

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DOĞU ANADOLU FAY ZONU PALU SEGMENTİNDE
DİSLOKASYON METAMORFİZMA

Tuğçe KARACA

Yüksek Lisans Tezi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Mineraloji ve Petrografi Bilim Dalı

OCAK, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

DOĞU ANADOLU FAY ZONU PALU SEGMENTİNDE
DİSLOKASYON METAMORFİZMA

Tez Yazarı
Tuğçe KARACA

Danışman
Doç. Dr. Ayşe Didem KILIÇ

OCAK, 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Doğu Anadolu Fay Zonu Palu Segmentinde Dislokasyon Metamorfizma
Yazarı: Tuğçe KARACA
İlk Teslim 21.12.2021
Savunma 26.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Ayşe Didem KILIÇ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Güllü KIRAT Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Doğu Anadolu Fay Zonu Palu Segmentinde Dislokasyon Metamorfizma” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

26.01. 2022

Tuğçe KARACA



ÖNSÖZ

“Doğu Anadolu Fay Zonu Palu Segmentinde Dislokasyon Metamorfizma” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Mineraloji ve Petrografi bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF. 20.41 no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanması, arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın hocam, Doç. Dr. Ayşe Didem KILIÇ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarındaki değerli katkılarından dolayı, hocam Arş. Gör. Dr. Mehmet KÖKÜM’e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımın farklı aşamalarında yardımlarını gördüğüm Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyeleri, Araştırma Görevlilerine ve Umay Mühendislik firmasına teşekkür ederim. Sevgili aileme gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tuğçe KARACA

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER	xii
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	4
1.2. Materyal ve Metod.....	4
1.2.1. Arazi Çalışmaları.....	4
1.2.2. Laboratuvar Çalışmaları	5
1.2.3. Büro Çalışmaları.....	6
1.3. İnceleme Alanı	7
1.4. Önceki Çalışmalar	7
2. BÖLGESEL JEOLojİ.....	10
2.1. İnceleme Alanın Jeolojisi.....	10
2.1.1. Elazığ Magmatitleri	11
2.1.2. Hazar Grubu	13
2.1.3. Maden Karmaşığı	14
2.1.4. Kırkgeçit Formasyonu.....	17
2.1.5. Palu Formasyonu.....	20
3. BULGULAR	22
3.1. Petrografi	22
3.1.1. Gözlü milonit-Milonit	28
3.1.2. Mikrobreş	28
3.1.3. Kataklastik	30
3.1.4. Fay kili.....	31
3.2. Fay Zonu Metamorfizması (Kataklastik Metamorfizma).....	33
3.3. Jeokimya	36

3.3.1. Major oksit jeokimyası	37
3.3.2. İz element jeokimyası.....	38
3.3.3. Nadir Toprak Elementler (NTE).....	41
3.4. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM).....	45
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Doğu Anadolu Fay Zonu Palu Segmentinde Dislokasyon Metamorfizma

Tuğçe KARACA

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak 2022, Sayfa xiii+52

Bu çalışma, Elazığ-Palu ilçesi, Gökdere sıkışmalı bükümü ile Hazar Gölü gevşeten bükümü arasında K60oD doğrultusunda 77 km boyunca uzanan DAF zonu Palu segmenti kayaçlarında yer alan dislokasyon metamorfizmanın etkilerinin mineralojik ve jeokimyasal incelemesini kapsar. Bu çalışma kapsamında incelenen alandaki en yaşlı birim, Geç Kretase (Senoniyen) yaşlı çoğunlukla volkanik kayaçlar ve bunları kesen granitik kayaçlardan oluşan Elazığ Magmatitleri'dir. Diğer birimler ise, Alt Eosen yaşlı kumtaşı-şeyl-marn aralanmasından oluşan Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı çamurtaşı bantlı volkanik Maden Karmaşığı, Orta Eosen-Oligosen yaşlı tabanda çakıtaşı, üst seviyelerde resifal kireçtaşları ile temsil edilen Kırkeçit Formasyonu, konglomera ve kumtaşlarından oluşan Kuvaterner yaşlı, Palu Formasyonudur. İnceleme alanının en genç birimi, serbest çakıl ve kum litolojisinin hâkim olduğu eski akarsu çökelleri olan alüvyonlardır.

Fay zonlarında dislokasyon metamorfizma ve fay kayalarının belirlenmesi sebebiyle farklı analiz yöntemleri tercih edilmiştir. Fay zonu içerisindeki tüm kayaçlarda mineralojik incelemeler, X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) gibi kimyasal analiz incelemeleri yapılmıştır. Farklı analiz yöntemleri ile tektonizma, kil minerallerinin morfolojisi ve metamorfizma ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Mineralojik ve kimyasal analizler, hidrotermal alterasyonu ve fay zonu deformasyonunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu Fayı, Katakizma, SEM, Fay kayaları, Milonit, Blastomilonit

ABSTRACT

Dislocation Metamorphism in The Palu Segment Of East Anatolia Fault Zone

Tuğçe KARACA

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering
January 2022, Page xiii+52

This study was prepared for the mineralogical and geochemical investigation of the dislocation metamorphism effects in the EAF zone Palu segment rocks extending for 77 km in the N60oE direction between the Gökdere compressional bend in the Elazığ-Palu district segment and the Hazar Lake loosening bend. The oldest unit in the study area is the Late Cretaceous (Senonian) aged Elazığ Magmatites, which mostly consist of volcanic rocks and granitic rocks that cut them. Other units are the Hazar Group consisting of Lower Eocene aged sandstone-shale and marl alternation, the Maden Complex represented by Middle Eocene aged mudstone banded volcanic rocks in places, and the Middle Eocene-Oligocene aged Kırkeçit Formation represented by conglomerate at the base, reefal limestones at the upper levels and poorly sorted. It consists of the Quaternary Palu Formation consisting of conglomerate and sandstones. The youngest unit of the study area is the alluviums, which are old fluvial deposits dominated by free gravel and sand lithology.

Due to the determination of dislocation metamorphism and fault rocks in the fault zones, different analysis methods were preferred, mineralogical examinations, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) chemical analyzes were performed on all rocks. The metamorphism and tectonism in rocks, different studies were carried out to determine morphology of clay minerals and metamorphism. The mineralogical and chemical analyzes shows hydrothermal alteration and fault zone deformation.

Keywords: East Anatolian Fault, Cataclasma, SEM, Fault rocks, Mylonite, Blastomylonite

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait diri fayların Duman ve Emre (2013)'e göre haritası çizilmiştir. Proje kapsamında önerilen çalışma alanını içeren Palu Segmenti kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.	2
Şekil 1.2.	Sibson (1977) tarafından önerilen fay kayası sınıflaması	3
Şekil 1.3.	Palu Kalebaşı tepe civarında fay kayalarına ait fotoğraflar. DAF tarafından sınırları tektonik olarak kontrol edilen Maden karmaşığı (Tm) ve Kırkgeçit (Tk) Formasyonu'nun görünümü ..	8
Şekil 2.1.	Çalışma alanının jeolojik haritası ve önemli tektonik yapıları Proje kapsamında önerilen çalışma alanı kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.	11
Şekil 2.2.	Elazığ magmatitlerinin arazi görünümü	13
Şekil 2.3.	Hazar Grubu'na ait kayaçların arazi görünümü	14
Şekil 2.4.	Hazar grubu kumtaşlarından alınan mikroskop görüntüsü.....	14
Şekil 2.5.	Maden karmaşığı içerisindeki breşik yapı ve silisli zon.....	16
Şekil 2.6.	Maden karmaşığı ince milonit ve breşik yapı	16
Şekil 2.7.	Kırkgeçit formasyonuna ait kumtaşı-killi kumtaşı ardalanması.....	18
Şekil 2.8.	Kırkgeçit formasyonu kireçtaşına ait mikroskop görüntüsü	18
Şekil 2.9.	DAF zonu içinde kumtaşlarını kesen mercekli silis oluşumları.....	19
Şekil 2.10.	DAF zonu içinde kumtaşlarına ait mikroskop görüntüsü.....	19
Şekil 2.11.	Palu formasyonunun arazi görünümü	20
Şekil 2.12.	Palu formasyonuna ait kumtaşlarının mikroskop görüntüsü	21
Şekil 3.1.	DAF zonu makaslanma izleri(üst).. Doğu Anadolu Fay'ı üzerinde Elazığ magmatitleri (Me) içinde gelişmiş alterasyon zonları ve makaslama zonunun genel görünümü (alt)	23
Şekil 3.2.	Doğu Anadolu Fay zonu içerisinde gelişmiş breşik zon/yapılar	23
Şekil 3.3.	Palu Kalebaşı tepe civarındaki gevrek-sünümlü fay kayalarına ait fotoğraflar.....	24
Şekil 3.4.	(A, B) DAF zonu boyunca kayaçlarda gelişen çatlaklar, (C, D) Çatlakları dolduran ikincil Mineraller ve sigmoidal yapılar	25
Şekil 3.5.	(A) Dislokasyon zonu fay kilinin arazi görünümü, (B, C) Kataklaizit ve breş fay kayaları	26
Şekil 3.6.	Palu segmenti içerisinde gözlenen Kırkgeçit formasyonundaki silis mercekleri	27
Şekil 3.7.	Milonitik yapının arazi görünümü	28
Şekil 3.8.	DAF zonu Palu segmenti boyunca sıkça görülen mikrobreşlerin mikroskop görüntüsü. Kuvars(q), kil mineralleri (Il).....	29
Şekil 3.9.	Orta büyüklükte çakıltısı içeren breşik yapıdan alınmış örneğin mikroskop görüntüsü.....	29
Şekil 3.10.	Kataklaizit kayaç örneğinin mikroskop görüntüsü.	30
Şekil 3.11.	Bir diğer kataklaizit örneğine ait mikroskop görüntüsü	31
Şekil 3.12.	Fay kiline ait X-Ray kırınımı (XRD) grafiği	32
Şekil 3.13.	Fay breşinde killi-siltli hamur ve alterasyon mineralleri.....	32
Şekil 3.14.	Breşik yapı ve metamorfizma sonucu gelişen alterasyonlar (karbonatlaşma, kloritleşme epidotlaşma).....	34

Şekil 3.15. İnceleme alanındaki hidrotermal pirit oluşumları (Kılıç ve Karaca, 2021).....	35
Şekil 3.16. Palu segmenti içerisinde alınmış kayma yönü deformasyon izleri	35
Şekil 3.17. Fay kalalarında düşük dereceli metamorfizma izleri. Silisleşme (Si), kalsitleşme (Cc), epidotlaşma (Ep) örneği	36
Şekil 3.18. Palu segmenti fay kayalarında alterasyon derecesinin Al ₂ O ₃ -diğer oksitlerle karşılaştırılması40	
Şekil 3.19. Palu segmenti içerisindeki kayaların kayaç-kondrit örümcek diyagramları.....	41
Şekil 3.20. TK-1/2 nolu örneğe ait SEM görüntüsü. Montmorillonit (Mon), İllit (Il).	45
Şekil 3.21. TM-1/7 örneğinin SEM görüntüsü ve Kalsit (Cc) minerali	46

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Fay kayalarında Metamorfizma izleri	33
Tablo 3.2. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının Ana oksit analiz sonuçları.....	42
Tablo 3.3. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının iz element analiz sonuçları.....	43
Tablo 3.4. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının NTE analiz sonuçları.....	44

SİMGELER

Ag	:Gümüş
Al	:Alüminyum
As	:Arsenik
Au	:Altın
Ba	:Baryum
Be	:Berilyum
Ca	:Kalsiyum
Ce	:Seryum
Co	:Kobalt
Cr	:Krom
Cs	:Sezyum
Dy	:Disprozyum
Er	:Erbiyum
Eu	:Evropiyum
Fe	:Demir
Gd	:Gadolinyum
Hf	:Hafniyum
Hg	:Cıva
Ho	:Holmiyum
Ir	:İridyum
K	:Potasyum
La	:Lantanyum
Lu	:Lutesyum
Mg	:Magnezyum
Mn	:Manganez
Mo	:Molibden
Na	:Sodyum
Nb	:Niyobyum
Nd	:Niyodyum
Ni	:Nikel
P	:Fosfor
Pr	:Praseodim
Pb	:Kurşun
Rb	:Rubidyum
Sb	:Antimon
Sc	:Skandiyum
Se	:Selenyum
Si	:Silisyum
Sm	:Samaryum
Sn	:Kalay
Sr	:Stronsiyum
Ta	:Tantalum
Tb	:Terbiyum
Th	:Tonyum
Ti	:Titanyum
Tn	:Tulyum
U	:Uranyum
V	:Vanadyum
Y	:İtriyum
Yb	:İterbiyum
Zn	:Çinko
Zr	:Zirkonyum

KISALTMALAR

Al ₂ O ₃	:Alüminyum Oksit
CaO	:Kalsiyum Oksit
Cr ₂ O ₃	:Krom Oksit
Fe ₂ O ₃	:Demir Oksit
K ₂ O	:Potasyum Oksit
MgO	:Magnezyum Oksit
MnO	:Mangan Oksit
Na ₂ O	:Sodyum Oksit
P ₂ O ₅	:Fosfor Pentoksit
SiO ₂	:Silisyum Dioksit
TiO ₂	:Titanyum Dioksit
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
E-MORB	: Zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltı
N-MORB	: N-tipi okyanus ortası sırtı bazaltı
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

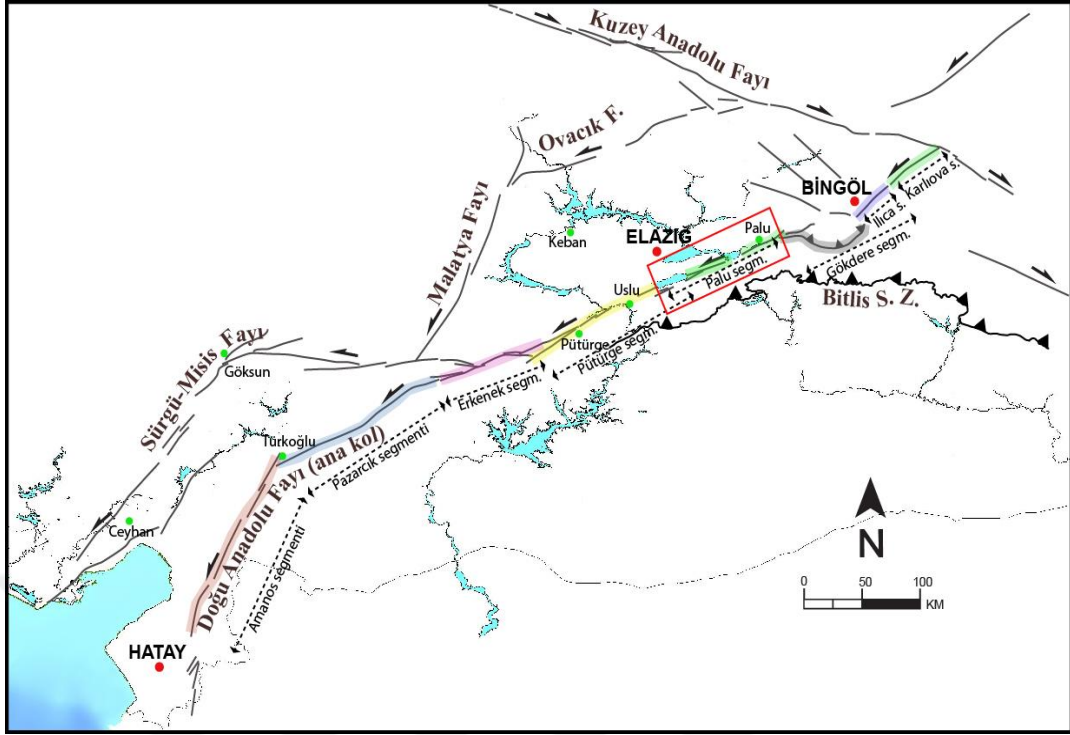
1. GİRİŞ

Doğrultu Atımlı Fay zonları, genellikle küçük düşey hareket bileşenine sahiptir. Atım vektörü de doğrultuya hemen hemen paralel özelliktedir. Yüksek eğimli/düşey faylar, Andersoniyen fay teorisindeki yatay ve maksimum/minimum bir gerilme rejimi ile ilişkili faylardır. Fay zonu boyunca; çizgisel vadiler, yön değiştirmiş veya ötelenmiş nehirler, bank, kaynak, fay gölü, basınç sırtları, fay dikliği gibi doğrultu atımlı faylara özgü önemli morfolojik yapılar gelişir.

Türkiye'nin en önemli aktif doğrultu atımlı faylarına en iyi örnek, Doğu Anadolu Fayı (DAF)'dır. Bu fay, 1960'lı yılların başından itibaren birçok araştırmacı tarafından çalışılmaya başlanmıştır. Doğu Anadolu Fay'ının varlığı ile ilgili ilk tartışma, Altınlı (1963) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacı, Karlıova ile Bingöl arasında bir fayın varlığından bahsederek, Maden Teknik Arama kurumu tarafından hazırlanan, 1/500.000 ölçekli haritalara DAF'ı işlemiştir. Daha sonra, Allen (1969) DAF'ı kuzeyde Kuzey Anadolu Fay (KAF) ile birleştirmiş ve bu fayı güneyde de Ölü Deniz Fayı (ÖDF)'na kadar uzatmıştır. 22 Mayıs 1971 yılında Bingöl ilinde meydana gelen deprem, Doğu Anadolu fayının aktivitesini göstermiştir. Arpat ve Şaroğlu (1971, 1975) tarafından deprem sonrası yapılan çalışmalarda, DAF'ı bölgesel ölçekte ilk kez haritalanmış ve fay ile ilgili bazı morfolojik yapıları (yükselim ve çöküntü alanları gibi) belirlenmiştir.

Duman ve Emre (2013), DAF'ın geometrisini ve segmentasyonunu ayrıntılı olarak ele almış ve DAF'nı; Güney (ana) kol, Kuzey kol (Sürgü-Misis fayı) ve Karasu çukurluğu olmak üzere üç ana bölüme ayırmıştır (Şekil 1.1). Buna göre; Güney (ana) kol, kuzeydoğuda Kuzey Anadolu ve Varto Fayları ile Karlıova Üçlü Eklem Nokta'sını, güneybatıda ise Ölü Deniz Fayı (ÖDF) ve Kıbrıs Yayı ile Amik Üçlü Eklem Nokta'sını oluşturmaktadır. Uzunluğu yaklaşık 580 km olan bu uzanım, Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentleri olarak ayrılmıştır. Önerilen tez konusu ile Palu segmenti içerisindeki kaya toplulukları üzerinde metamorfizma izleri belirlenmesi hedeflenmiştir (Şekil 1.2).

DAF'ın yaşı ile ilgili yapılan çalışmalar; Geç Pliyosen'den (~3.6 my) (Şaroğlu vd., 1992; Herece, 2008; Aksoy vd., 2007; Çolak vd., 2012; Çetin vd., 2003; Köküm ve İnceöz, 2018; Köküm, 2019) daha yaşlı olmayacağı belirtilmektedir. DAF'ın oluşum yaşı ve fay boyunca gelişen yanal ötelenme miktarları göz önünde bulundurulduğunda, fayın yıllık kayma hızının 4 mm/yıl (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Aksoy vd., 2007) ile 11 mm/yıl (Çetin vd., 2003) arasında olması gerektiği ifade edilir. Ayrıca, 1992-1997 yılları arasında yapılan GPS ölçümleri, DAF'ın yıllık kayma hızının, 9 ± 1 mm/yıl olarak ölçülmüştür.



Şekil 1.1 Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait diri fayların Duman ve Emre (2013)'e göre haritası çizilmiştir. Proje kapsamında önerilen çalışma alanını içeren Palu Segmenti kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.

Doğu Anadolu fayı gibi doğrultu atımlı bir fayın, her iki yakasında makaslama zonu içerisinde yer alan kayalar, birbirlerine sürtünerek çeşitli fay kayalarına dönüşürler (Davis ve Reynolds, 1966; Sibson, 1977). Fay kayalarının adlandırılması ve sınıflandırılması amacıyla yapılan çalışmalarda, farklı görüşler bulunur (Spry, 1969; Higgins, 1971; Sibson, 1977). Bunlardan, en yaygın olanı, Sibson (1977) tarafından önerilen sınıflamadır (Şekil 1.2). Sibson (1977) fay kayalarını, kabuğun sıg ve derin seviyelerinde makaslama zonu içerisinde yer alan kaya türlerini kapsayan fay kayaları için; breş serisi, kataklasit serisi ve milonit serisi olarak üç bölüm ifade etmiştir. Sibson (1977) fiziksel koşulların (örneğin; sıcaklık, sürtünme özellikleri), fay kayalarının oluşumunda etkin olduğunu önermiştir. Kristalin kuvars-feldispattan ibaret kabuğu kesen, fay zonunda elastik-sürtünmeli davranış gösteren seviyelerde, fay kili (unu), breş, kataklastik seri ve pseudotakilit gibi fay kayaları oluşurken, sıcaklık ve basıncın yüksek olduğu daha derin seviyelerde, yarı-plastik özellik gösteren milonit serisi kayalar gelişir.

Mason (1978) tarafından yapılan bir başka çalışmaya görede, herhangi bir kaya içerisinde gelişebilen fay zonu içerisinde, yüzeye yakın kesimlerde fay breşi, derinlerde ise milonitik kaya gelişimi söz konusudur. Zaman içerisinde, tektonizma ve aşınma ile derinlerde oluşan milonitik kayalar yüzeyde de gözlenebilmektedir.

yapılmış çalışmalar arasında yukarıda da ifade edilen, Menderes masifi düşük açılı sıyrılma fayı (Hetzl vd., 1995), Gediz fay zonu (Sarıkaya, 2004), Simav fay zonu (Işık, 2004; Işık vd., 2013), ülkemizden bazı örneklerdir. Özellikle Kuzey Anadolu Fay'ı bu bakımdan fazlaca çalışılmış olup, en önemli ve aktif faylardan bir diğeri olan DAF üzerinde, benzer bir çalışmanın yapılmamış olması tez çalışmasını bu yönüyle özgün kılmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, farklı yaş ve litolojilere ait jeolojik birimlerden oluşan Doğu Anadolu Fayı (DAF) makaslama zonu içerisinde yer almaktadır. Hazırlanan bu tez çalışması ile fay zonu içerisindeki kayaç gruplarının mineralojik ve petrografik değişimleri jeokimyasal verilerle birlikte değerlendirilerek, aktif tektoniğin en iyi örneklerinden olan ve dislokasyon metamorfizma izleri taşıyan, DAF içerisindeki kayaların fay dinamiğinden etkilenimleri ve dislokasyon metamorfizma süreçleri irdelenecektir. Bu kapsamda, DAF (Palu segmenti) makaslama zonu üzerinde, farklı litolojik birimlerde (magmatik ve sedimanter kayaç türleri) gelişen fay kayalarında, dislokasyon metamorfizmanın mineralojik ve dokusal özellikleri ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenecektir. Makaslama zon kayalarının, mineralojik değişimleri ve tektonizma-mikrodoku detaylandırılmaya çalışılacaktır.

1.2. Materyal ve Metod

Yüksek lisans tez çalışmasının amacına göre; Literatür, arazi, laboratuvar çalışmaları yapılarak, tüm verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. “Doğu Anadolu Fay Zonu Palu Segmentinde Dislokasyon Metamorfizma” başlıklı bu çalışma projelendirme aşamasından itibaren değişik amaçlarla yapılan uluslararası/ulusal bilimsel çalışmalar derlenmiş, incelenmiş ve çalışma yöntem ve planı hazırlanmıştır.

1.2.1. Arazi Çalışmaları

Palu ilçe merkezi ve yakın çevresi 2019-2020 yılları yaz aylarında örnekleme ve fotoğraflama amaçlı incelenmiştir. DAF zonu Palu segmenti içerisindeki magmatik, volkano-sedimanter ve sedimanter kayaç grupları ayrı ayrı gruplandırılarak, her bir kayaç grubunun fay kinematiğine karşı gösterdiği direnç ve deformasyon özellikleri kendi içinde değerlendirilmiştir. Fay hattı boyunca makaslama izi takip edilerek kayaçlarda sistematik örnekleme yapılmış ve harita üzerine işaretlenmiştir. Özellikle, fay zonu içerisinde gelişen çizgisel yapılar (mineral lineasyonu, foliasyon vb.) belirlenerek yönlü örneklerin alınması ve fotoğraflama yapılmıştır.

Fay zonu kayalarının makroskobik adlanması ve mineralojik-dokusal analizi için 35 adet ince kesitli hazırlanmıştır. Tüm kayaç ana oksit ve iz element analizleri gibi jeokimya analizleri için fay kili boyutundan kataklastik/milonitik fay kayası boyutuna kadar değişen boyutlarda örneklerin alınmasına azami dikkat edilmiştir. Arazi çalışmalarında, 1/500 000 ölçekli Erzurum paftası kullanılmıştır (Altınlı, 1963).

1.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

İnce Kesitlerin Hazırlanması

Çalışma alanından alınan 35 adet kayaç örneğinden ince kesitler hazırlanmıştır. Örnekler 2x0.5x4 cm boyutlarında kestirilmiş ve bir yüzeyinde pürüzsüz olacak şekilde inceltilmiştir. Bu yüzeyler 1 mm kalınlıktaki ve 2.5x5 cm boyutlarındaki cam üzerine yapıştırılmıştır. Yapıştırma işlemi tamamlandıktan sonra aşındırıcı malzemeler kullanılarak 0.025 mm'lik bir kalınlık elde edilmiştir. İnce kesitler Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği İnce Kesit Laboratuvarında hazırlanmıştır.

Petrografik Çalışmalar ve Fotoğraflama

Petrografik incelemeler için fay zonu içerisindeki tüm kayalardan sık aralıklarla örnek (35 adet) alınmıştır. Makroskobik adlandırılması yapılan her bir örneği temsilen mikroskop incelemeleri için ince kesitler hazırlanacaktır. Doğrultu atımlı/makaslama zonunu karakterize eden mineral değişimleri, mikrofabrik, lineasyon, foliasyon gibi yapıları değerlendirebilmek amacıyla, fay zonu içerisinde yönelmenin belirlendiği lokasyonlardan yönlü örnek alımı yapılmıştır. Petrografik adlamalar için belirlenen örnekler, Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği'ndeki mikroskop laboratuvarında ince kesitleri hazırlanmış ve OLYMPOS CX31P marka polarizan mikroskop ile kayaç adlaması, mineral içeriği ve doku tanımlamaları yapılmış olup, mikroskoptan fotoğraflama yapılmıştır.

Örneklerin Kimyasal Analize Hazırlanması

Petrografik incelemeler ile 15 adet kayaç örneğinin anaoksit ve iz element kimyası için seçilen örnekler ACME (Ankara-Türkiye) laboratuvarında analiz edilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) analizleri, Fırat Üniversitesi Merkez laboratuvarında (MERLAB) yaptırılmıştır.

Tüm Kayaç Analizleri

Kayaçların anaoksit, iz element ve NTE analizleri ACME (Türkiye) laboratuvarında yapılmıştır. Örnekler RETSCH marka çeneli taş kırıcıda ufalanmıştır. Ufalanma işleminden sonra FRITSCH marka öğütücüde Tungsten Karbit değirmende elenmiştir. Örnekler düşük deteksiyon limitine sahip olmaları, periyodik tablodaki birçok elementin analizinin yapılabilmesine imkan vermesi ve hızlı uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilen LA-ICP-S/MS metodu kullanılmıştır.

Katı örneklerin direkt analizinin yapıldığı lazer aşındırma (laser ablation) tekniği, atomik iyonlar oluşturan bir Argon (Ar) plazma ile analiz için bir dört kutuplu kütle spektrometresinden oluşmuştur. Kütle aralığı 5-270 amu, gözlenebilirlik sınırı ng/L düzeyindedir. ICP-MS metodu sert ve deformasyona dayanıklılık gösteren kaya örneklerine uygulanan kimyasal analiz yöntemi, 2x2x1 cm boyutunda kesilen ve iyonize edilmesi için 10000°K sıcaklığa kadar elektromanyetik indüksiyonla ısıtılan örneklerin analizidir.

X-Ray Difraktometre ve Taramalı Elektron Mikroskop Analizi

İnceleme alanının fay zonu olması sebebiyle, kil boyutu ince kesit veya ICP-MS gibi analizlerle belirlenemeyecek kadar küçük taneleri de içerir. Dolayısıyla bu tür ortamlarda hem kil boyutlu malzemenin içeriğini belirleyebilmek için XRD (X-Ray difraktometre) analizi hemde akışkanlar ve diğer matriks mineralleri için Raman spektrometre tekniği kullanılacaktır. XRD metodu; 22 mikron elek çapından geçecek kadar küçük toz taneler, 1-2 gram kadar olacak şekilde hazırlanır. Mümkün olduğunca az yönlendirme ile dik bir şekilde preslenir. Saf su ile süspanse edilen örnekten, tane boyutu 2 mikrondan büyük olanlar çöker, daha küçük olanlar yukarıda kalır ve su içerisinde bir ayrılma gelişir. Elementlere ait, her bir pik standart bir minerali karakteriz ettiği için, karşılaştırma ile mineral belirlenir.

Fay zonundan alınan ve kesit yapılamıyacak kadar toz tanelerinden oluşan kayaların minerallerinin, dokusal ve morfolojik özelliklerinin belirlenilebilmesi amacıyla üç adet örnek üzerinde taramalı elektron mikroskop incelemeleri (SEM) yapılmıştır. Fırat Üniversitesi Merkez laboratuvarında gerçekleştirilen SEM ve XRD çalışması, yaklaşık 0.5 cm³'lik örneğin üst yüzeyi altınla kaplanmış ve daha sonra LO-435VP marka 0-300.000X büyütmeli taramalı elektron mikroskopta üç boyutlu görüntüleme alınarak incelenilmiştir.

1.2.3. Büro Çalışmaları

Doğu Anadolu Fay zonu Palu segmenti üzerinde gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmaları ve önceki araştırmacılar tarafından yapılmış yayınlar incelenerek, tez çalışması büro çalışmaları ile sonuçlandırılmıştır. Araziye ait jeolojik harita ve grafikler, bilgisayar ortamında Adobe Illustrator CS6 programı kullanılarak çizilmiştir. Bilgisayar ortamında çizilen bu haritada inceleme alanından alınan örnek noktaları işaretlenmiştir. Petrografik veriler, kayaç ve mineral kimyasından alınan veriler çeşitli hazır paket programlarında (Grapher 9, Microsoft Office Excel 2010) değerlendirilerek diyagram ve tablo haline getirilmiştir.

Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucunda ulaşılan tüm veriler bir araya getirilip yorumlanmıştır. Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kuralları çerçevesinde hazırlanmıştır.

1.3. İnceleme Alanı

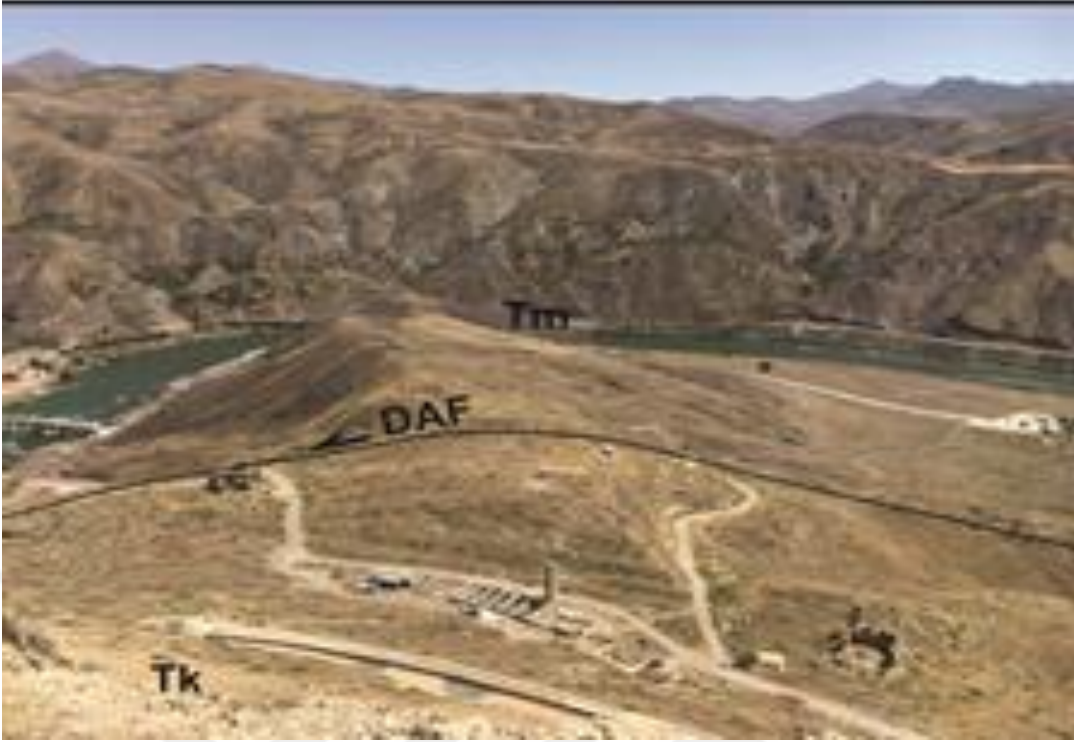
İnceleme alanı, uzunluğu yaklaşık 580 km olan ve Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentlerini kapsayan DAF zonu üzerinde yer alır (Şekil 1.3). İnceleme konusu olan Palu segmenti, Gökdere sıkışmalı bükümü ile Hazar Gölü gevşeten bükümü arasında K60°D doğrultusunda olup, 77 km boyunca uzanmaktadır. Palu segmenti tek parça olmayıp üç alt bölüme ayrılmıştır.

Doğu ve orta bölüm Yamaçova köyünün güneyinde sola sıçrama alanı ile birbirlerinden ayrılırlar. Palu ilçe merkezinin doğusundan geçen Palu segmenti kuzey doğuda Yamaçova köyü güneyinden başlayarak yaklaşık K58°D doğrultu ile dar bir zonda 22 km boyunca Örencik'e kadar devam eder.

Fay en iyi Kalebaşı tepe civarında Kırkgeçit Formasyonuna ait kireçtaşlarında gözlenir (Şekil 1.3) Örencik yakınında Keban baraj gölü alanı içerisine girerek takip edilemeyen fay, Orta tepe sırtı kuzeyinde tekrar görülmektedir. Örencik ile Hazar gölü arasındaki güney segmentin uzunluğu 30 km olup doğrultusu yaklaşık K65°D olarak izlenmektedir. Örencik ile Orta tepe sırtı arasında 15 km boyunca dar bir zonda izlenen fay, Kartaldere köyünden itibaren fay zonu genişleyerek birkaç kola ayrılmakta ve Hazar Gölü içerisine girmektedir (Duman ve Emre, 2013). Tarihsel ve aletsel dönemde Palu segmenti üzerine önemli depremler düşmektedir (Köküm ve Özçelik, 2020).

1.4. Önceki Çalışmalar

Bu lisansüstü tez konusuyla ilgili olarak uluslararası literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Dünyada önemli aktif fay zonları üzerinde fay kayalarının deformasyon süreçleri ve mekanizmaları ile ilgili çalışmalara eski ve güncel literatürde mevcuttur (Sibson, 1971; Wang vd., 2020).



Şekil 1.3. Palu Kalebaşı tepe civarında fay kayalarına ait fotoğraflar. DAF tarafından sınırları tektonik olarak kontrol edilen Maden karmaşığı (Tm) ve Kırkgeçit (Tk) Formasyonu'nun görünümü (Köküm ve Özçelik, 2020)

Leydier vd. (2019) Doğu Alpler'deki makaslama fayı içerisinde sünümlü deformasyon üzerinde tektonizmanın kontrolünü ve gevrek deformasyonda akışkanın rolünü deformasyon zamanıyla tartışmıştır. $\sim 450^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve yüksek akışkan basıncında, sürtünmeli ve viskoz deformasyonun düşük hareketlerde geliştiği, yavaş depremlerin yitim bölgeleri ile sınırlı olmayabileceğini, ancak aynı zamanda günümüz kıta-kıta çarpışma ortamlarında akışkan deformasyonun meydana gelme olasılığının yüksek olduğunu ifade etmiştir.

Strauhal vd. (2016) tarafından Avusturya Ötztal-Stubai kristalin kompleksinde yapılan çalışmada, makaslama zonlarının yapısal özellikleri, mineralojik bileşimleri ve kayaçların jeomekanik özellikleri incelenmiştir. Araştırmacılar, kırık yüzeyleri kumlu-çakıllı fay breşleri ve matris içinde blok yapıları içine gömülü mercek şeklindeki killi siltli fay oluklarının karmaşık bir dokusu ile karakterize olduğunu, mineralojik analizlerinde, mika ve klorit gibi yüksek miktarda filosilikatların varlığını göstermiştir.

Araştırmacılarından bazıları (Bonzanigo vd., 2007; Lebourg vd., 2011), makaslama zonu boyunca gelişen deformasyon kinematiki üzerine birçok çalışma yapmış ve fay zonu kayalarında yapısal, dokusal ve mineralojik değişimler incelemiştir. Makaslama zonu kataklastik kayaçlarda deformasyon yaşını $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ izotop analizini kullanarak belirleyen araştırmacılar, gevrek deformasyonun dokusal ve mineralojik farklılıklarını detaylandırarak, kronolojik yaş verisi elde etmiştir (Wang vd., 2020).

Dislokasyon metamorfizma ve makaslama zonlarının kronoljisi üzerine bir başka çalışma Orioloa vd. (2018) tarafından yapılan dinamik rekristalizasyon, neokristalizasyon ve akışkanlar gibi deformasyonla ilişkili süreçlerde izotop çalışmalarının önemine vurgu yaparak, kırık zonlarında sıcaklığın belirlenmesinden ziyade protolit yaşının neo-veya rekristalizasyonla akışkanın varlığında deformasyonla değişimin ortaya çıkarılmasında kullanımını kanıtlamıştır. Prando vd. (2019), makaslama zonlarındaki gevrek ve sünümlü kayalara akışkan ve stres basıncının etkisini inceleyerek, mikroyapısal analizlerle mineral kimyasını basınç, sıcaklık, akışkan ve stres basıncını birlikte değerlendirmiştir. Araştırmacılar, farklı stres basıncında, syn-kinematik kuvars damarlarının milonitik foliasyona paralel geliştiğini, dinamik rekristalizasyon ve milonitleşmenin stres basıncıyla doğrusal değiştiği belirtmiştir.

Makaslama zonu içerisinde gelişen fay kayalarının türü faylanma mekanizması, sıcaklık, akışkanlar, kayaların mekanik özellikleri ve konumlarına göre çeşitlilik göstermektedir (Sibson, 1977, Şekil 1.2).

Ülkemizde, Batı Anadolu'da Menderes masifi yakınında düşük açılı sıyrılma fay zonunda (Hetzl vd., 1995), Gediz fay zonunda (Sarikaya, 2004), Simav fay zonunda (Işık, 2004; Işık vd., 2013) ve Orta Anadolu'da Savcılı fay zonu üzerinde (Çağlayan, 2010) fay kayaları ile ilişkili çalışmalar mevcuttur.

Yukarıda özetlendiği üzere literatürde yer alan DAF ile ilgili çalışmalar çoğunlukla fayın geometrisini, yaşını ve deprem davranışını anlamaya yönelik olup, fay kayalarının çalışılması ile ilgilidir. DAF'ın yaşı ile ilgili yapılan bir çok çalışmada Geç Pliyosen' den (~3.6 my) (Şaroğlu vd., 1992; Herece ve Akay, 1992; Aksoy vd., 2007; Çolak vd., 2012; Çetin vd., 2013; Köküm ve İnceöz, 2018; Köküm, 2019) daha yaşlı olmayacağı belirtilmektedir. DAF'ın oluşum yaşı ve fay boyunca gelişen yanal ötelenme miktarları göz önünde bulundurulduğunda fayın yıllık kayma hızının 4 mm/yıl (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Aksoy vd., 2007) ile 9-11 mm/yıl (Çelik, 2008; Çetin vd., 2003) arasında olması gerektiğini vermektedir.

DAF üzerindeki magmatik kayalardan sedimanter kayalara kadar farklı ortam koşullarında oluşmuş fay kayalarında dinamik metamorfizma üzerine yapılacak bu ilk çalışma uluslararası literatüre önemli katkı sağlanacaktır. DAF'ın Palu ve Pütürge segmentleri üzerinde yer alan en güncel yapısal jeoloji çalışması Köküm ve İnceöz (2018) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, fay kayma yüzeyleri üzerinden elde edilen verilerle fayın geçmiş ve günümüz davranış özellikleri belirlemeye çalışmışlardır. Geç Pliyosen döneminden itibaren doğrultu atım tektoniği kazandığı belirtilen DAF'ın, günümüzde yaklaşık K150D doğrultulu sıkışma rejimini bağlı olarak çalıştığı ifade edilmiştir.

İnceleme alanı içerisindeki litolojik kaya gruplarında jeolojik ve petrografik amaçlı yapılmış ulusal ve uluslararası çalışmalardan, tez çalışmasının her aşamasında faydalanılmıştır.

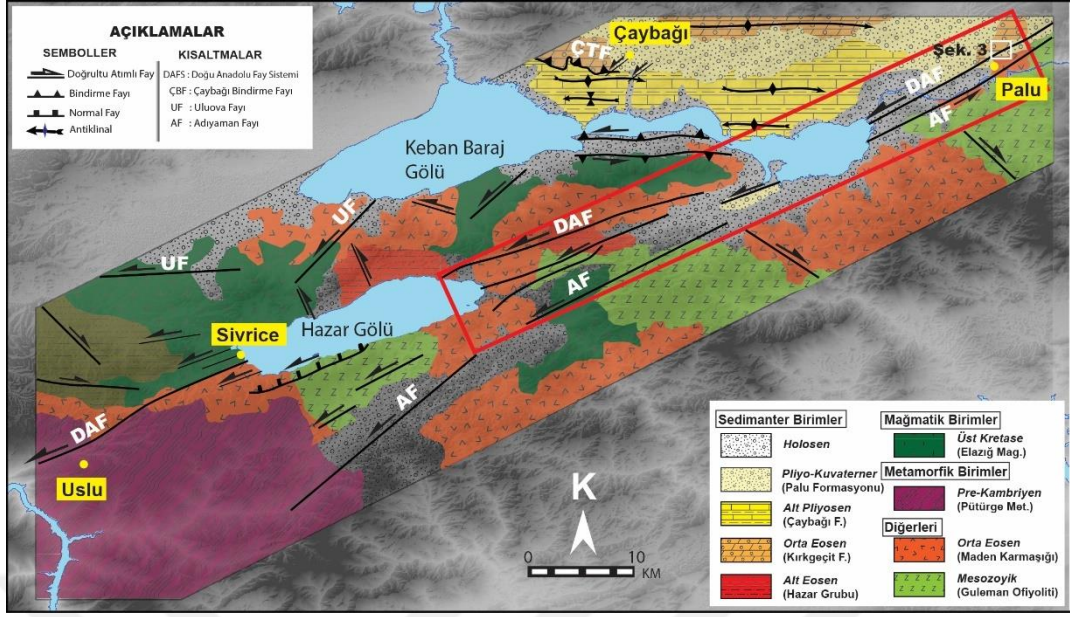
2. BÖLGESEL JEOLojİ

Miyosen döneminde Arap plakasının Kuzeye hareketi Neotektonik dönemi başlatmış ve oluşan tektonik rejimle Anadolu levhası KAF ve DAF gibi iki önemli yapısal unsurla sonlanmıştır (Şengör vd., 1981).

Allen (1969) tarafından Bingöl-Karlıova ilçesi ile Elazığ-Hazar gölü arasında bir fay zonunun belirlenmesi ile fayın bölgenin tektonik yapısı içindeki önemi ortaya çıkmıştır. Bölgedeki temel tektonik unsurlardan biri olan DAF, Anadolu Plakasının batıya hareketi sebebiyle üzerinde 4-13 mm/yıl kadar sol yanal özellikte bir deformasyona/sürtünmenin düşük olduğu alanlarda ise kaymaya neden olan hareketli bir fay zonudur (Hempton, 1985; Arpat ve Saroglu, 1972; Dewey ve ark., 1986; Westaway, 1994; Allen ve ark., 2004; Aksoy vd., 2007). Aktug ve arkadaşları (2016) yeni gözlemler kattıkları çalışmada, sol yanal yönlü hareketin güneybatıdaki 4.5 mm/yıl hızındaki özellikten farklı olarak, tüm DAF boyunca olan hareket hızının 10.5 mm/yıl olduğunu ifade eder. Jeolojik çalışmalar ve yapısal veriler atım miktarı 9-40 km civarındaki fayın son 3-5 milyon yıl arasında aktif olduğunu gösterir (Hempton, 1985; Allen vd., 2004; Herece ve Akay, 1992; Aksoy vd., 2007).

2.1. İnceleme Alanın Jeolojisi

İnceleme alanında Kretase'den günümüze kadar değişen yaş aralığında ve farklı türde kaya birimleri yüzeylemektedir (Şekil 2.1). İnceleme alanındaki en yaşlı birim Geç Kretase (Senoniyen) yaşlı Elazığ Magmatitleri'dir. Haritanın kuzey doğu bölümünde görülen birimler çoğunlukla volkanik kayalar ve bunları kesen granitik kayalardan oluşur. Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu kumtaşı-şeyl ve marn ardalanmasından oluşur ve haritanın güney bölümünde oldukça yaygın olarak gözlenir. Orta Eosen yaşlı yer yer çamurtaşı bantlı volkanik kayalarla temsil edilen Maden Karmaşığı ile Orta Eosen-Oligosen yaşlı tabanda çakıltası, üst seviyelerde resifal kireçtaşları ile temsil edilen Kırkgeçit Formasyonu sınırları DAF tarafından tektonik olarak kontrol edilmektedir (Şekil 2.1). Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu, çoğunlukla kötü boyanmalı zayıf çimentolu konglomera ve çapraz tabakalı kaba taneli kumtaşlarından oluşur. İnceleme alanının en genç birimi ise serbest çakıl ve kum litolojisinin hâkim olduğu eski akarsu çökelleri olan alüvyonlardır.



Şekil 2.1. Çalışma alanının jeolojik haritası ve önemli tektonik yapıları (Akbaş vd., 2011'den değiştirilerek alınmıştır). Proje kapsamında önerilen çalışma alanı kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.

2.1.1. Elazığ Magmatitleri

Tanım ve yayılım: Formasyon ilk kez Perinçek (1979a) tarafından Hakkâri (Yüksekova) civarında yayılımlı bu birimin diyabaz, serpantin, gabro, bazalt, granodiyorit, granit, tüf, aglomera, kireçtaşı, şeyl ve volkanik kumtaşı gibi asitik bileşimli kayalarından volkano-sedimanterlere kadar geniş bir kayaç bileşimi sergilediğini belirtir. Yayılımı Hakkâri'den başlayarak Kahramanmaraş Elbistan'a kadar tüm Doğu Toroslar'da görülür. Elazığ çevresinde de geniş dağılımları bulunan bu birimin Turan vd. (1995) yaptığı çalışmalar sonucunda, Hakkari-Yüksekova civarındaki birimin litolojisi ve özellikleri bakımından bir benzerlik taşımadığını dolayısıyla alttan üste doğru daha düzenli bir dizilim sunan magmatik birimin Elazığ magmatitleri olarak kullanımının bu bölge için uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hakkari civarındaki düzenli bir istif görünümünden ziyade karmaşık bir yapı sunan Elazığ magmatitlerinin, Yüksekova karmaşığı adıyla korunması gereğini benimsemiştir. Elazığ ve çevresinde bu birim; Monzodiyorit, diyorit/ kuvars diyorit, tonalitten lav akıntıları, bazaltik/andezitik lavlar, andezitik piroklastiklerden ile bu birimleri kesen dasit, granit ve diğer volkano-sedimanter birimlerden oluşur.

Elazığ Magmatitleri, Üst Triyas'tan itibaren açılmaya başlayan, Neotetis'in güney kolunun Üst Kretase'den itibaren kuzeye dalımı sonucu üstteki levhada gelişen supra-subduction zonu ofiyolitleri üzerinde gelişen kalkalkali özelliğe sahip ada yayı magmatizması ürünleridir (Bingöl ve Beyarslan, 1996). Elazığ magmatitleri üzerine yapılmış jeolojik çalışmalar arasında Naz (1979), Özkul ve Üşenmez (1986), Yazgan (1981), Perinçek ve Özkaya (1981), Perinçek ve

Kozlu (1984 a), Sungurlu vd. (1985), Akgöl (1993), Bingöl (1982, 1984, 1988), Kılıç (2005), Lin vd. (2015) ve benzeri sayılabilir.

Elazığ magmatitleri; Volkanik yay kompleksi, Yüksekova karmaşığı, Baskil mağmatitleri/granitoyidi gibi değişik isimlerle ifade edilmektedir. Ancak, bu çalışmada Elazığ magmatitleri olarak kullanılmıştır (Şekil 2.1).

Tersiyer jeolojik zamanda Elazığ havzasının jeolojik evrimi üzerine Aksoy ve diğerleri (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Geç Kretase sonunda başlayan ve devamında bölgenin sıkışma ve genişleme rejimlerinin etkisini altındaki Elazığ havzasının; Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfileri ile başlayan bir temel kayaç ve hemen üzerinde Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri'nden oluştuğunu ifade ederler. Geç Kretase sonlarında yani, iç Torid Okyanusu'nun kapanmasının hemen ardından gelişen yay-kıta çarpışmasının metamorfik kayaçların kuzeyden güneye ve Üst Kretase yaşlı yay magmatitleri üzerine ittiği ve dolayısıyla bölgesel yükselmenin geliştiği bir karasal ortam koşulları olmasını sağladığı belirtilir.

Bingöl (1982, 1984, 1988) çalışmasında, Elazığ Mağmatitleri'nin oluşum ortamı için kalkalkali karaktere sahip olması ve jeolojik gözlemler ışığında kuzeye dalımlı bir yitim zonu üzerinde gelişen ada yayı ürünü olarak ifade etmiştir. Ayrıca, gabrodan granite kadar değişen kayaçların varlığı da dalma-batma olaylarının en az üç magmatizmanın varlığını işaret ettiğini belirtir. Magmatizmanın birinci ve ikinci evresinde; ada yayı kayaçları (gastro, monzonit, diyorit, tonalit, granodiyorit), üçüncü evresinde ise kıta-ada yayı çarpışması ürünü granitlerin geliştiği belirtilir.

Bingöl ve Beyarslan (1996), Elazığ Mağmatitlerinin Üst Kretase'deki SSZ-ofiyoliti üzerinde gelişen ada yayı malzemesidir ve Üst Kretase sonunda, Guleman ofiyoliti ve Keban-Malatya Metamorfileri ile birlikte güneye doğru sürüklenmişlerdir. Erken Miyosen sonrası dönemde Doğu Toroslar'daki bindirmelere bağlı olarak bugünkü konumlarını almışlardır.

Yaş: Doğu Toroslardaki granitoidlerde Lin vd., (2015) tarafından yapılan en güncel jeokronolojik yaş verisinde üç farklı yaş elde edilmiştir. Bunlardan gastro, diyorit/granodiyorit ve granitler (84-81 my) ve bu kayaçlar toleyitik-kalkalkalen özellikler gösterirken, monzonit ve granodiyoritler (80-79 my) ve kalkalkalen özelliktedir. Son yaş verisi ise, monzodiyorit ve monzonitlerden alınan 74-72 my olup bu kayaç serisi oşonitik bileşim göstermektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Elazığ magmatitlerinin arazi görünümü

2.1.2. Hazar Grubu

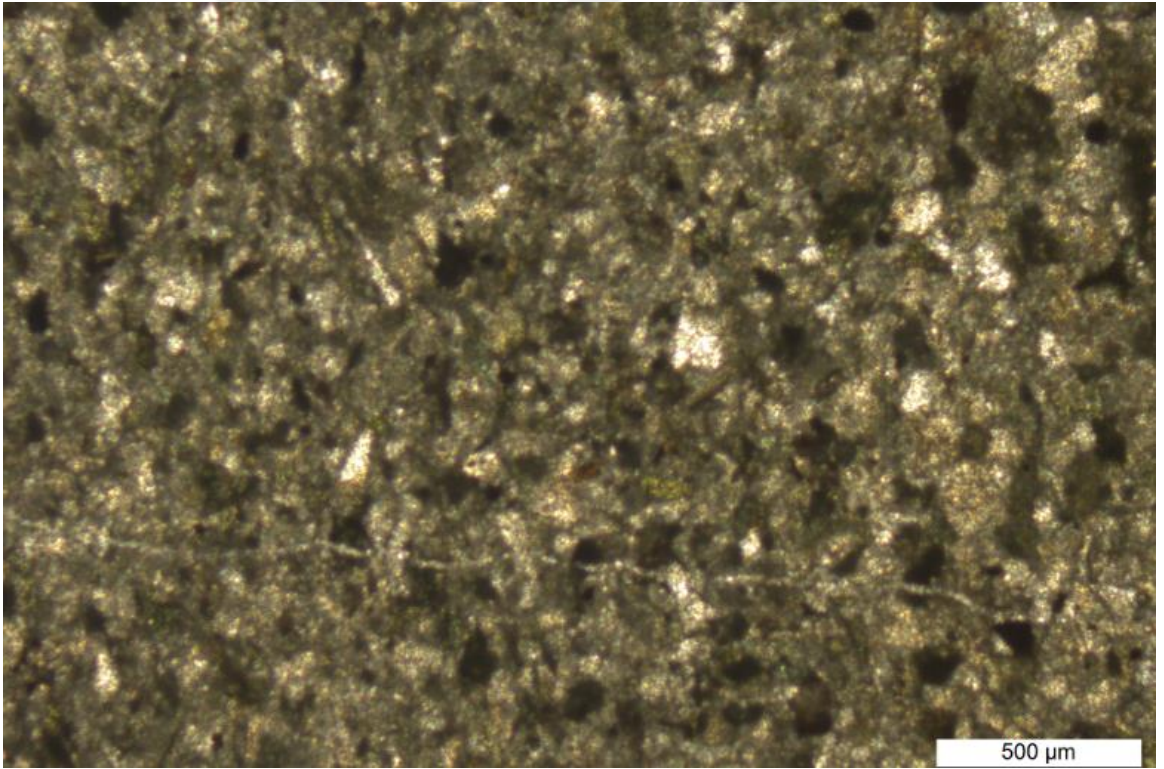
Tanım ve yayılım: Formasyon "Hazar Birimi" ismi ile Rigo De Righi ve Cortesini (1964) tarafından ilk kez kullanılmıştır. Daha sonra "Hazar Formasyonu" ismiyle Özkaya (1974) tarafından Ergani-Maden civarını kapsayan çalışmada değiştirilmiştir. Bu bölgede birim, kumtaşı-şeyl-marn ardalanmasından oluşan fliş özelliği göstermektedir. Bir başka çalışmada Sungurlu vd., (1985), birimin aslında grup olarak tanımlanması gerektiğini ve tabanda Simaki Formasyonu, üzerinde Şebken Formasyonu ve en üst seviyede ise Gehroz Formasyonu'nu içerdiğini ifade eder. Aktaş ve Robertson (1984) bu birimi, "Hazar Grubu" olarak ifade ederken, Ceffan Formasyonu, Simaki Formasyonu ve Gehroz Formasyonu şeklinde alttan üste doğru üç formasyon ayırmıştır.

İnceleme alanında Hazar Grubu; Kumtaşı, marn, şeyl, kireçtaşı ve pembe renkli kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Kireçtaşı ve gri renkli şeyl Gehroz formasyonunu, kahverengi şeyl ve yeşil renkli çamurtaşları Simaki formasyonunu temsil etmektedir (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4).

Yaş: Hazar Grubu üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda birimin adı ve yaş verileri şöyle özetlenebilir: Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından Hazar Birimi olarak adlandırılmış ve yaşı için Kretase-Paleosen, Sungurlu vd.,(1985) yaptıkları çalışmada, Hazar Grubu ve Maastrichtiyen-Eosen yaşını, Perinçek ve Özkaya (1981) Hazar Formasyonu ve Kretase-Eosen yaşını, Perinçek ve Kozlu (1984a) Hazar Grubu ve Maastrichtiyen-Alt Eosen yaşını, Turan vd. (1995), Hazar grubu ve Geç Maastrichtiyen-Geç Paleosen, son olarak Aktaş ve Robertson (1984) ise Hazar Grubu ve Paleosen-Eosen yaşını kullanmışlardır. Bu çalışmada birimin ismi, Hazar grubu olarak tercih edilmiştir.



Şekil 2.3. Hazar Grubu'na ait kayaçların arazi görünümü



Şekil 2.4. Hazar grubu kumtaşlarından alınan mikroskop görüntüsü

2.1.3. Maden Karmaşığı

Tanım ve yayılım: Bu formasyon Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından “Maden Birimi”, Yiğitbaş vd. (1991) tarafından "Maden Grubu" olarak kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu

çalışmada da kullanılan “Maden Karmaşığı” terimi ise Perinçek ve Özkaya (1981), Yazgan (1984), Aktaş ve Robertson (1985), Yiğitbaş ve Yılmaz (1996) gibi araştırmacılar tarafından tercih edilmiştir.

Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı’nda en kuzeyindeki “nap alanı” içinde bulunur ve Elazığ Maden ilçesi ve çevresinde yayılım sunar. Maden Karmaşığı, Orta Eosen başında riftleşme sonucu gelişmiş bir havzada oluşmuş ve naplaşma ile birim içerisinde olistolit ve olistostromlu seviyeler gelişmiştir (Yiğitbaş vd., 1993).

Turan ve diğerleri (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, Orta Eosen yaşlı volkano-sedimanter Maden Karmaşığının, Neotetis Okyanusu güney kolunun kapanması ile bağlantılı gerilmeli bir yayardı havzasında oluşan adayı ürünü olduğunu ifade eder. Hazar havzasının kuzeyinde kıtasal kabuk üzerinde oluşan, Elazığ Magmatitleri ile Keban Metamorfizmaları’nın Geç Paleosen’den itibaren tabanı blok faylanmalı Elazığ Tersiyer havzası içerisindeki açılmaya bağlı olarak geliştiğini ifade eder. Orta Eosende havzanın kapanmasıyla, daha önce etkin olan volkanizmanın gelişmediği ve Erken Miyosen sonuna kadar havzanın varlığını koruduğunu belirtilir (Kaya, 2002).

Tipik yüzeylemesini Maden ilçesi (Elazığ) ve dolaylarında veren bu birim, Elazığ-Palu İlçe’sinin doğusundan, Arıcak İlçesinin kuzey kesimlerine, Malatya ili güneyi ve Adıyaman ili kuzey kesimlerine kadar KD-GB doğrultulu uzanım sunar. Doğu Anadolu Fayı’na paralel bir zon halinde yerleşen Maden karmaşığı, Palu-Hazar gölü arasında DAF’ın güney kesiminde belirgindir. Bu birim, Aktaş ve Robertson (1984) tarafından yapılan çalışmada kuzeye dalımlı yitim zonu üzerinde ve yay önü bölgesinde gelişen çek-ayır (pull-apart) havza oluşumları olarak tanımlanır.

İnceleme alanında, kırmızı renkli çamurtaşları, bazaltik yastık lavlar, aglomera ve pembe-gri kireçtaşlarından oluşur. Elazığ magmatitleriyle sınırında, fayın etkisiyle konglomeratik-breşik özellikte (silisli) zon gelişmiştir (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).

Yaş: Birimin yaşı üzerine yapılan çalışmalardan bazıları; Başpınar (2006), Erdoğan (1982) tarafından "Maden Grubu", Sungurlu (1979) tarafından "Ergani Grubu" olarak adlandırılmıştır. Nummulitli kireçtaşlarından dolayı Engin vd., (1982), Orta Eosen yaşını vermiştir. Delaloye ve Pişkin (1979), pillow bazaltlardan yaptıkları yaş analizi sonucu, K-Ar izotop yaş verisinden $45 \pm 5.7 - 52.0 \pm 10.3$ My elde etmişlerdir. Özdemir vd. (2016) derin deniz sedimentlerinde belirlediği Morozovella aragonensis ve Acarinina collactea...vb, fosillere dayanarak Erken Eosen (Ypresian) -Orta Eosen (Lutetian) yaş aralığını vermektedir.



Şekil 2.5. Maden karmaşığı içerisindeki breşik yapı ve silisli zon



Şekil 2.6. Maden karmaşığı ince milonit ve breşik yapı

2.1.4. Kırkgeçit Formasyonu

Tanım ve yayılım: Doğu Anadolu'da Elazığ ve Van bölgelerinde geniş yayılım sunan Kırkgeçit Formasyonu ilk kez Perinçek (1979a) tarafından tanımlanmıştır. Kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşan bu birim, derin deniz-şelf kompleksi özelliğindedir.

Kırkgeçit formasyonu kıtasal kabuk üzerinde gelişmiş bir yay gerisi bir havzada depolanmıştır (Özkul ve Kerey, 1996).

Özkul ve Kerey (1996) yaptıkları bir çalışmada, Kırkgeçit Formasyonu'ndaki fasiyes analizleri ile derin deniz yelpazesinin iç, orta ve dış bölümleri ve yamaç, havza düzlüğü, karbonat şelfi ve şelf önü karbonat fasiyeslerinin varlığını ifade etmiştir.

Bu birim, yanal ve düşey yönde litolojik farklılıklar göstermektedir. Heterojen, polijenik, alacalı renkli, orta ve kalın tabakalı taban konglomeralarının çakılları havzanın temelinde yeralan Keban metamorfikleri ve Elazığ magmatitlerine aittir (Perinçek, 1979a). Sonrasında kumtaşı, killi-kumlu kireçtaşları, kiltası ve birimin üst kısmında beyaz ve bej renkli, bol fosilli, düzenli tabakalı kireçtaşları bulunur (Şekil 2.7, Şekil 2.8).

Türkmen vd (1999), Elazığ'ın KKB'sında Kırkgeçit formasyonu üzerinde yaptıkları bir çalışmalarında, gel-git düzlüğü ve fırtınalı şelf kompleksi özelliği sunan birimin stratigrafik kesitlerinden 7 fasiyes ve 3 fasiyes topluluğu belirlemiş ve tanımlamışlardır.

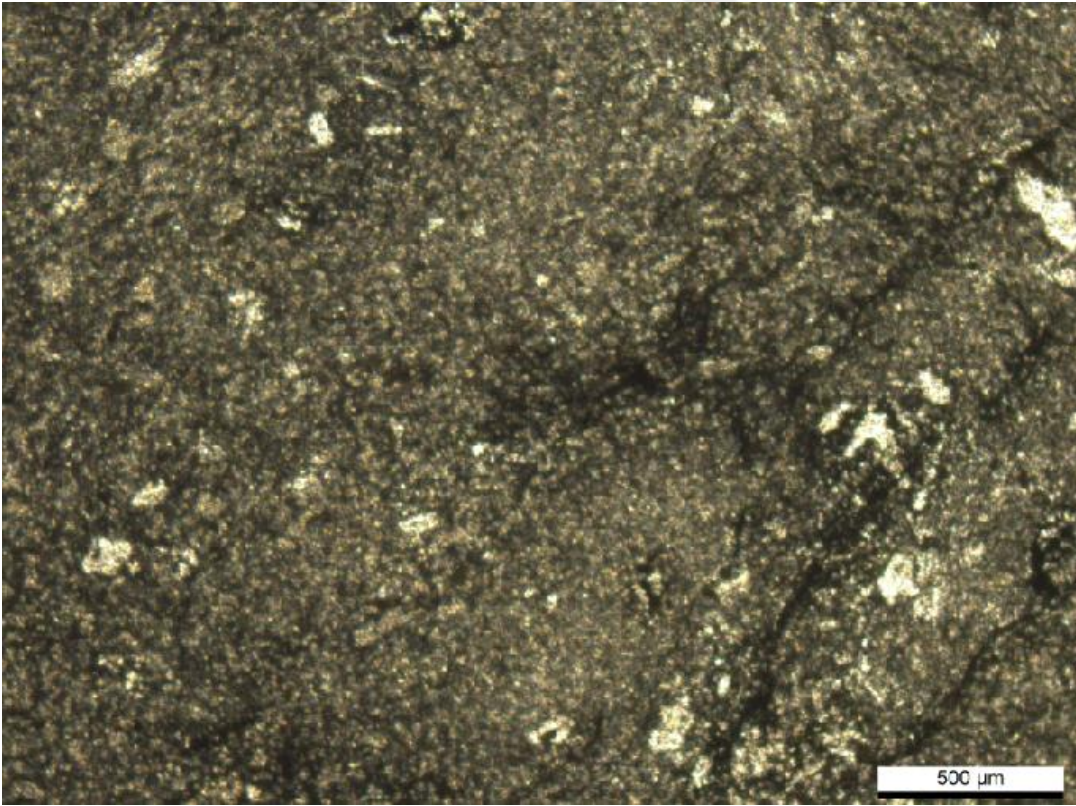
Kırkgeçit formasyonu, Elazığ magmatitlerini açısal uyumsuzlukla örter ve Palu formasyonu tarafından örtülür (Şekil 2.1). İnceleme alanında Kırkgeçit formasyonu tabanda konglomera, üst seviyelerde ise resifal kireçtaşları ile temsil edilir.

Kırkgeçit Formasyonu'nun sınırları DAF tarafından tektonik olarak kontrol edilir (Şekil 2.9)

Yaş: Türkmen (1991) tarafından, birimin kireçtaşlarından alınan kayaç örneklerinde yapılan analizlerde, Nummulites sp., Chapmanina gassinensis Sil vestri, Rotaliidae, Bryozoa, Asterigerina sp., Lithothamnium sp. ve mercan fosillerinden birime, Lütesiyen-Üst Eosen yaşı verilmiştir.



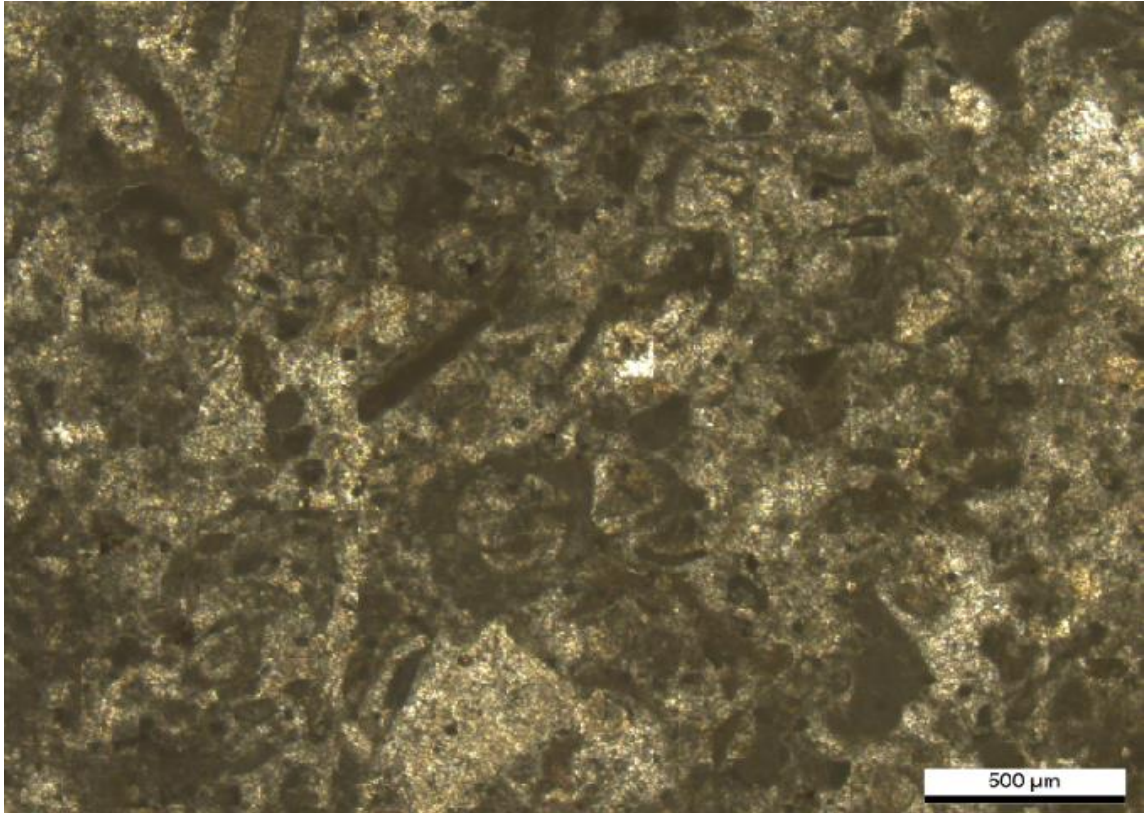
Şekil 2.7. Kırkgeçit formasyonuna ait kumtaşı-killi kumtaşı ardalanması (Türkmen,1991).



Şekil 2.8. Kırkgeçit formasyonu kireçtaşına ait mikroskop görüntüsü



Şekil 2.9. DAF zonu içinde kumtaşlarını kesen merceksel silis oluşumları



Şekil 2.10. DAF zonu içinde kumtaşlarına ait mikroskop görüntüsü

2.1.5. Palu Formasyonu

Tanım ve yayılım: Başlıca konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan birim, ilk kez Kovancılar ve Palu yöresinde yapılan Çetindağ (1985) tarafından bir çalışmada, "Palu Formasyonu" adı ile kullanılmıştır. Bir başka araştırmacı Sungurlu vd (1985), Elazığ-Hazar-Palu çevresini kapsayan çalışmasında "Pliyosen çökelleri" adını kullanmıştır.

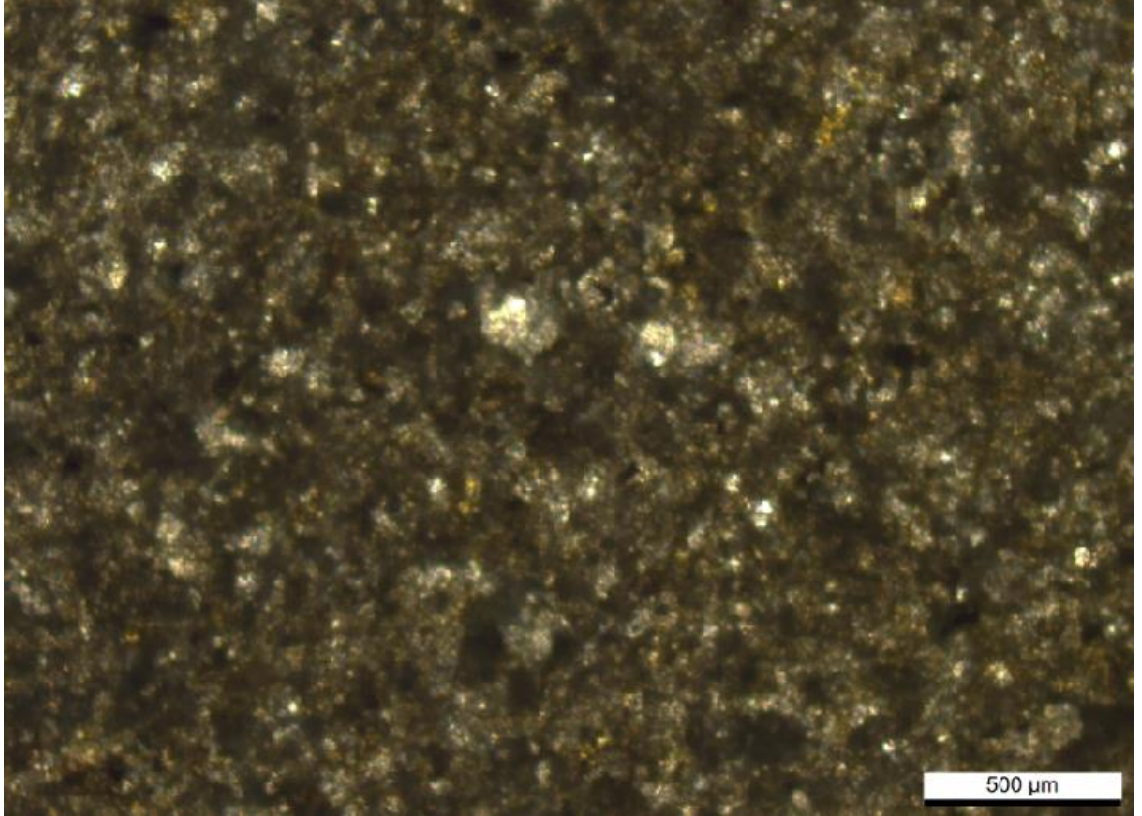
Kerey ve Türkmen (1991) ise, Çaybağı çevresinde sedimantolojik amaçlı çalışmalarında "Palu Formasyonu" adını, Turan ve Bingöl (1991), Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgedeki tektono-stratigrafik amaçlı araştırmalarında "Palu Formasyonu", Tuna (1979) "Pliyo-Kuvaterner Çökelleri" ve son olarak Türkmen (1988) Palu Formasyonu olarak haritalanan birimin önemli bir bölümünü "Çaybağı Formasyonu"na dâhil ederek incelemiştir. Birim kötü boylanmalı ve çamur matriksli konglomera ve kumtaşlarından oluşur (Şekil 2.10)

Yaş: Palu Formasyonu, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun yakın kuzeyinde ve Palu Antiklinal eksenine paralel olarak doğu-batı doğrultulu olarak uzanım sunar (Şekil 2.11, Şekil 2.12). Pliyosen-Kuvaterner yaşlı bu birim, tekneksi çapraz tabakalı kumtaşları ve üst seviyelere doğru kötü boylanmalı konglomera ve kumtaşlarına geçer. Bu farklı sevide geçiş özellikleri, Pliyo-Kuvaterner dönemde yörede etkin bir tektonizmadan kaynaklanır.



Şekil 2.11. Palu formasyonunun arazi görünümü

Çetindağ (1985), stratigrafik konumunu dikkate alarak Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşını, Sungurlu vd. (1985), stratigrafik konuma göre Üst Pliyosen yaşını, daha sonra birçok araştırmacı (Türkmen. 1991; Kerey ve Türkmen, 1991; İnceöz, 1994) Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşını vermişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada da Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşı kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 2.12. Palu formasyonuna ait kumtaşlarının mikroskop görüntüsü

3. BULGULAR

3.1. Petrografi

Doğu Anadolu Fay zoneu içerisindeki K60°D doğrultusunda 77 km uzanım gösteren Palu segmenti Gökdere sıkışmalı bklm ile Hazar Gölü gevseten bklm arasında boyunca uzanmaktadır. Bu fay en iyi Kalebaşı tepe civarında Kırkgeçit Formasyonuna ait kiretaşıları içerisinde gözlenir (Şekil 2.1). Magmatik ve sedimanter kayaç gruplarını kapsayan Palu segmenti kataklastik/dislokasyon metamorfizmaya özgü önemli yapı ve kayaç gruplarını bulundurur.

İlkeş Ramsay (1980) tarafından kullanılan ve yan kayalara göre yüksek deformasyona uğramış, çoğunlukla dar ve sınırlandırılmış bir zone olan makaslama zoneu terimi, çalışma alanı içerisinde yer alan kayaç türlerinde kataklastik/dislokasyon metamorfizmasına sebep olmuştur. Bu zone geçirdiği deformasyon nedeniyle belirgin şekilde yan kayalardan ayrılmaktadır (Şekil 3.1). Makaslama zonları; gevreş, gevreş-snml ve snml olarak üç alt gruba ayrılır. Gevreş makaslama zonları birbirlerine paralel/yaklaşık paralel pek çok fayın olduğu sınırlı bir alanda açık bir şekilde süreksizlik gösteren zondur. Bu zoneun kenar zonları elastik davranış limiti içerisinde kalarak ya deformasyona uğramazlar veya breşik özellik gösterirler (Şekil 3.2). İnceleme alanında gevreş-snml makaslama zonları fayın her iki yakasında 10 metre kadar mesafede gözlenebilir (Şekil 3.3). Fay sürünme kıvrımları ve açılma çatlakları bir diğer önemli gevreş-snml makaslama zoneu yapıları olarak izlenir. Çoğunlukla ikincil mineraller tarafından doldurulmuş ve ana fay doğrultusu ile ~30° açı yapan çatlak sistemleri el örneklerinde de rahatlıkla izlenebilmektedir (Şekil 3.4). Arazi gslemlerinde bazen sigmoidal şekilli çatlak yapılarına da rastlanmıştır (Şekil 3.4).

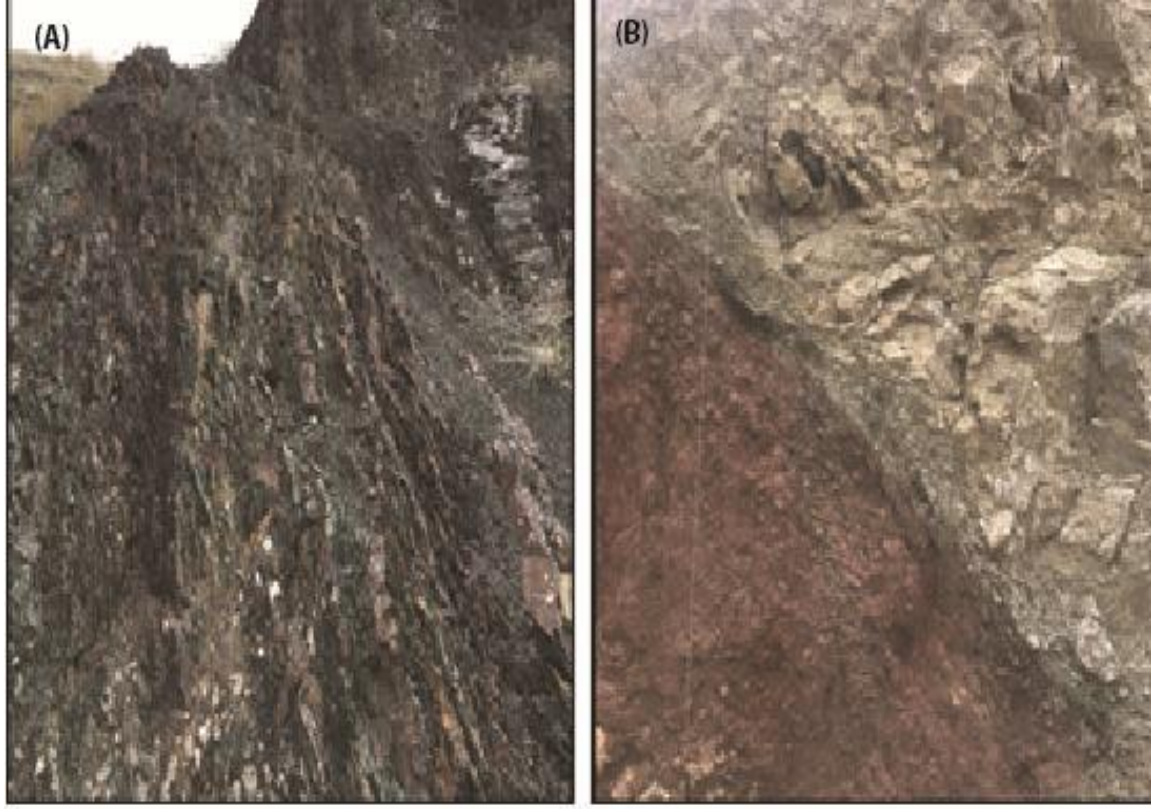
Snml makaslama zonlarında ise deformasyon ve yer değiştirme tamamen snml akış şeklinde gelişir ve kayalarda süreksizlik gözlenemez. Bu zone içerisindeki kayalar kırılmadan bükülürler ve kalınlıkları bu bükülmelere bağlı olarak yer yer değişime uğrar. Snml makaslama zonları metamorfizma koşulları altında deforme olmuş kristalin temel kayalarda oldukça yaygın olarak gözlenir. Gevreş makaslama zonları yer kabuğunun yzeyeye yakın kısımlarında gelişirken, gevreş-snml ve snml makaslama zonları giderek artan derinliklerde gelişirler (Ramsay, 1980). Kataklastik kayaçların tanınmasında yardımcı olan kriterler şunlardır:



Şekil 3.1. DAF zonu makaslanma izleri(üst).. Doğu Anadolu Fay'ı üzerinde Elazığ magmatitleri (Me) içinde gelişmiş alterasyon zonları ve makaslama zonunun genel görünümü (alt)



Şekil 3.2. Doğu Anadolu Fay zonu içerisinde gelişmiş breşik zon/yapılar



Şekil 3.3. Palu Kalebaşı tepe civarındaki gevrek-sünümlü fay kayalarına ait fotoğraflar. A) DAF makaslama zonu içerisinde yer alan Maden Karmaşığı'nda gözlenen foliasyon. B) Maden karmaşığı (Tm) ve Kırkgeçit (Tk) Formasyonu sınırında gelişen deformasyon zonu ürünleri (Köküm ve İnceöz, 2018).

Kayaçta porfiroklastların varlığı ve yönlü dokunun görülmesi, Çevre kayaçlardan dokusal farklılık gösteren kayaçların varlığı, Bozunma sonucu ortaya çıkan farklılıklar veya farklı görünüme sahip kıvrımların bulunması, Mineralizasyon ve alterasyon zonlarının varlığı: Karbonat ve silis mineralleri çoğunlukla kataklastik kayaçları kesen çatlak ve damar dolguları şeklinde görülür (Şekil 3.3).

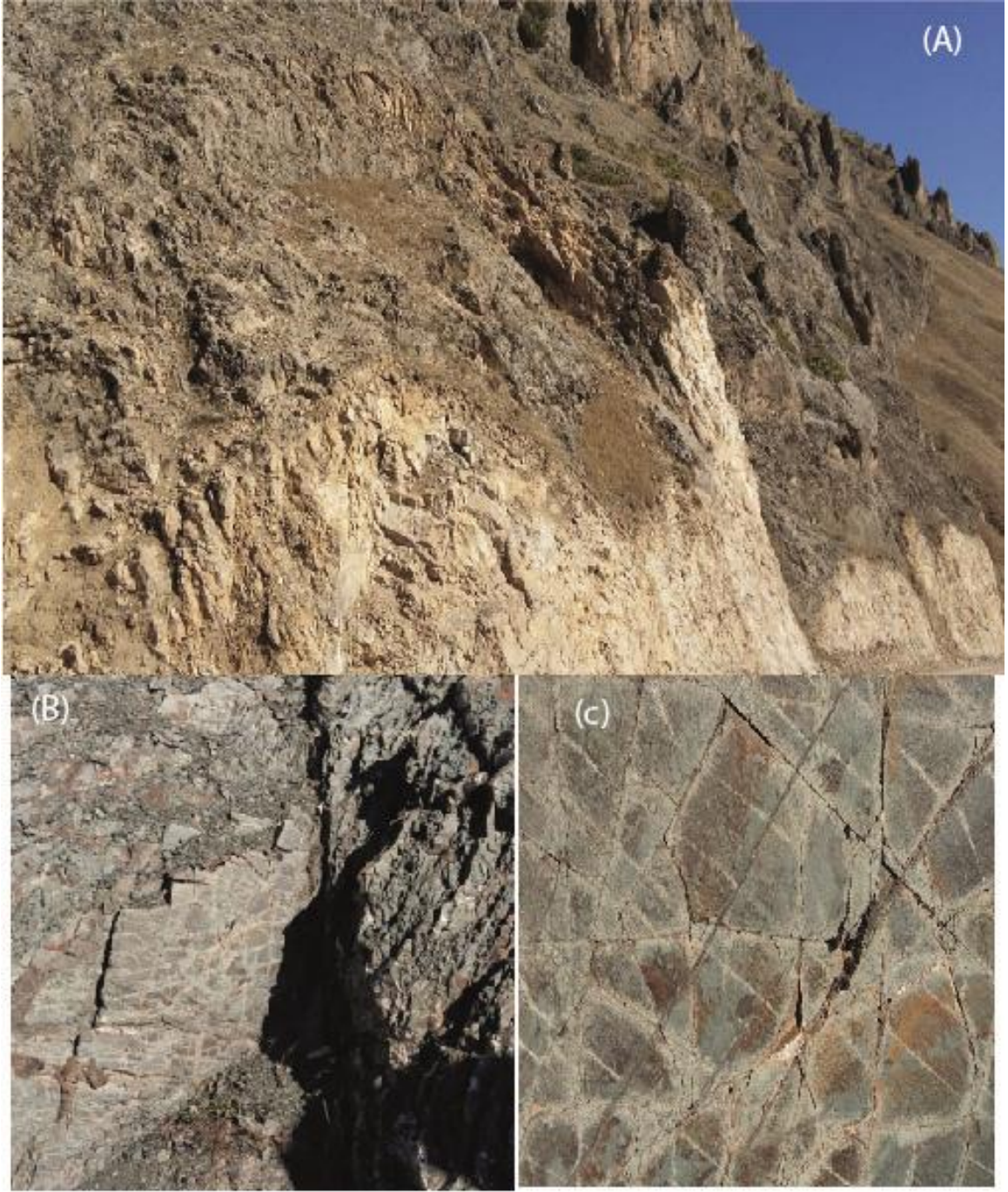
Kataklastik metamorfizma fayın hareketi sırasında birbirlerine sürtünen kayaların kısmi sıcaklık artışının da etkisiyle dokusal ve yapısal değişimlere uğramasıdır. Fay kayalarının adlandırılması ve sınıflandırılmasına yönelik birçok araştırmacı tarafından farklı görüşler önerilmiştir (Spry, 1969; Higgins, 1971; Sibson, 1977; Wise vd., 1984).

Sibson (1977) tarafından önerilen ve giriş bölümünde ifade edilen fay zonu kataklastik metamorfizma etkisi altında gelişmiş kayaçlardan inceleme alanında, fay kilinden, milonit, breş ve kataklastite kadar değişen farklı dislokasyon dokularını içeren kayaçlar görülür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. (A, B) DAF zonu boyunca kayalarda gelişen çatlaklar, (C, D) Çatlakları dolduran ikincil Mineraller ve sigmoidal yapılar

Bu sınıflamada fay kayaları; breş serisi, kataklasit serisi ve milonit serisi olarak üç bölüme ayrılabilen ve Sibson (1977) tarafından ifade edilen fiziksel koşulların (örn. sıcaklık, sürtünme özellikleri) fay kayalarının oluşumunda etkin olduğunu fikri inceleme alanında gözlenmiştir. Örneğin, kuvars-feldispat minerallerince zengin Elazığ magmatitleri içerisinde yer alan asitik kayalarda (Granit, monzonit), fay zonu içerisinde kalan bölümlerinde elastik- sürtünmeli davranış gösteren fay kili (unu), breş, kataklastik seri gözlenir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. (A) Dislokasyon zonu fay kilinin arazi görünümü, (B, C) Kataklaizit ve breş fay kayaları

Sibson (1977) 'nın önerdiği ve daha derinlerde yarı-plastik özelliği işaret eden milonit serisi kayaları sünümlü yapılar olarak zon içerisinde gözlenen diğer kayaç türleridir (Şekil 1.2). Milonitik kayalar derinlerde oluşumu işaret etsede, zaman içerisinde tektonizma ve aşınma ile derinlerden yüzeye çıkabilmektedir.

Dislokasyon metamorfizmanın gelişimini işaret eden rekristalizasyon ve metamorfizma ürünü ikincil mineraller ile kuvars mercekleri (Şekil 3.6), Prando vd. (2019) tarafından yapılan,

makaslama zonlarındaki gevrek ve sünümlü kayaçlardaki mikro-yapısal analizlerle uyumludur (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Dolayısıyla, farklı stres basıncındaki syn-kinematik kuvars damarlarının milonitik foliasyona paralel gelişimi aynı zamanda, dinamik rekristalizasyon ve milonitleşmenin stres basıncıyla doğrusal değiştiği şaret eder. İnceleme alanında Palu fay zonu içerisinde yer alan kumlu-çakıllı fay breşleri killi siltli hamur ile bağlanmıştır. Mineralojik incelemelerinde, mika ve klorit gibi filosilikatlar belirlenmiştir (Şekil 3.9).

Fayın en iyi gözleendiği Kalebaşı tepe (Palu) civarında Orta Eosen yaşlı kireçtaşları ile volkano-sedimanter birimlerin sınırını tektonik olarak kontrol eden Doğu Anadolu Fayı (DAF) (Palu segmenti) makaslama zonu, hemen hemen tüm fay kayalarının gözleendiği eşsiz bir alandır. Benzer fay yapıları ve kayaçlar, Batı Anadolu’da Menderes masifi yakınında düşük açılı sıyrılma fay zonunda (Hetzl vd., 1995), Gediz fay zonunda (Sarıkaya, 2004), Simav fay zonunda (Işık, 2004; Işık vd., 2013) ve Orta Anadolu’da Savcılı fay zonu üzerinde de (Çağlayan, 2010) gözlenmiştir.



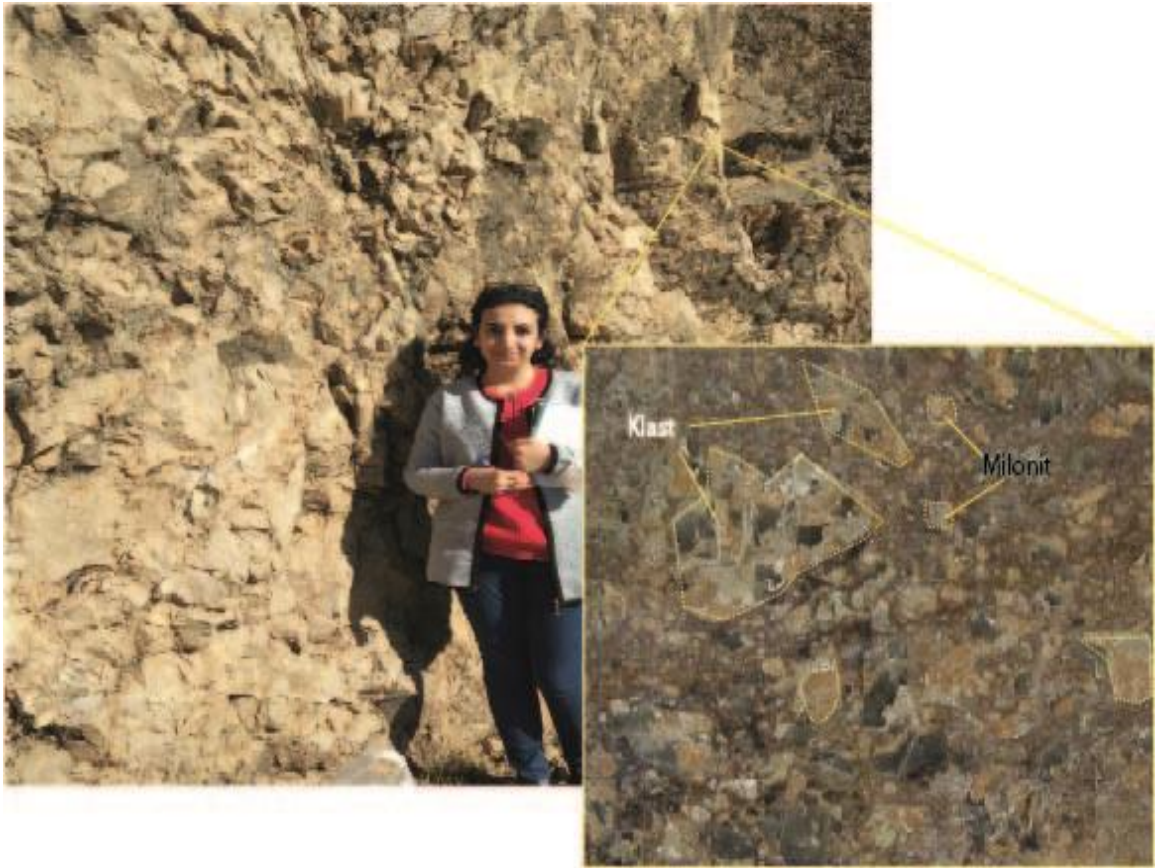
Şekil 3.6. Palu segmenti içerisinde gözlenen Kırkgeçit formasyonundaki silis mercekleri

Sibson (1977)’nin fay kayalarını sınıfladığı tablodan (Şekil 1.2) hareketle Palu segmenti içerisinde bulunan magmatikten sedimantere kadar değişen litolojilerdeki kayaçlar sınıflandırılmıştır. Palu segmentinin bulunduğu lokasyonlardaki Elazığ magmatitleri ve Maden karmaşığı daha breşik (%30 dan fazla ana kaya parçası) bir özellik gösterirken, Kırkgeçit ve Palu formasyonları daha fay kili (%30 dan az ana kaya parçası) özeliği sergilemektedir. Bağlayıcı

malzeme oranı dikkate alınarak yapılan kayaç sınıflamasında ise; Mikrobreş (%0-10), kataklasit (%50-90), folyasyon gösteren gözlü milonitler (%50-90) ve milonitler (%50-90) bulunur.

3.1.1. Gözlü milonit-Milonit

Palu segmenti, Kuzey ve Güney devamlılığı boyunca milonitik özellik kazanmış kayaçlarda genel olarak GB eğimli KB doğrultulu ve K-KD doğrultulu ölçülen foliasyon düzlemleri üzerinde belirlenen uzama lineasyonları K-KD doğrultulu olup yaklaşık 25°GB eğimlidir. Arazi çalışmalarında, DAF zonu Palu segmenti içerisindeki milonitik zonun Kırkgeçit formasyonu ve Hazar grubu kayaçlarda geliştiği görülmüştür (Şekil 3.7).

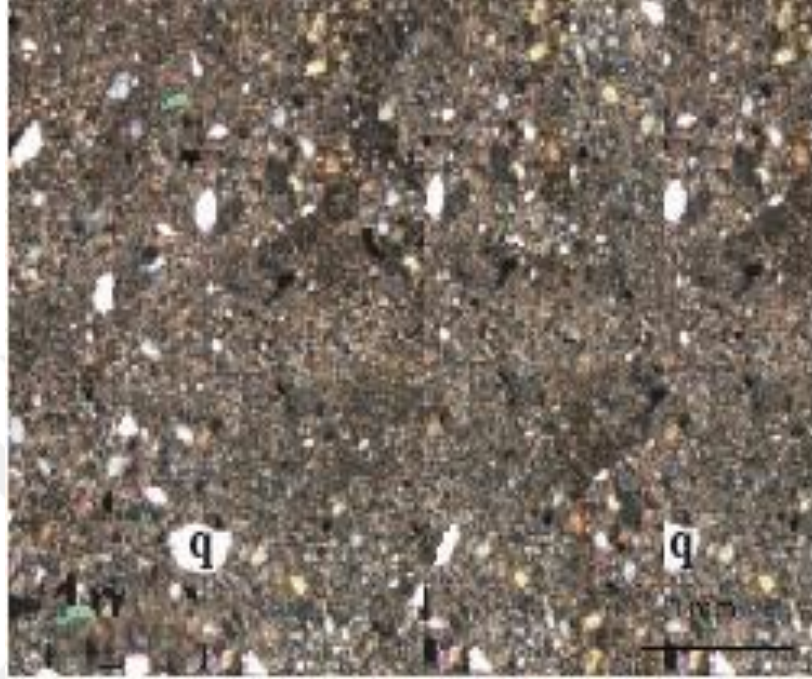


Şekil 3.7. Milonitik yapının arazi görünümü

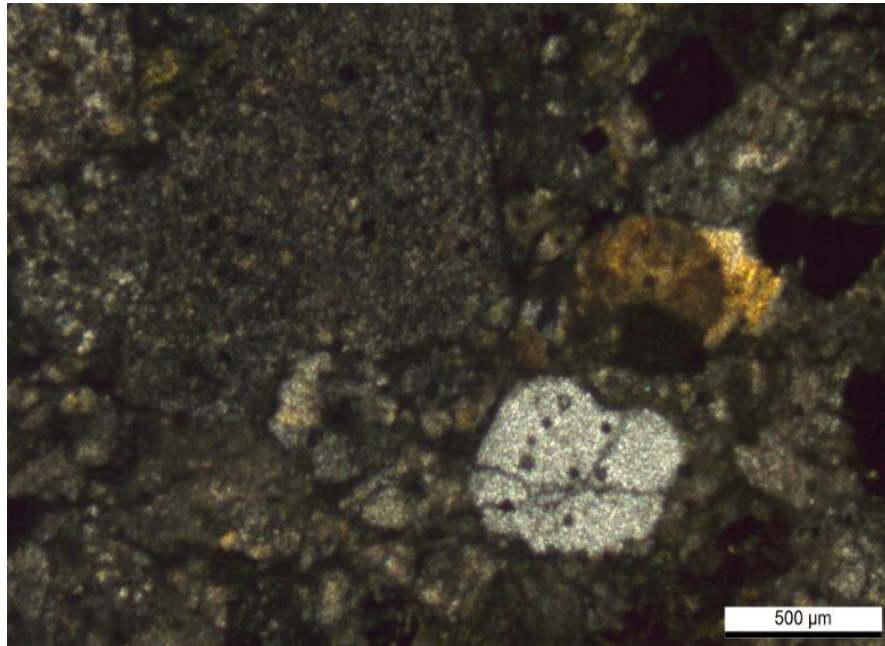
3.1.2. Mikrobreş

Sünümlü deformasyonun izlerini taşıyan ve başlıca milonitik şist, milonit, kataklasit ve mikrobreşten oluşan milonitik zonda, üst seviyelerde gerçeklik artacağı için kırılma deformasyon görülür. Breşik zon genellikle mikrobreş ve fay breşi ile temsil edilirken (Şekil 3.7) kilaşı, killi kireçtaşı düzeyleri ile arakatmanlanma gösteren gri renkli kumtaşları bulunur.

Fay zonu boyunca mikrobreş, çakıltaşı ve detritik kireçtaşı orta katmanlanmalı bir yapı gösterir ve yer yer kıltaşı, killi kireçtaşı düzeyleri ile arakatmanlanma gösteren gri renkli kumtaşı çakıltaşı, mikrobreş ile orta katmanlı bir yapı sunar (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. DAF zonu Palu segmenti boyunca sıkça görülen mikrobreşlerin mikroskop görüntüsü. Kuvars(q), kil mineralleri (II)



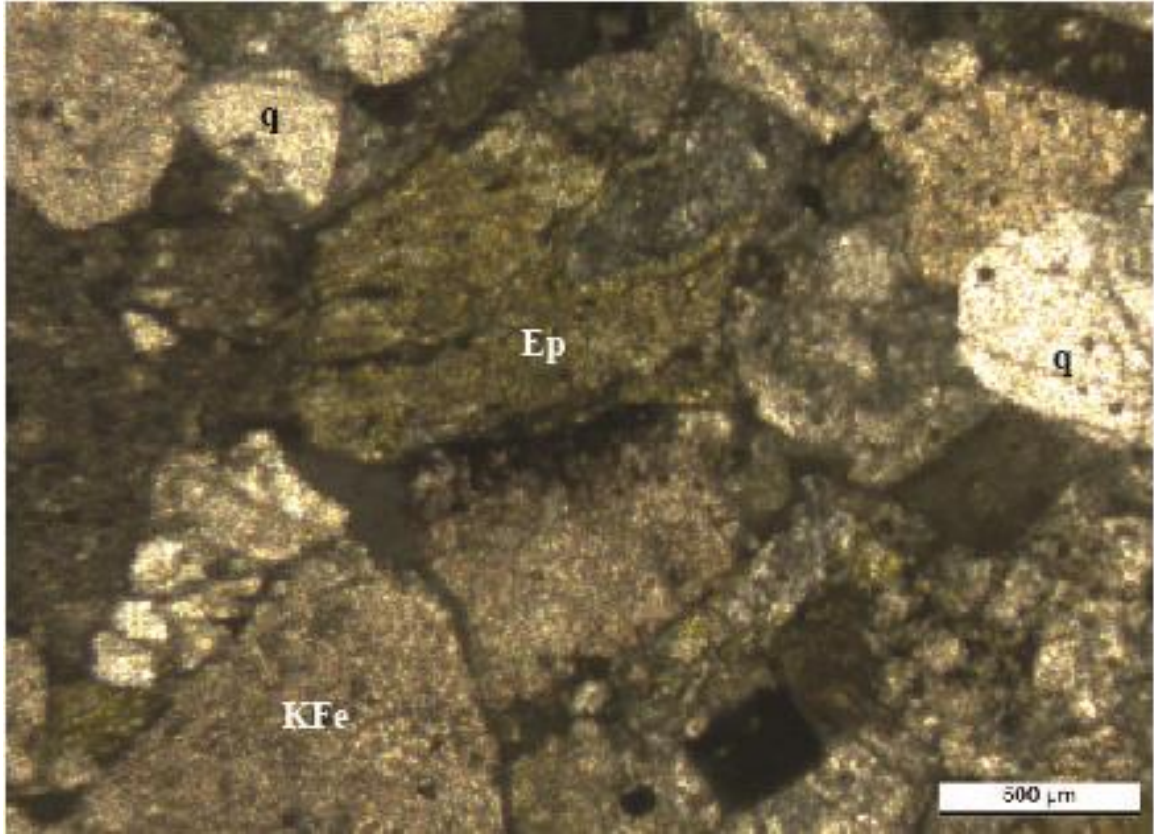
Şekil 3.9. Orta büyüklükte çakıltaşı içeren breşik yapıdan alınmış örneğin mikroskop görüntüsü

3.1.3. Kataklaзит

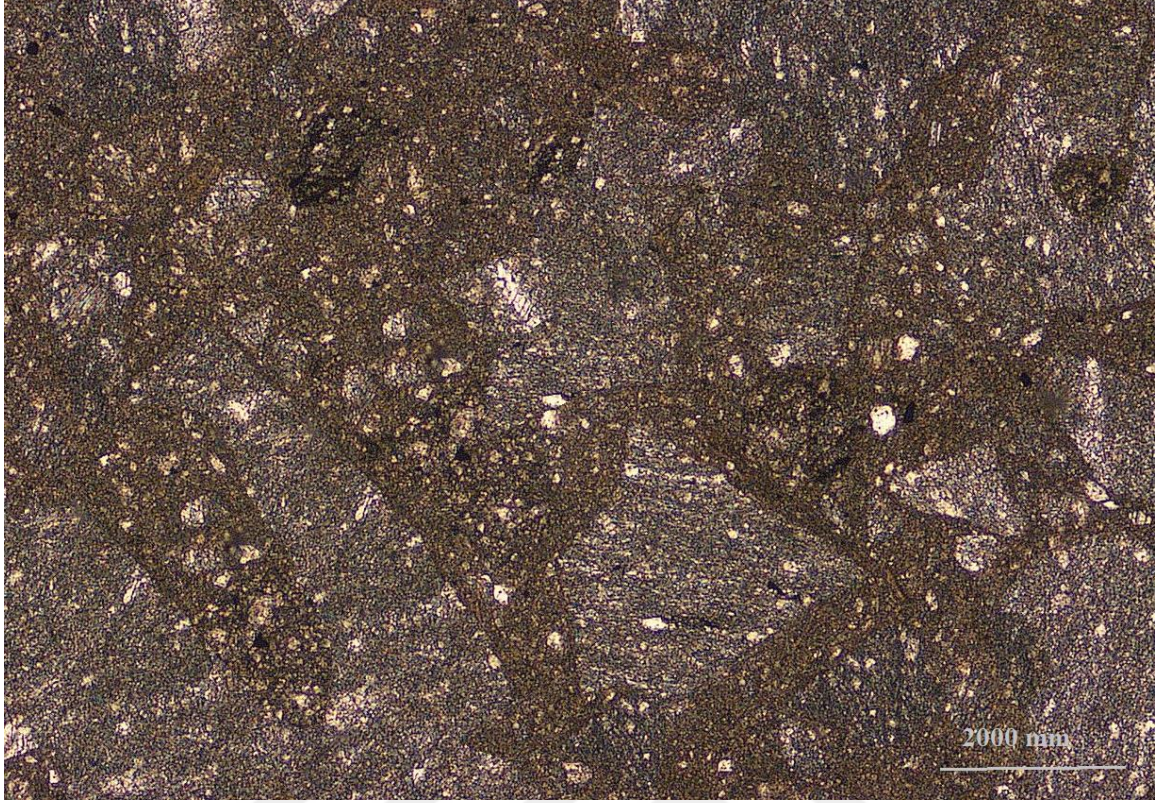
Afanitik dokuda, herhangi bir yönlenme göstermeyen kataklasitlerde, 0.2 mm den daha küçük porfiroklast oranı %30 altındadır. Yönlenme göstermemeleri nedeniyle milonitlerden kolayca ayrılır.

Kırılardan sünek deformasyona geçiş izlerinin gözlenebildiği bu kayalar 300–400°C yakın sıcaklıklarda, metasomatik alterasyon reaksiyonları ile albit mineralinin, muskovit ile K-feldispat yer değiştirmesi veya klorit ile biyotitin yer değiştirmesi gözlenir (Şekil 3.10). Epidot ve hornblend'in klorite dönüşmesi izlenir (Şekil 3.10).

Fay zonu litolojik birimlerinde sıkça gözlenen klorit olasılıkla 400 C'den daha düşük bir sıcaklık aralığında gelişebilir (Warr ve Cox, 2001). Daha düşük sıcaklıklarda (120°C), serbest elektronların bulunması/ bulunmaması gibi alterasyon reaksiyonları gelişebilir. Yani, lokal redoks koşullarına göre kaolinit, simektit, montmorillonit ve pirit mineralleri kaolinit, Fe-hidroksit (götit) veya karbonat minerallerine dönüşür (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Kataklaзит kayaç örneğinin mikroskop görüntüsü.

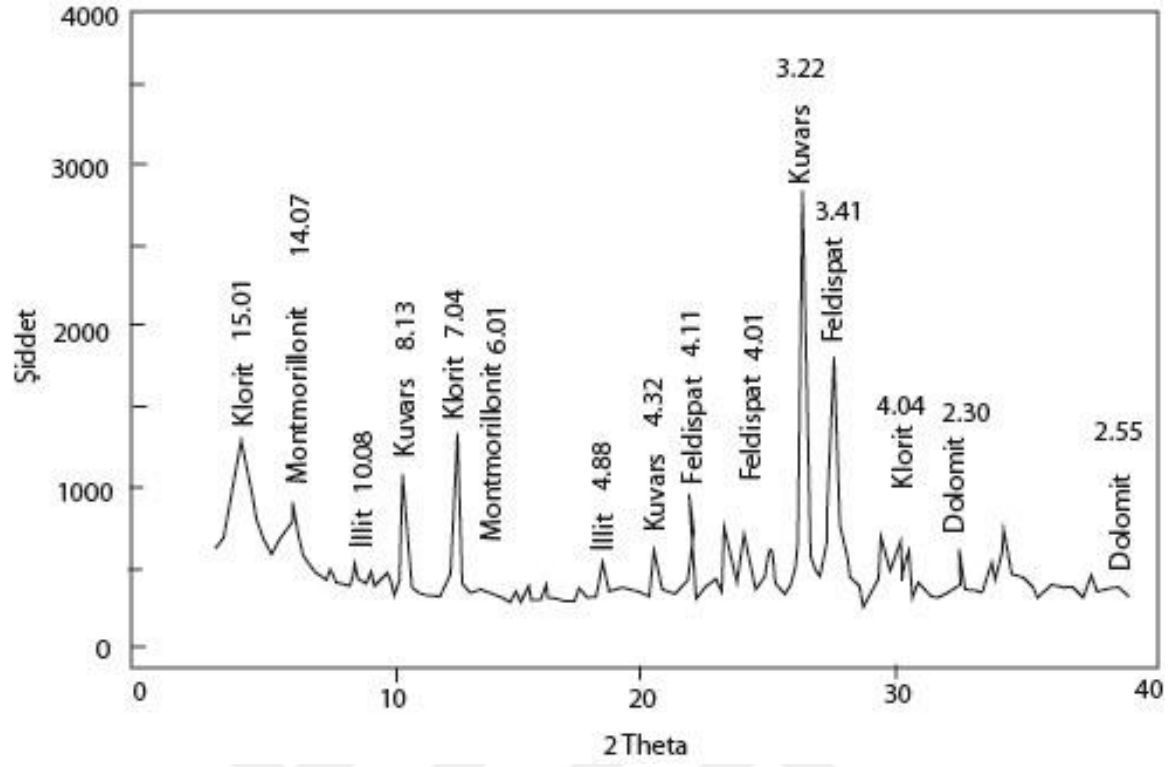


Şekil 3.11. Bir diğer kataklazit örneğine ait mikroskop görüntüsü

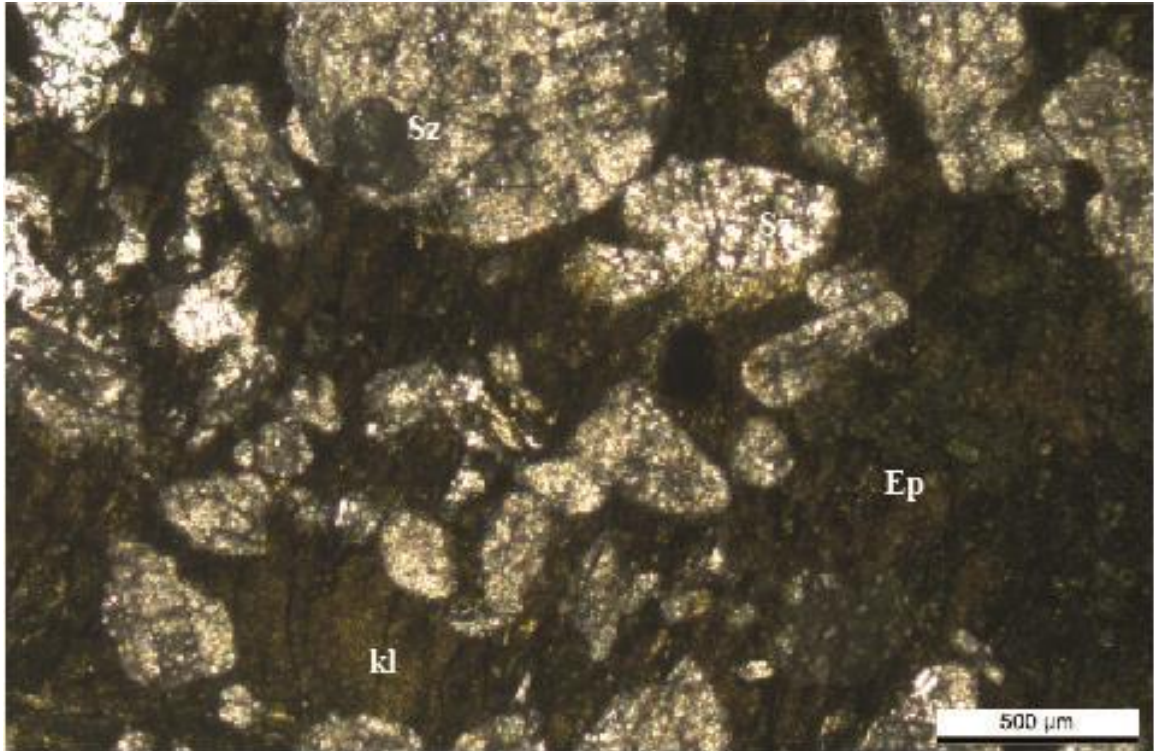
3.1.4. Fay kili

Faylanmaya bağlı olarak gelişen hidrotermal akışkanların oluşturduğu fay killerine ait (TM ½, TK 1/7 nolu) örneklerde SEM ve tüm kayaç XRD analizi yapılmıştır. Mikroskop incelemeleri mümkün olmayan kil örneğinde, yapılan tüm kayaç XRD analiz verisi, kil türünün illit minerali olduğunu göstermiştir (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).

Fırat Üniversitesi Merkez laboratuvarında yapılan XRD analizleri ile fay kilinin bileşimi belirlenmeye çalışılmıştır. XRD analizi, Bruker Advance MK III marka XRay difraktometre cihazı ile Bragg-Brentano geometrisi ve CuK α radyasyonu ile 40 kV ve 30 mA'da 1°2 θ /dak ve 0.05° tarama hızında yapılmıştır. Tüm kayaç analizi ile kil içeriği belirlenen örneğin dikkatli bir şekilde ve mekanik ayrışma ile illit-muskovit ve kirlilik gösteren örnekler seçilmiş ve mikron fraksiyonlarına ayrılmıştır. Hava ile kurutulmuş numunelerin XRD analizi yapılmasının evresinde, bir gece boyunca 30-40°C'de bir etilen-glikol havuzuna yerleştirilen örnekler, etilen glikole doyan örneklerden XRD analizi tekrarlanmıştır. Fay kilinin içeriğini belirlemek için, diferansiyel $\pm$ teta ($\Delta 2\theta$) yöntemi, ile yaklaşık $\pm\%$ 5 analitik bir hata ile hesaplamalar tamamlanmıştır.



Şekil 3.12. Fay kiline ait X-Ray kırınımı (XRD) grafiği



Şekil 3.13. Fay breşinde killi-siltli hamur ve alterasyon mineralleri

3.2. Fay Zonu Metamorfizması (Kataklastik Metamorfizma)

İnceleme alanında, Elazığ magmatitleri (volkanik kayalar ve bunları kesen damar kayaları), Maden karmaşığı (çamurtaşı ve bantlı volkanikler), Hazar grubu (Kumtaşı, şeyl ve marn), Kırkgeçit formasyonu (çakıltası, kireçtaşı) ve Palu formasyonu (konglomera ve kumtaşı) birimleri 77 km uzunluğundaki DAF zonu Palu segmenti boyunca kesilir. Magmatik ve sedimanter kökenli kayaç grupları, fay zonu içerisinde, fay deformasyonuna gösterdikleri direnç farklılığından dolayı, farklı boyut ve özellikte fay zonu kayalarını oluşturur (fay breşi, kataklazit, psödotakilit, fay kili gibi).

Hem magmatik hem sedimanter kayalar içerisinde bulunan feldispat mineralleri, kataklastik metamorfizma ve deformasyondan en çok etkilenen minerallerden biri olup, serizit/illit minerallerine dönüşmüştür (Şekil 3.10). Jeokimyasal analiz verileri, mikroskop incelemeleri ve SEM gibi üç boyutlu görüntüleme analiz yöntemleri, feldispat mineralinin kalsiyumca zengin bir alterasyon geçirdiğini işaret eder. Alterasyona karşı daha az dayanıma sahip anortit-plajiyoklazlar (Tablo 3.4), bazı örneklerde karbonat minerallerine dönüşmüştür. Kalsit, az miktarda dolomit ve ankerit türü karbonatlar, kayaların su içeriğinin ((H₂O)_h=%AK-(%CO₂+%SO₂+%Cl) artmasına sebep olan bir değişimden kaynaklanır (Sipahi, 2005).

Tablo 3.1. Fay kayalarında Metamorfizma izleri

Belirlenen Kataklastik Metamorfizma Mineralleri				Alterasyon Mineralojisi
Fay Breşi	Kataklazit	Milonit	Fay kili	Hornblend >> klorit
Kalsit	Plajiyoklaz	Dolomit	Montmorillonit	Biyotit >> klorit
Dolomit	Serizit	Serizit	İllit	Granat >> klorit
Hematit	Hornblend	Plajiyoklaz	Klorit	Plajiyoklaz >> serizit
Pirit	Biyotit		kuvars	>> kalsit + kuvars
Klorit	Plajiyoklaz			>> klorit
	Hornblend			
	Biyotit			
	Klorit			

Karbonatlaşma ve eşlik eden serizit oluşumları, fay zonu içerisinde silisleşmeyle birlikte izlenir (Şekil 3.13). Elazığ magmatitleri (bazalt, dasit) ve Maden karmaşığına ait volkaniklerde (andezit, bazalt) görülen gaz boşlukları, volkanik breş çatlakları veya mineral sınırları, kataklastik metamorfizmada yaygın olarak görülen (düşük dereceli metamorfizma ürünü) klorit minerali ile doludur (Şekil 3.14).

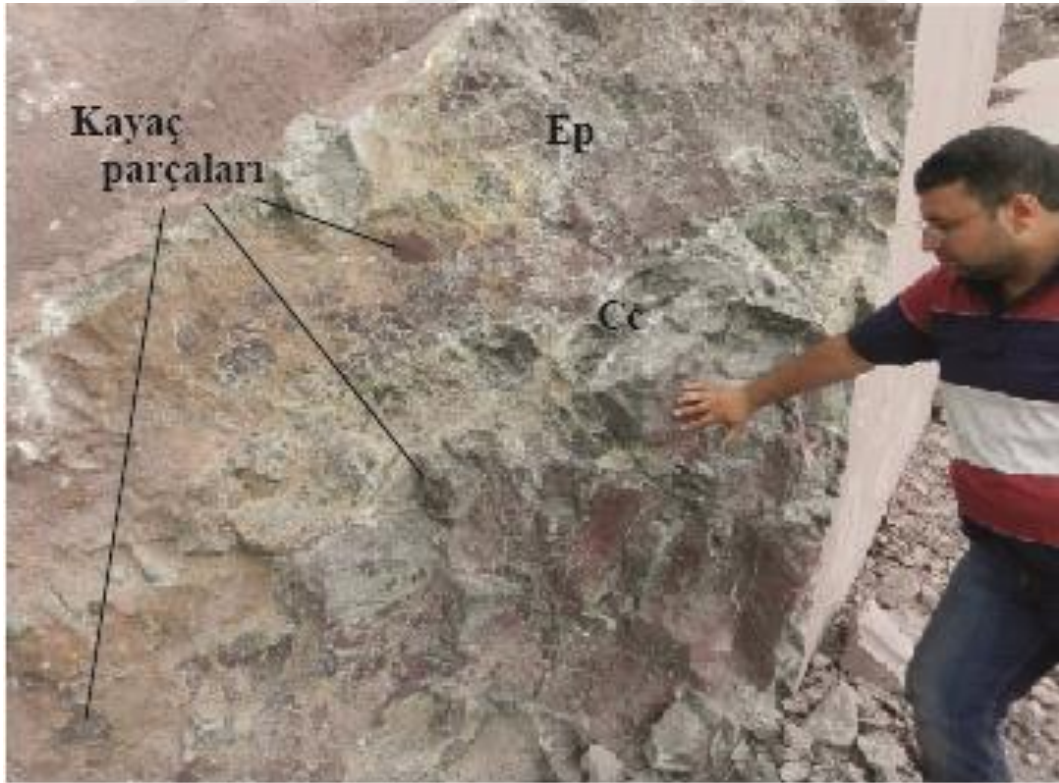
Kataklastik metamorfizma, tane boyutları >1-1.5 cm yi aşan piritlerin varlığı ile de izlenir (Şekil 3.15). Kataklastik dokunun en iyi örneğini yansıtan pirit oluşumları, 300°C altında bir metamorfik sıcaklığı işaret eder (McClay ve diğ., 2000).

Hematitleşme ve yer yer limonitleşmenin de yaygın olduğu fay zonları, içerisinde hematitleşme, epidotlaşma ve limonitleşmelerin genellikle breşik yapıda gözlenmiş olması ve basınç lamellerinin bulunmaması, sıcaklığın etkisini işaret etmektedir (Şekil 3.15).

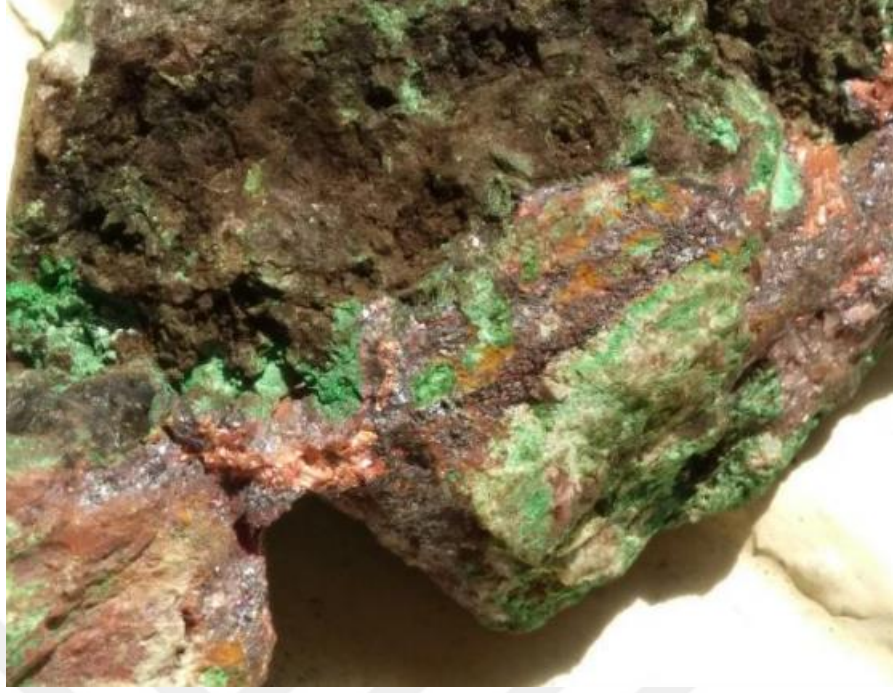
Mikroskobik çalışmalarda, fay zonları kayaçlarındaki porfiroklastların bulunması ve gelişen yönlü doku, fay dokusu adı da verilen milonit, breş gibi dokusal farklılıklar ve düşük dereceli metamorfizma etkileri ve alterasyon gibi kataklastik metamorfizma izlerini taşır.

Fay kayalarında belirlenen, karbonat (özellikle kalsit) ve silis mineralleri, çoğunlukla çatlak dolguları ve yer yer mercekler şeklinde gözlenir. Kırık yüzeylerinde, kumlu-çakıllı fay breşleri ve bağlayıcı olarak killi siltli minerallerin varlığı, kataklastik etkisini gösterir (Şekil 3.16 ve Şekil 3.17).

Kayaç örneklerinin mineralojik analizleri, mika ve klorit gibi filisilikatlar belirlenmiştir. Çalışma alanında belirlenen kataklastik kayaçlardan milonit, gözlü milonit ve breş, retrograd metamorfizmanın sonucu olarak klorit, epidot ve serizit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.14. Breşik yapı ve metamorfizma sonucu gelişen alterasyonlar (karbonatlaşma, kloritleşme epidotlaşma) (Kördemir ve Kılıç, 2018).)

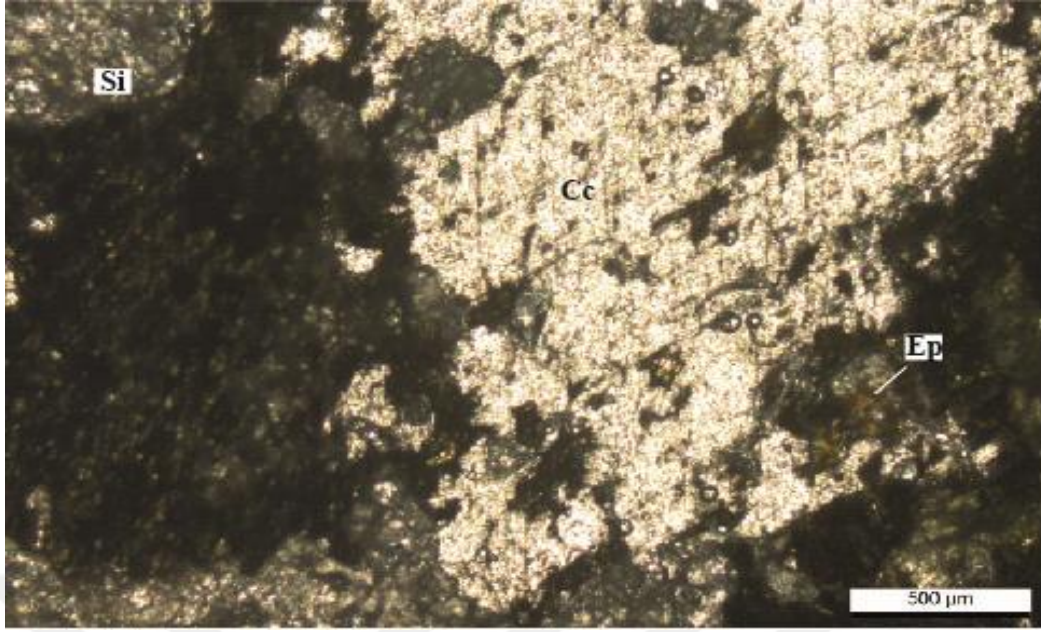


Şekil 3.15. İnceleme alanındaki hidrotermal pirit oluşumları (Kılıç ve Karaca, 2021).

Kataklastik metamorfizmaya özgü mika balıkları, sin-tektik ve post-tektik yapılar, dokusal ve deformasyon kinematiğine özgü değişimlerdir ve her kayaç türünde olmasa da fay zonu deformasyonundan etkilenen kayaç örneklerinde rastlanılan yapısal değişimlerdir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Palu segmenti içerisinde alınmış kayma yönü deformasyon izleri



Şekil 3.17. Fay kalalarında düşük dereceli metamorfizma izleri. Silisleşme (Si), kalsitleşme (Cc), epidotlaşma (Ep) örneği

Sibson (1977) fiziksel koşulların fay kayaları üzerindeki etkisini araştırmış ve bunları; Breş serisi, kataklasit serisi ve milonit serisi olarak üç bölüme ayırmıştır. Fay zonlarında elastik-sürtünmeli davranış sonucu gelişen fay kili (unu), breş, kataklastik seri ve pseudotakilitler genellikle kuvarslı-feldispatlı kayalarda gözlenir. Fay zonunun derinliklerinde, yarı-plastik özellik gösteren milonit serisi kayalar görülür. Çalışma alanında, breş ve kataklasit serisini genellikle, magmatik kayaç türleri içerisinde gözlenirken, milonitik yapı kuvarslı sedimanter kayaçlar içerisinde gözlemlenir.

3.3. Jeokimya

Yüksek Lisans Tez projesi desteğiyle (FÜBAP MF.20.41) yapılan çalışma kapsamında, petrografik amaçlı örnekleme ve isimlendirme yapılmıştır. Daha sonra, fay zonu içerisindeki tüm litolojik birimlerden, tüm kayaç anaoksit, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır.

Ana element içerikleri ICP (Inductively Coupled Plasma) ve iz element içerikleri ise, ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca, kil boyutu malzemelerde SEM ve XRD analizleri yapılmış ve yorumlanmıştır.

Çalışma alanında, Doğu Anadolu Fay zonu Palu segmenti Elazığ magmatitleri ve Maden Karmaşığı gibi magmatik kayaçlarla, Kırkgeçit ve Palu formasyonu gibi sedimanter kayaçları içerir. Magmatik ve sedimanter kayaçların yapısal özellikleri ve mineralizasyonlar, aktif fay deformasyonuna işaret etmektedir. Herbir birimden 35 adet örnek alınmış ve bunların büyük bölümü mineralojik ve dokusal incelemeler için mikroskobik amaçlı ince kesitleri hazırlanmıştır.

11 örnek jeokimyasal analize, 4 örnek ise SEM ve XRD için seçilmiştir. Elde edilen jeokimyasal sonuçlar, Tablo 3.1’de verilmiştir.

3.3.1. Major oksit jeokimyası

DAF zonu Palu segmentinin içinde yeralan kayalara ait veriler (major, iz element konsantrasyonları, element oranları) Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu tabloda, Kırkgeçit formasyonu ve Palu formasyonlarına ait örneklerde CaO oranı diğer birimlere göre yüksektir. Bu durum, karbonatlı çamurtaşları ve kalsit gibi karbonat minerallerinin varlığından ileri gelir. Palu formasyonu, denizel ortamdan kaynaklanan sedimanter birimlerden oluşur. Fe_2O_3 değerine bakıldığında, Palu formasyonuna ait örneklerde ortalama %5.24, Kırkgeçit formasyonuna ait örneklerde ortalama %5.39, magmatitlerde ise %7.56-5.42 dir. Örneklerin Mg, K, Ti, P ve Cr’un ana oksitlerle pozitif bir artış göstermesi, kökenlerinden kaynaklanır. Ancak, Fe_2O_3 değeri, CaO ve Na_2O ana oksitlerle negatif bir azalma eğilimindedir (Tablo 3.1). Bu özellik, olivin, piroksen, amfibol (hornblend) gibi Fe-oksit minerallerinin magmatik kayalarda yüksek oranda bulunmasından kaynaklanır. Özellikle, magmatiklerde alterasyon ürünü olarak alüminyum silikatların gelişmiş olması hidrotermal akışkanların zayıf zonları takip ederek yükseldiği alanları da işaret etmektedir. Caritat ve Mann (2019) tarafından kullanılan ve element oranları için korelasyon analiz diyagramları, Palu segmenti fay kayaları için kullanılmıştır. Bu diyagramlarda, alüminyum ile diğer major elementler birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu diyagramda, Al’un Ca elementi dışında Si, Na, Fe, K, Ti ve P elementlerince pozitif bir değişim göstermesi, karbonat minerallerinden veya silikat oranının yüksekliğinden kaynaklanır. Al_2O_3 ve CaO dışında, örneklerin major oksit içeriklerinin magmatitlere göre düşük olması ise, kaynak kayaca ve fay dinamiğinin sebep olduğu, yoğun karbonatlı hidrotermal çözeltilere işaret eder (Şekil 3.18). Tablo ve diyagramlarda MgO miktarı, Palu örneklerinde ortalama %5.59, Kırkgeçit formasyonunun örneklerinde ortalama %3.65, magmatitlerde ise ortalama %2.42-24.74 arasındadır. MgO değeri K, P, Ti, Cr gibi ana oksitlerle pozitif bir değişim ve Ca, Mn, Na gibi ana oksitlerle negatif değişim gösterir (Tablo 3.1). Çünkü bu kayalarda mafik mineral içeriği yüksektir (Şekil 3.18).

CaO miktarı, sedimanter birimlerde ortalama %18.76-17.35, magmatik birimlerde ortalama %4.16-18.44’dır. Maden karmaşığına ait breşik özellikteki örneklerde ise bu değer en yüksektir (ortalama %18.44). Fay kayalarının farklı seviyelerinde ve değişen kalınlıkta, silisleşmiş ve karbonatlaşmış ara katmanların varlığı buna sebep olmuştur. Zira bu örneklerde, Nikel ve Kobalt miktarı yüksektir. Alterasyonu işaret eden bu elementler, CaO, Na_2O ve MnO ana oksitlerle pozitif değişim, K_2O , TiO_2 , P_2O_5 ve Cr ile negatif değişim gösterir (Tablo 3.1). Bu örnekler, bol miktarda kalsit minerali ve az miktarda kil mineralleri içerir. Yüksek Kalsiyum elementinin kaynağı, kayacın kökenine veya tektonizma etkisiyle açığa çıkan akışkanlara bağlı

olabilir. Kalsitin yaygın olduğu örneklerde aynı zamanda, Co içeriğinde yüksek (>10 ppm) olması ve tüm kayalardaki analiz verileri, CaO ile NTE arasındaki negatif değişimin varlığına, karbonat oranıyla veya karbonat-silikat faz ayrımına bağlanmıştır.

Na₂O miktarına bakıldığında, Palu formasyonunda bu oran ortalama %1.21, Kırkgeçit örneklerinde ortalama %0.84, Elazığ magmatitlerinde ortalama %4.27, Maden karmaşığına ait örneklerde ise %1.83'tür. MnO ise diğer ana oksitlerle pozitif değişim, Ti, P ve Cr gibi ana elementlerle negatif değişim gösterir (Tablo 3.1)

3.3.2. İz element jeokimyası

Analiz edilen örneklerin Ba miktarı Palu formasyonuna ait örneklerde ortalama 171 ppm, Kırkgeçit formasyonuna ait örneklerde ortalama 166 ppm, magmatitlerde ise 4.3-156 ppm arasındadır. Ba elementi, aslında Rb ve Sr gibi feldispat ve biyotit oranına bağlı olarak değişim gösterir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Ba, ve ana elementlerden Ca ile birlikte bulunur. Genellikle bu elementler, plajiyoklaz minerallerinin içindeki Sr elementi ile birlikte, magmatitlerde daha yaygın bir elementtir. Fakat, Stronsiyum elementi alterasyon sırasında kolayca hareketlenerek kristal yapıdan uzaklaşabilir (Wilson, 1989). Bu element, karbonatlara bağlı olarak Ca ile pozitif değişim gösterebilir. Rb oranı, K-feldispat ve biyotit minerallerinin bünyesinde bulunmasından dolayı, ana elementlerden K ile birlikte bulunur ve sedimanter birimlerde ortalama %1.19, magmatik birimlerde ortalama % 0.97 kadardır.

Cu elementi, Fe ve Na ana elementinin yerini alabildiğinden diyajenetik dönüşüme bağlı olarak kil minerallerinde de bulunur (Zhang ve diğ., 2011). Bazik magmatitlerde özellikle Maden karmaşığına ait örneklerde Cu'nın yanında Co'nun da yüksek olması kökenin bazik olmasını işaret eder. Örneklerde Co miktarı sedimanter örneklerde ortalama 21.25-22.5 ppm, magmatiklerde ortalama 47-25.7 ppm aralığında olması; Olivin, piroksen, amfibol (hornblend) ve mika (biyotit) minerallerinin magmatik örneklerde yüksek olmasından kaynaklanır. Sedimanter birimlerde Fe-Co yüksek oranda doğrusal artış göstermesi ise Co⁺² elementinin Fe⁺² elementi ile yer değiştirebilmesi özelliğinin sonucudur. Zn sedimanterlerde ortalama 35.3-36.5 ppm, magmatik birimlere ait örneklerde ortalama 50-55 ppm' dir. Mika, feldispat ve kil gibi alüminosilikatlarda bulunan çinko, Fe ve Mg⁺² ana elementleri ile yerdeğiştirebilir (Brindley and Brown, 1980). Bu nedenle, çinkonun demir ile pozitif değişim göstermesi, bu elementin mafik detritik silikatlardan kaynaklanabilir. Çoğunlukla, Zn sülfid fazındada bulunabilen bir element özelliğine sahiptir (Heikki ve diğ., 1979). Ayrıca, Zn elementinin Sr ve Ca gibi karbonatlara bağlı elementler ile negatif değişim göstermeside sülfid-karbonat fazı ayrımlaşmasının işaretidir (Tablo 3.1).

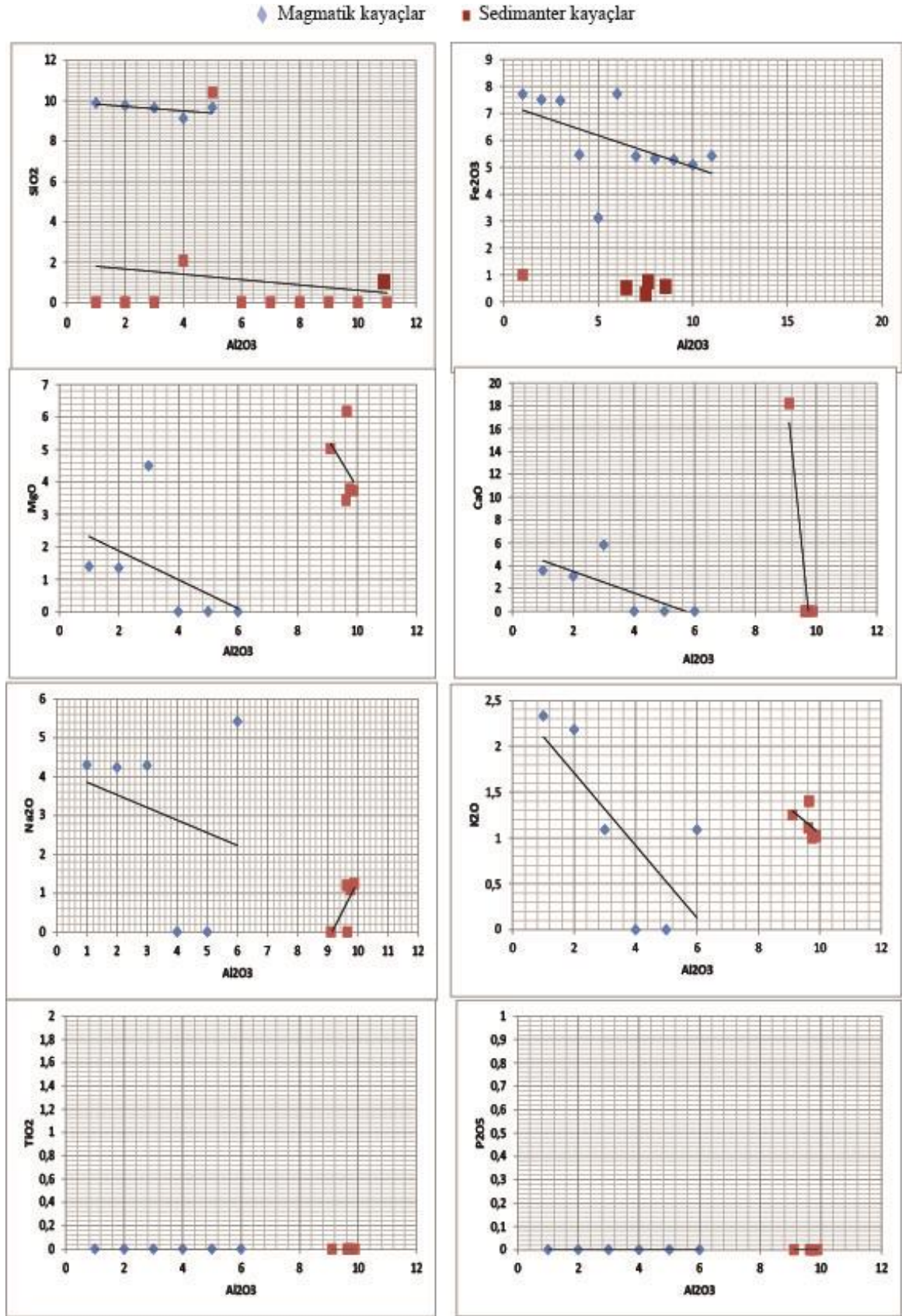
Tablo 3.1' de verilen Ni miktarı, sedimanter örneklerinde ortalama 101-138 ppm, magmatiklerde ortalama 43-151 ppm olması, nikelin kil minerallerinde ana element Mg⁺² 'nin

yerini alabilmesini işaret ederken, Si, Al, Na ile negatif değişim göstermesi Fe, Ti, Mg, Co, Sc pozitif değişimi, bu elementin feldispatlardan ziyade detritik ferromagnezyum mineraller veya bu minerallerin ayrışma ürünü killere bağlı olduğunun işaretidir. Mg'un iyon yarıçapı farklı olması nedeniyle kristal içerisinde $Ca > Cr > Fe > Co$ iyon yarıçapı büyüklüğüyle orantılı olarak ayrılır. Zaten kristal kafesinde Zn, Ni'den, Ni Cu'dan, Cu ise Co'dan hızlı hareket eder. Fay zonlarında, Th, U, Y ve Sr gibi elementlerin fazlalığı tektonohidrotermal işlevlerin işaretidir (İnceöz ve Kılıç, 2014). Fay zonu içerisinden alınmış hemen tüm örneklerde azalan Ni miktarına karşın artan As miktarı silisifikasyonu ve eşlik eden karbonatlaşmayı gösterir (Rolinson, 1993). Sc element miktarına bakıldığında, sedimanter Palu ve Kırkgeçit formasyonlarında ortalama 15 ppm, Maden karmaşığı ve Elazığ magmatitlerinde ortalama 12-11 ppm olması, Sc elementinin Mg+2 ana elementinin yerini alabilmesinden kaynaklanır. Özellikle kil minerallerinden klorit minerallerinde bu element yüksek orandadır (Çağatay ve Erler, 1993). Fe_2O_3 ve Co ile bu elementin pozitif değişim göstermesi, mafik minerallerin yüksekliğinde verebilir. V miktarı sedimanter örneklerde ortalama 166-182 ppm, magmatik örneklerde ortalama 102-110 ppm arasındadır.

Nb ise sedimanter örneklerde ortalama %4, magmatik örneklerde ortalama %6 olması rutil, zirkon ve sfen gibi aksesuar minerallerin varolmasını işaret ederken, Nb elementinin Ca ve Na'nın ile negatif, aksine Zr ve TiO_2 ile pozitif değişim gösteriyor olması, mafik mineral fazları veya aksesuar minerallerinin yüksekliğine bağlı olduğunu gösterir.

Mikalar, feldispat ve kuvars mineralleri ile sedimanların içinde bol miktarda bulunan zirkon minerali, zirkon element oranına bağlı olarak CaO, TiO_2 , P_2O_5 , MgO ve MnO dışındaki diğer elementlerle azalan bir dağılım gösterir. Magmatiklerdeki artış, bazik silikat karbonat ayırımına bağlı olarak plajiyoklaz dışında detritik ferromagnezyen minerallerle birlikte oluşan feldispatların yoğunluğundan kaynaklanır.

Feldispat ve kuvars minerallerinde bulunan Y elementi, Ca^{+2} ana elementinin yerini alabilir (Çağatay ve Erler, 1993). Ancak bu element analiz edilen örneklerde Na ile negatif değişim verirken Fe, Ti, Cr, Ni. Co ile pozitif bir değişim vermesi, mafik detriklerle bağlı değişimi gösterir. Y elementi sedimanter örneklerde ortalama 13.6 ppm, magmatiklerde ortalama 0.43-14.2'dir.

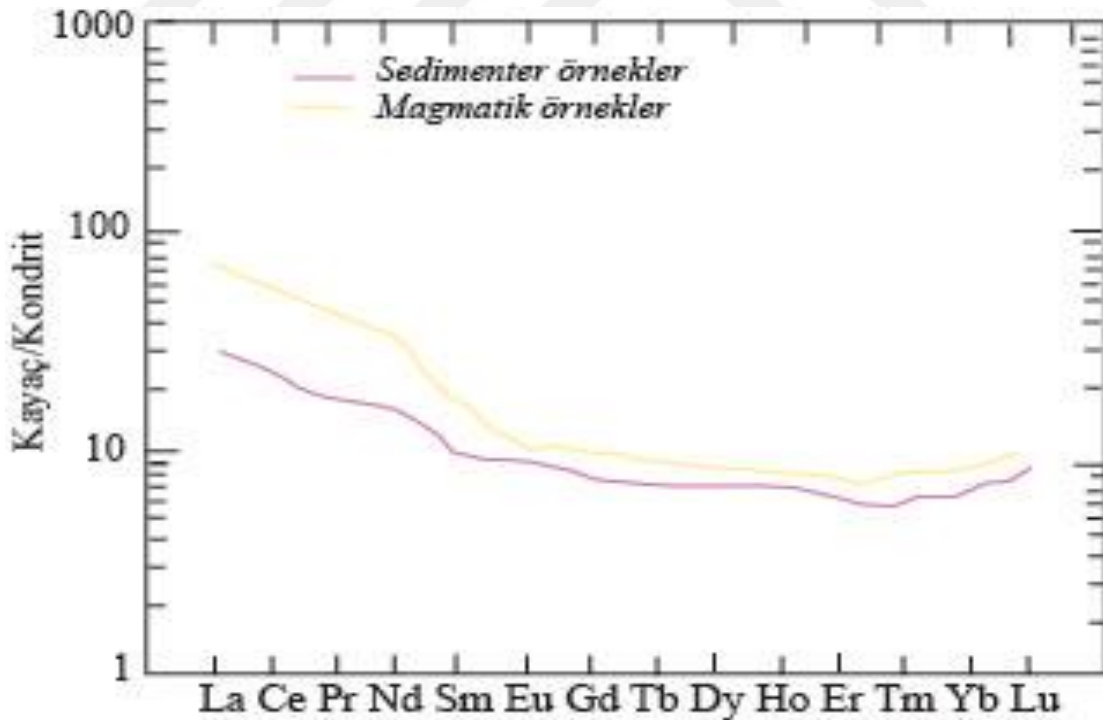


Şekil 3.18. Palu segmenti fay kayalarında alterasyon derecesinin Al_2O_3 -diğer oksitlerle karşılaştırılması

3.3.3. Nadir Toprak Elementler (NTE)

Tablo 3.3’ de verilen nadir toprak elementleri olarak bilinen ve başlıca seryum (Ce), disprozyum (Dy), erbiyum (Er), evropiyum (Eu), gadolinyum (Gd), holmiyum (Ho), lutesyum (Lu), lantan (La), neodimyum (Nd), prometyum (Pm), praseodim (Pr), skandiyum (Sc), samaryum (Sm), terbiyum (Tb), tülyum (Tm), iterbiyum (Yb) ve itriyum (Y) dan oluşan 17 element (Rollinson, 1993), haraketsiz element olarak bilinir. Nadir toprak elementler (NTE) alterasyona bağlı olarak az altere, altere ve çok altere kayalarda hafif NTE bakımından zenginleşirken, ağır NTE bakımından ise hareketlenmenin daha az olduğundan fakirleşmektedir. Fay zonları kayaç alterasyonuna uygun koşulların gelişmesine sebep olur.

Palu segmenti fay zonu kayalarında görülen deformasyon derecesini belirlemek için NTE’lerin kondrit diyagramında değişimi incelenmiştir. Buna göre, Kayaç-kondrit normalize diyagramında (Şekil 3.19) magmatik kayaçlar yüksek HNTE/ANTE oranları verirken, sedimanter kayaçların HNTE oranları düşüktür (Şekil 3.19). Sedimanların Hafif Nadir Toprak Element (HNTE) içerikleri, kayacın ortalama bileşiminin bir işaretidir aslında ve NTE’ler bozunma veya metamorfizma süreçleri boyunca çözünürlüklerinin çok düşük olması nedeniyle ana kayaç içerisinde miktarlarını korurlar.



Şekil 3.19. Palu segmenti içerisindeki kayaçların kayaç-kondrit örümcek diyagramları (Taylor ve McLennan, 1985)

Tablo 3.2. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının Ana oksit analiz sonuçları

Oksitler	Elazığ Magmatitleri			Maden Karmaşığı			Kırkgeçit Formasyonu			Palu Formasyonu	
	TE-1	TE-2	TE-3	TM-1	TM-2	TM-3	TK-1	TK-2	TK-3	PL-1	PL-2
SiO ₂	61.80	62.10	55.91	2.07	10.40	32.69	37.26	37.06	38.31	37.95	36.88
Al ₂ O ₃	17.84	17.46	14.90	0.08	0.05	14.40	9.88	9.75	9.63	9.11	9.63
Fe ₂ O ₃	7.71	7.50	7.47	5.45	3.11	7.72	5.40	5.31	5.27	5.08	5.41
MgO	1.40	1.35	4.50	18.18	19.17	36.89	3.73	3.78	3.44	5.02	6.17
CaO	3.59	3.08	5.82	28.64	26.34	0.34	19.66	19.70	19.92	18.2	16.51
Na ₂ O	4.30	4.24	4.29	0.05	0.02	5.42	1.24	1.19	1.20	0.96	0.73
K ₂ O	2.33	2.18	1.09	<0.01	<0.01	1.36	1.12	1.10	1.11	1.25	1.40
TiO ₂	0.41	0.55	0.79	<0.01	<0.01	0.31	0.49	0.50	0.44	0.45	0.50
P ₂ O ₅	0.20	0.21	0.13	0.20	0.01	0.11	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07
MnO	0.05	0.04	0.11	0.50	0.25	0.5	0.08	0.06	0.08	0.07	0.09
Cr ₂ O ₃	0.01	0.0002	0.01	0.079	0.007	0.005	0.03	0.03	0.03	0.036	0.030
As	1.9	1.3	1.4	89.6	0.8	92	2.7	19	2.9	8.3	8.9
Ni	<20	<20	88.36	230	202	<20	101	102	100	131.6	143.4
Sc	5	3	28	24	<1	7	15	15	15	15	14
Zn	51	52	47	55	51	58	35	33	38	41	32
Ateş kaybı	0.12	1.21	4.88	44.2	39.3	0.14	20.58	19.51	18.15	21.40	22.2
Toplam	99.76	99.92	99.90	99.46	99.37	99.88	99.54	98.07	97.67	99.60	99.62

Tablo 3.3. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının iz element analiz sonuçları

Örnekler	Ba	Be	Co	Cu	Mo	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	Zr	Y	U	V
PL-1	173	1	21.6	33.4	0.2	3.0	8.2	1.8	3.9	20.5	1	302.9	0.3	3.2	66.7	13.4	109	117
PL-2	168	0.8	20.9	31.2	0.2	2.6	8.0	1.5	4.5	23.8	1	215.3	0.5	2.5	70.6	13.8	87	215
TK-1	171	1	22.8	27.4	0.3	3.0	8.6	1.7	4.1	21.2	2	202.8	0.4	3.0	66.7	13.4	109	117
TK-2	166	0.9	22.7	29.8	0.2	2.5	8.0	1.8	4.3	15.1	2	165.7	0.3	2.8	70.6	13.8	87	215
TK-3	160	0.9	22.2	28.2	0.1	2.8	8.1	1.7	4.4	14.3	2	163.3	0.3	2.7	70.6	13.8	87	215
TM-1	4	<1	21.5	46.7	0.3	0.1	0.5	4.5	5.3	40.1	<1	344.6	0.3	<0.2	0.6	1	18	102
TM-2	3	<1	1.5	49.3	0.3	0.4	<0.5	5.2	5.7	30.7	2	355.5	0.4	<0.2	0.3	0.2	0.5	110
TM-3	6	<1	90	46.9	0.0	0.1	<0.5	<0.1	5.2	29.2	<1	360.1	0.2	0.1	05	0.1	1.3	95
TE-1	144	<1	22.7	23.5	0.1	2.3	9.3	1.7	5.1	42.6	1	503.3	0.3	3.0	70.1	15.2	1.2	107
TE-2	124	<1	21.2	27.1	0.1	2.9	8.2	1.9	4.9	34.7	2	422.2	0.3	2.7	78.1	13.3	0.9	110
TE-3	199	<1	22.9	26.7	0.1	3.0	9.1	2.1	5.8	38.1	1	510.8	0.3	3.2	69.3	14.2	1.0	113

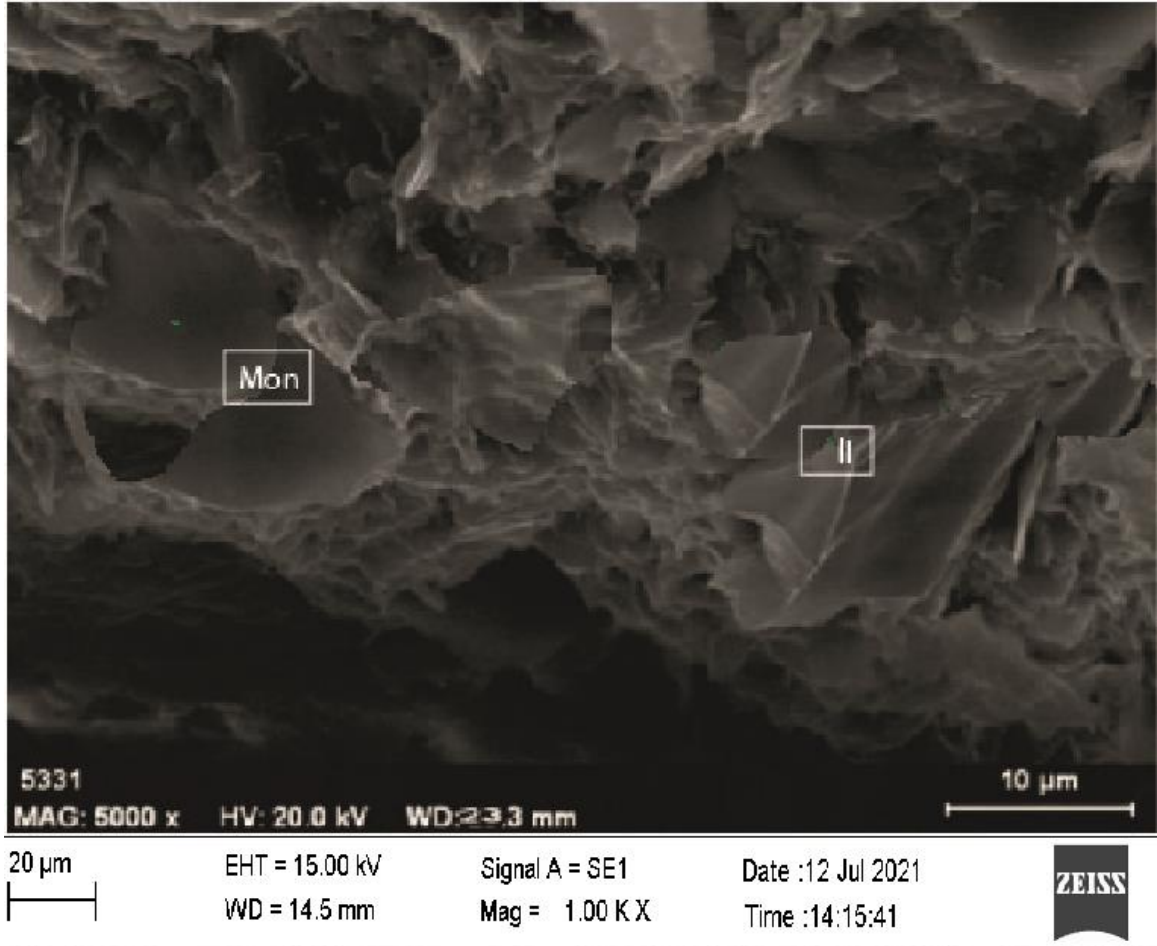
Tablo 3.4. Palu segmenti içerisindeki magmatik ve sedimanter fay kayalarının NTE analiz sonuçları

Örnekler	La	Ce	Pr	Sm	Eu	Gd	Nd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ NTE
PL-1	0.40	0.2	0.78	0.05	1.60	0.18	4.1	<0.01	0.10	<0.02	<0.03	0.11	<0.05	<0.01	7.64
PL-2	0.61	33	0.31	2.10	1.20	1.81	2.3	0.22	1.12	0.21	0.66	0.02	0.87	0.14	44.57
TK-1	0.63	1	2.09	0.52	0.61	1.08	4.2	0.23	1.36	0.32	1.01	0.11	1.00	0.14	14.3
TK-2	0.61	0.1	2.69	<0.04	0.22	<0.05	1.7	<0.01	<0.05	<0.02	<0.01	0.66	<0.05	<0.01	6.22
TK-3	0.66	<0.1	0.35	<0.05	1.21	<0.04	0.7	<0.01	<0.05	<0.02	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	3.27
TM-1	0.70	<0.1	0.75	<0.05	1.10	<0.05	3.1	<0.01	0.21	0.02	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	6.17
TM-2	0.72	<0.1	3.11	<0.05	0.41	0.14	7.3	<0.01	<0.05	<0.02	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	11.99
TM-3	0.73	<0.1	2.01	<0.05	<0.02	0.10	1.2	<0.01	<0.05	<0.02	<0.02	<0.01	<0.05	<0.01	4.38
TE-1	0.78	0.2	0.47	0.6	1.57	0.07	2.9	0.01	5.60	1.03	0.01	0.48	<0.05	0.01	13.6
TE-2	0.72	0.1	0.38	<0.05	0.03	0.02	3.1	0.02	0.02	0.01	0.01	<0.01	<0.05	0.01	4.53
TE-3	0.80	0.3	0.01	<0.05	0.7	0.06	5.1	0.01	<0.05	0.03	1.02	0.11	0.72	<0.12	9.08

3.4. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

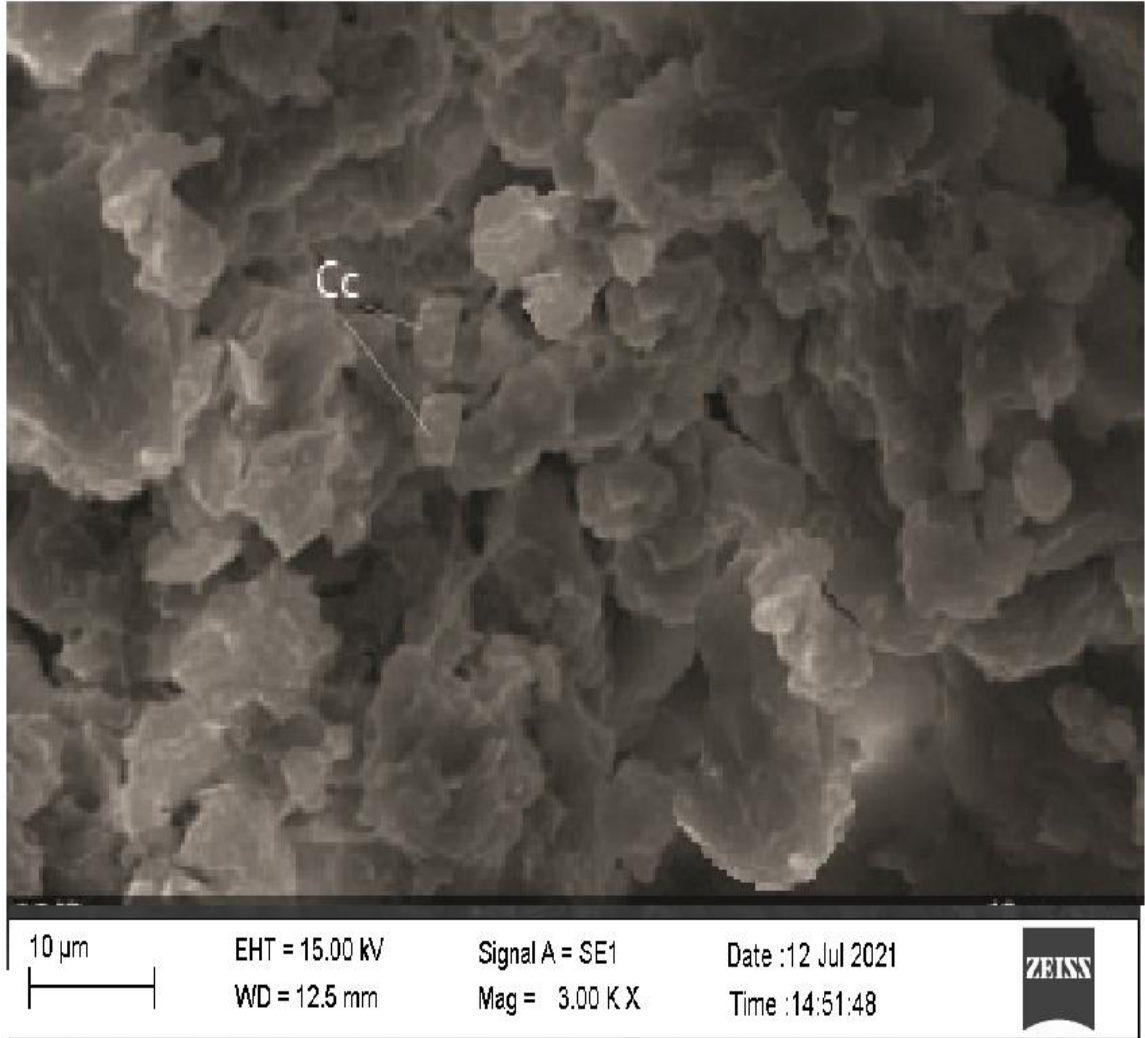
Yapılan taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizinde hidrotermal minerallerden montmorillonit ve illit, diğer bir örnekte ise kuvars minerali tespit edilmişti (Şekil 3.20 ve Şekil 3.21). Analiz sonucu belirlenen kil minerallerinin DAF zonu içerisinde alınması sebebiyle, tektonik aktiviteye bağlı olarak gelişmiş olabileceği söylenebilir. Farklı alterasyon mineralleri (klorit, kalsit, montmorillonit, illit) dikkate alındığında bu mineral zenginliği hidrotermal akışkanlarında çevre kayalar üzerindeki etkisini işaret eder.

TK-1/2 nolu örneğin SEM görüntüsünde, montmorillonit (solda) ve illit (sağda) mineralleri görülmektedir. Tipik dalgalı, kıvrımlı ve yapraksı yapı gösteren montmorillonit minerali ile karakteristik levhamsı yapı gösteren illit minerali net görüntü vermektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. TK-1/2 nolu örneğe ait SEM görüntüsü. Montmorillonit (Mon), İllit (Il).

TM-1/7 nolu örneğe ait diğer bir SEM görüntüsünde de kalsit oluşumları görülür. Kalsitler tipik trigonal yapıdadır ve kümelenmiş bir haldedir. Alınan ölçümlerde karbonat alterasyonu sonucu kalsit minerallerinin geliştiği belirlenmiştir.



Şekil 3.21. TM-1/7 örneğinin SEM görüntüsü ve Kalsit (Cc) minerali

Fay zonlarında kil minerallerinden simektitler oyuklarda görülürken, montmorillonit düşük sürtünme katsayısı nedeniyle fay gerilmelerinin kontrolündedir (Underwood, 2007). Montmorillonite, kristal yapı içerisinde büyük miktarda su bulundurur. Montmorillonit minerali fay zonu basınç ve sıcaklığında nemliliği değişebilir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

DAF zonu Palu segmenti içerisindeki magmatik, volkano- sedimanter ve sedimanter kayaç grupları ayrı ayrı gruplandırılarak, her bir kayaç grubunun fay kinematiğine karşı gösterdiği direnç ve deformasyon özellikleri kendi içinde değerlendirilmiş ve fay hattı boyunca makaslama izi takip edilerek harita üzerine işaretleme yapılmıştır. Fay zonu içerisinde gelişen çizgisel yapılar (mineral lineasyonu, foliasyon vb.) belirlenerek yönlü örnekler alınmıştır. Doğu Anadolu Fayı, Palu segmentinin geçtiği alanlardan alınan fay breşi, kataklazit ve fay kili gibi dislokasyon metamorfizma gösteren kayaç örneklerinden; minerallerin belirlenmesi ve petrografik amaçlı ince kesit çalışmaları, kimyasal incelemeler için LA-ICP MS, XRD ve SEM analizleri yapılmıştır. Fay kili dioktaedral simektit (montmorillonit), illit ve kaolinit olup silikat bileşenler feldspat, kuvars, kalsit ve mika mineralleridir.

Çalışma alanında deformasyon ve makaslama etkilerinin yoğun izlendiği fay killlerinde, illit minerali ve montmorillonit minerali belirlenmiştir. Fay kili içerisindeki feldspatlar, ana kayadaki alterasyonun kısmen korunduğunu minerallerden biridir. Bu mineral, kalsit ve dolomit gibi karbonat mineralleri ile hidrotermal alterasyona uğramışlardır.

Kil minerallerinin türünü belirlemek için kullanılan, Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde, montmorillonitin karakteristik kıvrımlı ve yapraksı yapıda olduğu görülür. Kaolinitler ise küçük kristaller halindedir ve tipik altıgen morfoloji gösterirler. Yaygın kil minerallerinden bir diğeri illitlerin SEM analiz görüntüleri, tipik plaka şekilleriyle karakteristiktir.

Makaslama zonu içerisinde gelişen fay kayalarının türü, bu kayalarda gelişen dislokasyon metamorfizma izleri, sıcaklık, kayaların mekanik özelliklerine ve kökenlerine bağlı olarak farklıdır. Makaslama etkilerinin en iyi gözlemlendiği, Palu ilçesi Kalebaşı tepe civarındaki, Orta Eosen yaşlı kireçtaşları ile temsil edilen sedimentler ve volkano-sedimanter birimlerin sınırında tektonizmanın etkisi ile farklı fay kayalarının geliştiği görülür. Fay kayaları, ülkemizin birçok bölgesinde mevcuttur ve farklı araştırmacılar tarafından ayrıntılı çalışılmıştır. Örneğin bu çalışmalardan biri, Batı Anadolu'da yeralan, Menderes masifi yakınındaki, düşük açılı sıyrılma fay zonudur (Hetzl vd., 1995). Diğer çalışmalar; Gediz fay zonu (Sarıkaya, 2004), Simav fay zonu (Işık, 2004; Işık vd., 2013) ve Orta Anadolu'da Savcılı fay zonu (Çağlayan, 2010) gibi, fay kayaları ile dislokasyon metamorfizma izleri taşıyan fay kayalarıdır. Doğu Anadolu Fay kayaları ise, Kalebaşı tepe (Palu) ve çevresinde yaygındır. Breş, kataklazit, fay kili ve özellikle milonitleşme fay kayalarından olup, alterasyona bağlı olarak hematitleşme, pirit oluşumları ve limonitleşmelerin gelişimi de izlenmiştir.

Birincil bağlantıya (diyajenetik) sahip olmayan fay breşi ve fay kili oluşumları, sedimanter ve magmatik her iki kayaç türünde de izlenirken, kataklazın yeniden kristalleşme ve yeni mineral oluşum süreçlerinin etkin olduğu kayaçlardan milonitlerde, sedimanter kayaçlar içerisinde izlenir.

Alterasyon ve düşük dereceli metamorfizma izleri, kayalalarda doku ve mineral türlerine yansımış olup, taramalı elektron mikroskopi (SEM) analizinde montmorillonit, illit gibi hidrotermal mineraller ve kuvars minerali belirlenmiştir. Bu minerallerden, dalgalı, kıvrımlı veya yapraksı yapı gösteren montmorillonit minerali ile tipik levhamsı yapı gösteren illit mineralinde, net görüntü alınmış olması, dislokasyon metamorfizma sıcaklığını 300°C civarında olduğunu işaret eder.

Örneklerin Kondrit normalize diyagramında, analiz verileri yakın aralıklarda izleniyor olması, hidrotermal etkilerin kayaların bileşimleri üzerindeki etkisini işaret eder. Fay zonu boyunca fay kayaları, Elazığ Magmatitleri, Maden volkanitleri, Kırkgeçit ve Palu Formasyonları'ndan parçalar almıştır. Kesitlerdeki jeokimyasal ve mineralojik benzerlikler, bileşim kadar, gelişen alterasyondanda kaynaklanabilir.



KAYNAKLAR

- Akgül, B. (1993). Piran Köyü (Keban) Çevresindeki Magmatik Kayaçların Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 125s. (yayınlanmamış).
- Allen, C.R. (1969). Active faulting in northern Turkey. Contribution no. 1577. Division of Geological Stientes, California Institute of Technology, U.S.A.
- Arpat, E. (1971). 22 mayıs 1971 Bingöl Depremi; ölü Deniz fay sisteminin Karlıova ilçesi ile Hazar Gölü arasındaki bölümü (ön rapor). M.T.A. Enst. Rap. (yayınlanmamış), Ankara.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, (2011). 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 319-338.
- Aktaş, G. and Robertson, A.H.F. (1984). The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of a Neotethyon active margin. In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F., (eds) the geological evolution of the Eastern Mediterranean, 375-402, London.
- Altınlı, İ.E. (1963). Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500 000 scale; Erzurum sheet, Publ. Bulletin of Mineral Research and Exploration Inst., Ankara.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'de Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar, Türkiye Jeoloji Bülteni, 18 (1-2), 91-101.
- Barker, A. J. (1990). Metamorphic textures and microstructures. Blackie, Glasgow.
- Başpınar, G., (2006). Guleman (Elazığ) Bölgesi Krom Yataklarının Platin Grubu Element İçerikleri Ve Jeokimyası. F.Ü.Yüksek Lisans Tezi, 125s.
- Bonzanigo L, Eberhardt E, Loew S. (2007). Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock. Part I. Geological and hydromechanical factors controlling the Campo Vallemaggia landslide. Can Geotech J 44,1157–1180.
- Bingöl, A.F., (1982). Elazığ-Pertek-Kovancılar Arası Volkanik Kayaçların Petrografik İncelenmesi. F.Ü. Fen Fak. Derg., 1, 9-21.
- Bingöl, A.F. (1988). Petrographical and Petrological Features of Intrusive Rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus-Turkey). Journ. F.Ü., 312, 1- 17. Er, E.,2010. Konfakal Raman Yöntemleri, T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, 132 p.
- Bingöl, A.F., Beyarslan, M. (1996). Elazığ Magmatitleri'nin Jeokimyası ve Petrolojisi. K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri. s.208-224.
- Çağlayan, A. (2010). Savcılı Fay Zonunun (Kırşehir) Yapısal Analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, yayımlanmamış.
- Çetin, H., Güneşli, H., Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. Tectonophysics, 374 (3-4), 163-197.
- Çetindağ, B., (1985). Elazığ, Palu-Kovancılar dolayının hidrojeoloji incelenmesi: Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayınlanmamış), Elazığ.
- Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., İnceöz, M. (2012). The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its Transition from the Palaeotectonic to Neotectonic Stage, Turkish Journal of Earth Sciences 21,1–24.
- Davis, H.G. and Reynolds, S.J. (1996). Structural Geology of Rocks and Regions. Jonh Wiley & Sons, Inc. 776.

- Delaloye, M.; Pişkin, Ö.; Voldet, P.; Vuagnat, M. and Wagner, J. (1979). Rare Earth element concentrations in mafics from the Kızıldağ ophiolite (Hatay, Turkey): Schweiz. Min. Pet. Mitt., 59, 67-73.
- Duman, T. Y., Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, Geological Society, London, Special Publications, 372.
- Engin, T., Balcı, M., Sümer, Y., Özkan Y.Z. (1982). Guleman (Elazığ) krom yatakları ve peridotit biriminin genel jeolojik konumu ve yapısal özellikleri, MTA Dergisi, 95/96, 77-99.
- Erdoğan, B. (1982). Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaçları. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 49-50
- Harris, J.H., van der Pluijm, B.A., (1998). Relative timing of calcite twinning strain and fold thrust belt development; Hudson Valley foldthrust belt, New York, USA, Journal of Struct Geol., 20, 21–33.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fay (DAF) Atlası, Special Publication Series-13. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C., & Troesch, M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. Journal of the Geological Society, 152(4), 639-654.
- Hempton, M. R. 1985. Structure and Deformation History of the Bitlis Suture near Lake Hazar, Southern Turkey., Geol. Soc. Amer. Bull. , 96, 233-243.
- Higgins, M.W. (1971). Cataclastic rocks. In: Professional Paper, United States Geological Survey, 687, 97.
- Işık, V., (2004). Micro-tectonic features of Simav shear zone, northern Menderes massif, western Turkey. Geological Bulletin of Turkey, 47 (2), 49-91.
- Işık, V., Seyitoğlu, G. Cemen, I. (2013). Ductile-brittle transition along the Alasehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. Tectonophysics, 374, 1-18.
- İnceöz, M. (1994) Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s. (yayınlanmamış).
- Kaya, A., (2002). Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi. PAÜ Müh.Bil.Dergisi, 10/1, 41-50.
- Kerey, İ. E. ve Türkmen, İ. (1991). Palu Formasyonu'nun (Pliyosen-Kuvaterner) sedimantolojik özellikleri, Elazığ doğusu. Türkiye Jeoloji Bülteni 34, 21-26.
- Kılıç, A.D. (2005). Hazar Köyü (Sivrice-Elazığ) çevresindeki Guleman ofiyoitinin petrografik ve etrolojik özellikleri, Fırat Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 105s.
- Kılıç, A.D., Karaca, T., (2021). Fay Kayası Mineralojisinde Deformasyonun Rolü, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 27, 942-949.
- Köküm, M. (2019). Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GÜFBED/GUSTIJ) (2019)9(1), 119-127. DOI: 10.17714/gumusfenbil.419865.
- Köküm, M., İnceöz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. Journal of Structural Geology 114, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.06.016>.
- Köküm, M., Özçelik, F. (2020). An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. 161, 157-170.
- Kördemir, Y., Kılıç, A. D., (2018). Hidrotermal İşlevlerin Mineralojik Kanıtları ve Ekonomik Sonuçları. Şener, M. (ed.). Uluslararası Katılımlı Kapadokya Yerbilimleri Sempozyumu Bildiri Özleri (24-26 Ekim 2018), Niğde, s.195-196.
- Leydier, T., Goncalves, P., Lanari, P., Oliot, E. (2019). On the petrology of brittle precursors of shear zones – An expression of concomitant brittle deformation and fluid–rock interactions in the ‘ductile’ continental crust?. Journal of Metamorfik Petroloji, 37, 8,1129-1149.

- Lebourg T, Hernandez M, Jomard H, El Bedoui S, Bois T, Zerathe S, Tric E, Vidal M., (2011). Temporal evolution of weathered cataclastic material in gravitational faults of the La Clapiere deep-seated landslide by mechanical approach. *Landslides* 8,241–252
- Mason, D. R. (1978). Compositional variations in ferromagnesian minerals from porphyry copper-generating and barren intrusions of the Western Highlands, Papua New Guinea. *Economic Geology*, 73(5), 878-890.
- Mukherjee, S. (2011). Mineral fish: their morphological classification, usefulness as shear sense indicators and genesis. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 100, 1303–1314.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M., Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.*, 105 (B3), 5695-5719.
- Orioloa, S., Wemmerb, K., Oyhantçabalc, P., Fossend, H., Schulze, B., Siegesmundb, S. (2018). Geochronology of shear zones – A review. *Earth-Science Reviews*, 185, 665-683.
- Özdemir, Y. (2016). Geochemistry of tholeiitic to alkaline lavas from the east of Lake Van (Turkey): Implications for a late Cretaceous mature supra-subduction zone environment. *Journal of African Earth Sciences*, 120, 77-88.
- Özkul, M., Üşenmez, E. (1986). Elazığ Kuzeydoğusunda Eosen Derin Deniz Konglomeralarının Sedimentalojik İncelemesi *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 1, No 1, 53-73, 1986 Vol 1, No 1, 53-73.*
- Özkul, M., Kerey, İ. E. (1996). Şelf, derin-deniz kompleksinde fasiyes analizleri:Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen) Baskil, Elazığ, TÜBİTAK, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 57-70
- Perinçek, D. (1979a). Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arşivi, Rapor No: 1361 (yayınlanmamış), Ankara
- Perinçek, D., Özkaya, G. (1981). Arabistan Kıtası Kuzey Kenarının Tektonik Evrimi. *H. Ü. Yerbilimleri Derg.*, 8, 91-101.
- Perinçek, D. ve Kozlu, H. (1984a). Afşin-Elbistan-Doğanşehir dolayının stratigrafisi ve bölgedeki birliklerin yapısal ilişkileri:TPAO Rapor No: 1909 (yayınlanmamış).
- Rigo de Righi M. ve Cortesini, A. (1964). Gravity tectonics in foothills structure belt of southeast Turkey. *Am Petr Geol Bull* 48 (12), 1911-1937.
- Sarıkaya, M. A. (2004). Gediz ayrılma zonu: Fay kayacı stratigrafisi ve tektonik önemi. *Yerbilimleri Dergisi*, 25(30), 63-79.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society*, 133(3), 191-213.
- Spry, A. (1969). *Metamorphic Textures*. Pergamon, London.
- Strauhal, T., Zangerl, C., Fellin, W., Holzmann, M., Engl, D. A., Brandner, R., Tropper, P., Tessadri, R., (2017). Structure, Mineralogy and Geomechanical Properties of Shear Zones of Deep-Seated Rockslides in Metamorphic Rocks (Tyrol, Austria). *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 419–438.
- Sungurlu, O. (1979). GD sürüklenim kuşağı Tersiyer sürüklenimleri: 33. T.J.K. Bilimsel ve Teknik Kurultayı bildiri özetleri, 121-122.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., Naz, H. (1985). ,Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojisi, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, 29, 83-191.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. (1992). Türkiye Diri Fay Haritası (Active Fault Map of Turkey), scale 1:2000000, one sheet, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, scale 1:2000000.
- Turan, M., Bingöl, A.F. (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ) Arası Bölgenin Tektonostratigrafik Özellikleri. *Ç.Ü. Ahmet ACAR Jeoloji Sempozyumu, Tebliğler*, 213- 227.

- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181-241.
- Tuna, E. (1979). Elazığ-Palu-Pertek dolayının jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arşivi Rapor No:1363 Ankara. (yayınlanmamış)
- Türkmen, İ. (1988). Palu-Çaybağı (Elazığ Doğusu) yöresinin sedimantolojik incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79 s.
- Türkmen, İ. (1991). Elazığ doğusunda Çaybağı Formasyonu'nun (Üst Miyosen Pliyosen?) Stratigrafi ve Sedimantolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 34, 45-53.
- Underwood, M.B. (2007). Sediment inputs to subduction zones why lithostratigraphy and clay mineralogy matter. In: Dixon T, Moore C (eds) *The seismogenic zone of subduction thrust faults*. Columbia University Press, New York, pp 42-85.
- Wang, Y., Zhou, L., Zwingmann, H., Lo, C. H., Li, G., Hao, J. (2020). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of cataclastic K-feldspar: A new approach for establishing the chronology of brittle deformation. *Journal of Structural Geology*, 131, 103-948
- Wheeler, J. (1987). The significance of grain-scale stresses in the kinetics of metamorphism. *Contrib Miner Petrol.*, 17, 397-404.
- White, S.H., Burrows, S.E., Carreras, J., Shaw, N.D., Humphreys, F.J. (1980). On mylonites in ductile shear zones. *Journal of Struct. Geol.*, 2, 175-188.
- Wise, D.U., Dunn, D.E., Engelder, J.T., Geiser, P.A., Hatcher, R.D., Kish, S.A., Odom, A.L. and Schamel, S. (1984). Fault-related rocks: Suggestion for terminology. *Geology*, 12, 391-394.
- Yazgan, E. (1984). Geodynamic evolution of Eastern Taurus region, M.C. ed., *Intern. Synp. On the Geol. of the Taurus Belt*, 199-208.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe KARACA

[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	