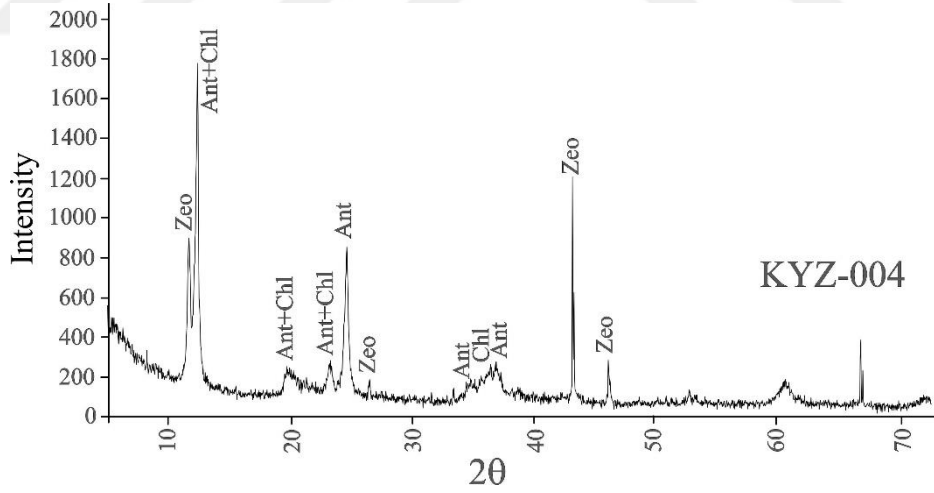


Şekil 5.18 : (a) Hazar Formasyonu'na ait bordo-kahve kumtaşları ile Guleman Ofiyolitine ait mafik kayaların dokanağı. (b) Ofiyolitik birimde sıralanmış fiber kristalen beyaz mineral gelişimleri.

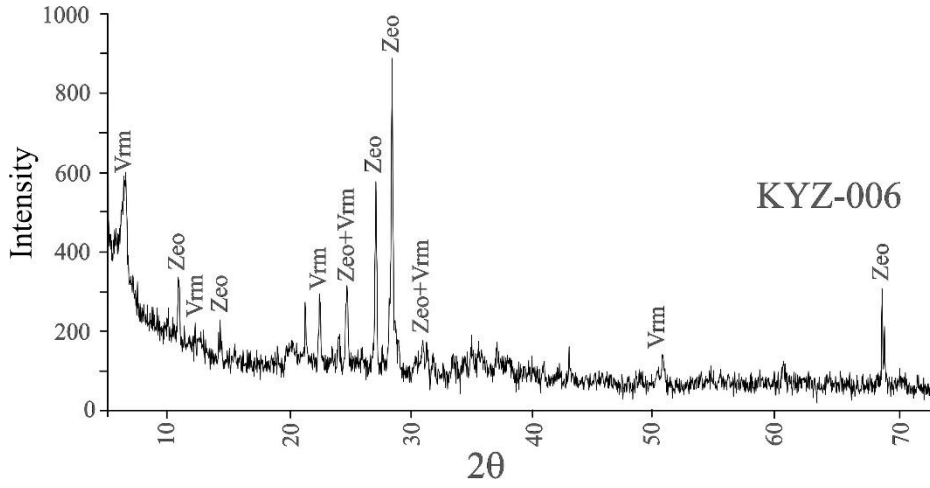
Buraya ait Kartaldere-3 kesitinde bulunan toplam altı adet numuneden üç tanesi XRD ile ölçülmüştür. KYZ-003 antigorit mineralinden oluşur (Şekil 5.19). KYZ-004 örneği ise antigorit, klorit karışımı ve zeolit minerallerinden ihtivadır (Şekil 5.20). KYZ-006 ise vermikülit ve smektit kil grubu mineralleri ağırlıklıdır (Şekil 5.21). KYZ-003 ve KYZ-004 numuneleri Guleman ofiyoliti'ne ait mafik kayalardan, KYZ-006 ise Hazar Grubu'na ait kumtaşı ve şeyller içinde gelişen fay kayaçlarından örneklenmiştir.



Şekil 5.19 : KYZ-03 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Ant: Antigorit).



Şekil 5.20 : KYZ-04 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Ant: Antigorit, Chl: Klorit, Zeo: Zeolit)



Şekil 5.21 : KYZ-06 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Zeo: Zeolit, Vrm: Vermikülit)

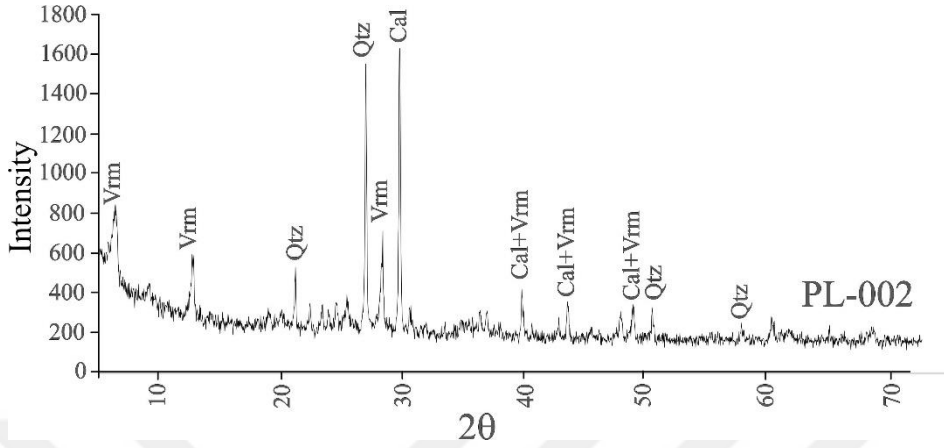
5.2.8 Palu-1 kesiti

Palu-1 kesitine ait numuneler Köroğlu köyü'nün kuzeyinde Maden Karmaşığı ile Palu Formasyonu'nun arasındaki faylı dokanaktan alınmıştır (Şekil 5.5). Kesit, Palu Formasyonu içerisinde yer alan bir mıcır ocağı sayesinde yüzeylemiştir (Şekil 5.22).



Şekil 5. 22 : Palu-1 kesitini oluşturan, Maden Karmaşığı ve Palu Formasyonu arasındaki tektonik dokanak.

Palu-1 kesitine ait PL-01 ve PL-02 numunelerinin minerolojik birleşimler hemen hemen aynıdır. PL-02 örneği içerisinde kuvars, vermikülit kil grubu mineralleri, kalsit mineralleri ve bunların karışımı bulunmuştur. (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : PL-02 örneğine ait X-ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit)

5.2.9 Palu-2 kesiti

Palu-2 kesitine ait numuneler Murat Nehri'nin kuzey kıyısında, tarihi Palu Köprüsü'nün yakınında alınmıştır (Şekil 5.5). 2019 ve 2021 yılların ayrı ayrı gerçekleştirilen saha çalışmaları sırasında hem karot hem de kayaç numuneleri alınmıştır. Bölgeye ait örnekler genelde Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları ve Maden Karmaşığı birimleri arasındaki tektonik dokanaklardan alınmıştır. Palu-2 Kesitine ait kohezyonsuz numuneler metal boru ile hava ile minimum temasta alınırken, kohezyonsuz birimler yüzey numunelerinden oluşmaktadır (Şekil 5.24 ve 5.25).

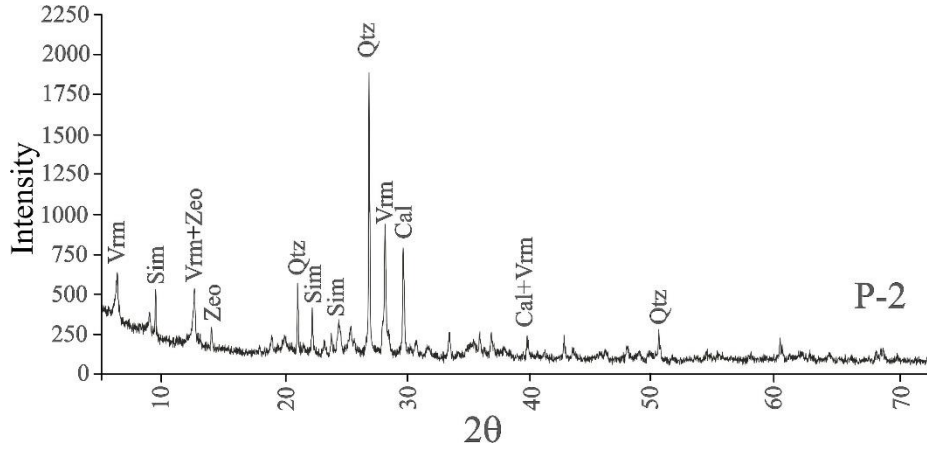


Şekil 5.24 : Palu-2 kesiti boyunca Maden Karmaşığı'na ait kayaçlar içerisinde görülen kohezyonlu fay kayaçları.

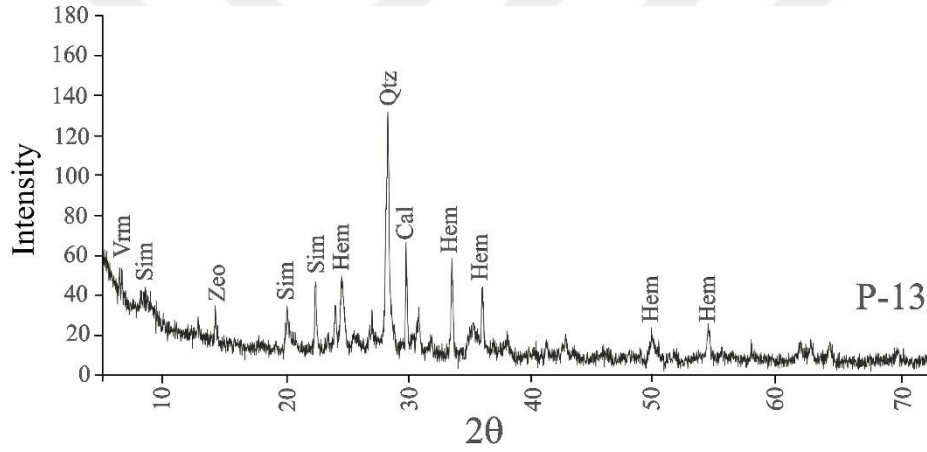


Şekil 5.25 : Palu-2 kesitinde Maden Karmaşığı ve Kırkgeçit Formasyonu arasında kohezyonuz fay kayaçları.

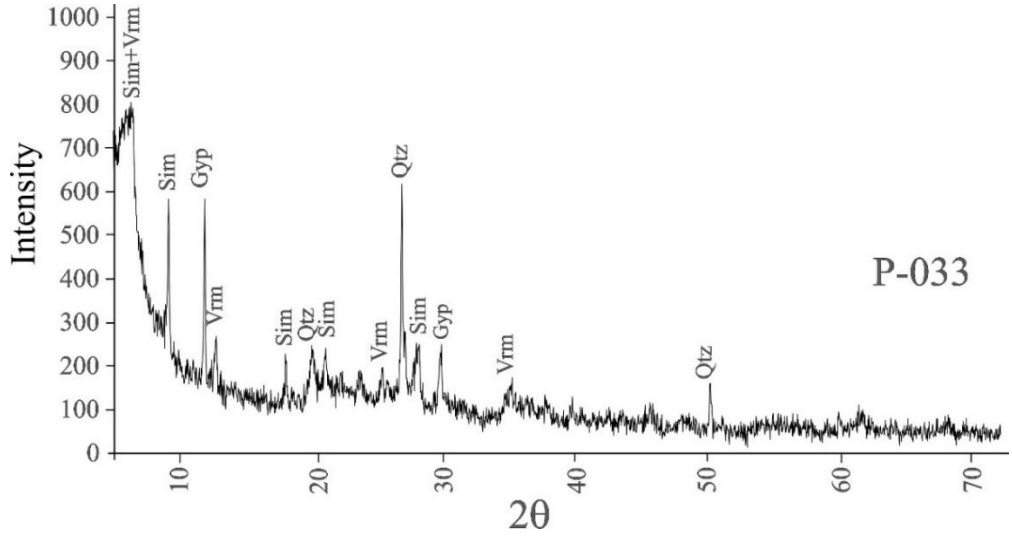
Makaslama zonları boyunca alınan 17 adet numune içerisinde, 14 adet numunenin XRD analizi yapılmıştır (Tablo 5.1). Bu kesite ait örneklerde kuvars, kalsit, kil, zeolit ve hematit mineralleri ve vermikülit, simektit ve illit grubu kil mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 5.26, 5.27, 5.28 ve 5.29). Kırkgeçit Formasyonu üzerinden örneklenen P-2, P-033, P-05 vermikülit ve simektit kil grubu mineralleri ağırlıklı olarak görülürken, P-13 numunesi kil grubu mineralleri dışında hematit de içerir. P-05 vermikülit içerirken, P-033 numesinde ayrıca jips minerali görülür (Şekil 5.28 ve 5.29).



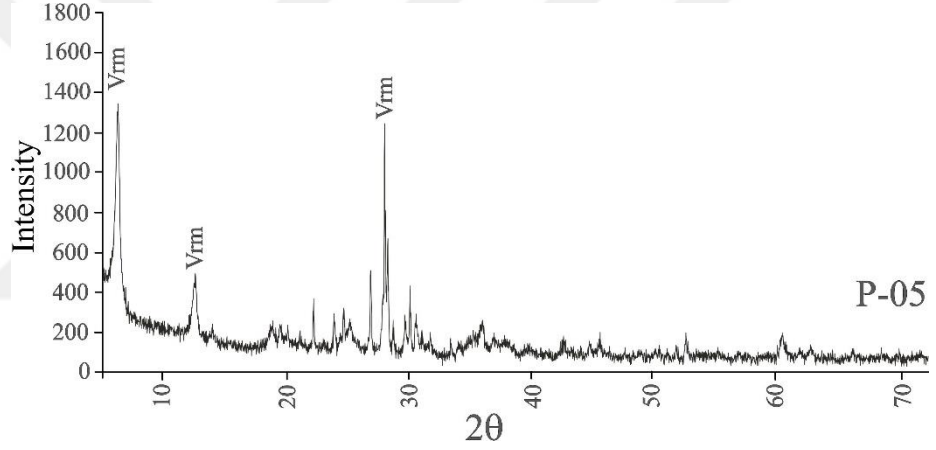
Şekil 5.26 P-2 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim:Simektit, Zeo:Zeolit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



Şekil 5.27 : P-13 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim:Simektit, Zeo:Zeolit, Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



Şekil 5.28 : P-033 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Sim:Simektit, Qtz: Kuvars, Gyp: Jips).

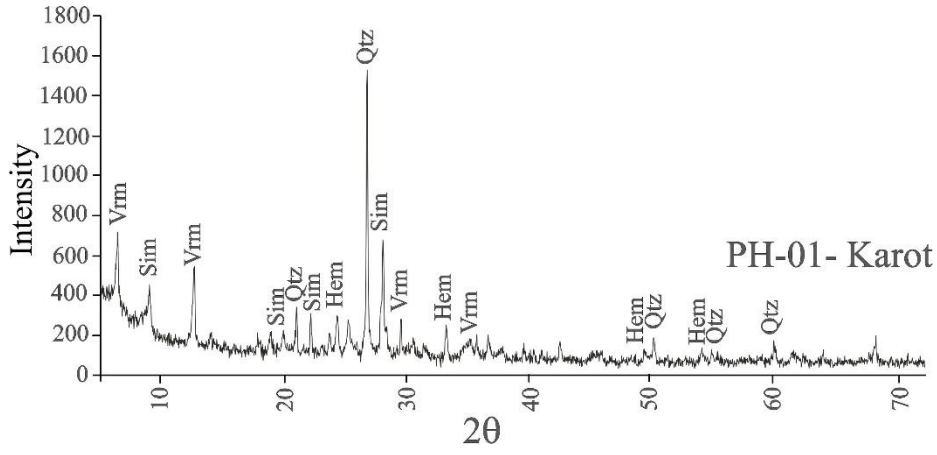


Şekil 5.29 : P-05 örneğine ait örneğin X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit).

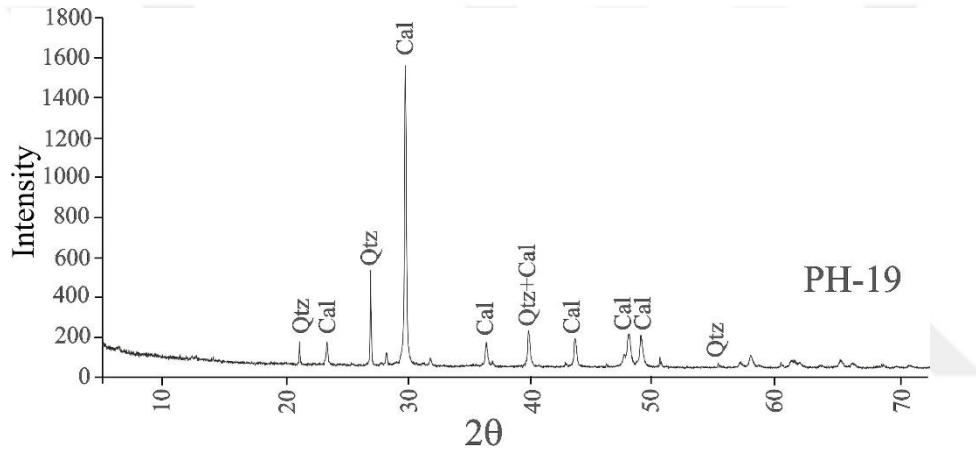
5.2.10 Palu-3 kesiti

Palu-3 kesiti eski Palu Köprüsünün kuzeydoğusunda Kırkgeçit Formasyonu ve Maden Karmaşığı arasındaki faylı dokanaktan alınan (Şekil 5.5), geniş bir makaslama zonundan oluşmuş kohezyonsuz birimlerden oluşur.

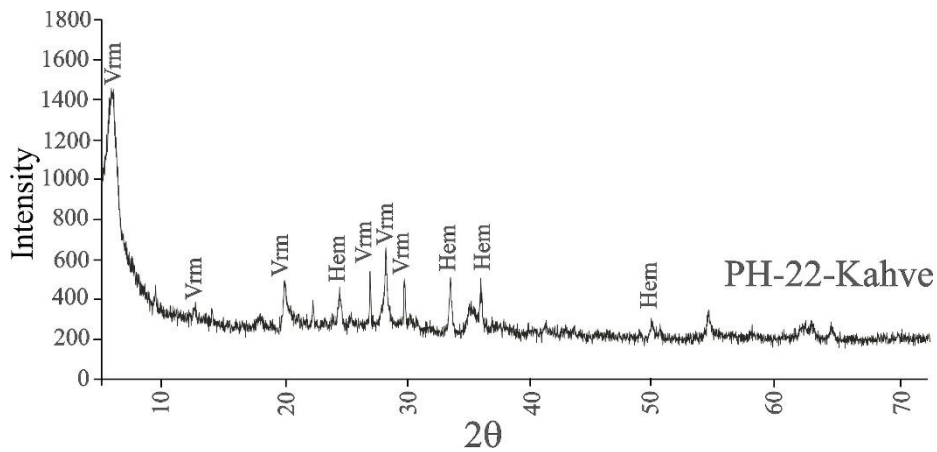
Bu kesite ait numunelerde XRD analizi sonucu, kuvars, kalsit, vermikülit, simektit ve hematit minerallerine rastlanmıştır. PH-01 ve PH-22-Kahve (Şekil 5.30 ve 5.31) karot numuneleri çoğunlukla simektit ve vermikülit grubu kil minerallerinden oluşurken, az miktarda hematit minerali de içerir. PH-19 karot numunesi ise hiçbir kil grubu mineralini içermez, genellikle kuvars ve kalsitten oluşmuştur (Şekil 5.32).



Şekil 5.30 : Ph-01 örneğine ait X kırınım difraktometre verisi (Vrm: Vermikülit, Sim:Simektit, Qtz: Kuvars, Hem:Hematit).



Şekil 5.31 : PH-19 örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Qtz: Kuvars, Cal: Kalsit).



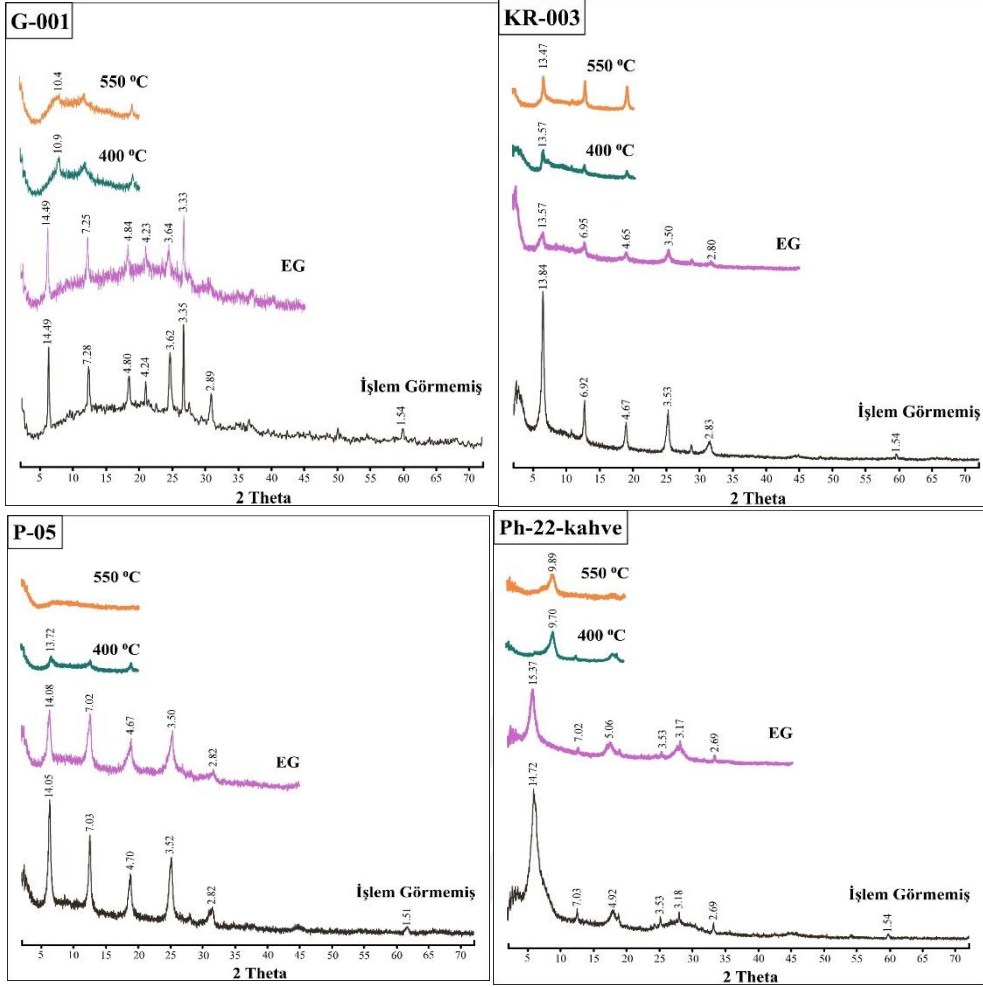
Şekil 5.32 : Ph-22_kahverengi örneğine ait X ışınları kırınım verisi (Vrm: Vermikülit, Hem:Hematit).

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, DAF'ın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesimi için uzaktan algılama ve saha çalışmaları sonucu jeoloji haritası derlenmiştir. Bu tez çalışması için üretilen yalancı renk haritalarının yanı sıra, eski çalışmalara ait görüntüler genel olarak Guleman ofiyoliti'ne ait mafik ve ultramafik kayaçların ayırdı için iyi çalışmıştır.

Yüksek çözünürlüklü sayısal yer modelleri, ortofotolar ve derlenen jeoloji haritası birlikte kullanılarak DAF'ın veya DAMZ'nin diğer mensuplarının ana kayayı kestiği yüzlekler belirlenmiştir. Bunun yüzleklerde fay kayaçların örnekler alınmış ve bunların analizler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen 10 lokasyondan toplam 57 adet örnek toplanmış, bunların 44 adetinin XRD ile ölçümü yapılmış genel olarak fay kayaçlarının kuvars, kalsit ve buna ek olarak kil minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Killer, ağırlıklı olarak vermikülittir.

Bölgenin genelini temsil ettiği düşünülen G-001, KR-003, P-05 ve Ph-22-kahve örnekleri gerekli işlemlerden geçirildikten sonra ayrıntılı kil XRD ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, Hazar Grubu'nun içinde yer alan fay kayaçlarından örneklenen G-001 içinde görülen yaygın kil minerali trioktahedral tipte vermikülittir. KR-003 örneği Guleman Ofiyoliti'ne ait gabrolardan alınmıştır. XRD sonucu yaygın bazal yansıması trioktahedral tipte klorit ve illit minerali saptanmıştır. Kırkgeçit Formasyonu'na ait birimlerden alınan P-005 örneğinin içinde görülen kil minerallerinin dioktahedral yapıda illit-vermikülit grupları olduğu anlaşılmıştır. Gene Kırkgeçit Foramasyonu içinden alınan Ph-22-kahve örneğinin içinde trioktahedral tipte vermikülit kil minerallerine rastlanmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 : Fay killerine ait G-001, KR003, P-05, Ph-22 kahve örneklerinin, farklı işlemlerden sonra d-aralığını gösteren yönlendirilmiş tipik XRD paternleri: Siyah: işlem görmemiş (havada kurutulmuş), lila: etilen glikol (EG) ile şişme, yeşil: 400°C'de ısıtma ve turuncu: 550°C'de ısıtma. G-001 Gezin beldesinden alınan örneklerde vermikülit, simektit ve klorit bazal yansımasına uygun bir difraktometre sergilemektedir. Kartaldere civarından alınan illi-klorit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir. KR-003 Kartaldere civarından alınan illi-klorit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir. P-005 örneği, Palu'nun güneyini temsil etmektedir. Dioktahedral illit-vermikülit tipte bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemiştir. Ph-22-kahve örneği ise, Palu güneyinden alınan örneklerdir. Trioktahedral vermikülit bazal yansımaya uygun difraktometre sergilemektedir.

G-001, KR-003, P-05 ve Ph-22-kahve örneklerinin XRD analiz sonucuna göre; fay zonlarında görülen en yaygın mineral topluluğu genellikle 2:1 tabakalı silikat mineralleridir. Yaygın topluluk olan kil mineralleri içinde en sık rastlanan vermikülit, onu az miktarda simektit grubu mineralleri ve bu ikisinin karışımı takip etmektedir. Fay kayaçlarının fayların mekaniğine etkisi göz önünde bulundurulduğunda dünyada yapılan çalışmalarda simektit mineralinin fay zonlarında asismik kayma ile ilişkili

olduğu ileri sürülür (Titus ve diğ., 2006; De Michele ve diğ., 2011; Jouanne ve diğ., 2011; Jolivet ve diğ., 2013; Jolivet ve diğ., 2014; Thomas ve diğ., 2014; Pousse Beltran ve diğ., 2016; Fattahi ve Amelung, 2016; Kaduri ve diğ., 2017). Önceki çalışmalarda genellikle ofiyolitik kayalardan alınan kil grubu mineralleri asismik kayma ile ilişkilendirilirken, bu tez çalışması kapsamında tespit edilen benzer kil minerallerine genelde Hazar Grubu ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait sedimanter kayaları içeren birimlerde karşılaşılmıştır.

Vermikülit mineralinin sığ derinliklerde asismik kaymanın tetiklenmesine katkıda bulunabilme olasılığı ve DAF'ın az bilinen sismik geçmişi göz önüne alındığında, krip hareketinin GNSS, InSAR ve sismoloji çalışmalarıyla izlenmeye devam etmesi ana kaya litolojisi ile asismik kayma arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir.



Kaynaklar

- Açıkbaş, D., ve Baştuğ, C. (1975). V. Bölge Cacas—Hani yöresi kuzey sahalarının jeoloji raporu ve petrol olanakları: T.P.A.O., Rap. no: 917, yayınlanmamış.
- Aksoy, E., İnceöz, M., ve Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 319–338.
- Aktaş, G., ve Robertson, A. (1984). The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of a Neotethyan active margin. *Geological Society, London, Special Publications*, 17, 375–402. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1984.017.01.27>
- Ambraseys, N. N. (1970). Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 9(2), 143–165. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(70\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(70)90014-4)
- Arpat, E., ve Şaroğlu, F. (1972). The East Anatolian fault system: Thoughts on its development. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 78, 33–39.
- Asutay, H.J., Turan M., 1986, Doğu Toroslar, Keban-Baskil (Elazığ) dolayının Jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, Rapor No: 8007, Ankara.
- Avouac, J.-P. (2014). From Geodetic Imaging of Seismic and Aseismic Fault Slip to Dynamic Modeling of the Seismic Cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43, 150223150959000. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060614-105302>
- Avşar, N., 1983, Elazığ yakın kuzeybatısında stratigrafik ve mikropaleontolojik araştırmalar. *Doktora Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enst.* 84s (yayımlanmamış).
- Balima, F., Le Floch, S., San-Miguel, A., Reinert, L., Duclaux, L., Nguyen, A. N., Daniel, I., Brûlet, A., Gremillard, L., ve Pischedda, V. (2019). Porosity evolution of expanded vermiculite under pressure: the effect of pre-compaction. *SN Applied Sciences*, 1(6), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0627-9>
- Barbot, S., Lapusta, N., ve Avouac, J.-P. (2012). Under the Hood of the Earthquake Machine: Toward Predictive Modeling of the Seismic Cycle. *Science (New York, N.Y.)*, 336, 707–710. <https://doi.org/10.1126/science.1218796>
- Barka, A. A. (1992). The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6, 164–195.
- Barka, A. A., ve Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663–684. <https://doi.org/10.1029/TC007i003p00663>

- Barka, A., ve Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali Di Geofisica*, 40. <https://doi.org/10.4401/ag-3892>
- Bellier, O. and Sebrier, M. (1995) Is the slip rate variation on the Great Sumatran Fault accommodated by fore-arc stretching? *Geophys. Res. Lett.* 22, 1969-1972.
- Beroza, G. C., ve Ide, S. (2011). Slow Earthquakes and Nonvolcanic Tremor. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39(1), 271–296. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152531>
- Beyarslan, M., Bingöl A.F. (2014). Petrology of the Ispendere, Kömürhan and Guleman Ophiolites (Southeast Turkey): Subduction Initiation Rule (SIR) Ophiolites and Arc Related Magmatics. 3rd Annual International Conference on Geological and Earth Sciences (GEOS 2014) 50–60, Singapore.
- Bingöl, A.F. (1984). Geology of Elazığ area in the Eastern Taurus region: In Tekeli, O. And Göncüoğlu, M.C., eds., “ Geology of the Taurus Belt ” , p. 209–217
- Bingöl, A.F. (1986a). New findings on the structural setting on the chromitites in the Guleman massive (Eastern Taurus). *Journal of Firat University Science and Technology* 1, 37–46. Bingöl, A.F., 1986b. Petrographic and petrologic characteristics of the Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey). *Geosound* 13/14, 41–57.
- Bingöl, A.F., Beyarslan, M., Lin, Y-C. ve Lee, H-Y. (2018), Geochronological and geochemical constraints on the origin of the Southeast Anatolian ophiolites, Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, v.11, 559.
- Bishta, A. (2009). Lithologic Discrimination Using Selective Image Processing Technique of Landsat 7 Data, Um Bogma Environs Westcentral Sinai, Egypt. *Journal of King Abdulaziz University-Earth Sciences*, 20. <https://doi.org/10.4197/Ear.20-1.10>
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1–3), 3–30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Burke, K., ve Sengor, A. M. C. (1986). Tectonic escape in the evolution of the continental crust. *Reflection Seismology: The Continental Crust*, 14. <https://doi.org/10.1029/GD014p0041>
- Byerlee, J., ve Brace, W. (1968). Stick Slip, Stable Sliding, and Earthquakes-Effect of Rock Type Pressure, Strain Rate, and Stiffness. *Journal of Geophysical Research*, 73. <https://doi.org/10.1029/JB073i018p06031>
- Carpenter, B. M., Marone, C., ve Saffer, D. M. (2011). Weakness of the San Andreas Fault revealed by samples from the active fault zone. *Nature Geoscience*, 4(4), 251–254. <https://doi.org/10.1038/ngeo1089>

- Collettini, C., Niemeijer, A., Viti, C., ve Marone, C. (2009). Fault zone fabric and fault weakness. *Nature*, 462(7275), 907–910. <https://doi.org/10.1038/nature08585>
- Cowgill, E., Arrowsmith, R., Yin, A., Xiaofeng, W., ve Zhengle, C. (2004). The Akato Tagh bend along the Altyn Tagh fault, northwest Tibet 2: Active deformation and the importance of transpression and strain hardening within the Altyn Tagh system. *Geological Society of America Bulletin - GEOL SOC AMER BULL*, 116. <https://doi.org/10.1130/B25360.1>
- Crippen, R. E. (1989). A simple spatial filter routine for the cosmetic removal of scan-line noise from Landsat TM P-Tape imagery. *Photogrammetric Engineering ve Remote Sensing*, 55, 327–331.
- Crósta, A., ve Moore, J. M. (1989). Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone belt terrain. *Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology*, 1173–1187.
- Çakır, İ., Zabcı, C., Kokum, M., Unal, E., H., Yazıcı, M., Basmenji, M., Şahinoğlu, N.B., Yağcı, Ö., Doğan, U., Ergintav, S. (2022,). Fay kayacı minerolojisi ve fay mekaniği üzerine etkileri: Doğu Anadolu Fayı'nın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminden bulgular. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı*, 57.
- Çetin, H., Güneyli, H., ve Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3), 163–197. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.08.003>
- Das, S., ve Aki, K. (1977). Fault plane with barriers: A versatile earthquake model. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 82(36), 5658–5670. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB082i036p05658>
- De Michele, M., Raucoules, D., Rolandone, F., Briole, P., Salichon, J., Lemoine, A., ve Aochi, H. (2011). Spatiotemporal evolution of surface creep in the Parkfield region of the San Andreas Fault (1993–2004) from synthetic aperture radar. *Earth and Planetary Science Letters*, 308(1), 141–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.05.049>
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia -- a young collision zone. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 19, 1–36.
- Duman, T. Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*,
- Engelder, J. T. (1974). Microscopic wear grooves on slickensides: Indicators of paleoseismicity. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 79(29), 4387–4392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB079i029p04387>
- Erdoğan, B., 1982, Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları: Türkiye. *Jeol. Kur., Bült.*, 25/1, 45-59.

- Fagereng, Å., ve Sibson, R. (2010). Melange rheology and seismic style. *Geology*, 38, 751–754. <https://doi.org/10.1130/G30868.1>
- Fattahi, H., ve Amelung, F. (2016). InSAR observations of strain accumulation and fault creep along the Chaman Fault system, Pakistan and Afghanistan. *Geophysical Research Letters*, 43(16), 8399–8406. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2016GL070121>
- Gad, S., ve Kusky, T. (2006). Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper (TM). *Journal of African Earth Sciences*, 44(2), 196–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.10.014>
- Gamond, J. F. (1987). Bridge structures as sense of shear criteria in brittle fault zones. *Journal of Structural Geology - J STRUCT GEOL*, 9, 609–620. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90146-5](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90146-5)
- Garcia Moreno, D., Hubert-Ferrari, A., Moernaut, J., Fraser, J. G., Boes, X., Van Daele, M., Avsar, U., Çağatay, N., ve De Batist, M. (2011). Structure and recent evolution of the Hazar Basin: A strike-slip basin on the East Anatolian Fault, Eastern Turkey. *Basin Research*, 23(2), 191–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00476.x>
- Gratier, J.-P., Richard, J., Renard, F., Mittempergher, S., Doan, M.-L., Di Toro, G., Hadizadeh, J., ve Boullier, A.-M. (2011). Aseismic sliding of active faults by pressure solution creep: Evidence from the San Andreas Fault Observatory at Depth. *Geology*, 39, 1131–1134. <https://doi.org/10.1130/G32073.1>
- Green, A., Berman, M., Switzer, P., ve Craig, M. D. (1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions On*, 26, 65–74. <https://doi.org/10.1109/36.3001>
- Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. (1987). Continental collision and related complex deformation: Maras Triple Junction and surrounding structures, SE Turkey, *Yerbilimleri*, 14, 319–336
- Gülerce, Z., Shah, S., Menekşe, A., Özacar, A., Kaymakci, N., ve Cetin, K. (2017). J.34 Probabilistic seismic-hazard assessment for east anatolian fault zone using planar fault source models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, 2353–2366. <https://doi.org/10.1785/0120170009>
- Handy, M. R. (1990). The solid-state flow of polymineralic rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 95(B6), 8647–8661. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB095iB06p08647>
- Harris, R. A. (2017). Large earthquakes and creeping faults. *Reviews of Geophysics*, 55(1), 169–198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2016RG000539>

- Hempton, M. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis Suture near Lake Hazar, SE Turkey. *Geological Society of America Bulletin - GEOL SOC AMER BULL*, 96. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96)
- Herece, E. ve Akay, E., 1992. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu fayı. Türkiye 9. Petrol Kongresi, Bildiriler, 361-372, Ankara
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fay (DAF) Atlası, Special Publication Series-13. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Holdsworth, R. E., Strachan, R. A., Magloughlin, J., ve Knipe, R. J. (n.d.). *The Nature and Tectonic Significance of Fault Zone Weakening (Geological Society Special Publication, No. 186)*. www.geolsoc.org.uk
- Hreinsdottir, S., ve Bennett, R. (2009). Active aseismic creep on the Alto Tiberina low-angle normal fault, Italy. *Geology*, 37, 683–686. <https://doi.org/10.1130/G30194A.1>
- Huggett, J. (2013). Clay Minerals. *Encyclopedia of Geology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09519-1>
- Irwin, W., ve Barnes, I. (1975). Effect of geologic structure and metamorphic fluids on seismic behavior of the San Andreas Fault system in central and Northern California. *Geology*, 3. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1975\)3](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1975)3)
- Jolivet, R., Lasserre, C., Doin, M.-P., Peltzer, G., Avouac, J.-P., Sun, J., ve Dailu, R. (2013). Spatio-temporal evolution of aseismic slip along the Haiyuan fault, China: Implications for fault frictional properties. *Earth and Planetary Science Letters*, 377–378, 23–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.07.020>
- Jolivet, R., Lasserre, C., Doin, M.-P., Peltzer, G., Avouac, J.-P., Sun, J., ve Dailu, R. (2013). Spatio-temporal evolution of aseismic slip along the Haiyuan fault, China: Implications for fault frictional properties. *Earth and Planetary Science Letters*, 377–378, 23–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.07.020>
- Jolivet, R., Candela, T., Lasserre, C., Renard, F., Klinger, Y., ve Doin, M.-P. (2014). The Burst-Like Behavior of Aseismic Slip on a Rough Fault: The Creeping Section of the Haiyuan Fault, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105, 480–488. <https://doi.org/10.1785/0120140237>
- Jouanne, F., Audemard, F. A., Beck, C., Van Welden, A., Ollarves, R., ve Reinoza, C. (2011). Present-day deformation along the El Pilar Fault in eastern Venezuela: Evidence of creep along a major transform boundary. *Journal of Geodynamics*, 51(5), 398–410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.11.003>
- Jouanne, F., Audemard, F. A., Beck, C., Van Welden, A., Ollarves, R., ve Reinoza, C. (2011). Present-day deformation along the El Pilar Fault in eastern Venezuela:

- Evidence of creep along a major transform boundary. *Journal of Geodynamics*, 51(5), 398–410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.11.003>
- İnceöz, M. (1994). Harput (Elazığ) yakın kuzeyinin ve doğusunun jeolojik özellikleri. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Elazığ.
- Kaneko, Y., Fialko, Y., Sandwell, D., Tong, X., ve Furuya, M. (2013). Interseismic deformation and creep along the central section of the North Anatolian Fault (Turkey): InSAR observations and implications for rate-and-state friction properties: MODELING INTERSEISMIC STRAIN ALONG NAF. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 316–331. <https://doi.org/10.1029/2012JB009661>
- Kerey, İ.E. ve Türkmen, İ., 1991. Palu Formasyonu'nun (Pliyosen-Kuvaterner) sedimentolojik özellikleri, Elazığ doğusu, Türkiye Jeoloji Bülteni 34, 21-26.
- Ketin, İ. (1948). Ergani-Eğil bölgesinin jeolojik etüdü. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Derleme No:2015, yayımlanmamış.
- King, G.C., ve Yielding, G. (1984). The evolution of a thrust fault system: processes of rupture initiation, propagation and termination in the 1980 El Asnam (Algeria) earthquake. *Geophysical Journal International*, 77, 915-933.
- Kiratzi, A. A. (1993). A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian fault zones. *Tectonophysics*, 225(3), 191–203.
- Knipe, R. J., Jones, G., ve Fisher, Q. J. (1998). Faulting, fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 147(1), vii–xxi. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.147.01.01>
- Koç, A., ve Kaymakçı, N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study. *Journal of Geodynamics*, 65, 292–307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.08.001>
- Konca, A O., Karabulut, H., ve Guvercin, S. E., Eskiköy, F., Özarpacı, S., Özdemir, A., Floyd, M., Ergintav, S. ve Dogan, U. (2021). From Interseismic Deformation With Near-Repeating Earthquakes to Co-Seismic Rupture: A Unified View of the 2020 M w 6.8 Sivrice (Elazığ) Eastern Turkey Earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 126. 10.1029/2021JB021830.
- Köküm, M. (2017). Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) Arasındaki Kesiminin Kinematik Analizi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Köküm, M., ve İnceöz, M. (2017). Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Pütürge Arasındaki Bölümünün Kinematik Özellikleri. Atag 22. Çalıştayı. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Köküm, M., ve İnceöz, M. (2018). Yeşilyurt (Malatya)-Elazığ Fay Zonu'nun Yapısal Özellikleri. Atag 22. Çalıştayı. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.

- Köküm, M. (2022). 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi'nin (Doğu Anadolu Fayı) etkilerinin genel değerlendirmesi, Türkiye. *Afet ve Risk Dergisi*. <https://doi.org/10.35341/afet.1101628>
- Louderback, G. D. (1942). Faults and earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32(4), 305–330. <https://doi.org/10.1785/BSSA0320040305>
- Loughlin, W. P. (1991). Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering ve Remote Sensing*, 57, 1163–1169.
- Marone, C. (1998). Marone, C. Laboratory-derived friction laws and their application to seismic faulting. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 26, 643-696. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences - ANNU REV EARTH PLANET SCI*, 26. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.26.1.643>
- Mavko, G. M. (1982). Fault interaction near Hollister, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 87(B9), 7807–7816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB087iB09p07807>
- McKenzie, D. (1972). Active Tectonics of the Mediterranean Region. *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109–185.
- McKenzie, D. (1976). The East Anatolian Fault: A major structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 29(1), 189–193. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0012-821X\(76\)90038-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0012-821X(76)90038-8)
- McKenzie, D. (1978). Active Tectonics of the Alpin-Himalayan Belt: the Aegean Sea and the surrounding regions (Tectonics of the Aegean region). *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 55, 217–254.
- Moore, D. E., ve Rymer, M. J. (2012). Correlation of clayey gouge in a surface exposure of serpentinite in the San Andreas Fault with gouge from the San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD). *Journal of Structural Geology*, 38, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.11.014>
- Nafigin, I., Ustinov, S., Minaev, V., ve Petrov, V. (2022). Geological and Mineralogical Mapping Based on Statistical Methods of Remote Sensing Data Processing of Landsat-8: A Case Study in the Southeastern Transbaikalia, Russia. *Sustainability*, 14, 9242. <https://doi.org/10.3390/su14159242>
- Nielsen, S. B., ve Knopoff, L. (1998). The equivalent strength of geometrical barriers to earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B5), 9953–9965. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/97JB03293>
- Özkaya, I. (1978). Ergani-Maden yoresi stratigrafisi. *Geol. Bull. Turkey*, 21, 129–139.
- Pascal, R., Loic, B., ve Mohammed, A.-K. (2014). North Oman fault geometries in outcrops, analogues and subsurface. *Geological Society, London, Special Publications*, 392(1), 447–460. <https://doi.org/10.1144/SP392.21>

- Peng, Z., ve Gomberg, J. (2010). An integrated perspective of the continuum between earthquake and slow slip phenomena. *Nature Geoscience*, 3. <https://doi.org/10.1038/ngeo940>
- Peng, Z., ve Gomberg, J. (2010). An integrated perspective of the continuum between earthquake and slow slip phenomena. *Nature Geoscience*, 3. <https://doi.org/10.1038/ngeo940>
- Perinçek, D. (1979a). Palu–Karabegan–Elazığ–Sivrice–Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları: TPAO. Rapor no: 1361 (yayımlanmamış).
- Perinçek, D., 1979b. The geology of Hazro–Korudağ–Çüngüş–Maden–Ergani–Hazar– Elazığ–Malatya area: Guide book, TJK. Yayımlanmamış, 33s.
- Perinçek, D. (1980a). Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri: Tür. 5.Petrol Kong., Tebliğler, 77–93.
- Perinçek, D. (1980b). Bitlis Metamorfizmaları’nda volkanitli Triyas: TJK. Bült., 23, 201–211.
- Perinçek, D. ve Özkaya. (1981). Arabistan Levhası kuzey kenarı Tektonik evrimi. *Yerbilimleri Derg.*, 8, 91-101.
- Perinçek, D. ve Çemen, İ. (1990). The Structural relationship between the east Anatolian and Dead Sea Fault zones in Southeastern Turkey. *Tectonophysics*, 172, 331- 340.
- Perinçek, D. (1989). Hakkari ili ve dolaylarının stratigrafisi, yapısal özellikleri, petrol imkanları Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu, Rapor No: 2545, 127s. (yayımlanmamış).
- Pousse Beltran, L., Pathier, E., Jouanne, F., Vassallo, R., Reinoza, C., Audemard, F., Doin, M. P., ve Volat, M. (2016). Spatial and temporal variations in creep rate along the El Pilar fault at the Caribbean-South American plate boundary (Venezuela), from InSAR. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(11), 8276–8296. <https://doi.org/10.1002/2016JB013121>
- Ramsay, J. (1967). *The Folding and Fracturing of Rocks*.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliyev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., ve Karam, G. (2006). GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 111, B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Reinen, L. A., Weeks, J. D., ve Tullis, T. E. (1991). The frictional behavior of serpentinite: Implications for aseismic creep on shallow crustal faults. *Geophysical Research Letters*, 18(10), 1921–1924. <https://doi.org/10.1029/91GL02367>
- Reinen, L., ve Tullis, T. (1992). Correction to “The frictional behavior of serpentinite: Implications for aseismic creep on shallow crustal faults” by Linda A. Reinen, John D. Weeks, and Terry E. Tullis. *Geophysical Research Letters - GEOPHYS RES LETT*, 19. <https://doi.org/10.1029/91GL03150>

- Rice, R. J. (1992). Recent developments in Precambrian sedimentary geology. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(12), 2521–2522. <https://doi.org/10.1139/e92-198>
- Righi, A. (1964). Gravity Tectonics in Foothills Structure Belt of Southeast Turkey. *AAPG Bulletin*, 48. <https://doi.org/10.1306/A66334D8-16C0-11D7-8645000102C1865D>
- Ruiz-Armenta, J. R., ve Prol-Ledesma, R. M. (1998). Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 19. <https://doi.org/10.1080/014311698215108>
- Rutter, E. H., Holdsworth, R. E., ve Knipe, R. J. (2001). The nature and tectonic significance of fault-zone weakening: An introduction. *Geological Society Special Publication*, 186, 1–11. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.186.01.01>
- Scholz, C. (1998). Scholz, C. H. Earthquakes and friction laws. *Nature* 391, 37–42. *Nature*, 391, 37–42. <https://doi.org/10.1038/34097>
- Schwartz, D. P. and Coppersmith, K. J. (1984) Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones. *J. Geophys. Res.* 89,5681-5698.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society*, 133(3), 191–213. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.133.3.0191>
- Özarpacı, S., Ergintav, S., Çakir, Z., Dogan, U., Senturk, S., Karabulut, H., Şaroğlu, F., Dikmen, Ü., Bilham, R., Özdemir, A., Julaiti, W., ve Ozener, H. (2017). *Aseismic slip and surface creep on the Hazar–Palu Section of the East Anatolian Fault, Turkey*.
- Siddans, A. W. B. (1972). Slaty cleavage — a review of research since 1815. *Earth-Science Reviews*, 8(2), 205–232. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0012-8252\(72\)90084-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0012-8252(72)90084-0)
- Sleep, N., ve Blanpied, M. (1992). Creep, compaction and the weak rheology of major faults. *Nature*, 359. <https://doi.org/10.1038/359687a0>
- Stein, R. S., Barka, A. A., ve Dieterich, J. H. (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128(3), 594–604. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x>
- Stein, R. S., Barka, A. A., ve Dieterich, J. H. (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128(3), 594–604. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x>

- Sultan, M., Arvidson, R., Sturchio, N., ve Guinness, E. (1987). Lithologic mapping in arid regions with Landsat Thematic Mapper data: Meatiq Dome, Egypt. *Geological Society of America Bulletin - GEOL SOC AMER BULL*, 99. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987))
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuscı, I. (1992). *Active Fault Map of Turkey*.
- Şengör, A. M. C., Zabcı, C., ve Natal'in, B. A. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. (2020). *Continental Transform Faults*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00026-6>
- Şengör, A. M. C., Görür, N., ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study. In *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral.* (Vol. 37, pp. 227–264). <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0227>
- Şengör, A. M. C., ve Zabcı, C. (2019). *The North Anatolian Fault and the North Anatolian Shear Zone* (pp. 481–494). https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_27
- Sümengen, M. (2011a). 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Elazığ K 44 paftası No: 173. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Sümengen, M. (2011b). 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Elazığ K 43 paftası No: 172. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
- Sungurlu, O., 1974, VI. Bölge kuzeyinin jeolojisi ve petrol imkanları: Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri, 85-107.
- Thomas, M. Y., Avouac, J.-P., Champenois, J., Lee, J.-C., ve Kuo, L.-C. (2014). Spatiotemporal evolution of seismic and aseismic slip on the Longitudinal Valley Fault, Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(6), 5114–5139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2013JB010603>
- Thomas, M. Y., Avouac, J.-P., Gratier, J.-P., ve Lee, J.-C. (2014). Lithological control on the deformation mechanism and the mode of fault slip on the Longitudinal Valley Fault, Taiwan. *Tectonophysics*, 632, 48–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.038>
- Türkmen, İ. (1991). Elazığ doğusunda Çaybağı Formasyonu'nun (Üst MiyosenPliyosen?) Stratigrafi ve Sedimentolojisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 34, 45-53.
- Titus, S. (2006). Thirty-Five-Year Creep Rates for the Creeping Segment of the San Andreas Fault and the Effects of the 2004 Parkfield Earthquake: Constraints from Alignment Arrays, Continuous Global Positioning System, and Creepmeters. *Bulletin of The Seismological Society of America - BULL SEISMOL SOC AMER*, 96. <https://doi.org/10.1785/0120050811>

- Wesson, R. L. (1988). Dynamics of fault creep. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B8), 8929–8951. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB093iB08p08929>
- Westaway, R. (1994). Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated. *Journal of Geophysical Research*, 991, 12071–12090. <https://doi.org/10.1029/94JB00335>
- Xu, X. L., Lu, X., Yang, D. L., ve Zhang, E. (2015). Effects of vermiculite on the tribological behavior of PI-matrix friction materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 87(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/87/1/012024>
- Yasser, M., Çakır, Z., ve Masson, F. (2013). *Block model at the Hatay Triple junction in N-W Syria and S-E Turkey from GPS data inversion*. 11135.
- Yildirim, E., ve KARABULUT, İ. (2021). Naldöken civarındaki Guleman Ofiyoliti'ne ait magmatik kayaçların jeokimyası (GD Elazığ, D Türkiye). *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.35234/fumbd.866610>
- Yılmaz, Y., ve Yigitbas, E. (1990). *SE Anadolu'nun farklı ofiyolitik - metamorfik birlikleri ve bunların jeolojik evrimdeki rolü*.
- Yönlü, Ö., Altunel, E., Karabacak, V., ve Akyüz, H. S. (2013). Evolution of the Gölbaşı basin and its implications for the long-term offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 272–281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.04.013>
- Yönlü, Ö., Altunel, E., ve Karabacak, V. (2017). Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.03.034>
- Yürür, T., ve Chorowicz, J. (1998). Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the eastern Mediterranean. *Journal of Volcanology and Geothermal Research - J VOLCANOL GEOTHERM RES*, 85, 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00046-8)
- Zabcı, C. (2020). Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu – Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye). *Geomatik*. <https://doi.org/10.29128/geomatik.776280>

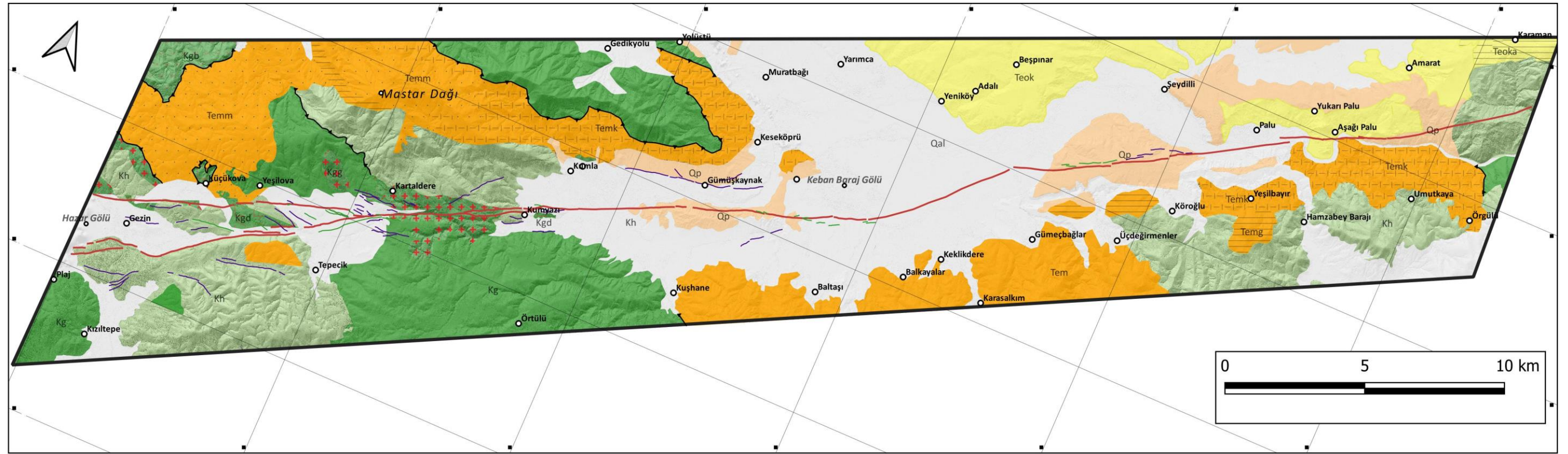


EKLER

EK A: Jeoloji Haritası







Lejant

Litoloji

- Alüvyon (Qal)
- Palu Formasyonu (Qp)
- Kırkgeçit Formasyonu (Teok)
- Akmezra Kireçtaşı Üyesi (Teoka)

- Maden Karmaşığı (Tem)
- Kardere Formasyonu (Temk)
- Melefan Formasyonu (Temm)
- Gehroz Formasyonu (Temg)
- Hazar Grubu (Kh)
- Guleman Ofiyoliti (Kg)
- Bazalt (Kgb)
- Diyabaz (Kgd)
- Gabro (Kgg)

Faylar

- Aktif Faylar
- Tektonik Çizgisellikler
- İkincil Aktif Faylar
- Eski Bindirme Fayları

Şekil A.1: Hazar Gölü ve Palu (Elazığ,Türkiye) arasında kalan bölgenin jeoloji haritası (Sümengen 2011a, 2011b çalışmalarından derlenerek hazırlanmıştır).



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

:İrem Çakır

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2020 ATAG-25 Çalıştayı En İyi Poster Sunumu Ödülü

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Çakır, İ., Zabcı, C., Kokum, M., Unal, E., H., Yazıcı, M., Basmenji, M., Şahinoğlu, N.B., Yağcı, Ö., Doğan, U., Ergintav, S. (2022,). Fay kayacı minerolojisi ve fay mekaniği üzerine etkileri: Doğu Anadolu Fayı'nın Hazar Gölü ve Palu arasında kalan kesiminden bulgular. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı*, 57.