

FBE TEZ YAZIMINA BAŞLAMADAN ÖNCE

1. Tez yazım kuralları hakkında birinci kaynak Tez Yazım Kılavuzudur.
2. Bu şablon, Enstitü internet sayfasındaki “Şablon Açıklaması” dikkate alınarak hazırlandığında sadece şekil yönünden Tez Yazım Kılavuzundaki şartları sağlar. Bölüm içeriklerinin doğru hazırlanması tez yazarının sorumluluğundadır.
3. Bu şablon MS Word Belge Şablonu olarak hazırlanmıştır. Sadece Enstitü internet sayfasından indireceğiniz şablonlara güveniniz. Başka kaynaklardan edindiğiniz şablonlara güvenmeyiniz. Bu konuda Enstitü sorumluluk kabul etmez.
4. Word dosyaları yazıcı ayarlarına bağlı olarak sayfa kaymalarına neden olabilmektedir. Bu yüzden, yazımı tamamlanan tezin PDF formatında kaydedilmesi ve bu format üzerinde kontroller yapıp PDF dosyasından baskısının alınması önerilir. Kağıt ortamındaki tez kopyasının Tez Yazım Kurallarına uymak zorunda olduğu unutulmamalıdır.
5. Tüm paragraf işaretlerini (boşluklar ve tablolar gibi) ve gizli biçimlendirme işaretlerini (sayfa sonu, bölüm sonu gibi) Word programında Giriş sekmesinde ¶ simgesine tıklayıp görebilir veya gizleyebilirsiniz. Bölüm sonu ve sayfa sonu ifadelerini gereksiz şekilde silmeyiniz. Aksi takdirde sayfa numaralandırma yapısı bozulacak ve yeniden yapılandırmak zorunda kalınacaktır.
6. Şablon içindeki tüm açıklama yazıları tezinizin baskısından önce mutlaka silinmelidir.
7. Bir sonraki sayfada bulunan tabloyu eksiksiz doldurduğunuzda İlk Sayfalar ve Ön Bölümler hazırlanmış olacaktır. Tablo içindeki tüm alanlar klavyeden giriş yapılarak doldurulmalı, kesinlikle stil galerisinden stil değişimi veya başka bir alandan kopyala/yapıştır yapılmamalıdır.
8. Tez kitapçığının sadece şekil açısından değil aynı zamanda bazı bölümlerinin içeriklerinin de Tez Yazım Kurallarına uymak zorunda olduğu unutulmamalıdır. Önsöz, Özet, Abstract, Listeler ve Giriş Bölümü içeriklerinin nasıl hazırlanması gerektiği konusunda Tez Yazım Kılavuzu ve Şablon Açıklaması mutlaka incelenmelidir.
9. **Bu bilgilendirme sayfası ve bundan sonraki tablo sayfası tez kitapçığında bulunmamalıdır.**

ÖNEMLİ HATIRLATMA

Lisansüstü eğitimde bir tez, bilimsel bir problemin çözümünü öngören hipotezlerin bilimsel metotlarla doğrulanmaya çalışılması sonucunda elde edilen bilgilerin sunulduğu yazılı bilimsel rapordur.

Bu nedenle, bir tezde aşağıdaki soruların cevapları net şekilde bulunmalıdır:

1. Bilimsel probleminiz nedir? – Problem tanımı
2. Bu problem neden önemlidir? – Problemin önemi
3. Tezinizin nihai amacı nedir? – Amaç
4. Problemin hangi değişkenleri arasında nasıl bir ilişki olabileceğini varsaydınız? – Hipotezler
5. Değişkenler arasındaki ilişkinin varlığını hangi metotlarla göstermek, ispatlamak istiyorsunuz? – Metot
6. Başka araştırmacıların probleminize veya benzer problemlere yaklaşımları nelerdir? – Literatür bilgisi
7. Problemin çözümü kimlere ne gibi faydalar sağlar? – Toplumsal fayda.
8. Ne tür materyaller ve metotlar kullandınız? – Materyal ve Metot
9. Yaptığımız deneylerin ve/veya gözlemlerin sonucunda elde ettiğiniz veriler nelerdir? – Bulgular
10. Her bir bulgunun analizinden sonra hangi yorumları yaptınız? – Tartışma ve yorum
11. Tartışma ve yorumlarınızdan sonra insanlığa ve bilime kazandırdığımız bilgiler nelerdir? – Sonuç
12. Hangi eserlerden yararlandınız? – Kaynaklar

İlk 7 sorunun cevabı Giriş Bölümünde bulunmalıdır. 5. Sorunun cevabı ayrıca bir bölüm veya alt bölüm olarak detaylı şekilde verilir. Diğer soruların cevapları için ayrı bölümler kullanılır.

Tez yazımınızda kolaylıklar dileriz.

- **TABLOYU DOLDURURKEN** sadece klavyeden giriş yapınız, başka bir ortamdan kopyala/yapıştır yapmayınız. Ayrıca, stiller galerisinden farklı bir stil uygulamayınız.
- Tez başlığında zorunlu durumlarda italik, üst-alt simge, Yunan karakterleri oluşturulabilir. İngilizce kelime var ise sadece o kelime işaretlenip “Gözden Geçir” sekmesinden dil İngilizce yapılır. Küçük harf kullanılması gerekiyor ise Pencere Altı ve İç Kapakta Tez Başlığı üzerinde metin kutusu (kırmızı bilgi kutuları gibi) oluşturup gerekli düzeltmeler yapılabilir.
- Tezin Enstitüye ilk tesliminde Tez Onayı sayfası bulunmaz. Sadece danışman bilgileri tabloya girilir.
- Tezin Enstitüye son tesliminde jüri üyeleri bilgilerini tabloya yazınız. Fazla olan haneleri aşağıdaki tabloda aynen bırakınız. Ancak, Onay Sayfasında satırları silerek gerekli düzenlemeyi yapınız.
- Bilim Dalı yoksa, Pencere Alt Kapağında bulunan “Bilim Dalı” ifadesini bir boşluk vererek siliniz.
- Mendeley eklentisi ile çalışıldığında hata mesajı alırsanız “End” seçimi yaparak işlemlerinize devam ediniz.
- İkinci Danışman yoksa, Kapak Sayfasındaki “İkinci Danışman” satırını ve Onay Sayfasındaki İkinci Danışman satırlarını siliniz.

Tez Yazarı:	Elif AKGÜN	
	TÜRKÇE	İNGİLİZCE
	Tez Başlığı, tez ilk tesliminde Enstitü tescilli (transkriptteki) başlıktır. Son teslimde Jüri tarafından önerilen başlıktır.	
Tez Türü:	Doktora Tezi	Ph.D. Thesis
Tez Başlığı:	Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanıyol (Malatya) İle Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi	Examination of Stress State between Doğanıyol (Malatya) and Çelikhan (Adıyaman) on the East Anatolian Fault Zone
Anabilim Dalı:	Jeoloji Mühendisliği	Geological Engineering
Programı (Teknoloji):		
Bilim Dalı:	Genel Joeoloji	General Geology
Tez İlk Teslim Tarihi:	23.12.2019	Tezin Enstitüye verildiği İlk Tarih
Savunma Tarihi:	23.1.2020	
Tez Ön Sayfa Sayısı:	xiii	Kısaltmalar Listesinin bulunduğu sayfa numarasıdır
Tez Sayfa Sayısı:	116	Kaynaklar Bölümünün bitiş sayfa numarasıdır
	JÜRİ ORTAK KARARI	<OYBİRLİĞİ>
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ	<Onayladım>
Danışman Kurumu:	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	
2. Danışman:	Yoksa boşluk vererek siliniz	<Onayladım>
2. Danışman Kurumu:	Yoksa boşluk vererek siliniz	
Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Ercan AKSOY	<Onayladım>
Jüri Başkanı Kurumu:	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	
Jüri Üyesi 1:	Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ	<Onayladım>
Jüri Üyesi 1 Kurumu:	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	
Jüri Üyesi 2:	Doç. Dr. Halil GÜNEK	<Onayladım>
Jüri Üyesi 2 Kurumu:	Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi	
Jüri Üyesi 3:	Doç. Dr. Fikret KOÇBULUT	<Onayladım>
Jüri Üyesi 3 Kurumu:	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	
Jüri Üyesi 4:	Dr. Öğr. Üyesi M. Şefik İMAMOĞLU	<Onayladım>
Jüri Üyesi 4 Kurumu:	Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	
Enstitü Müdürü:	Prof. Dr. Soner ÖZGEN	

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DOĞU ANADOLU FAY ZONU'NUN DOĞANYOL (MALATYA)
İLE ÇELİKHAN (ADİYAMAN) ARASINDAKİ GERİLME
DURUMUNUN İNCELENMESİ**

Elif AKGÜN

Doktora Tezi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Genel Joeoloji Bilim Dalı

OCAK 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**DOĞU ANADOLU FAY ZONU'NUN DOĞANYOL (MALATYA) İLE
ÇELİKHAN (ADİYAMAN) ARASINDAKİ GERİLME DURUMUNUN
İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Elif AKGÜN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ

OCAK 2020
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı: Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) İle Çelikhhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi

Yazarı: Elif AKGÜN

İlk Teslim Tarihi: 23.12.2019

Savunma Tarihi: 23.1.2020

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:	Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ercan AKSOY Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Halil GÜNEK Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Fikret KOÇBULUT Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi M. Şefik İMAMOĞLU Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

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

İmza

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım ‘‘Doğu Anadolu Fay Zonu’nun Doğanyol (Malatya) İle Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi’’ Başlıklı Doktora 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.

23/1/2020

Elif AKGÜN



ÖNSÖZ

Yakınsayan levha sınırlarında ortaya çıkan çarpışmalı kuşaklar boyunca gelişen deformasyonlar oldukça karmaşık morfolojiler oluşturmaktadır. Levhalar arasındaki yakınsama bu alanlarda farklı deformasyonların gelişimine sebep olmaktadır. Sismik aktivitenin yoğun olarak görüldüğü bu alanlarda gelişmiş yapısal unsurların çok yönlü araştırılması büyük önem taşımaktadır. Doğu Akdeniz'in tektonik evriminde ve deformasyon geçmişinde önemli bir rol oynayan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) güzel bir örnek oluşturmaktadır. Bu zonlar boyunca gelişmiş deformasyon geçmişini fay düzlemlerinden ölçülen kinematik veriler ile ortaya koymak, oldukça önemli araştırma yöntemlerinden biridir.

Bu kapsamda "Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi" başlıklı bu çalışma Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Genel Jeoloji bilim dalında doktora tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve desteğini esirgemeyen, gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yönlendirici olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat İNCEÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın ilgili bölümlerinde yönlendirmeleri ve katkıları olan değerli TİK üyeleri Prof. Dr. Ercan AKSOY ve Doç. Dr. Halil GÜNEK'e, uzaktan algılama çalışmalarında görüntülerin işlenmesinde katkı sağlayan Arş. Gör. Hatice Seval MANAP ve Doç. Dr. Bekir Taner SAN'a teşekkür ederim.

Arazi ve tez çalışmalarım boyunca destek veren arkadaşlarım Arş. Gör. Onur ALKAÇ, Arş. Gör. Dr. Mehmet KÖKÜM ve Yüksek Jeoloji Mühendisi Arzu ÇAMBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen aileme şükranlarımı sunarım. Tez çalışmam boyunca arazi çalışmalarına sağladığı katkı başta olmak üzere, manevi desteklerini her zaman hissettiğim sevgili eşim Jeoloji Yüksek Mühendisi Yusuf AKGÜN ve canım kızım Nil Azra AKGÜN'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Yüksek Öğretim Kurulu tarafından tarafıma tahsis edilen Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) ödeneği tarafından desteklenmiştir.

Elif AKGÜN
ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi, Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı	1
1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Özellikleri	3
1.4. Önceki Çalışmalar	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Ön Çalışmalar	12
2.2. Saha Çalışmaları	12
2.3. Büro Çalışmaları.....	13
3. BÖLGESEL JEOLojİ VE TEKTONİK.....	14
4. STRATİGRAFI.....	19
4.1. Pütürge Metamorfitleri	21
4.2. Malatya Metamorfitleri.....	25
4.3. Yahyalı Napı.....	27
4.4. Siyah Aladağ Napı.....	28
4.5. Koçali Karmaşığı	28
4.6. Guleman ve Kömürhan Ofiyolitleri	30
4.7. Elazığ Magmatitleri	33
4.8. Besni Formasyonu	35
4.9. Belveren Formasyonu.....	35
4.10. Maden Karmaşığı	36
4.11. Midyat Grubu	40
4.11.1. Gerçüş Formasyonu.....	40
4.11.2. Hoya Formasyonu	41
4.12. Fırat Formasyonu.....	42
4.13. Lice Formasyonu	43
4.14. Kuvaterner Çökelleri	44
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5.1. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Kimliği.....	46
5.2. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Depremselliği	50
5.3. Uzaktan Algılama Çalışmaları.....	53
5.4. Kinematik Analiz Çalışmaları	66
5.4.1. Fay Topluluklarının Değerlendirildiği Kinematik Analiz Yöntemi	66
5.4.2. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Sonuçları	68
5.5. Fay Zonu'nun Morfolojik Analizi	91

6. SONUÇLAR.....	103
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi

Elif AKGÜN

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2020, Sayfa: xiii + 116

Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yakınsamaya bağlı olarak kıta içinde gelişmiş olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Doğu Akdeniz'in tektonik evriminde önemli bir etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, DAFZ'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) arasında yer alan bölümü incelenmiştir. Arazi çalışmaları ve uzaktan algılama yöntemleri yardımıyla çalışma alanındaki faylar haritalanmıştır. Arazi çalışmaları süresince fayın geometrisi ve sergilediği morfolojik yapılar incelenerek, paleostres analizi için deformasyon zonu boyunca fay düzlemlerinden kayma verileri ölçülmüştür. Sayısal analiz programı ile değerlendirilen kinematik verilerin, rotasyonel optimizasyon yöntemi ile gerilme yönleri hesaplanarak deformasyon türü belirlenmiştir.

Arazi gözlemleri ve paleostres analizi sonuçları birlikte yorumlandığında; çalışma alanında üç farklı deformasyon fazının varlığından söz edilebilir. İlk deformasyon fazı; Geç Eosen-Geç Oligosen zaman aralığındaki KB-GD doğrultulu sıkışmalı gerilmeye karşılık gelmektedir. İkinci deformasyon fazı, Orta Miyosen- Erken Pliyosen zaman aralığında gerçekleşen kıta-kıta çarpışmasına dayalı; yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmayı göstermektedir. Son deformasyon fazı ise, Geç Pliyosen'den günümüze devam eden yakınsama sonucu stres değişimine bağlı olarak; KD-GB doğrultulu sıkışma altında gelişmiş sol yanal doğrultu atım rejimini yansıtmaktadır.

Uzamış sırtlar, akarsu ötelenmeleri, çizgisel vadiler gibi aktif tektoniği işaret eden morfolojik veriler de son rejim olarak belirtilen KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesine bağlı gelişmiş doğrultu atımla karakterize edilen tektonizmanın, çalışma alanındaki en genç faz olduğunu desteklemektedir. Uzaktan algılama çalışmaları ile gerçekleştirilen çizgisellik analizi sonucu elde edilen gül diyagramındaki K65°D doğrultusunda yoğunlaşmış çizgisellikler sol yanal DAFZ'nu yansıtmaktadır.

Arabistan Levhası ve Anadolu Bloğu arasındaki yakınsama sonucu; çalışma alanı Geç Eosen'den günümüze üç farklı deformasyon evresi geçirmiş olup; DAFZ'na ait segmentler bu deformasyon evrelerinin son fazında (Geç Pliyosen'den günümüze) gelişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu Fay Zonu, Uzaktan algılama, Paleostres analizi, Deformasyon fazı

ABSTRACT

Examination of Stress State between Doğanyol (Malatya) and Çelikhan (Adıyaman) on the East Anatolian Fault Zone

Elif AKGÜN

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

January 2020, Pages: xiii + 116

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ), which was developed in the continent due to the convergence between the Arabian Plate and the Anatolian Block, has a significant impact on the tectonic evolution of the Eastern Mediterranean.

In this study, the part of EAFZ between Doğanyol (Malatya) and Çelikhan (Adıyaman) was examined. Faults in the study area were mapped with field studies and remote sensing methods. During field studies, the fault geometry and the morphotectonic structures, which was exhibited along the fault, were examined, and also slip data along the deformation zone were measured from the fault planes for paleostress analysis. Stress directions of the kinematic data evaluated by numerical analysis program are calculated by rotational optimization method deformation type was determined.

According to results obtained from the field observations and paleostress analysis, there are three different deformation phases in the study area. First deformation phase; it corresponds to NW-SE compressional strain during the Late Eocene-Late Oligocene time interval. The second deformation phase is based on the subduction and the continent-continent collision of Middle Miocene-Pliocene time interval; shows the approximate N-S compressional strain. The last deformation phase, depending on the change in stress as a result of the convergence from the Late Pliocene to the present day, reflects the left lateral strike-slip regime developed under NE-SW direction compression.

Strike slip tectonic due to NE-SW trending compression (last regime), which is the youngest phase in the study area, has also supported by morphological data indicating active tectonics (such as elongated ridges, stream shifts and linear valleys). In the rose diagram obtained as a result of the lineaments analysis carried out by remote sensing studies, the lineaments concentrated in the direction of N65°E reflect the left lateral EAFZ.

As a result of the convergence between the Arabian Plate and the Anatolian Block, the study area has undergone three different deformation phases from the Late Eocene to present; the segments of the EAFZ developed during the last phase of these deformation phases (from the Late Pliocene to the present).

Keywords: East Anatolian Fault Zone, Remote sensing, Paleostress analysis, Deformation phase.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Çalışma alanının Türkiye SYM görüntüsünde ve Google Earth görüntüsündeki yeri	2
Şekil 1.2.	Çalışma alanının 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli pafta indeksindeki gösterimi	3
Şekil 3.1.	Türkiye ve çevresindeki tektonik zonların dağılımının harita görünümü	15
Şekil 3.2.	Türkiye'nin tektonik unsurlarını gösteren şematik harita	18
Şekil 4.1.	Çalışma alanının tektonostratigrafik kesitinin görünümü	19
Şekil 4.2.	Çalışma alanının jeoloji haritası	20
Şekil 4.3.	Türkiye'de Torosların dağılımını gösteren harita görünümü	21
Şekil 4.4.	Doğanbağı-Kalaba köyünden Pütürge Metamorfitleleri'ne ait şistlerin arazi görünümü	22
Şekil 4.5.	Şiro vadisinde DAFZ boyunca izlenen Pütürge Metamorfitleleri'ne ait amfibolitlerin mostra görünümü	23
Şekil 4.6.	Çelikhan civarında Malatya Metamorfitleleri'ne ait kalın karbonatlı birimlerin arazi görünümü	25
Şekil 4.7.	Çat barajı kenarında Malatya Metamorfitleleri'ne ait karbonatların kıvrımlı mostra görünümü	26
Şekil 4.8.	Koçali köyünün kuzeydoğusunda Koçali Karmaşığı'na ait sedimanter birimler ile ofiyolitik birimler arasındaki D-B doğrultulu bindirmeli dokanağın arazi görünümü	29
Şekil 4.9.	Kıvrımlı yapısı ile Guleman Ofiyolitleri ve tektonik ilişkili olduğu Pütürge Metamorfitleleri'ne ait amfibolitlerin arazi görünümü	31
Şekil 4.10.	Kale mevkiinde Kömürhan metaofiyolitlerinin mostra görünümü	33
Şekil 4.11.	Maden Karmaşığı'na ait birimlerin arazi ve mostra görünümü	37
Şekil 4.12.	Şahinbeyler mevkiinde Maden Karmaşığı'nın volkano-sedimanter birimleri içerisindeki daha kırılğan blokların sünek kayalar içerisindeki mostra görünümü	38
Şekil 4.13.	Maden Karmaşığı'na ait birimlerin Pütürge Metamorfitleleri ve alüvyonlarla dokanak ilişkisini gösteren arazi görünümü	39
Şekil 4.14.	Çelikhan güneyinde bordo renkli Gercüş Formasyonu'nun kıvrımlı mostra görünümü	41
Şekil 4.15.	Adıyaman-Çelikhan yolu üzerinde yüzlek veren Gercüş Formasyonu çakılları ile Hoya Formasyonu karbonatlarının uyumlu dokanağına ait mostra görünümü	42
Şekil 4.16.	Sincik güneyinde gözlenen Lice Formasyonu'na ait kıvrımlı ve faylı mostra görünümü	43
Şekil 4.17.	Şiro vadisi boyunca DAFZ'nun etkisi ile yükselen fay teraslarının mostra görünümü	44
Şekil 4.18.	Şiro vadisi boyunca gelişmiş alüvyonların görünümü	45
Şekil 5.1.	DAFZ'nun üç kısmını ve üç kolunu gösteren harita	47
Şekil 5.2.	DAFZ'nun segmentasyon yapısının şematik görünümü	48
Şekil 5.3.	DAFZ boyunca meydana gelmiş depremlerin odak mekanizma çözümlerinin dağılımı ve sol yanal deformasyon elipsoidinin şematik görünümü	53
Şekil 5.4.	Çalışma alanına ait SRTM görüntüsü	54
Şekil 5.5.	SRTM görüntüsünden elde edilen drenaj haritası ve M>4.0 olan aletsel dönem depremlerin dağılımı	55
Şekil 5.6.	SRTM görüntüsünden üzerine işlenen çalışma alanının 1:100.000 ölçekli tektonik haritası ...	56
Şekil 5.7.	Çizgisellik analizi için Landsat 8 uydu görüntüsüne uygulanan tekniklerin akış şeması	58
Şekil 5.8.	Zenginleştirme tekniği ile temel bileşen analizi uygulanan Landsat 8 uydu görüntüsü	59
Şekil 5.9.	Landsat 8 uydu görüntüsü üzerine uygulanan yönlü filtrelerin görünümü	59
Şekil 5.10.	Manuel olarak elde edilen çizgisellik haritasının görünümü	60
Şekil 5.11.	Çizgiselliklerden elde edilen gül diyagramının ve deformasyon elipsoidinin görünümü	61
Şekil 5.12.	ASTER uydu görüntülerine uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin akış şeması	61
Şekil 5.13.	RGB: 321 bant bileşimi ve kenar gemesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü	62
Şekil 5.14.	RGB: 421 bant bileşimi ve dekorelasyon gemesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü	63

Şekil 5.15.	RGB: 521 bant bileşimi ve kenar germesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü	64
Şekil 5.16.	RGB: 421 bant bileşimi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü	65
Şekil 5.17.	Gerilme rejimlerine ait şematik görünüm.....	68
Şekil 5.18.	Tektonik harita üzerinde fay topluluklarının ölçüm noktaları ve paleostres analizlerinin görünümü	69
Şekil 5.19.	Tektonik harita üzerinde fay topluluklarının ölçüm noktaları ve paleostres analizlerinin görünümü	71
Şekil 5.20.	Gercüş Formasyonu'na ait Orta Eosen yaşlı karasal kırıntılılar içerisinde KKB-GGD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü.....	72
Şekil 5.21.	Malatya Metamorfitle'ne ait Mesozoyik yaşlı mermerler içerisinde KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan kıvrımın mostra görünümü	73
Şekil 5.22.	Maden Karmaşığı'na ait Orta Eosen yaşlı volkanoklastikler içerisinde gelişmiş yaklaşık 1,5 m atıma sahip ters fayın mostra görünümü	74
Şekil 5.23.	Maden Karmaşığı'na ait birimler içerisinde gelişmiş ters faylar ve kırık setlerinin kaotik mostra görünümü	75
Şekil 5.24.	Doğrultu atımlı tektonik rejime ait fay topluluklarının Schmidt alt yarım kürede stereografik gösterimi	77
Şekil 5.25.	Doğanyol civarında Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç birimler içindeki faylanmanın mostra görünümü.....	78
Şekil 5.26.	Pütürge Metamorfitle'ne ait şistler içerisinde yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan eşlenik fayların mostra görünümü ve paleostres analizi sonucu	79
Şekil 5.27.	Pütürge Metamorfitle'ni keserek temel kayalar ile alüvyon arasındaki sınırı oluşturan ve Küçük çayı sol yanal öteleyen fayın mostra görünümü	80
Şekil 5.28.	Küçük çayın yakınlarda deformasyondan etkilenen güncel birimlerin mostra görünümü	81
Şekil 5.29.	DAFZ tarafından etkilenen Şiro vadisi güneyinde teraslardaki deformasyon izlerinin görünümü.....	81
Şekil 5.30.	Pütürge Metamorfitle'ri içerisinde KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü	82
Şekil 5.31.	Şahin tepeden itibaren DAFZ ve BSZ'nun tektonik ve morfolojik olarak yorumlanmış Google Earth görünümü.....	82
Şekil 5.32.	Çelikhan havzası içerisinde güncel birimlerden oluşan fay zonuna paralel basınç sırtının arazi görünümü	83
Şekil 5.33.	Çelikhan civarında fayların uzaktan ve yakından görünümü	84
Şekil 5.34.	Pütürge Metamorfitle'ri içerisinde KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü	85
Şekil 5.35.	KB-GD doğrultulu eksene sahip kıvrımın görünümü	86
Şekil 5.36.	Orta Eosen yaşlı karasal kırıntılı birim içinde KB-GD doğrultulu sıkışma altında oluşmuş kıvrım ve fayların görünümü	86
Şekil 5.37.	Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı birimleri içinde KD-GB doğrultulu sıkışma altında gelişmiş eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü.....	87
Şekil 5.38.	Eosen yaşlı karasal kırıntılı birimler içinde eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü	88
Şekil 5.39.	Maden Karmaşığı içinde eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü	88
Şekil 5.40.	Çalışma alanında belirlenen gerilme durumlarının tektonik harita üzerindeki dağılımı.....	90
Şekil 5.41.	Fırat Nehri ötelemesinin GB ucunda eksenleri faya paralel olarak gelişmiş basınç sırtlarının arazi görünümü.....	91
Şekil 5.42.	Fırat Nehri'nin ötelemesi boyunca gelişen morfolojik yapıların fayın uzanımını gösteren morfolojik harita	92
Şekil 5.43.	Fırat Nehri'ndeki ötelemenin arazi görünümü ve morfolojik haritası	93
Şekil 5.44.	Şiro vadisi boyunca gelişen morfolojik yapıların fayın uzanımını gösteren morfolojik harita	94

Şekil 5.45. Pütürge dolaylarında DAFZ ile birincil ilişkili uzamış sırt ve üçgen yüzeylerin arazi görünümü.....	95
Şekil 5.46. DAFZ tarafından sınırlandırılmış Balık tepe, Şahin tepe ve Pon tepenin arazi görünümü.....	96
Şekil 5.47. Yarpuzlu civarında gelişen morfolojik yapıların ve fayın uzanımını gösteren morfolojik harita	97
Şekil 5.48. DAFZ tarafından ötelenmiş akarsuların Google Earth görünümü.....	98
Şekil 5.49. Çelikhan civarında gelişen morfolojik yapıların ve fayın uzanımını gösteren morfolojik harita	99
Şekil 5.50. Çelikhan ve civarının Google Earth görünümü	100
Şekil 5.51. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gerçekleştirilen morfometrik indislerin değerleri	102



TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 5.1. Kenar Kıvrımları Kuşağı boyunca meydana gelmiş tarihsel depremler	51
Tablo 5.2. DAFZ boyunca gelişmiş büyük aletsel dönem depremlerine ait veriler	52
Tablo 5.3. Fay topluluklarının ölçüldüğü lokasyon ve jeolojik birim bilgisi	68
Tablo 5.4. Sıkışmalı tektonik rejim altında gelişmiş fay topluluklarının hesaplanan paleostres değerleri	70
Tablo 5.5. Doğrultu atımlı tektonik rejim altında gelişmiş fay topluluklarının hesaplanan paleostres değerleri	76



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

km	: Kilometre
m	: Metre
R	: Gerilme oranı
R'	: Gerilme indeksi
σ_1	: En küçük asal gerilme eksen
σ_2	: Ortaç asal gerilme eksen
σ_3	: En büyük asal gerilme eksen

Kısaltmalar

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASTER	: Advanced Space-borne Thermal Emission Radiometer
B	: Batı
BSZ	: Bitlis Sütur Zonu
D	: Doğu
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
G	: Güney
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
K	: Kuzey
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
MADAS	: Meti Aist Data Achieve System
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu
SF	: Sürgü Fayı
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
USGS	: United States Geological Survey

1. GİRİŞ

Yakınsayan levha sınırları büyük depremlerin yoğun olarak görüldüğü zonlardır. İki levha arasındaki yakınsamanın türü bu alandaki yapısal özellikleri belirlemektedir. Düşük açılı oblik yakınsamalar, yüksek yakınsama hızlarıyla kaçış tektoniğine yol açmaktadır. Bu durum tektonik ve morfolojik açıdan oldukça karmaşık bir jeolojik gelişime neden olmaktadır. Kaçış tektoniğinin gelişimini sağlayan doğrultu atımlı faylar, kıtasal yakınsama zonlarındaki en önemli deformasyon biçimlerinden biridir (Şengör vd., 1985).

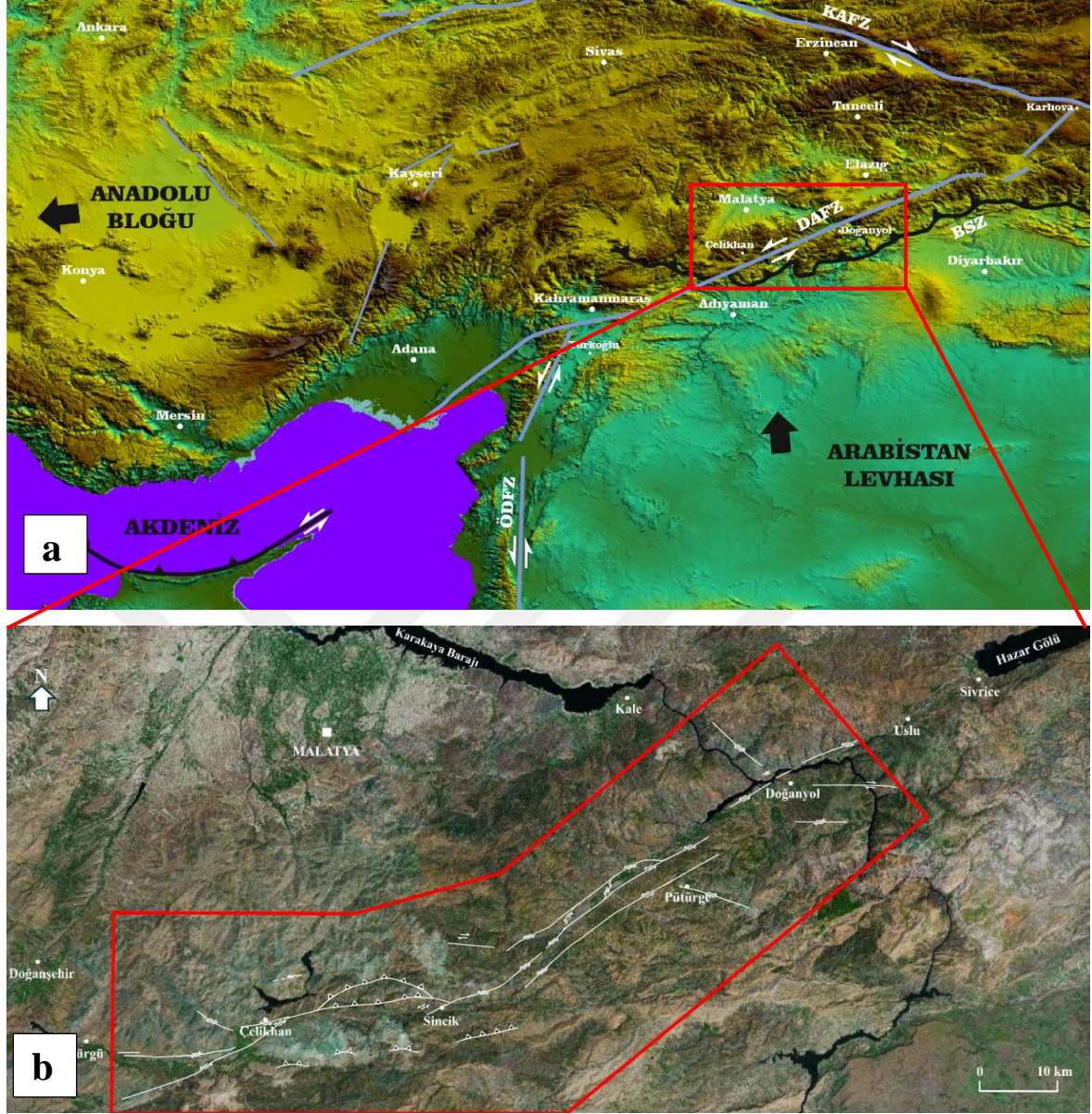
Tezin asıl konusunu oluşturan DAFZ, Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsamaya bağlı gelişen önemli bir yapısal unsurdur. Yakınsayan levha sınırlarındaki bu doğrultu atımlı fay sistemleri kıta içerisindeki deformasyonları denetlemektedir. Bölgenin tektonik evriminin anlaşılması ve modellenmesi açısından, bu fay zonlarının araştırılması önem taşımaktadır. Ayrıca büyük magnitüdü depremlerin bu fay zonlarında meydana gelmesi de, bu alanların deformasyon geçmişlerinin araştırılmasını gerektirmektedir.

1.1. Çalışmanın Önemi, Amacı ve Kapsamı

Bu doktora tezinde DAFZ'nun Doğanşehir ile Çelikhan arasındaki kısmının deformasyon geçmişi ve gerilme durumunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 5 adet iş paketi belirlenmiştir. Bu iş paketleri: 1) Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), topoğrafik haritalar ve aletsel döneme ait sismik verilerden aktif fayların haritalanması ve kinematik veri ölçümü için lokasyon belirlenmesi, 2) Sahada fay düzlemlerinden kinematik verilerin toplanması, 3) Morfotektonik yapıların sahada tespit edilmesi ve bunların aktif tektonik açıdan değerlendirilmesi, 4) Uydu görüntülerinin zenginleştirme ve filtreleme işlemlerine dayalı çizgisellik analizinin yapılması, 5) Tüm verilerin birlikte değerlendirilerek; çalışma alanının geçmişten günümüze tektonik evriminin ortaya konulmasıdır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

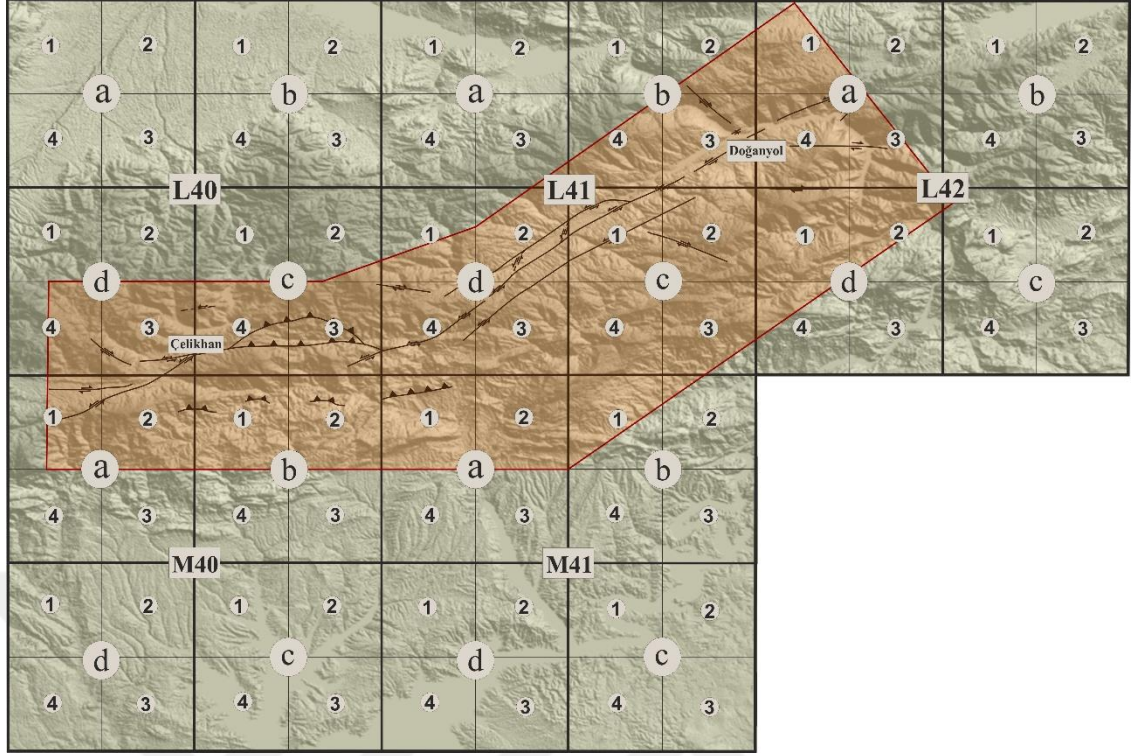
DAFZ Türkiye'nin doğusunda, Yukarı Fırat bölümü ile Orta Fırat bölümü arasında yer almaktadır. Bu alan, Doğu Anadolu Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasında yer almaktadır. DAFZ'nun Doğanşehir (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) arasındaki kısmı çalışma alanını oluşturmaktadır. Çalışma alanının kuzey kesiminde Malatya şehir merkezi, güneyinde Adıyaman şehir merkezi, kuzeydoğusunda Elazığ şehir merkezi, batısında ise Adıyaman iline bağlı Doğanşehir ilçesi bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. (a) Çalışma alanının Türkiye SYM görüntüsünde, (b) Google Earth görüntüsündeki yeri

Çalışma alanına ulaşım, Elazığ-Malatya-Kayseri Karayolu ve bu karayoluna bağlı tali yollardan ve köy yollarından sağlanmaktadır. Malatya'ya bağlı Doğanyol, Pütürge, Tepehan ile Adıyaman'a bağlı Sincik ve Çelikhan ilçeleri çalışma alanının önemli yerleşim merkezleridir.

Çalışma alanı 1/100.000 ölçekli L 40-41-42 ve M 40-41 paftaları içerisinde bulunmaktadır. DAFZ'nun KD-GB doğrultusundaki uzanımı nedeniyle; çalışılan kısım 1/25.000 ölçekli L 40 c1-c2-c3-c4-d1-d2-d3-d4, L 41 a2-a3-a4-b1-b2-b3-b4-c1-c2-c3-c4-d1-d2-d3-d4, L 42 a1-a2-a3-a4-d1-d2, M 40 a1-a2-b1-b2, M 41 a1-a2-b1-b2 paftalarının bazı kesimlerini kapsamaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çalışma alanının 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli pafta indeksindeki gösterimi

1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Özellikleri

Çalışma alanı Elazığ, Malatya ve Adıyaman illeri sınırında yer almaktadır. Yaklaşık 3000 km²'lik bir alanı kapsayan çalışma alanı dağlık alanlardan, derin vadilerden ve platolardan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki önemli yükseltileri Karlık Dağı (2580 m), Akdağ (2522 m), Bozdağ (2429 m), Kerbelek Dağı (2407 m), Çopran Dağı (2180 m), Göv Tepe (2094 m), Çörtan Tepe (2046 m), Karga Dağı (1925 m), Burun Dağı (1837 m), Çak Çak Dağı (1420 m), Şahin Tepe, Pon Tepe, Balık Tepe, Ziyaret Tepe, Kükürt Tepe, Destişür Tepe oluşturmaktadır.

Fırat Nehri vadisi ile Şiro Çayı vadisi faya paralel gelişmiş önemli akarsu vadileridir. Dezlis Çayı, Mollahan Çayı, Halikhan Çayı, Ferikon Çayı, Hopan Çayı, Birimşe Çayı, Basiki Çayı ile bu çayların yan kolları olan Babik, Küçük, Kan, Hır, Kele, Meydan, Gevik, Büyük, Çat ve Değirmen dereleri çalışma alanının drenaj ağını oluştururlar. Dağlık alanların baskın olduğu inceleme alanında alüvyonların depolandığı alanlar, akarsu vadileri ve Çelikhan ovasıdır.

Çalışma alanı Doğu Anadolu Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasında bir geçiş alanı olduğundan kuzey kesimlerde karasal iklimin özellikleri görülürken, güney kesimlerde daha yumuşak iklim özelliklerine sahip Akdeniz iklimi etkisi görülmektedir. Bitki örtüsü iklim şartlarına, topoğrafik yükseklik ve yamaç eğimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Genellikle yükseltilerin oluşturduğu çalışma alanında hakim bitki örtüsü meşe ağaçlarıdır. Yamaç eğimi ve suya bağlı gelişen erozyon arazinin bazı alanlarında bitki örtüsü gelişimini engellemiştir.

Akarsu vadileri boyunca suyun varlığına bağlı sazlık ve bataklık alanları gelişmiştir. Doğanıyol ilçesi ve civarı tarıma elverişli toprakları oluştururken; güneybatıya doğru rakımın giderek artmasıyla tarıma elverişli arazi bulunmamaktadır. Sadece Çelikhan ovası boyunca tütün ve fasulye ekili tarım alanları mevcuttur. Hayvancılık ise yüksek rakımdan dolayı gelişmemiştir.

1.4. Önceki Çalışmalar

DAFZ ve çevresi, çok sayıda araştırmacı tarafından çok yönlü incelenmiş olup bu çalışmalar aşağıda tarih sırasına göre verilmiştir.

Altınlı (1963), 1/500.000 ölçekli Erzurum paftasının jeoloji haritasını oluştururken, bölgedeki birimleri tanımlamış ve Karlıova-Bingöl arasında DAFZ'nu bir çizgisellik olarak göstermiştir.

Ketin (1966), Anadolu'da yapılan çeşitli araştırmaları değerlendirerek; Türkiye'de dört tektonik ünitenin var olduğunu belirtmiştir. Bu tektonik üniteleri kuzeyden güneye Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak adlandırmıştır. Çalışma alanı bu tektonik ünitelerden Toridler ve Kenar Kıvrımları içinde yer almaktadır.

Ketin (1968), Türkiye'nin tektonik yapı unsurlarını belli başlıklar altında inceleyerek, Türkiye'nin sismotektonik haritasını oluşturmak için veri tabanı oluşturmuştur. DAFZ bu haritada Karlıova'dan Malatya'ya kadar gösterilmiştir. Araştırmacı tarihsel sismolojik verilere ve araştırmalara dayanarak, depremlerin dış merkezlerinin aktif faylar ve havzalar boyunca yoğunlaştığını belirtmiştir. Malatya-Karlıova-Varto-Kars istikametinden Kafkaslara uzanan, tektonik bakımdan oldukça aktif bir zonun varlığından söz ederek, DAFZ'nun varlığını işaret etmiştir.

Allen (1969), çalışmasında KB-GD doğrultulu Kuzey Anadolu Fayı'nın Karlıova yakınlarında aniden sona ermesini, mekanik olarak yaklaşık aynı noktada son bulan KD-GB doğrultulu eşlenik bir fayın (Doğu Anadolu Fay Zonu) varlığıyla açıklamıştır. Bu faylar arasındaki ilişkinin, Kaliforniya'daki sağ yanal San Andreas Fayı ile sol yanal Garlock Fayı arasındaki ilişkiye benzer olduğuna dikkat çekmiştir.

Ambraseys (1971), 1900 yılından itibaren 65 yıllık bir zaman diliminde Doğu Akdeniz havzasında meydana gelen sismik aktiviteleri orijinal kayıtlardan derleyerek bir deprem kataloğu oluşturmuştur. DAFZ'nun bu süreçte diğer bölgelere (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu) oranla suskun olduğunu belirtmiştir.

Arpat ve Şaroğlu (1972), DAFZ'nun Karlıova ile Hazar Gölü arasındaki uzanımını 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile 1/100.000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde haritalayarak, 1/500.000 ölçekli topoğrafik harita üzerine aktarmışlardır. 1971 yılında meydana gelmiş M: 7.0 büyüklüğündeki Bingöl depreminin yüzey kırıklarını değerlendirerek, Göynük segmenti olarak isimlendirdikleri bu segmentin geometrisi, davranışı ve yaşı hakkında yorum yapmışlardır.

McKenzie (1972), topoğrafya ve fay düzlemi çözümlerine dayalı olarak, DAF'nı KAF'nın doğu ucundan İskenderun körfezine kadar bir sınır gibi çizmiş ve fayın Kıbrıs'a doğru devam ettiğini ileri sürmüştür.

Arpat ve Şaroğlu (1975), nitelikli sismotektonik haritalar için altyapı oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada DAF'nın daha önce incelenmemiş batı kısmı haritalanarak, Arabistan levhasının KD yönündeki hareketine bağlı gelişmiş olduğu ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile bağlantılı olduğu ortaya konmuştur.

McKenzie (1976), doğu Türkiye'nin uydu görüntüleri üzerinden DAF'nı K60°D doğrultusunda büyük bir doğrultu atımlı fay olarak göstermiş ve DAF'nın Türkiye ile Arabistan levhaları arasındaki hareketin çoğunu karşıladığını belirtmiştir.

Arpat (1977), tarihsel kayıtlara ve hasara dayanarak, DAFZ'nun Hazar Gölü ile Pütürge arasındaki kısmının geçmişte oldukça büyük magnitüdü ve sık aralıklı sismik aktiviteye maruz kaldığını belirtmiştir. Bu alandaki morfolojik verilerin oldukça korunmuş olması fayın bu kesimlerinde meydana gelen sismik aktivite silsilesinin yakın zamanlarda meydana gelmiş olduğunu destekler nitelikte olduğunu ileri sürmüştür.

Ercan (1979), Malatya-Pütürge dolaylarında yaklaşık üç aylık bir süreçte mikro depremleri kayıt altına almıştır. Saha çalışmaları sonucunda toplu fay düzlemi incelemeleri ve mikro depremlerin odaklarını birlikte değerlendirmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda deprem odak mekanizmaları çözümleri sol yanal doğrultu atımlı faylanmayı göstermiş olup, DAF'nın Fırat nehri ile Şiro çayı arasındaki kesiminin aktif olduğunu ileri sürmüştür. Ayrıca 5.0 büyüklüğündeki bir sismik aktivitenin çalışma alanındaki tekrarlanma süresinin beş yılda bir olabileceğini önermiştir.

Perinçek (1979a, 1979b, 1979c), kuzeyde Toros Orojenik Kuşağı ile güneyde Kenar Kıvrımları Kuşağı'nı kapsayan alanda allokton ve paraallokton birimleri stratigrafik ve yapısal özellikleri bakımından inceleyerek, bu birimleri birbirleri ile karşılaştırmıştır. Araştırmacı üç alana ayırdığı çalışma sahasının her biri için birimleri detaylı olarak tanımlamış ve harita alımı yapmıştır. Güneydoğu Anadolu'da üç ayrı allokton birim belirleyerek; bu birimlerin tektonik evrimdeki rolünü tartışmıştır.

Sungurlu (1979a, 1979b), çalışmasında Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı'ndaki Üst Senoniyen ve Neojen zaman dilimlerinde kuzeyden güneye doğru yerleşen allohton birimleri ve bu birimlerin otokton birimlerle ilişkisini saha gözlemlerine dayalı olarak incelemiştir. Araştırmacı Üst Senoniyen'de Tetis Okyanusu'na ait birimlerin şelf birimleri üzerine itildiğini belirterek; ofiyolitik birimlerin bu yerleşimin üst tektonik dilimi oluşturduğunu ileri sürmüştür. Neojen sürecinde yerleşen birimleri ise iki tektonik dilime ayırıp; metamorfik masiflerin üst tektonik dilimi oluşturduğunu ifade etmiştir.

Aktimur ve Oral (1981), hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları yardımı ile Şiro çayı boyunca kolüvyon ve alüvyon gibi tutturulmamış malzemeleri incelemiştir. Kuvaterner yaşlı bu genç birimler içerisinde faylanmaya ve sismik aktiviteye bağlı deformasyon izleri tespit etmişlerdir. Sismik verileri arazi gözlemleriyle birlikte yorumlayarak, DAFZ üzerinde meydana gelecek deprem büyüklüklerinin 7.5M-8.0M arasında olabileceğini öngörmüşlerdir.

Şengör ve Yılmaz (1981), Anadolu'nun şiddetli deformasyona maruz kaldığı Alpin orojenine yoğunlaşarak; Tetis'in evrimini levha tektoniği yaklaşımı ile açıklamışlardır. Bu araştırmacılar Anadolu'nun günümüz coğrafyasının Tetis'in iki fazlı deformasyon evrimi sonucu oluştuğunu belirtmiş olup Anadolu'da Paleo-Tetis ve Neo-Tetis olmak üzere iki farklı okyanusun varlığından söz etmişlerdir.

Barka (1983), KAF üzerinde meydana gelen büyük magnitudlü depremlerin episanntarındaki jeolojik verileri incelediği çalışmasında, derlediği verilerden yola çıkarak fayın doğrultusundaki değişimlerin nedenlerini araştırmış ve bu verilerin yıkıcı depremlerin episantr alanlarının tahmini için kullanılabilirliğini ileri sürmüştür. Sismik aktiviteleri jeolojik ölçütlerine göre değerlendirerek, grafiksel bir bağıntı elde etmiştir. Bu bilgilere dayalı, Türkiye genelinde büyük depremlerin episanntarı ile benzerlik gösteren ve sismik aktivite açısından suskun dört alan belirlemiştir. Doğanıyol-Karamemikler civarı yıkıcı deprem riski taşıyan bu alanlardan biridir.

Hempton ve Dewey (1983), Hazar Gölü'ndeki genç çökellerde gelişmiş yumuşak sediman deformasyonlarını inceledikleri çalışmada, beş farklı deformasyon katmanından söz etmişlerdir. Bu beş farklı deformasyon katmanının düzensiz tekrarlanma aralığına sahip son beş sismik aktiviteyi temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Hempton (1985), Pütürge Metamorfik Kompleksi, Maden Melanjı ve Elazığ Magmatik Kompleksi olmak üzere üç tektonostratigrafik birimi litolojik, yapısal ve tektonik açıdan incelemiş olup birbirleri arasındaki ilişkiyi irdelemiştir.

Şengör vd. (1985), tektonik kaçış modellerini irdeledikleri çalışmada, Türkiye'nin Neojen'den günümüze tektonik kaçış evrimini incelemişlerdir. Arabistan Levhasının Anadolu Bloğu ile kıtasal yakınsaması sonucu oluşan dört farklı neotektonik bölge olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu kıtasal yakınsamanın en önemli yapısal unsurunun, Anadolu Bloğu'nun batıya hareketini sağlayan Kuzey ve Doğu Anadolu Fay sistemleri olduğunu belirtmişlerdir.

Dewey vd. (1986), çalışmalarında çarpışma tektoniğinin birçok özelliğini açıklamak için Doğu Anadolu'nun tektoniğini kullanmışlardır. Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yakınsama sonucu gelişen sıkışma, kısalma ve kabuk kalınlaşmasına Kuzey ve Doğu Anadolu Transform Fayları'nın eşlik ettiğini ve büyük depremlerin bu ana faylar üzerinde yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Sıkışmalı rejim ile başlayan yakınsamanın, yerini doğrultu atımlı fay rejimine bıraktığını ileri sürerek, bölgedeki KD-GB doğrultulu çizgiselliklerin sol yanal (DAFZ) ve KB-GD doğrultulu çizgiselliklerin sağ yanal (KAFZ) hareket sergilediklerini önermişlerdir.

Muehlberger ve Gordon (1987), DAF'nı uydu görüntüleri üzerinde göstererek, bu alandaki segmentasyonun sebebinin yakınsama tektoniğinin miktarına bağlı olduğunu belirtmiş ve bu alanın yakınsama-çarpışma tektoniğinin erken aşaması için faydalı bir model olduğunu önermiştir.

Şaroğlu ve Yılmaz (1987), neotektonik dönemden itibaren Doğu Anadolu'daki jeolojik gelişimi ve havza modellerini incelemişlerdir. Orta Miyosen'den itibaren çarpışmayla birlikte etkin olan sıkışma rejimine maruz kalan Doğu Anadolu'da, sıkışmalı yapıların ve bu yapıların kontrolünde dağ arası ve çek ayır havzaların geliştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar neotektonik dönemde oluşmuş olan bu farklı türdeki havzaların dolgularının karasal fasiyeste oluştuğunu ve bu çökellere eş yaşlı bir volkanizmanın eşlik ettiğini ifade etmişlerdir.

Barka ve Kadinsky-Cade (1988), Türkiye'de yer alan doğrultu atımlı fayları yeniden gözden geçirmiş ve fay geometrisi ile depremlere odaklanarak fay segmentasyonu ile sismik aktivite arasındaki ilişkiyi incelemişler; buna bağlı olarak da DAFZ boyunca Karlıova'dan Türkoğlu'na kadar 14 segment belirlemişlerdir. Son 100 yılda DAFZ üzerinde meydana gelen depremlerin fay zonunun kuzeydoğu ve güneybatı ucunda yoğunlaştığını, bu depremlerin tek bir segmente bağlanmaması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Perinçek ve Çemen (1990), DAFZ ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) arasındaki yapısal ilişkiyi saha çalışmalarına dayalı olarak inceledikleri çalışmalarında; iki farklı fay zonu olarak tanımlanan bu fayların güneydoğu Türkiye'de geniş bir fay sistemi olarak düşünülebileceğini önermişlerdir. DAFZ bu çalışmada kuzeydoğu, merkez ve güneybatı olmak üzere 3 kısma ayrılmış ve incelenmiştir.

Taymaz vd. (1991), DAFZ üzerinde meydana gelmiş dört büyük depremin kaynak parametrelerinden yola çıkarak, Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yakınsamayı karşılayan KAFZ ve DAFZ üzerindeki kayma oranlarını belirlemişlerdir.

Yazgan ve Chessex (1991), Doğu Toroslar'ın, özellikle de Elazığ-Malatya arasında kalan kısmının, çarpışmaya bağlı evrimini arazi gözlemleri ile radyometrik ve jeokimyasal verilere dayalı araştırmışlardır. Dört farklı tektonik birim olarak inceledikleri çalışma alanı için, ofiyolit yerleşmelerine dayalı iki fazlı evrim modeli önermişlerdir.

Yılmaz ve Yiğitbaş (1991), Güneydoğu Anadolu'nun jeolojik evriminde ofiyolitik ve metamorfik birliklerin önem taşıdığını belirterek, Güneydoğu Anadolu'yu üç ayrı tektonik kuşağa ayırmışlardır. Bu tektonik kuşakları güneyden kuzeye doğru: Arap platformu, ekay zonu ve nap alanı olarak isimlendirmiş ve incelemişlerdir.

Herece ve Akay (1992), Karlıova ile Çelikhhan arasında detaylı haritalama çalışmalarıyla DAFZ'nu kuzeydoğu ve güneybatı olmak üzere iki bölüme ayırmışlardır. Çalışma alanı araştırmacıların fay zonunun güneybatı bölümü olarak adlandırdıkları "Sivrice-Sincik segmentini" kapsamaktadır. Araştırmacılar bu çalışmada fay zonu boyunca segmentlerin lokasyonlarını belirleyerek, DAFZ'nun atımı ve yaşı hakkında yeni bulgular elde etmişlerdir.

Lyberis vd. (1992), Arabistan-Afrika-Anadolu üçlü eklemine Landsat-SPOT uydu görüntüleri analizi ile saha gözlemlerini birleştirerek incelemişlerdir. DAFZ'nun oluşumunu Arabistan Levhası ile Anadolu Levhası arasındaki K-G doğrultulu oblik yakınsamanın ikincil ve lokal sonucu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu yakınsamanın kıta içi şiddetli deformasyona yol açtığını belirterek, Anadolu-Arabistan arasındaki sınırın basit bir transform fay niteliği taşımadığını söylemişlerdir.

Şaroğlu vd. (1992), DAFZ'nun Karlıova ile Antakya arasında uzanan KD-GB doğrultulu, sol yanal aktif bir doğrultu atımlı fay olduğunu; detaylı haritalama sonucu fayın segmentlerinin 10 m ile 4 km arasında değişen genişlikte dağıldığını ve bir deformasyon zonu oluşturduğunu belirtmişlerdir. Fay boyunca litolojik sınırlara, morfolojik gözlemlere ve sismik aktivitelere dayalı olarak DAFZ'nun maksimum 20-25 km atım gösterdiğini ve Geç Pliyosen sürecinde oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Kiratzi (1993), sismik veriye dayalı olarak Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları boyunca kabuksal deformasyonu incelemiştir. DAFZ boyunca kabukta; 5 mm/yıl oranında yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma ile 9 mm/yıl oranında yaklaşık D-B doğrultulu genişleme tespit etmiştir. Fay zonu boyunca sol yanal hareketin 6 mm/yıl olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1993), Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nın Alpin Orojeni'nin iki ayrı deformasyon fazına maruz kalarak şekillendiğini belirtmiştir. Deformasyonun ilk fazında (Geç Kretase) ofiyolitik kayaç topluluklarının Arabistan Levhası'nı üzerlediğini söyleyerek; sonraki fazda (Orta Eosen-Miyosen) iki aşamalı nap yerleşimlerini kapsayan bir model önermiştir. Orta Eosen-Miyosen zaman aralığındaki bu ikinci deformasyon fazı farklı tektonik birimleri bir araya getirerek, Güneydoğu Anadolu Orojeni'nin günümüzdeki formuna ulaştığını ileri sürmüştür.

Yiğitbaş vd. (1993), Maden Grubu'nun Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağında tanımlanan yapısal kuşaklardan nap alanında yer aldığını belirterek, Maden Grubu'nun tektonik konumu ve jeolojik önemini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar Maden Grubu'na ait istifin Orta Eosen sürecinde açılıp kapanan kısa süreli yay gerisi Maden havzasında oluştuğunu ve birimlerin karmaşık görünümünün yanında bir iç düzeni olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Yiğitbaş ve Yılmaz (1996), Güneydoğu Anadolu'daki nap yerleşimlerinin bölgede doğrultu atım tektoniğinin oluşumunda rol oynadığını belirtmişlerdir. Bölgede yaptıkları arazi çalışmalarında Eosen dönemine ait birimlerin eş zamanlı kıtasal ve derin deniz kökenli çökellerden oluştuğunu ve bunların günümüzde yan yana yer aldığını gözlemlemişlerdir. Eosen sürecinde fay sistemlerinin aktif olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bölgedeki doğrultu atımlı tektoniğin ve yay gerisi çek-ayır havzanın (Maden havzası) oluşumunu ada yayı altındaki okyanus ortasındaki sırtın oblik dalmasına bağlamışlardır.

Bozkurt (2001), KAFZ, DAFZ, ÖDFZ, Ege yayı, Kıbrıs yayı ve Bitlis süturu olarak belirlediği neotektonik yapılara göre; Türkiye'yi dört farklı neotektonik alana bölmüştür. Bu alanlar: 1) Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, 2) Kuzey Anadolu bölgesi, 3) Orta Anadolu 'Ova' bölgesi ve 4) Batı Anadolu genişleme bölgesidir.

Nalbant vd. (2002), son yüzyılda DAFZ'ndeki sismik suskunluğun yol açacağı gerilme birikimi ve sismik riski araştırmışlardır. 1822 yılından itibaren hem sismik hem de tektonik yüklenmeden kaynaklı DAFZ boyunca gerilme birikimini hesaplamış ve fay zonu boyunca iki sismik boşluk tespit etmişlerdir.

Özdemir ve İnceöz (2003), DAFZ boyunca gözlemlenen akarsu ötelenmeleri ile tektonik yapılar arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, fay zonunun atımı ve yaşı hakkında bağıntı kurmuşlardır.

Yılmaz vd. (2006), Türkoğlu (Kahramanmaraş) ile Çelikhan (Adıyaman) arasında DAFZ boyunca fay düzlemi ölçümlerine ve deprem ($M > 5.0$) odak çözümlerine dayalı Neojen'den

günümüze kadarki gerilme rejimini araştırmışlardır. Değerlendirilen tüm veriler sonucunda, yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma kuvveti altında gelişmiş transpresiyonel bir rejim önerilmiştir.

Aksoy vd. (2007), DAFZ'na bağlı olarak gelişmiş Hazar Gölü havzasının tektonik modelini ortaya koymak için, çalışma alanındaki fayların geometrilerini tekrardan ortaya koymuşlardır. Aktif fayların ayrıntılı haritalanması, dağlımı ve birbirleriyle ilişkisini ortaya koyan bu çalışma, Hazar Gölü'nde fayın sıçrama yapmadığını belirtmişlerdir. Hazar Gölü'nün kuzeydoğusunda DAFZ'nun iki kola ayrıldığını belirten araştırmacılar Hazar Gölü havzasının gelişimi için, negatif çiçek yapısı modelini önermişlerdir.

Bulut vd. (2012), DAFZ boyunca sismik aktivite üzerine yoğunlaşarak, deprem verileri üzerinden DAFZ boyunca segmentasyon ve kinematik verileri belirlemişlerdir. İkincil fayların yanı sıra fay sisteminin içsel deformasyonunu ortaya koymuşlardır. Faylanma mekanizmalarının sol yanal doğrultu atım karakterinde olup, bölgesel GPS verileri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Normal fay oluşumunun K-G doğrultulu yapılar üzerinde meydana gelirken; bindirme fayı oluşumlarının D-B doğrultulu yapılarla sınırlandırıldığını ve bu durumun makaslama zonları için önerilen kinematik modellerle uyumlu olduğunu önermişlerdir.

Duman ve Emre (2013) çalışmalarında, sismik ve paleosismik verilerden de faydalanarak saha gözlemlerine dayalı DAFZ boyunca aktif fay haritalaması gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen veriler sonucunda araştırmacılar fay zonunu ana kol ve kuzey kol olmak üzere iki kısma ayırmışlardır. Fayın büklüm ve sıçrama yaptığı alanlara dayalı fay zonu boyunca belirlenen iki kol üzerinde fay segmentasyonu yapmışlardır. Çalışma alanı ana kol üzerinde belirlenen Pütürge segmenti ile Yarpuzlu sıkışmalı çift büklümünü kapsamaktadır. Ayrıca araştırmacılar Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yanal hareketin 2/3'ünün ana kol, 1/3'ünün ise kuzey kol tarafından karşılındığını önermişlerdir.

Sançar (2014), Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE) civarında Kuvaterner evrimini ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bu modellemeyi gerçekleştirebilmek için KAFZ'nun Ilıpınar segmenti, DAFZ'nun Göynük segmenti, Varto Fay Zonu ve bu faylarla ilişkili ikincil fayların geometrileri ve morfolojik özellikleri belirlenerek, alanının analog modellemesi yapılmıştır. KÜE civarında Kuvaterner'den günümüze gelişmiş olan faylanma mekanizması için "Prandtl Hücre Modelini önermiştir.

Özener vd. (2017), GPS hız verilerini kullanarak ülkemizdeki aktif fayların deprem üretme potansiyellerini anlamaya çalışmışlardır. Bu kapsamda DAFZ'ndaki kayma hızı oranları değerlendirildiğinde, Palu-Sincik ve Çelikhhan-Türkoğlu segmentlerinde kayma eksikliği bulunduğunu ve bu segmentlerin Mw7.5-7.7 büyüklüklerinde deprem üretme potansiyelleri olduğunu belirtmişlerdir.

Khalifa vd. (2018) çalışmalarında, DAFZ'nun morfotektonik özelliklerini inceleyerek fay zonunda tektonik jeomorfoloji açısından beş ayrı segment belirlemişlerdir. Sivrice ile Çelikhhan arasında yer alan fay segmentini, yani çalışma alanının yer alığı bölümü Pütürge segmenti olarak kabul etmişlerdir. Fay zonunun neotektonik aktivitesini ve evrimini ortaya koymak için, bu segmentler üzerinde uygun gördükleri profiller boyunca bazı morfometrik analizler (S_L , S_{mf} , V_f , AF, D_d , HI gibi) uygulamışlardır. Bu analizler sonucunda Pütürge segmentinin bu beş segment içindeki en aktif ikinci segment olduğunu ortaya koymuşlardır.

Köküm ve İnceöz (2018) çalışmalarında, DAFZ'nun Palu ile Uslu arasındaki kısmında fay düzlemlerine dayalı kinematik analiz yapmışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda belirtilen alan için üç ayrı deformasyon evresi tespit etmişlerdir. Bu evrelerin: 1) Orta Eosen-Orta Miyosen zaman aralığındaki KB-GD doğrultulu genişleme rejimi, 2) Geç Miyosen-Erken Pliyosen zaman aralığındaki yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma rejimi, 3) Geç Pliyosen'den günümüze etkili olan KD-GB doğrultulu sıkışma rejimi olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Khalifa vd. (2019), DAFZ'nun önemli splay faylarından biri olan Adıyaman Fayı'nın tektonik aktivitesini değerlendirmek için bazı jeomorfik indisleri (S_L , S_{mf} , V_f , AF, HC, HI gibi) uygulamıştır. Jeomorfik indislerden üçünün (AF, HC, HI) sonuçları yüksekte ortaya değişen tektonik aktivite ile Adıyaman Fayı'nın aktif bir fay olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar levha deformasyonunda az öneme sahip Adıyaman Fayı'nı, orta büyüklükte depremlerin geliştiği önemli bir sismik tehlike olarak değerlendirmişlerdir.

Şentürk vd. (2019), DAFZ ile ilişkisi tam olarak anlaşılmayan 2007 Sivrice depremini uzaktan algılama yöntemleriyle tekrardan değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar yüzeyde gözlenen yer değişim alanını haritalamak, deprem kaynak parametrelerini yeniden çözmek ve fay düzlemi geometrisini belirlemek için sismik haritayı yeniden oluşturmuşlardır. InSAR analizleri ve depremsellik dağılımı bu depremin DAF'nın güneyindeki ana splay fayı olan Adıyaman Fayı üzerinde meydana geldiğini ortaya koymuştur. Faylanmanın kinematik davranışı Hazar Gölü'nün tektonik çöküntü alanındaki transtansiyonel rejim ile uyumludur.

Tan ve Eyidoğan (2019), DAFZ üzerindeki son sismik aktiviteleri proje kapsamında kurdukları geniş bant deprem istasyonlarından belirlemiştir. DAFZ'na ait sismik araştırma ve çalışmanın öncesinde belirlenen fay mekanizma çözümlerine ek olarak, yeni fay çözümleri lokal moment tensör çözümleri ve P dalgalarının ilk hareket verileri ile elde edilmiştir. Elde edilen sismolojik veriler doğrultusunda DAFZ üzerindeki son tektonik rejimin Türkoğlu'nun güneyinde yer alan Amik ve Adana havzaları arasındaki transtansiyonel gerilme rejimi olduğunu belirlemişlerdir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

“Doğu Anadolu Fay Zonu’nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) arasındaki gerilme durumunun incelenmesi” başlıklı tez çalışması; ön çalışmalar, saha çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu temel aşamaların haricinde, tez kapsamında uygulanan yöntemler, ilgili bölümler içerisinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.1. Ön Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında, tez konusu ve inceleme alanı ile ilgili çalışmaların detaylı literatür araştırması yapılmıştır. Ön çalışmalarla birlikte çalışma alanı ve kullanılacak yöntemlerin daha iyi kavranması, çalışmanın literatüre sağlayacağı katkının önemini arttırmıştır. Ayrıca saha çalışmaları öncesi inceleme alanına ait sayısal 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar, çeşitli ölçeklerde jeolojik haritalar ve uydu görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu materyaller, bir ön hazırlık niteliğinde olup; saha öncesi çalışmalar için arazi hakkında önemli veri kaynağı oluşturmuştur. Herece (2008) tarafından gerçekleştirilen “Doğu Anadolu Fay Atlası” isimli yayın içerisinde çalışma alanına karşılık gelen Şiro bölütüne ait 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası altlık olarak kullanılmıştır. Ayrıca saha öncesi ve sonrasında yürütülen uzaktan algılama çalışmaları, ücretsiz erişim ile elde edilen uydu görüntüleri (Landsat 8 ve ASTER Level 1T) ve sayısal yükseklik modelleri (SRTM) üzerinden gerçekleştirilmiştir. SRTM ve Landsat 8 uydu görüntüleri USGS üzerinden elde edilirken, ASTER uydu görüntüleri MADAS üzerinden indirilmiştir. SRTM görüntüleri tektonik hatların belirlenmesinde ve tektonik haritanın oluşturulmasında kullanılmıştır. Landsat 8 uydu görüntüleri ise çalışma alanındaki çizgiselliklerin belirlenmesi için işlenmiştir. ASTER uydu görüntüleri ise morfolojik yorumlama için zenginleştirilmiştir. İnceleme alanına ait aletsel dönem deprem verilerine ise AFAD internet sitesi üzerinden erişim sağlanmıştır. Tarihsel deprem verilerine ise çeşitli katalog ve çalışmalardan ulaşılmıştır. Bu ön çalışmaların tümü, saha çalışmalarında kinematik ölçüm lokasyonlarının belirlenmesinde büyük faydalar sağlanmıştır.

2.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları 2017 ve 2018 yıllarının bahar ve yaz aylarında mevsim şartlarının elverişli olduğu zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı boyunca yüzeyleme koşullarının izin verdiği ölçülerde farklı birimlerden kinematik ölçümler alınmıştır. Farklı deformasyonların etkilediği elverişli mostralardan fay düzlemi ve kayma verilerinin durumları pusula yardımıyla ölçülmüştür. SRTM uydu görüntüsü üzerinden oluşturulan 1/100.000 ölçekli tektonik harita kinematik ölçümlerin lokasyonları ve morfolojik gözlemler yardımıyla saha çalışmaları kapsamında kontrol edilerek, gerekli düzeltmeler ve eklemeler yapılmıştır. Ayrıca gerilme durumlarını desteklemek

amacı ile sıkışmanın bir diğer ürünü olan kıvrımların kanatlarından tabaka duruşu ve kıvrım eksenini ölçülerek sıkışma yönü saptanmıştır. Basınç sırtı, akarsu ötelenmeleri, çizgisel vadiler, üçgen yüzeyler ve uzamış sırtlar gibi aktif tektoniği gösteren morfolojik unsurlar da saha çalışmaları sırasında tespit edilmiş ve çalışma alanı boyunca deformasyonların yaşlandırılmasında büyük fayda sağlamıştır.

2.3. Büro Çalışmaları

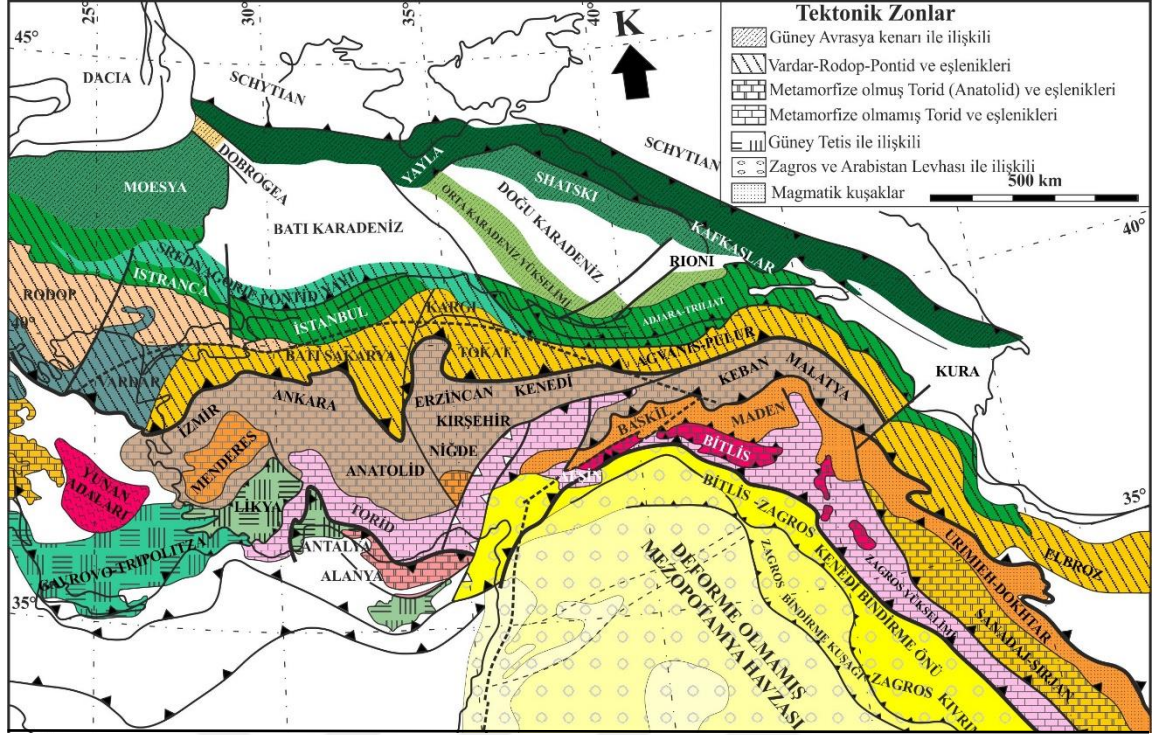
Saha çalışmalarından elde edilen veriler büro çalışmaları kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda saha çalışmalarından toplanan tüm veriler dijital olarak kayıt edilmiş ve düzenlenmiştir. Paleostres analizi için fay topluluklarından ölçülen kinematik veriler, Delvaux ve Sperner (2003) tarafından geliştirilen analitik yaklaşıma sahip Wintensor yazılımı ile değerlendirilmiştir. Fay topluluklarının en iyi gerilme tensörü hesaplaması için fay kinematik verilerinin tersine döndürülmesine dayanan bu yöntem ile gerilme eksenleri (σ_1 , σ_2 , σ_3) ve gerilme şekli oranı (R) belirlenmiştir. Gerçekleştirilen paleostres analizleri morfolojik ve yapısal gözlemlerle birlikte değerlendirilmiş ve deformasyon geçmişi ortaya konmuştur. Ek olarak Landsat 8 uydu görüntülerinin zenginleştirilmesi esas alınarak, çalışma alanının çizgisellikleri manuel olarak belirlenmiştir. Elde edilen çizgiselliklerin başlangıç ve bitiş noktalarına göre sayısal olarak belirlenen doğrultuları gül diyagramında değerlendirilerek, gerilme elipsoidinde yorumlanmıştır. ASTER uydu görüntüleri ise esas olarak tektonik ve morfolojik unsurların belirlenmesinin yanı sıra litolojik ayırım için işlenmiş ve yorumlanmıştır. Son olarak elde edilen tüm veriler ve gerçekleştirilen tüm çalışmalar harmanlanıp, tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLGESEL JEOLJİ VE TEKTONİK

Dünya üzerinde meydana gelen levha hareketleri, küresel ölçekte orojenik ve epirojenik hareketlerin oluşumuna yol açmaktadır. Bu orojenik hareketler Türkiye'nin günümüzdeki jeolojik ve tektonik temelini oluşturmuştur. Özellikle Tetis'in iki fazlı evrimi Türkiye'nin orojenik gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Tetis'in evrimi Alpin orojenik olaylarının yaşandığı dönemi kapsamaktadır. Alpin orojeni öncesi diğer orojenik hareketlerden (Kaledoniyen orojeni, Hersiniyen orojeni gibi) de etkilenen Türkiye'nin günümüz coğrafyası, ağırlıklı olarak şiddetli deformasyonların gerçekleştiği Alpin orojenik döneminde şekillenmiştir.

Bu anlamda doğal bir laboratuvar olan Anadolu geçmişten günümüze birçok çalışmacının (Blumenthal, 1946; Egeran, 1947; Ketin, 1966) ilgisini çekmiştir. Bu araştırmacılar orojenik hareketlerin etkilerini taşıyan bu dağ kuşaklarında, Paleozoyik yaşlı metamorfik-kristalin masiflere dayalı olarak Türkiye'nin tektonik birliklerini belirlemişlerdir (Ketin,1966). Bu çalışmaların üzerine ilerleyen yıllarda Anadolu, birçok çalışmaya konu olmuş; yerel çalışmalardan derlenen veriler bazı araştırmacılar tarafından bölgesel ölçekte yorumlanmıştır. Ketin (1966) orojenik evrime dayalı Türkiye'yi dört tektonik bölgeye ayırarak incelemiştir. Bu tektonik bölgeleri kuzeyden güneye: 1) Pontidler, 2) Anatolidler, 3) Toridler ve 4) Kenar Kıvrımları olarak isimlendirmiştir. Şengör ve Yılmaz (1981) ise Tetis'in evrimine bağlı suture zonlarını belirleyerek, Sakarya kıtasını Pontid ve Anatolid-Torid platformlarından ayrı bir tektonik bölge olarak sınıflandırmışlardır. Okay ve Tüysüz (1999), Türkiye'de ofiyolitik suturelar tarafından ayrılan kıtasal blokları tektonik birlikler olarak değerlendirmişlerdir (Şekil 3.1).

Türkiye kuzeyde Avrasya güneyde Gondvana kıtaları arasındaki yakınsama sonucu gelişen Alpin Orojenik Kuşağı'nda bulunmaktadır. Birçok çalışmacı tarafından tek bir okyanus gibi düşünülen Tetis Okyanusu'nun, aslında, farklı dönemlerde açılmış ve kapanmış iki ayrı okyanus olduğunu dile getirmişlerdir. Bunlar birçok kola ayrılan, karmaşık görünümlü Paleo-Tetis ve Neo-Tetis okyanuslarıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981).



Şekil 3.1. Türkiye ve çevresindeki tektonik zonların dağılımının harita görünümü (Kaymakçı vd., (2010)'den düzenlenmiştir)

Bu deformasyon fazlarından ilki, Permo-Liyas süresince Paleo-Tetis okyanusu altındaki güneye eğimli bir dalma batma zonu tarafından denetlenmektedir. Bu süreçte Türkiye'nin tümü güneyde yer alan Gondvana kıtasının kuzey kısmına bağlıydı. Triyas başlarında bu dalma batma zonu üzerinde bir kenar havza (Karakaya kenar denizi) açılmaya başlamıştır. Geç Triyas döneminin sonlarında güneyde başlayan riftleşme, Gondvana'nın kuzey kısmından Kimmer kıtasının koparak; kuzeye doğru ilerlemesine yol açmıştır. Bu durum sonucunda Gondvana ve Kimmer kıtaları arasında Neo-Tetis'in oluşumu meydana gelmiştir. Erken Jura döneminin başlarında Karakaya Kenar Denizi'nin kapanmasıyla; Kimmer Kıtası'nın Paleo-Tetis yayının ardında parçalanması, Neo-Tetis'i kuzey ve güney kol olmak üzere ikiye bölmüştür. Orta Jura dönemi boyunca Neo-Tetis'in kapladığı alan genişlerken, kuzeye doğru ilerleyen Kimmer Kıtası Paleo-Tetis'in kapanmasına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999).

İkinci deformasyon fazı ise Erken Kretase boyunca maksimum boyutlarına ulaşmış olan Neo-Tetis okyanuslarının Geç Kretase'deki kapanmaları ile ilişkilidir. Neo-Tetis'in kuzey kolu Anatolide-Torid platformu boyunca Avrasya kıtasını Bitlis-Pütürge bloğundan ayırırken; güney kol ise tüm bunları Gondvana kıtasından ayırmıştır. Pontid-içi, İzmir-Ankara ve İç Torid okyanuslarının oluşturduğu Neo-Tetis'in kuzey kolu çok sayıda kola bölündüğü için, güney koldan daha karmaşık bir görünüme sahiptir. Geç Kretase döneminin başlarında etkili olan sıkışma, Neo-Tetis Okyanusu'nun her iki kolunda kuzeye eğimli dalma batma zonlarında yitim ile

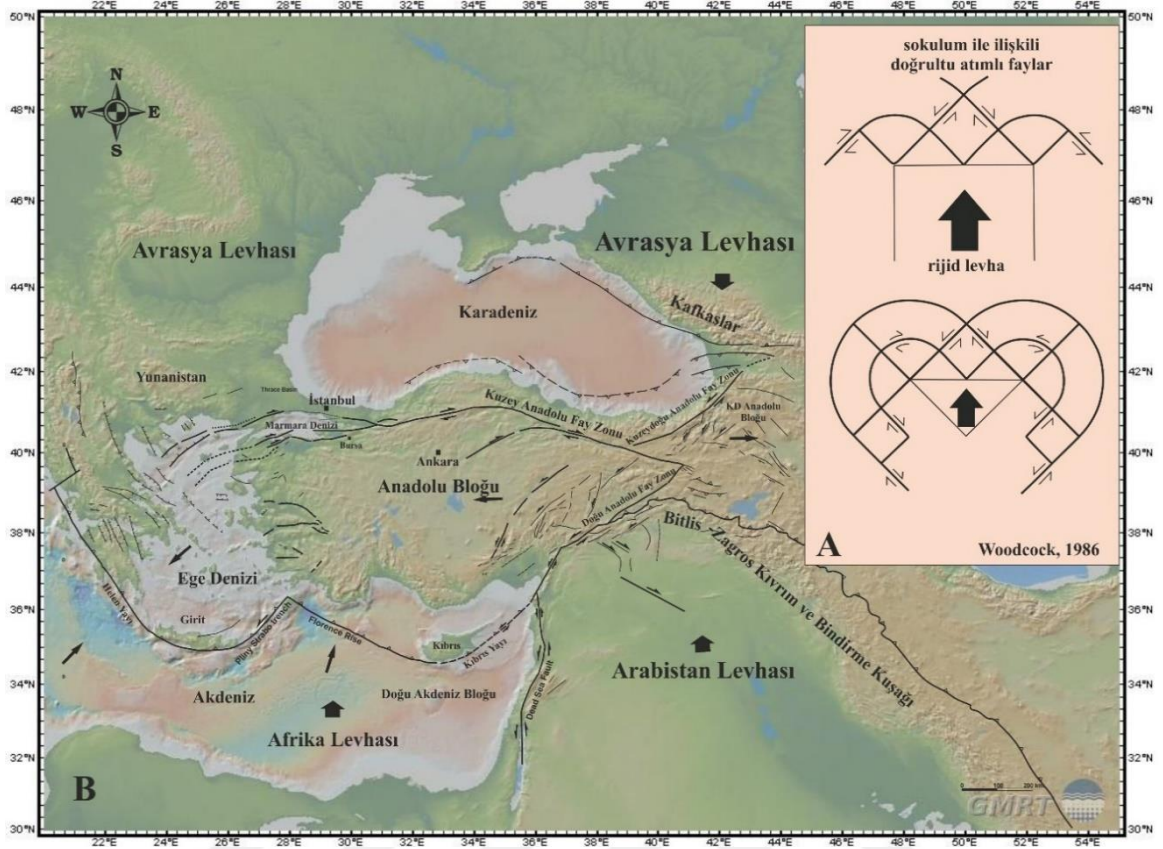
sonuçlanmıştır. Geç Kretase boyunca yitime bağlı, kuzeyde ofiyolit yerleşimleri (Bozkır ofiyolit napının Anatolid-Torid platformunun kuzeyine yerleşimi) ve kenar havza oluşumları (Karadeniz'in oluşumu) gerçekleşmiştir. Diğer iki ofiyolit yerleşimi ise güneyde Bitlis-Pütürge bloğu ile Arap platformunun kuzey kenarına yerleşmiştir. Kampaniyen-Maastrichtiyen zaman aralığındaki yakınsama sonucu gerçekleşen bu ofiyolit yerleşimleri Bitlis-Pütürge bloğu ile Arabistan arasındaki yitim ile sonuçlanmıştır. Bu yitim sonrasında Bitlis-Pütürge bloğunun kuzey kenarında bulunan İç Torid okyanusunun tabanı tüketilerek; Yüksekova Karmaşığı'nın birimleri oluşmuştur. Bu süreçten Orta Eosen dönemine kadar Bitlis-Pütürge bloğu üzerindeki ofiyolit napları parçalanarak; bu dalma batma zonu üzerinde Maden ve Çüngüş kenar havzaları açılmıştır. Erken-Geç Eosen döneminde Anatolid-Torid platformu kuzeyde bulunan Pontid yay sistemi ile çarpışmıştır. Bu süreç ise Maden havzasının hızla açılıp kapanmasına ve Toridler'in Arap platformu üzerine nap hareketlerinin başlaması ile güneye eğimli bir iç imbrike zonunun oluşumuna yol açmıştır. Ayrıca bu süreçte kenar havzaların açıldığı kuzeye eğimli dalma batma zonu kapanmış ve nap hareketleri Anatolidler'i ezerek metamorfize etmiştir. Son olarak Serravaliyen'de Arabistan ile Avrasya levhaları arasında gerçekleşen nihai çarpışma ile Çüngüş havzası da kapanmıştır. Nihai çarpışma sonrasında devam eden yakınsama kıta içi deformasyona ve kaçış tektoniğine yol açmıştır. Kaçış tektoniği artan kabuk kalınlığına bağlı olarak sağ yanal KAFZ ile sol yanal DAFZ boyunca Anadolu'nun batıya göçü ile sağlanmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Anadolu'nun jeolojik ve tektonik gelişiminde oldukça etkili olan Alpin Orojeni birçok araştırmacının odak merkezi olmuş ve gelişim zamanları dikkate alınarak, Doğu Anadolu'da birimler paleotektonik ve neotektonik olarak iki grupta sınıflandırılmıştır. Paleotektonik birimler; kuzeyde Rodop-Pontid yayı, merkezde Doğu Anadolu Yığışım Karmaşığı (DAYK) ve güneyde Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BZSZ) olmak üzere üç farklı gruptan oluşmaktadır. Bu paleotektonik birimler, sütur zonlarının oluşumuna bağlı olarak gelişmiş magmatik yaylar, ofiyolitik naplar, metamorfik masifler ve fliş fasiyeslerinden oluşmaktadır. Neotektonik birimler ise, nihai çarpışmanın gerçekleştiği Serravaliyen'den itibaren paleotektonik birimlerin üzerine uyumsuz olarak çökelen birimlerden ve devam eden yakınsamayla ilişkili kıta içi genç volkanik birimlerden oluşmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Bu bölgedeki birimlerin konumları ve birbirleri ile ilişkilerine göre doğu Türkiye'deki birimler güneyden kuzeye doğru Arabistan platformu, imbrike (ekay) zonu ve nap zonu olarak tektonik anlamda 3 grupta sınıflandırılmıştır. Tektonik gruplar içerisindeki birimler otokton ve allokton olarak ayrı değerlendirilmiş olup, birimlerin yerleşimleri ve oluşumlarının Alpin orojenik evriminin iki önemli deformasyon fazına karşılık geldiği ortaya konmuştur (Yılmaz, 1993). Deformasyonun ilk fazı Geç Kretase döneminde Arabistan platformu üzerine ilk ofiyolit yerleşimidir. Bu sıkışmalı deformasyon sonucu Neo-Tetis'in güney kolu kapanmamış ve bu deformasyon sonrasında bölge genelinde etkili olan genişleme ile yeni bir denizel transgresyonun

gelişimi meydana gelmiştir. Deformasyonun ikinci fazı ise Orta Eosen-Miyosen zaman aralığında iki aşamalı olarak gelişmiş olup; Neo-Tetis'in güney kolunun tamamen kapanması ve Arabistan Levhası ile Avrasya Levhası'nın güneyini oluşturan naplar arasındaki nihai çarpışma ile son bulmuştur. Bu faz sonucu en üst tektonik dilimi oluşturan alt nap ve üst nap paketleri güneye doğru itilmiştir. Alt nap paketi Maden Karmaşığı ve çok fazlı metamorfizmaya uğramış ofiyolitik toplulukları kapsarken; üst nap paketi Bitlis-Pütürge metamorfik masiflerinden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993).

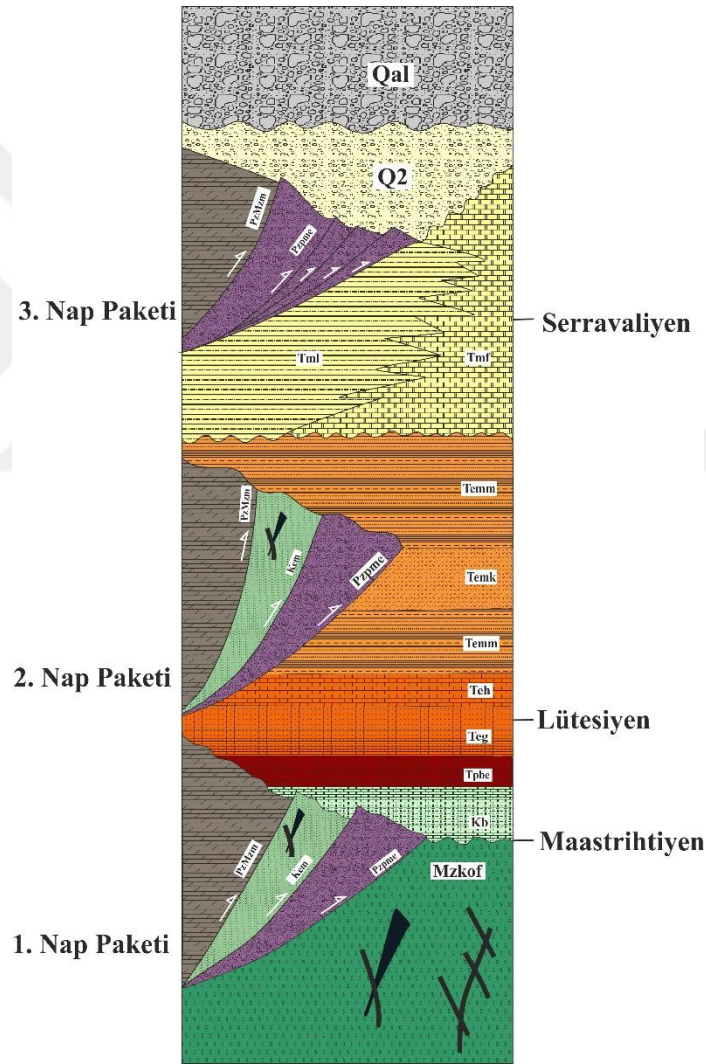
Bazı araştırmacılar (Örneğin, Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001) ise Türkiye'yi, neotektonik dönemde oluşan yapısal unsurlara ve deformasyon biçimlerine göre bölgelere ayırmışlardır. Paleotektonik dönemin, Neo-Tetis'in güney kolunun farklı jeolojik dönemlerde kapanmasıyla sonuçlandığını ve bunun sonucunda Anadolu'nun paleocoğrafyasında meydana gelen önemli değişimlerin olduğu belirtilmiştir. Çarpışma sonrası kenet boyunca Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsamanın devamlılığı ile gelişen kıvrım, bindirme, çatlak ve ters fay oluşumları tarafından denetlenen; kabuk kısılması ve kalınlaşmasına bağlı 2 km yüksekliğindeki Doğu Anadolu Platosu ve Doğu Anadolu Yığılım Karmaşığı oluşmuştur (Koçyiğit vd., 2001). Erken Pliyosen'den itibaren levhalar arasındaki yakınsamaya bağlı gelişen sıkışmalı paleotektonik rejimin doğrultu atım rejimine dönüşmesiyle, Türkiye için neotektonik dönem başlamıştır. Böylece kıta içinde kabukta kısılma ve kalınlaşma şeklinde görülen deformasyon, yerini kaçış tektoniğine bırakmıştır. Bunun sonucunda Türkiye'nin neotektonik hatlarını oluşturan sağ ve sol yanal Kuzey ve Doğu Anadolu Fay zonları oluşmuştur. Ayrıca ÖDFZ, Bitlis süturu, Ege ve Kıbrıs yayları da neotektonik gelişimin önemli yapısal unsurlarıdır (Şekil 3.2). Bu neotektonik yapılar ve bölgesel yapısal unsurlar dikkate alınarak Türkiye dört farklı neotektonik bölgeye bölünmüştür. Bunlar: 1) Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, 2) Kuzey Anadolu bölgesi, 3) Orta Anadolu 'Ova' bölgesi ve 4) Batı Anadolu genişleme bölgesidir (Bozkurt, 2001). Neotektonik rejimin yol açtığı kaçış tektoniği, Doğu Anadolu'da KB-GD doğrultulu sağ ve KD-GB doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı faylar, K-G doğrultulu açılma çatlakları ve doğrultu atımlı havzalar tarafından karakterize edilmektedir (Koçyiğit vd., 2001).



Şekil 3.2. (A) Yakınsayan kıtalar arasında sokulum ile ilişkili olası kinematik modellerin şematik görünümü, (B) Türkiye'nin tektonik unsurlarını gösteren şematik harita (Bozkurt, 2001'den düzenlenmiştir).

4. STRATİGRAFİ

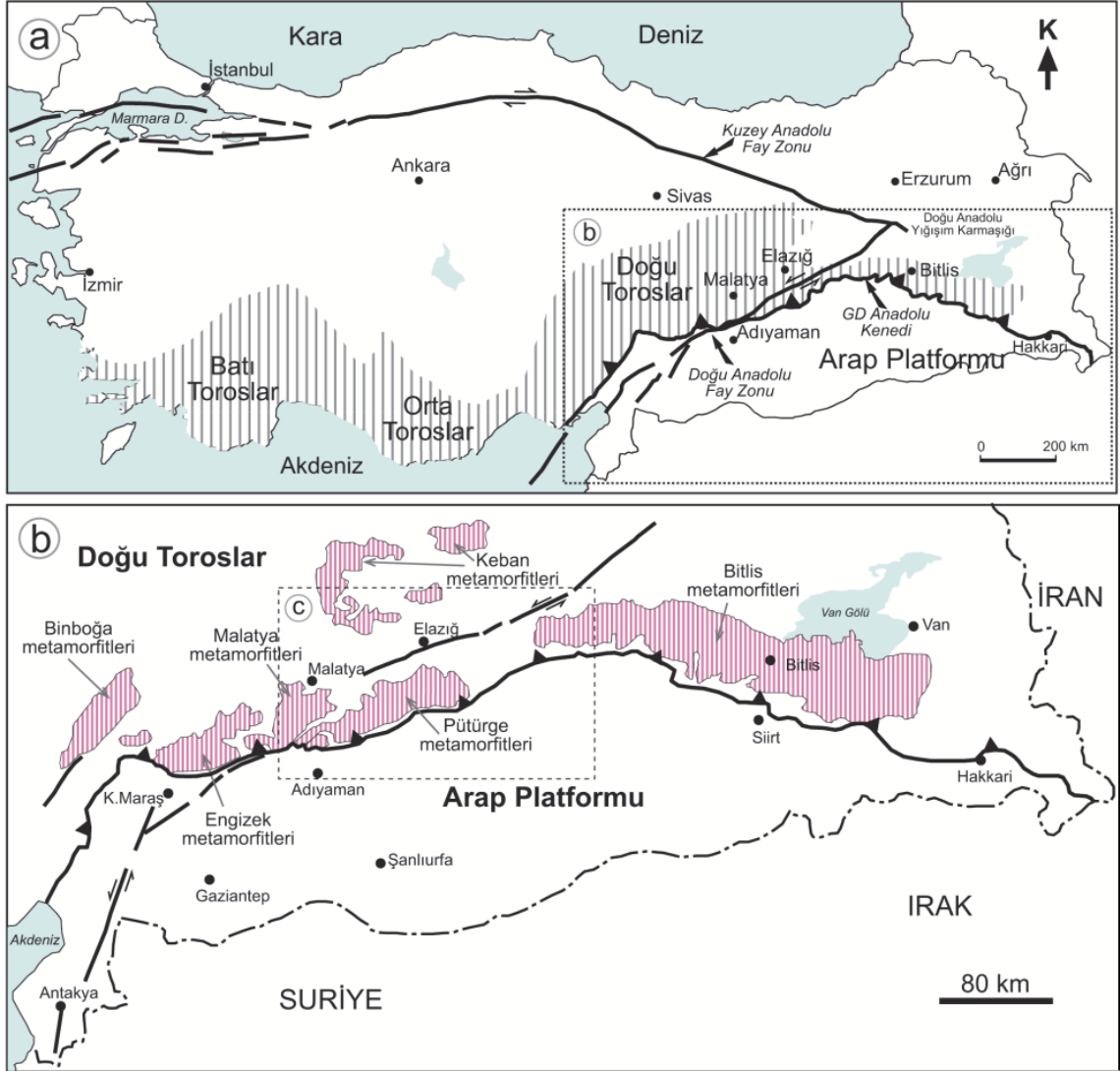
Çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu otoktonu üzerine tektonik olarak yerleşen allokton birimlerden ve bu allokton birimleri uyumsuz bir şekilde örten genç birimlerden oluşmaktadır (Şekil 4.1). Çalışma alanında metamorfik ve kristalin masifler geniş yayılımlar göstermektedir. Masiflerin yanı sıra ofiyolit napları ve farklı kökendeki magmatik intrüzyonlar da yüzeylemektedir. Pre-Kambriyen'den günümüze geniş yaş aralığı gösteren bu birimlerin özellikleri yaş sıralamasına göre alt başlıklar şeklinde verilecektir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Çalışma alanının tektonostratigrafik kesitinin görünümü (Pzpme: Pütürge Metamorfitleeri, PzMzm: Malatya Metamorfitleeri, Mzkof: Koçalı Ofiyolitleri, Kb: Besni Formasyonu, Tpbe: Belveren Formasyonu, Teg: Gerçüş Formasyonu, Teh: Hoya Formasyonu, Temm: Melefan Formasyonu, Temk: Karadere Formasyonu, Tmf: Fırat Formasyonu, Tml: Lice Formasyonu, O2: Yamaç molozu, Qal: Alüvyon (Perinçek ve Özkaya (1981) ile Yılmaz'dan (1993) değiştirilerek çizilmiştir)

4.1. Pütürge Metamorfitleeri

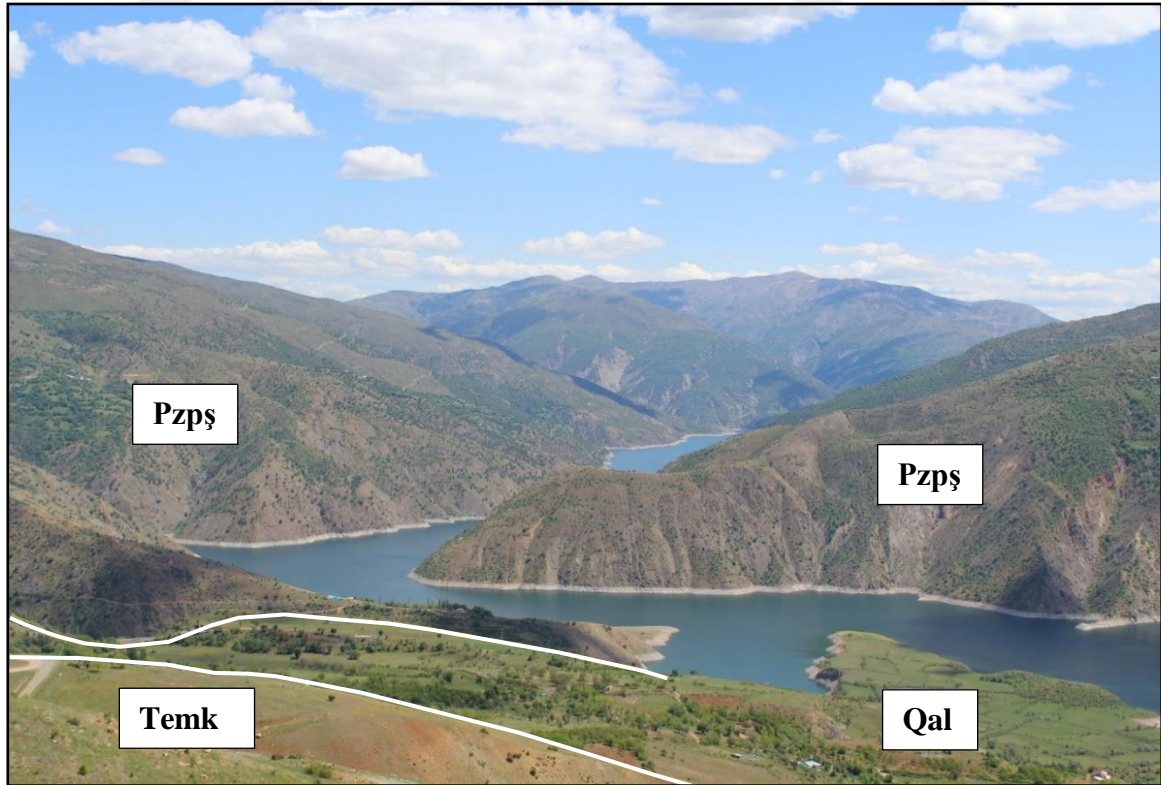
Anadolu'daki metamorfik masiflerin Afrika-Arabistan levhalarının kuzey kısmını temsil ettiğini belirten Kellog (1960), Arap Platformu çökel birimleri ile bu metamorfik masiflerin litolojik kökeninin kıyaslanması gerektiğini önermiştir. Bu fikir birçok araştırmacı (Baştuğ, 1976; Çağlayan vd., 1983; Yazgan, 1983, 1984; Göncüoğlu ve Turhan, 1985) tarafından desteklenmiş olup; Anadolu'nun iskeletini oluşturan bu yaşlı masifler (Şekil 4.3) birçok yönden araştırma konusu olmuştur.



Şekil 4.3. (a) Türkiye’de Torosların dağılımını gösteren harita görünümü, (b) Doğu Toroslar boyunca izlenen metamorfik ve kristalin masiflerin yayılımı, (c) çalışma alanı (Şahin ve Işık, 2010)

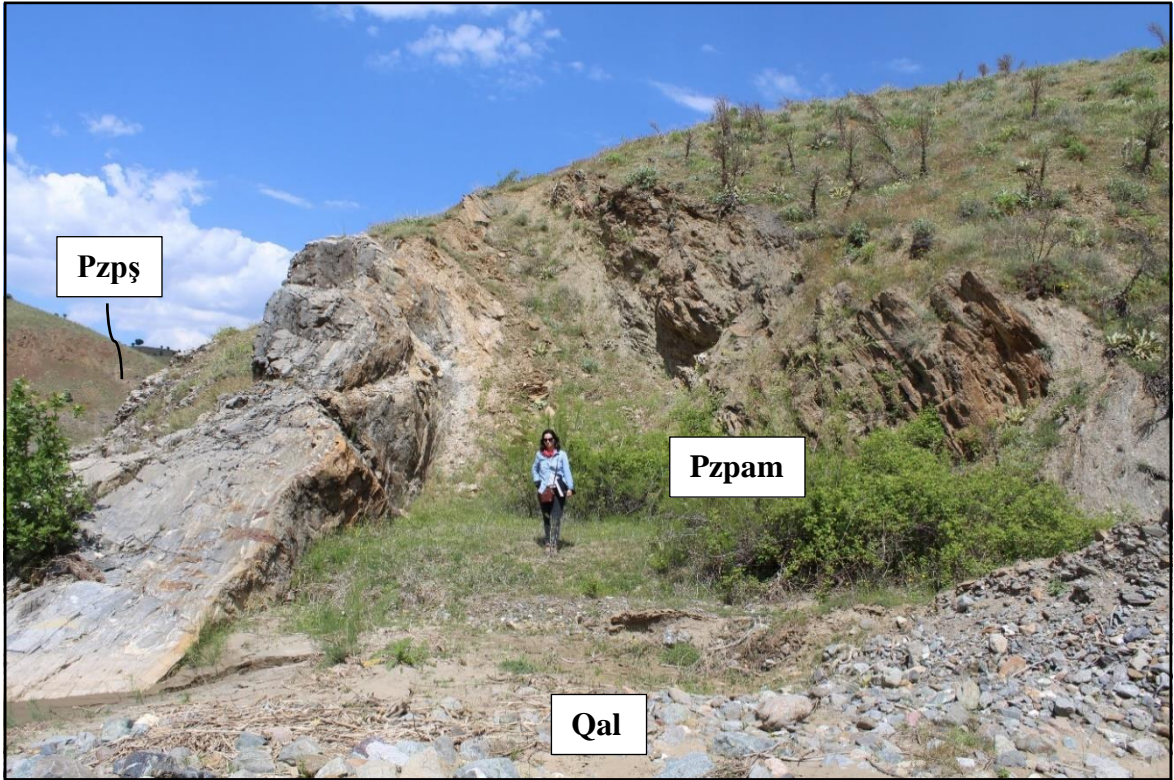
Afrika-Arabistan levhalarının kıta kenarı özelliğindeki sedimanter istiflerinden oluşan masifler, tektonik hareketler sonucu ofiyolit yerleşimlerine bağlı olarak parçalanmış ve bölgesel metamorfizmaya uğramıştır (Ketin, 1966; Göncüoğlu ve Turhan, 1984; Yılmaz vd., 1984; Hempton, 1985, Yazgan ve Chessex, 1991). Bitlis Metamorfitleri göstermiş olduğu litolojik ve tektonostratigrafik özelliklere göre Pütürge Metamorfitlerinin doğudaki devamı niteliğindedir (Yazgan ve Chessex, 1991; Yılmaz ve Yiğitbaş, 1991). Pütürge dolaylarında geniş mostralara veren birim, “Pütürge Metamorfitleri” olarak ilk defa Perinçek (1978) tarafından adlandırılmış olup literatürde “Pütürge Masifi” olarak da bilinmektedir. 30 km genişliğindeki bu zon yaklaşık D-B uzanımı ile Bitlis Sütür Zonu’na paralellik göstermektedir.

Pütürge-Bitlis Metamorfik Kuşağı olarak adlandırılan bu masifler gözlü gnays, amfibolit, mikaşist, kalkışist, kuvars-şist, mermer, klorit ve serisitşist, meta-kumtaşı ve arkozik kumtaşlarından oluşmaktadır. Pütürge Metamorfitlerini oluşturan istifler, çoğu araştırmacı tarafından çekirdek-örtü (Çağlayan vd., 1983; Hempton, 1985) birimleri ya da alt-üst birlik (Göncüoğlu ve Turhan, 1984; Erdem, 1994) olarak iki grupta incelenmektedir. Şiddetli metamorfizma geçiren masifin çekirdeği gözlü gnayslardan ve şistlerden oluşmaktadır (Şekil 4.4). Örtü birimleri ise çekirdeğin etrafını kaplayan, çekirdeğe nazaran daha düşük dereceli metamorfizmaya maruz kalmış sleyt, fillit ve mermerlerden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993).



Şekil 4.4. Doğanbağı-Kalaba köyünden Pütürge Metamorfitleri’ne ait şistlerin (Pzps) arazi görünümü (Temk: Karadere Formasyonu, Qal: Alüvyon, GD’ya bakış)

Hazar Gölü'nün doğusundan Çelikhhan'a kadar geniş bir alanda yüzlek veren Pütürge Masifi, çalışma alanının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışma alanında masifin bütün birimleri mostra vermektedir. Pütürge Masifi Yarpuzlu'dan Şiro vadisine kadar, DAFZ boyunca milonitik bir zon olarak izlenmektedir (Şekil 4.5). Çalışma alanının güney kısmını kaplayan Pütürge Metamorfitleleri, kuzey kesimde bulunan Eosen yaşlı Maden Karmaşığı tarafından ve güncel birimler tarafından uyumsuz bir dokanak sergilemektedir.



Şekil 4.5. Şiro vadisinde DAFZ boyunca izlenen Pütürge Metamorfitleleri'ne ait amfibolitlerin (Pzpam) mostra görünümü (Pzpş: Pütürge Metamorfitleleri-şist, Qal: Alüvyon, D'ya bakış)

Pütürge Metamorfitleleri en az dört farklı deformasyon fazına maruz kalmıştır. Alpin dağ ve kıta oluşumuna bağlı deformasyon sürecinden etkilenen metamorfik birimler, yeşilşist fasiyesinden almandin-amfibolit fasiyesine değişen çok aşamalı metamorfizma geçirmiştir. Alpin orojenik hareketlerinin oldukça etkili olduğu ilk faz, şiddetli metamorfizmanın yaşandığı kıvrım ve foliyasyon gibi yapısal unsurların yoğun olarak geliştiği sünek bir deformasyonu işaret etmektedir. Diğer deformasyon fazları ilk deformasyon fazına oranla daha az yoğunlukta gelişmiş olup; her deformasyonda oluşan yapısal unsurlar bir önceki deformasyonda gelişmiş olan yapıları üzerlemiştir. DAFZ'nun gelişimini temsil eden son faz ufak yer değişimlerinin olduğu, masifi enine

keseň çok sayıda dođrultu atımlı faylanmaya bađlı geliřmiř deformatyon 6zelliđi g6stermektedir (Hempton, 1985).

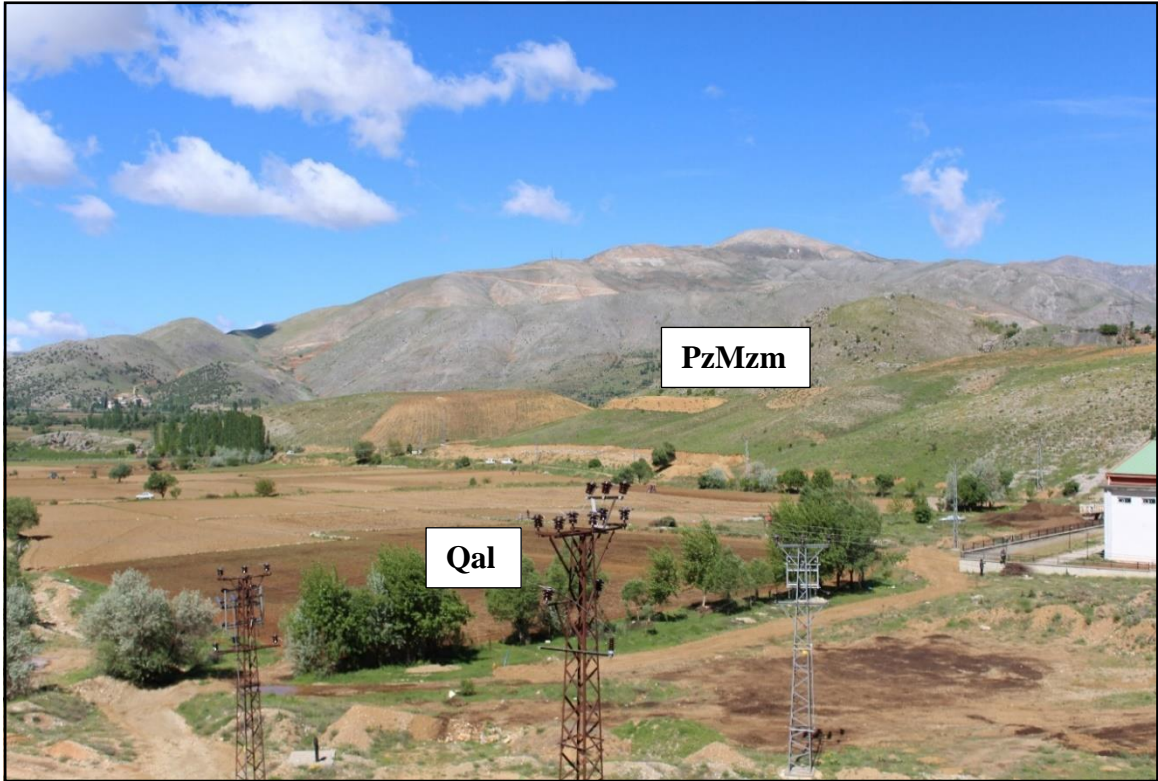
P6t6rge Metamorfiteeri Pre-Kambriyen'den Mesozoyik'e geniş bir yaş aralığı sunmaktadır. Rigo de Righi ve Cortessini (1964) bu metamorfik karmaşık i7erisinde yer alan rekrystalize kire7taşlarının, Permiyen-Karbonifer d6nemine ait fosiller i7erdiğini belirtmiştir. Masifin metapelit birimlerinden mikaşistlere uygulanan K-Ar radyometrik y6ntemi sonucu, t6m kaya7 i7in rekrystalizasyon ve soğumanın minimum yaşı Kampaniyen-Maastrichtiyen (~71.2±3.6My) olarak belirlenmiştir (Hempton, 1985). P6t6rge Metamorfiteeri birimlerinden ayıklanan amfibolit ve muskovit minerallerine uygulanan K-Ar radyometrik yaş tayini sonucu, 85 My'dan 72 My'a değişen yaş aralığı tespit edilmiştir (Yazgan ve Chessex, 1991). Masifin 7ekirdeğini oluşturan g6zli gnayslar 6zerine uygulanan U-Pb radyometrik y6ntemi sonucu Ge7 Neoproterozoik-Erken Kambriyen (544-551 My) yaş aralığı elde edilmiştir (Beyarslan vd., 2016). Bu g6zli gnaysların zirkon mineralinden elde edilen Hf^(t) değerleri yaşlı kıtasal kabuğun magma oluşumunda rol aldığını ve bu yaşlı kabuğun Mesoproterozoik yaşlı olduğunu g6stermektedir (Beyarslan vd., 2016).

Bir kıta kenarı sedimanter istifini temsil eden P6t6rge Masifi i7erisinde yer alan metapsammit ve rekrystalize kire7taş ara katmanları, kıta yamacında t6remiş t6rbidit akıntı 76keli 6zelliğindedir (Hempton, 1985). Masif i7erisindeki metapelit birimlerinden tespit edilen kloritoid, granat-biyotit, granat-muskovit, stavrolit, kiyanit, silimanit ve fenjit mineral topluluklarının varlığı, sedimanter istifin ge7irmiş olduğu 7ok fazlı deformatyon sonucu 6st yeşilşist fasiyesinden en 6st amfibolit fasiyesine metamorfize olduğunu g6stermektedir (Yazgan ve Chessex, 1991). Barroviyen zonunu temsil eden mineral toplulukları, P6t6rge Metamorfiteeri'nin yaklaşık 25 km kabuk derinliğinde, 700°C sıcaklık ve 9 kbar basın7 koşulları altında metamorfizma ge7irdiğini g6stermektedir (şahin ve Işık, 2010). Masiflerin 7ekirdeğini oluşturan g6zli gnays ve metagranitlerin Gondvana'nın kuzeyinde g6neye doğru dalımlı bir yitimin sonucu oluşan birimler olduğu kabul edilmektedir (Usta6mer vd., 2009, 2012; G6rsu vd. 2015; Beyarslan vd., 2016). Jeokimyasal karakteri aktif kıta kenarı magmatizmasını g6steren P6t6rge Metamorfiteeri Paleozoyik'e kadar Gondvana'nın bir par7asıdır. Bu metamorfik masifler Neo-Tetis'in rifleşmesi s6resince ayrılmış ve Oligosen-Miyosen zaman aralığında tekrar birleşmişlerdir. P6t6rge Metamorfiteeri'nin alt birimlerinin y6ksek dereceli metamorfizması muhtemelen Gondvana'nın kuzeydoğusunun tekrar masiflerle birleşmesine neden olan son 7arpışma ya da Gondvana'nın kenarı boyunca bir sonraki dalma batma zonunun gelişimi ile ilişkilidir (Beyarslan vd., 2016).

4.2. Malatya Metamorfitleeri

Doğu Toroslar'daki metamorfik kuşağın batı uzantısını oluşturan ve Malatya'nın güney kesiminde geniş mostralara veren birim, "Malatya Metamorfitleeri" olarak Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Karbonatlı kayalar tarafından temsil edilen Malatya Metamorfitleeri, baskın litolojisi kırıntı kökenli olan Pütürge Metamorfitleeri'nden mineralojik, dokusal ve metamorfizma özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu yüzden genellikle kuzeyde yer alan Keban Metamorfitleeri ile karşılaştırılmakta ve Keban Metamorfitleeri'nin güneydeki devamı niteliğinde olduğu düşünülmektedir (Michard vd., 1984).

Birimin alt kısmını kırıntılı kökenli metamorfik birimler oluştururken, üst kısmı oldukça kalın karbonat kökenli metamorfik birimlerden oluşmaktadır (Karaman vd., 1993). Yapılan yerel çalışmalar sonucu, Malatya Metamorfitleeri'ni oluşturan birimler özelliklerine göre formasyonlara ayrılarak incelenmiştir. Bu formasyonlar: Çayderesi (Pç), Alıçlı (T_{RA}), Kayaköy (T_{RJKk}), Ula (JKu) ve Karaböğürtlen formasyonları (Kk) olarak belirlenmiştir (Özgül vd., 1981; Bedi vd., 2005; Herece, 2008). Malatya Metamorfitleeri çoğunlukla rekristalize kireçtaşları ve mermerlerden oluşmaktadır (Şekil 4.6). Karbonatlı kayaların yanı sıra, az oranda kırıntılı kökenli fillit, şist ve yer yer metabazik kayalar görülmektedir (Şahin ve Işık, 2010).



Şekil 4.6. Çelikhane civarında Malatya Metamorfitleeri'ne (PzMzm) ait kalın karbonatlı birimlerin arazi görünümü (Qal: Alüvyon, GB'ya bakış)

Aşınmaya karşı dayanıklı karbonat kökenli litolojisi ile Çelikhan civarındaki önemli yükseltileri oluşturmaktadır (Şekil 4.6). Malatya Metamorfileri her ne kadar Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermerler olarak bilinse de, Malatya'nın hemen güney kesimlerinde birime ait şist, fillit gibi kırıntılı kökenli litolojiler görülmektedir. Çelikhan'a doğru birimin üst tektonik dilimini oluşturan kalın katmanlı rekrystalize kireçtaşları, dolomitler ve mermerler yer almaktadır. Boz ve gri renklerde görülen orta-kalın katmanlı karbonatlı kayaçlar içerisinde tektonik hareketlerin etkisiyle kıvrımlar gelişmiştir (Şekil 4.7). Birimin alt kesimlerini oluşturan kayaçlar ise folyasyon yapısı göstermektedir.



Şekil 4.7. Çat barajı kenarında Malatya Metamorfileri'ne (PzMzmme) ait karbonatların kıvrımlı mostra görünümü (KB'ya bakış)

Çalışma alanında Malatya şehir merkezinden Çelikhan ilçesinin güney kesimlerine kadar geniş yayılım göstermektedir. Kendi içinde uyumlu dokanak ilişkileri gösteren Malatya Metamorfileri; Pütürge Metamorfileri'ni, Maden Karmaşığı'nı ve Üst Kretase ofiyolitlerini tektonik olarak üzerleyen büyük bir tektonik dilim niteliğindedir. Tabanında genellikle tektonik dokanak ilişkileri sunan Malatya Metamorfileri, genç birimler tarafından açısal uyumsuzlukla örtülmektedir.

Formasyon bazında çalışılan birimlerden metamorfizmadan az etkilenmiş kayaçların içerisindeki fosil topluluklarına göre Malatya Metamorfileri için yaş tespiti yapılmıştır.

Neohemigordius sp., *Agathammina* sp., *Glomospira* sp., *Pachyploia* sp., *Staffella* sp., *Mizzia velebitana* (Schubert), *Nodosaria* sp., *Climacammina* sp. fosil örneklerine göre; sığ shelf ortamında çökelen karbonatlı birimlerden oluşan Çayderesi Formasyonu için Orta-Geç Permiyen yaş aralığı önerilmiştir. Alıçlı Formasyonu içerisindeki makro fosil izlerine dayalı Erken Triyas (Skitiyen) yaşı belirlenmiştir. Alıçlı Formasyonu Paleozoyik ile Mesozoyik arasındaki geçişin kılavuz seviyesini oluşturmaktadır (Özgül ve Turşucu, 1983). Şenel vd. (1989) Kayaköy Formasyonu içerisinde saptadıkları *Sihovalvulina* sp., *Pseudocyclammina* sp., *Nautiloculina* sp., *Protopeneroplis* sp., *Thaumatoporella* sp. fosil grubuna göre Geç Triyas-Jura yaş aralığını önermiştir. Ula Formasyonu *Gutnicella cayeuxi* (Lucas), Textulariade, Ophthalmididae, Miliolidae fosil içeriği ile Jura-Kretase yaş aralığı vermektedir (Bedi vd., 2008). Malatya Metamorfileri'ni oluşturan birimlerde yapılan lokal çalışmalar sonucu elde edilen yaş verileri, bu metamorfik topluluğun Geç Paleozoyik-Mesozoyik zaman sürecinde oluşmuş olduğunu göstermektedir. Ancak tektonik olarak üzerlediği (Orta Eosen Maden Karmaşığı) ve tektonik yerleşimlerine bağlı genç birimlerde oluşturduğu deformasyonlara (Alt Miyosen Lice Formasyonu) göre, yerleşim yaşı oluşum yaşından oldukça gençtir.

Platform koşullarında çökelmiş sedimenter kayalardan oluşan Malatya Metamorfileri'nin karbonat birimleri ilksel durumlarını koruduğu için metamorfizma türü birimin alt kısmını oluşturan kırıntılı kökenli birimlerden belirlenmiştir. Bu birimler içerisinde saptanan mineral toplulukları Barroviyen tipi bir bölgesel metamorfizmayı işaret etmektedir. Yaklaşık 15 km'lik kabuk derinliği, 500°C sıcaklık ve 6 kbar basınç koşullarını yansıtan yeşilist fasiyesi ile Pütürge Metamorfileri'ne nazaran daha düşük dereceli bir metamorfizma geçirmiştir. Bu durum yüksek dereceli metamorfizma etkisinde başkalaşan kayaların, düşük dereceli metamorfizmaya maruz kalmış birimler tarafından üzerlendiğini göstermektedir (Şahin ve Işık, 2010). Ayrıca Koniasiyen-Santoniyen zaman diliminde Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye doğru Keban Levhası altına dalması sonucu gelişen Baskil yayına ait magmatitler tarafından kesilen birim, bu duruma bağlı kontak metamorfizma özelliği göstermektedir (Asutay, 1985).

4.3. Yahyalı Napı

Malatya Metamorfileri gibi alt kesimlerinde şistlerin, üst kesimlerinde karbonatlı kayaların görüldüğü Yahyalı Napı bölgesel metamorfizma geçirmiştir. Yahyalı Napı göstermiş olduğu litolojik ve yaş özelliklerine göre Ardıçlıpınar Formasyonu (Ca) ve Karlıgıntepe Formasyonu (Pk) olmak üzere lokal olarak incelenmiş ve adlanmıştır (Herece, 2008). İçeriğindeki fosil toplulukları Yahyalı Napı'nın Geç Paleozoyik (Karbonifer-Geç Permiyen) zaman sürecinde oluştuğunu göstermektedir. Tektonik dokanak ilişkisi gösteren birim karbonat çökeliminin olduğu bir platform

ortamını yansıtmaktadır (Bedi vd., 2008). Çelikhane'nin kuzeydoğu kesiminde yüzlek veren Yahyalı Napı birimleri, Malatya Metamorfileri bindirme faylı dokanak ilişkisi sunmaktadır.

4.4. Siyah Aladağ Napı

Doğu Toroslarda "Belemedik Paleozoyiği" olarak bilinen Siyah Aladağ Napı ilk defa Blumenthal (1941) tarafından tanımlanmıştır. Devoniyen-Jura zaman aralığında çökelen platform tipi karbonatlardan oluşan nap dilimi dört ayrı formasyon olarak incelenmiştir. Bu formasyonlar alttan üste doğru Bademli (Cb), Cevizli (Pc), Yellice (Py) ve Katarası (T_{RK}) formasyonları olup; batı kesiminde Ecemiş fayı tarafından sınırlandırılan nap dilimi tektonik olarak Malatya Metamorfileri'ni tektonik olarak üzerlemektedir (Herece, 2008). Çalışma alanının batı ucunda yüzeyleyen nap dilimi kendi içinde uyumlu olup, Maden Karmaşığı'nın volkanitleri ile tektonik dokanak sunmaktadır.

4.5. Koçali Karmaşığı

Çalışma alanındaki ofiyolitik allokton birim durumundaki Koçali Karmaşığı, Afrika-Arabistan levhaları kuzeyindeki Tetis Okyanusu'na ait kabuğun kalıntısıdır. Güneydoğu Anadolu Kretase Sürüklenme Kuşağı'nın tipik litolojisi olarak bilinen Koçali Karmaşığı Neo-Tetis Okyanusu'nun tabanında okyanus ortası sırta gelişen ofiyolitik birimler ile bu birimler üzerine çökelen derin deniz çökellerinden oluşmaktadır. D-B uzanımlı tektonik dilimler arasında bulunan volkano-sedimanter birimler, Santoniyen ve öncesinde Tetis'in kapanmaya başlaması ile ofiyolitik birimler tarafından üzerlenmiştir (Sungurlu, 1973).

İlk defa Kellog (1960) tarafından "Pirik Formasyonu" olarak tanımlanan birim, Sungurlu (1974) tarafından Koçali Birliği olarak adlandırılmıştır. Perinçek (1978) tarafından Koçali Karmaşığı adı altında Tarasa, Konak ve Kale formasyonları olmak üzere üç bölümde incelenmiştir.

Karmaşık içerisinde serpantin, peridotit, gabro, bazaltik yastık lavlar, spilitik silisifiye şeyl ve mikrit tipi pelajik çökelleri içeren farklı kökenli (manto ve kabuk kökenli) malzemeler tektonik deformasyon sonucu karmaşık bir yapı oluşturmuştur. Birim her ne kadar ofiyolitik bir seri sunuyor olsa da, tektonik deformasyondan dolayı çoğunlukla düzenli bir istif göstermemektedir (Sungurlu, 1979a). Tarasa Formasyonu volkanitli birimlerden; Konak Formasyonu sedimanter-volkanik birimlerin ardalanmasından ve Kale Formasyonu ofiyolitik birimlerden oluşmaktadır (Perinçek, 1978). İçerisinde egzotik blokların görüldüğü Koçali Karmaşığı, Arap platformunun riftleşmiş dilimleri olarak yorumlanmaktadır. İlk olarak okyanus ortamında çökelmiş ve daha sonra tektonik

yerleşimler sırasında yapısal olarak ofiyolit ve ilişkili tortullar ile kaotik bir topluluk görünümü kazanmıştır (Yılmaz, 1993).

Adıyaman ilinin kuzey kesiminde D-B uzanımında yüzlek veren birim kalkerli fliş özelliği gösteren Karadut Karmaşığı'na göre üst tektonik dilimi oluşturmaktadır (Sungurlu, 1979a). Kendinden daha genç yaştaki Besni, Belveren, Fırat ve Lice formasyonlarıyla açısız uyumsuzluk ile örtülmektedir. Koçali Köyü'nün kuzeydoğusunda Koçali Karmaşığı'nın volkanik ara katkılı sedimanter birimlerden oluşan Konak Formasyonu ile ofiyolitik birimlerinden oluşan Kale Formasyonu bindirmeli bir dokanak sunmaktadır. Ofiyolitik birimin içerisinde, tektonik yerleşimlerin oluşturduğu sıkışmalara bağlı ters faylar ve kıvrımlar gelişmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Koçali köyünün kuzeydoğusunda Koçali Karmaşığı'na (TrKko) ait sedimanter birimler ile ofiyolitik birimler arasındaki D-B doğrultulu bindirmeli dokanağın arazi görünümü (K'e bakış)

Çelikhhan-Sincik-Koçali yerleşim alanlarında yüzlek veren Koçali Karmaşığı'nın volkaniklerle ardalanmalı pelajik kireçtaşları içerisinde derlenen radyolaryaya fosillerine göre Geç Jura yaşı belirlenmiştir (Perinçek, 1978). Adıyaman kuzeybatısında bulunan İnlice köyündeki istifin orta kesiminden derlenen radyolaryaya fosillerine göre En Geç Karniyen-En Erken Noriyen yaş aralığı önerilirken; pelajik bivalv kavkuları için Karniyen-Liyas yaş aralığı önerilmiştir (Herece, 2008). En üst tektonik dilimi oluşturan ofiyolitik birimlerin diyabaz örneklerine uygulanan K-Ar yaş analizi sonucu Orta Jura-Üst Kretase ($115,5 \pm 35,7$, $123,5 \pm 13,2$ ve $183,4 \pm 18,7$) yaş aralığı tespit edilmiştir (Pişkin ve Delaloye, 1981). Bu veriler doğrultusunda Koçali Karmaşığı'nın yaşı Geç Triyas-Geç Kretase zaman aralığını kapsamaktadır.

Rigo de Righi ve Cortesini (1964), Koçali Karmaşığı'nın Tetis Okyanusu'na ait malzemelerinin Arap Platformu üzerine itilmesiyle oluştuğunu ileri sürmüştür. Karmaşığın ofiyolitik birimleri Geç Triyas zamanında başlayan riftleşmeye bağlı oluşurken; sedimanter birimleri ise kıta platformu ve kıta yamacı fasiyeslerinden türeyen tanelerin okyanus tabanında çökmesi sonucu meydana gelmiştir. Karmaşık görünümünü tektonik deformasyon sonucu nap paketlerinin yerleşimi ile kazanmıştır (Yılmaz, 1993).

4.6. Guleman ve Kömürhan Ofiyolitleri

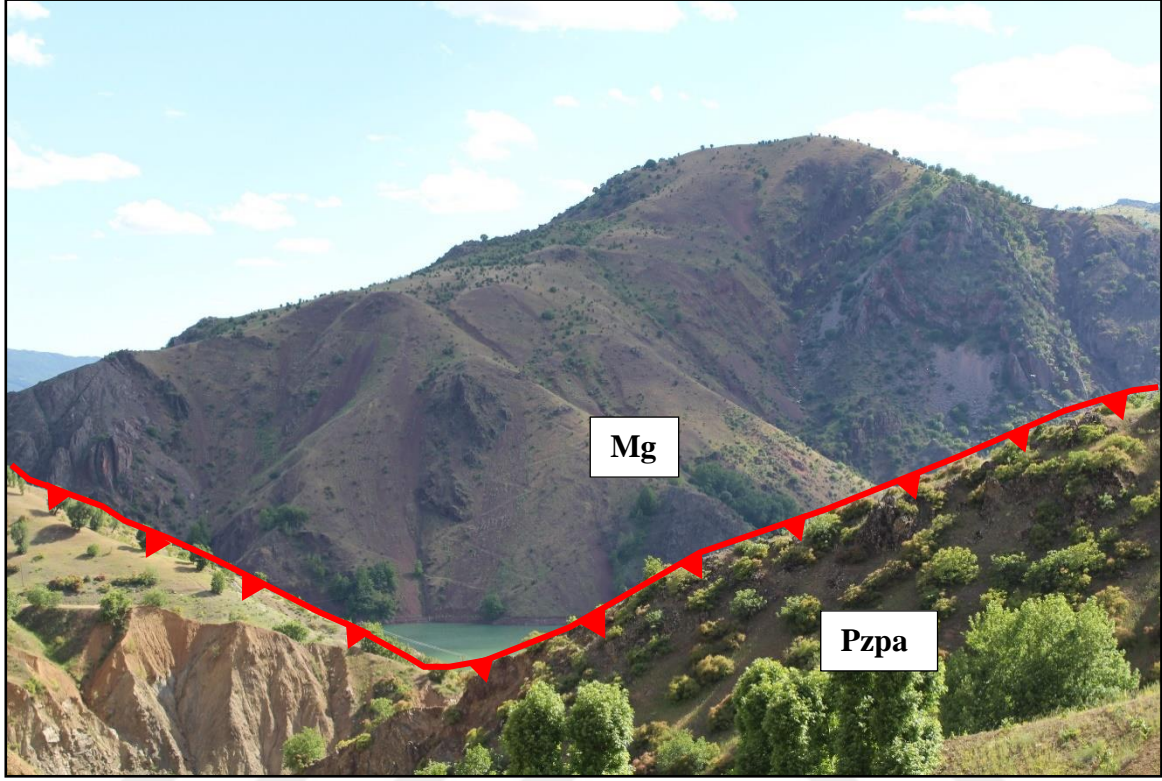
Güneydoğu Anadolu Senozoyik Sürüklenim Kuşağı'nın alt tektonik diliminde yer alan Guleman Ofiyolitleri, doğudan batıya uzanan bu ofiyolitik kuşağın doğu uzantısını oluşturmaktadır (Sungurlu, 1979b). Bu ofiyolitik kuşağın batıdaki devamını Kömürhan ve İspendere ofiyolitleri oluştururken; güneydeki uzantısı Hatay ofiyolitleri olarak bilinmektedir (Yazgan, 1983; Bingöl, 1986a,b). Bu ofiyolitik kuşaklar kökensel olarak benzer olmalarına rağmen; göstermiş oldukları yapısal evrim ve farklı metamorfizma süreçleri, bu ofiyolitik birimlerin ayrı ayrı değerlendirilmesine neden olmuştur.

İçerisinde yoğun krom cevherleşmesinden kaynaklı birçok araştırmacı tarafından çalışılan ofiyolitik birim, ilk defa Sungurlu (1974) tarafından "Guleman Ultramafikleri" adıyla tanımlanmıştır. Perinçek (1980b) yapmış olduğu çalışmada ofiyolitik birimleri "Guleman Grubu" olarak adlandırırken; bazı araştırmacılar (Özkan ve Öztunalı, 1984; Bingöl, 1984, 1986a,b; Rizeli, 2014) tarafından yapılan çalışmalarda bu ofiyolitik birimlerden "Guleman Ofiyoliti" olarak söz edilmiştir.

Ağırlıklı olarak tektonit ve kümülatlardan oluşan birim eksik bir ofiyolit istifi sunmaktadır. İstifin tabanını harzburjit ve nispeten daha az miktarda dünitten oluşan tektonitler oluşturmaktadır. Dünitlerin tabanını oluşturduğu kümülatlar ise verlit, piroksenit, gabro, diyabaz ve bazalt gibi ultramafik ve mafik birimlerden oluşmaktadır (Özkan ve Öztunalı, 1984). Tektonitler içerisindeki harzburjitik manto peridotitleri tektonik hatlar boyunca serpantinleşerek altere olmuşlardır. Nispeten az miktardaki dünitler bant ve merccekler halinde bulunmaktadır (Beyarslan ve Bingöl, 2014).

Çalışma alanının güney kesimlerinde yer alan Guleman Ofiyolitleri Yarpuzlu-Sincik yerleşim yerleri arasında D-B uzanımlı olarak kıvrımlı yapısı ile yayılım göstermektedir. Pütürge Metamorfitleri ile tektonik ilişkili olan birim (Şekil 4.9) Erken Miyosen yaşlı Lice Formasyonu'nu tektonik olarak üzerlemektedir. Çalışma alanının kuzeyinde Keban ve Malatya Metamorfitleri tektonik olarak Guleman Ofiyolitleri üzerine gelirken; çalışma alanı dışında yer alan Lice (Diyarbakır) dolaylarında Guleman Ofiyolitleri Maden Karmaşığı'na ait birimler üzerinde tektonik dokanak ilişkisi ile bulunmaktadır. Ayrıca, birim içerisindeki volkanitlerin Kampaniyen-Erken

Maastrichtiyen yaşlı Yüksekova Karmaşığı (Elazığ Magmatitleri) ile kökensel ve zamansal ilişkisi olabileceği vurgulanmıştır (Perinçek, 1979b; Yazgan, 1981; Bingöl, 1986a).



Şekil 4.9. Kıvrımlı yapısı ile Guleman Ofiyolitleri (Mg) ve tektonik ilişkili olduğu Pütürge Metamorfittleri'ne ait amfibolitlerin (Pzpa) arazi görünümü (G'e bakış)

Özkaya (1974) Guleman Ofiyolitleri için Kretase yaşını önerirken; Savcı vd., (1979) Guleman Ofiyolit Grubu'nun muhtemelen Geç Jura-Kretase yaşlı okyanusun kalıntısı olduğunu belirtmiştir. Sungurlu (1979b), volkanitlerle girik olarak bulunan kırmızı renkli kireçtaşlarından almış oldukları kayaç örneklerinde *Globotruncana* sp., *Globotruncana stuarti*, *Globotruncana lapparenti*, *Globotruncana arca* ve *Heterohelix* sp. fosillerini tespit ederek Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen yaşını birim için önermişlerdir. Ayrıca Guleman Ofiyolitik Karmaşığı içerisindeki mikritik kireçtaşlarından derlenen foraminifer fosillerine göre, Geç Kretase (Senoniyen) oluşum yaşı uygun görülmüştür (Göncüoğlu ve Turhan, 1992).

Guleman ofiyolitlerinin oluşumu için farklı görüşler vardır. Guleman ofiyolitlerinin doğu kısmını oluşturduğu ofiyolitik kuşağın Geç Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen zaman aralığında kıta-yay çarpışması sonucu Neo-Tetis okyanusunun güney kolunun kapanmasıyla oluşan suture zonu olarak düşünülmüştür (Michard vd. 1984; Bingöl, 1986a; Yazgan ve Chessex, 1991; Beyarslan ve Bingöl, 1991; Turan vd. 1995). Ayrıca bu suture zonun, Koçali ofiyolitik napları için kök zonu olarak görüldüğü belirtilmiştir (Yazgan ve Chessex, 1991). Bu ofiyolitik kuşak için bir

diğer görüş ise, Geç Kretase'de Neo-Tetis'in güney kolu üzerinde kuzeye doğru açılmaya başlayan okyanus üzerinde okyanus içi dalma batma zonu (supra-subduction) içinde gelişmiş olduğunu desteklemektedir (Beyarlan, 1996). Guleman Ofiyoliti'nin manto peridotitleri üzerine yapılan çalışmalar, Guleman Ofiyoliti'nin Neo-Tetis'in güney kolunun kuzeye doğru dalım başlangıcında yay-önü havzada oluştuklarını göstermektedir (Rizeli, 2014; Rizeli vd., 2016).

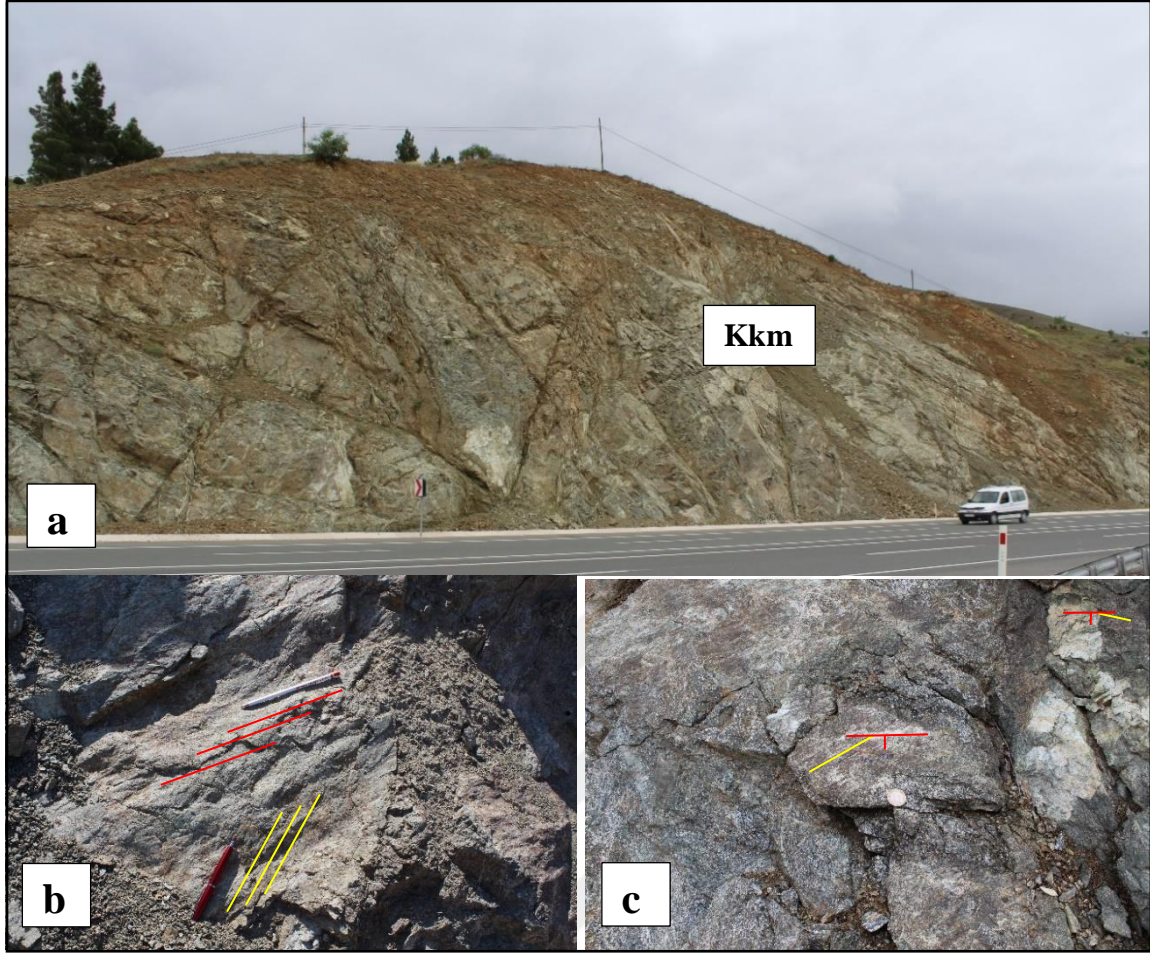
Guleman Ofiyolitlerinin oluşumu için her ne kadar farklı modeller önerilmiş olsa da, kökensel olarak Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolu ile ilişkili olduğu görüşü mutlakdır. Guleman Ofiyolitleri daha sonraki deformasyon aşamalarında nap dilimi şeklinde güneye doğru hareket etmiştir. Erken Miyosen yaşlı Lice Formasyonu üzerine bindirme ile yerleşmesi, bu birimin yerleşim yaşının Serravaliyen'de gerçekleşen son nap yerleşimi ile eş zamanlı ya da daha genç olduğunu göstermektedir.

Keban-Malatya ile Pütürge blokları arasındaki ofiyolitik kuşağın önemli tektonik dilimini oluşturan metaofiyolitler Kömürhan Sütur Zonu (Yazgan ve Chessex, 1991) boyunca izlenmektedir. Birçok araştırmacı (Yazgan, 1981; Beyarlan, 1996; Rızaoğlu, 2006) tarafından Kömürhan Ofiyoliti olarak isimlendirilen birim, Yazgan ve Chessex (1991) tarafından Kömürhan Metaofiyoliti olarak adlandırılmıştır.

Metamorfize olmuş ve çoklu deformasyona (Şekil 4.10 b&c) maruz kalmış bu birim ofiyolit, diyorit, amfibolit, migmatit, piroksenit ve peridotitlerden oluşan bir temel karmaşığdır (Şekil 4.10 a). Bu karmaşık geniş bir makaslama zonu ile ayrılan iki tektonik dilimden oluşmaktadır. Diyoritik-granodiyoritik bileşime sahip daha genç intrüzyonlar tarafından kesilmektedir (Yazgan ve Chessex, 1991).

Birim çalışma alanının güneyinde Sincik civarında yüzeyleyen Berit Metaofiyoliti'nin yanal yöndeki karşılığıdır (Herece, 2008). Beyarlan ve Bingöl'e (2000) göre, Kömürhan Ofiyolitleri güneyinde yer alan Maden Karmaşığı ile tektonik bir dokanak ilişkisi sunmaktadır. Ayrıca birim çalışma alanının kuzeydoğu kesiminde Maden Karmaşığı'na ait birimleri tektonik olarak üzerlemektedir.

Alt dilimi oluşturan diyorit ve kuvars diyoritlere uygulanan K-Ar radyometrik yaş tayini ile biyotitlerden Geç Kretase (85-76 My) yaşı saptanmıştır. Amfibolitlerden oluşan üst dilim ise lökodyoritler tarafından kesilerek kısmi ergimeye uğramıştır. K-Ar radyometrik yaş yöntemi ile amfibolitlerde Erken-Geç Kretase (127±14 My, 95±9 My, 89.5±5 My) yaş aralığı elde edilirken; kuvarslı lökodyorit (85±3 My) ve harzburjitleri kesen granofirlerden (78.5±2.5 My) Üst Kretase yaşı saptanmıştır. Metaofiyolitleri kesen sintektonik granodiyoritlerden elde edilen K-Ar radyometrik yaşı yine Üst Kretase yaşını vermektedir. Granodiyoritlerden elde edilen bu yaş verileri ofiyolitlerin Pütürge Metamorfizmaları üzerine yerleşerek metamorfizmaya neden olduğu ana deformasyon fazını göstermektedir (Yazgan ve Chessex, 1991).



Şekil 4.10. (a) Kale mevkiinde Kömürhan Metaofiyolitleri'nin (Kkm) mostra görünümü, (b&c) Kömürhan Metaofiyolitleri'nin çoklu deformasyona maruz kaldığını gösteren farklı deformasyon fazları altında gelişmiş fay düzlemlerinin yakından görünümü (GB'ya bakış)

Yay önü tipi bir kuşakta gelişen okyanusal ve kıtasal malzemelerin karışımından oluşan metaofiyolitlerin, sıcaklık ve basınç koşulları altında başkalaşım geçiren yitim zonu metamorfik karmaşığı olduğu belirtilmiştir (Yazgan ve Chessex, 1991). Metaofiyolitlerin özellikleri yanı sıra, içerisindeki kuvars diyorit ve diyoritlerin varlığı istifin Kretase sonundan itibaren Neo-Tetis'in güney kolu üzerinde gelişen okyanus içi dalma-batma zonu (supra-subduction) üzerinde oluştuğunu işaret etmektedir (Beyarslan, 1996; Robertson, 2002).

4.7. Elazığ Magmatitleri

Farklı kayaç topluluklarından oluşan birim, Yüksekova (Hakkâri) civarında gerçekleştirilen, arazi gözlemlerine dayalı çalışmada ilk defa Perinçek (1979b) tarafından "Yüksekova Karmaşığı" olarak adlandırılmıştır. Sivrice (Elazığ) dolaylarındaki çalışmada magmatik intrüzyonların baskın olduğu karmaşık "Elazığ Magmatik Karmaşığı" olarak isimlendirilmiştir (Hempton, 1985). Farklı çalışma alanlarına göre birim için "Volkanik Yay Karmaşığı" (Aktaş ve Robertson, 1984), "Baskil

Granitoidi” (Asutay, 1985), “Baskil Yayı Magmatik Birimi” (Yazgan ve Chessex, 1991) gibi adlandırmalar kullanılmıştır. Birimin Hakkâri civarında tanımlanan birimden farklı olarak Elazığ’da tabandan tavana doğru bir iç düzene sahip olduğu, bu nedenle bir karmaşık özelliği göstermediğini vurgulayan Turan vd. (1995), birime “Elazığ Magmatitleri” adını vermişlerdir.

Hem kıtasal kabuk hem de okyanusal kabuk gelişimini gösteren karmaşık kireçtaşı, şeyl, kumtaşı, granit ve granodiyorit gibi farklı kökenli kayalardan oluşmaktadır (Perinçek, 1979b). Birim Hazar Gölü civarında verlit ve gabro içerikli kümülatlar, izotropik gabrolar, diyabaz levha daykları, asidik dayklarla kesilen volkanitler gibi magmatik ağırlıklı birimlerden oluşmaktadır (Yazgan ve Chessex, 1991). Çelikhân’ın doğusunda gözlenen intrüzif kütleleri çoğunlukla lökokuvarsmonzonitlerden, lokal olarak da monzonit, lökomonzonit ve siyenitik kayalardan oluşmaktadır. Birimdeki fasiyes değişimi ve anklavlar karmaşığının heterojen yapısı vurgulanmıştır (Pişkin, 1978).

Birim çalışma alanının kuzeydoğu kesiminde Hazar Gölü’nün güney kesimlerinde yayılım göstermektedir. Kömürhan Metaofiyolitleri tarafından tektonik olarak üzerlenen birim Maden Karmaşığı’na ait birimler ile tektonik bir dokanak sunmaktadır.

Birim için önerilen Maastrichtiyen yaşı güneye doğru gerçekleşen ofiyolit üzerlemesi süresince ya da hemen sonrasında başlayan ada yayı volkanizması ile elde edilmiştir. Ayrıca karmaşık içerisindeki kırmızı renkli kireçtaşlarından derlenen fosil örneklerine göre, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşı önerilmiştir (Perinçek 1979b). Karmaşığı oluşturan plütonik kayalar, volkanitler ve anklavlardan elde edilen K-Ar radyometrik yaş verileri, birimin Geç Kretase döneminde oluştuğunu göstermektedir (Pişkin, 1978; Yazgan, 1983). Birimden derlenen radyolary ve planktik foraminifer fosil örneklerine dayalı olarak, birimin yaşını Senomaniyen-Maastrichtiyen (Geç Kretase) olarak vermiştir (Ural, 2012). Elazığ Magmatitleri’ne ait birimlerden U-Pb zirkon yaşlandırma yöntemine göre 3 ayrı ortam ve yaş gruplandırması yapılmıştır: Bunlar, 1) 84-81 My. yaş aralığında bazalt andezit gibi yüzey kayaları ve gabro diyorit gibi derinlik kayaları içeren toleyitik seri 2) 80-79 My. yaş aralığında monzonit, granodiyorit ve granit gibi derinlik kayalarını içeren kalk-alkali seri 3) 74-72 My. yaş aralığında Çelikhân-Sincik arasında yüzeyleyen gabro, monzodiyorit ve monzonit gibi kayaları içeren kalk-alkali seridir (Lin vd., 2015). Jeokronolojik (U-Pb analitik yöntemi) verilere dayalı, 84-72 My zaman aralığında gelişmiş Elazığ Magmatitleri bölgesel jeodinamik evrimin farklı aşamalarını göstermektedir. Ada yayının oluşumu için 89-79 My yaş aralığı önerilirken; Geç Kretase’deki çarpışma için 74-72 My yaş aralığı belirlenmiştir (Beyarslan ve Bingöl, 2018).

Asidik bileşimden bazik bileşime değişen farklı türdeki kayalardan oluşan magmatik kütlelerin oluşum ortamı ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Magmatik kayaların yaygın olarak bulunduğu birim için güneye doğru bir dalma batma zonu üzerinde okyanus içi ada yayında oluştuğu ileri sürülmüştür (Şengör ve Yılmaz, 1981; Hempton ve Savcı, 1982). Bölgesel haritalama

ve jeokimyasal analizlerden elde edilen verilere göre, karmaşığın genç ve kalın olmayan kıtasal kabuğun aktif kıta kenarında geliştiği önerilmiştir (Yazgan, 1981). Karmaşık içerisindeki kayaç topluluklarının ada yayı karakterinde olduğunu belirten Turan ve Bingöl (1991), birimlerin Geç Triyas'ta açılmaya başlayan Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun Kretase sonunda kuzeye doğru dalması ile gelişen ada yayında oluştuğunu söylemişlerdir. Ayrıca birime ait magmatik kayaçların toleyitik ve kalk-alkali karakterli ada yayı magmatizmasına bağlı olarak geliştiklerini ifade edilmektedir (Asutay, 1985; Akgül, 1993; Bingöl ve Beyarslan, 1996). Birimi oluşturan yay tipi kayaçlar ve ofiyolitik birimler tipik okyanus içi yay sistemini karakterize etmektedir (Beyarslan ve Bingöl, 2018).

4.8. Besni Formasyonu

Güneydoğu otoktonu ve ilk nap yerleşimleri üzerine yeni çökeltme döneminin birimlerinden olan Besni Formasyonu ilk olarak Brayant (1960) tarafından tanımlanmıştır. Birim Sungurlu (1973) tarafından "Besni Kireçtaşı Formasyonu", Selçuk (1985) tarafından ise "Yalaz Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Birimin alt kesimleri kumtaşı ve çakıltaşı içerikli, kalın tabakalı fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Üst kesimlerinde ise yanal ve düşey yönde geçişli kumtaşı, kireçtaşı ve marnlar bulunmaktadır (Herece, 2008). Yanal ve düşey yönde fasiyes değişikliği gösteren birim çalışma alanının güneyinde Koçali Karmaşığı üzerinde açısal uyumsuzlukla yer almaktadır. İnce Köyü (Adıyaman) güneyinde birimin yüzlek verdiği mostradan derlenen fosil örnekleri birimin Geç Maastrichtiyen'de sığ platform koşullarında çöktüğünü göstermiştir (Herece, 2008).

4.9. Belveren Formasyonu

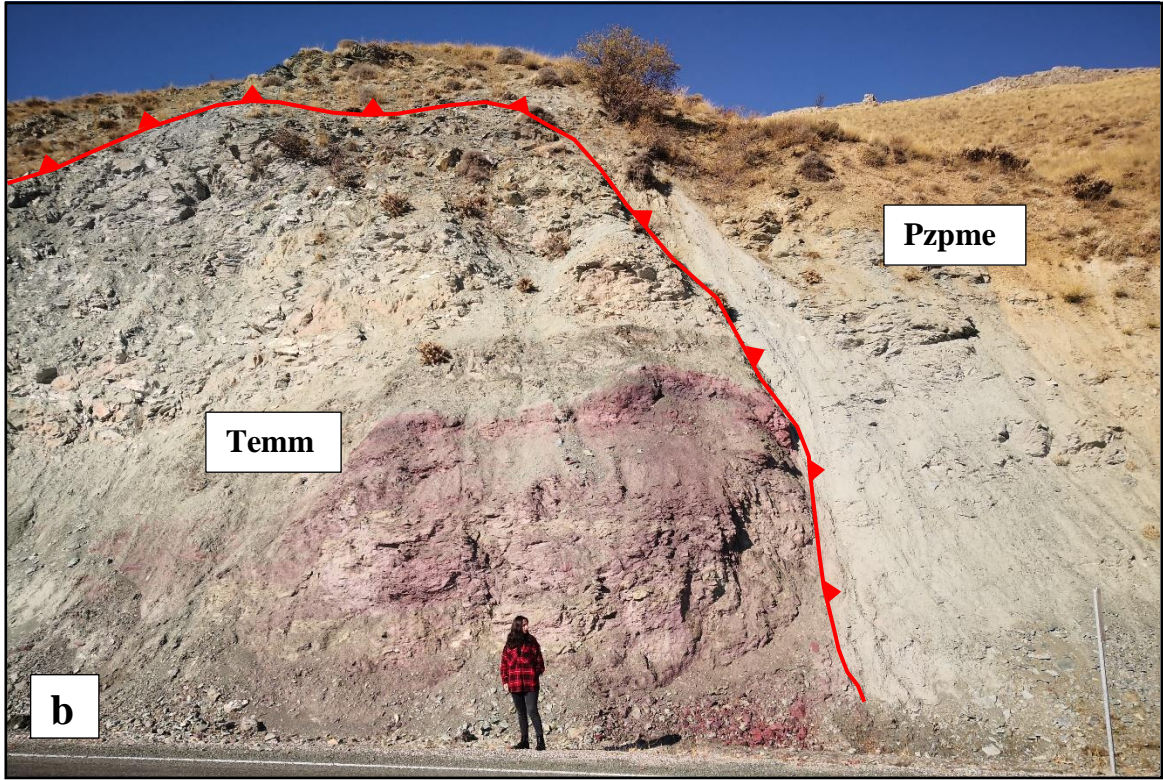
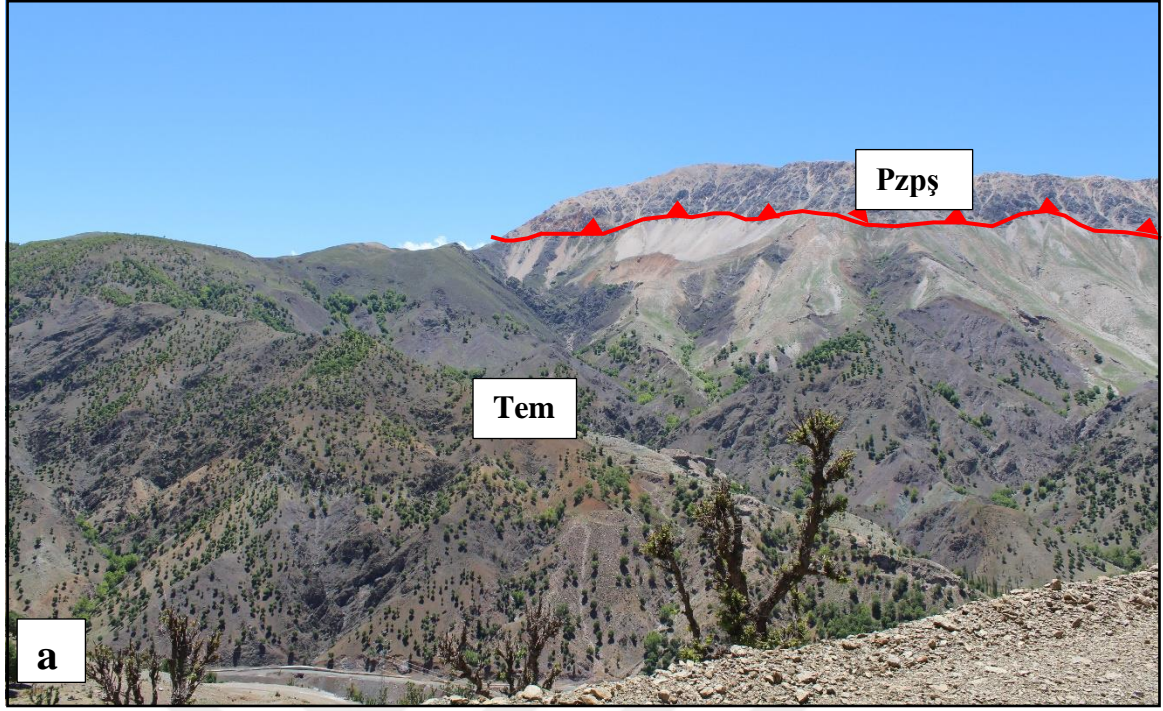
Tip kesit yeri Gölbaşı (Adıyaman) ilçesinin güneyinde bulunan Belveren köyü olan birim, içeriğindeki baskın karbonattan kaynaklı birçok araştırmacı tarafından "Belveren Kireçtaşı Formasyonu" (Tuna, 1974), "Belveren Kireçtaşı Üyesi" (Yalçın, 1976), "Belveren Formasyonu" (Ulu vd., 1991; Terlemez, vd., 1992) gibi farklı isimlendirmeler kullanılmıştır. Tabanında çakıltaşı ile başlayan birim üste doğru kumlu, dolomitik resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Altta Koçali Karmaşığı üzerine açısal uyumsuzlukla gelen Belveren Formasyonu Gercüş, Fırat ve Lice formasyonları tarafından uyumsuz bir şekilde örtülmektedir. Birimden derlenen fosillere dayalı Geç Paleosen yaşı önerilmiştir (Ulu vd., 1991; Terlemez vd., 1992). Birimin tabanını oluşturan çakıltaşları alüvyon yelpaze ortamını karakterize ederken; algli kireçtaşları sığ şelf lagünü işaret etmektedir (Herece, 2008).

4.10. Maden Karmaşığı

Pütürge-Bitlis orojenik kuşağına paralel olarak gelişmiş Maden Karmaşığı, metamorfize olmuş ofiyolitlerle birlikte nap zonunun alt tektonik dilimini oluşturmaktadır (Yılmaz, 1993). Elazığ ilinin Maden ilçesinde tanımlanan birim, ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964) “Maden Birimi” olarak adlandırılmıştır. Bir takım araştırmacı birimi “Baykan Karmaşığı” (Sungurlu, 1974; Açıkbaş ve Baştuğ, 1975) olarak isimlendirirken; sonraki çalışmalarda birim için “Maden Grubu” (Erdoğan, 1977), “Baykan Grubu” (Özkaya, 1978) ya da “Çüngüş Grubu” (Şengör ve Yılmaz, 1981) gibi adlandırmalar kullanılmıştır. Birçok çalışmada kabul gören “Maden Karmaşığı” adı ise ilk defa Perinçek (1978) tarafından içerisindeki değişken litoloji nedeniyle önerilmiştir.

Maden Karmaşığı volkanoklastik kumtaşı, silttaşı, bağlanmış volkanikler, kırmızı volkanikler ve kırmızı konglomeralar gibi volkano-sedimanter kayaç topluluklarından oluşmaktadır (Altınlı vd., 1963; Sungurlu, 1974; Erdoğan, 1977; Özkaya, 1978; Perinçek, 1978). Sungurlu (1974) ise Baykan Karmaşığı adı altında birimi; Maden Birimi, Hazar Birimi ve Guleman Ultramafleri olmak üzere üç kısımda incelemiştir. Farklı türdeki fasiyeslerden oluşan karmaşığın volkano-sedimanter ve olistostromal birimleri alttan üste doğru Ceffan, Arbo ve Melefan Formasyonu olarak, volkanik birimleri ise Karadere Formasyonu olarak değerlendirilmiştir (Açıkbaş ve Baştuğ, 1975; Ertürk, 2016).

Maden Karmaşığı'nın olistostromal sedimanter birimleri ile volkanik birimleri her ne kadar yanal yönde geçişli olsa da, karmaşık tektonik kuvvetlerin etkisiyle kendi içerisinde imbrike yapı göstermektedir. Yarpuzlu-Narlı arasında yer alan Maden Karmaşığı'na ait birimler bordo, bej, yeşil gibi alacalı renk tonlarıyla arazide kolaylıkla diğer birimlerden ayırt edilmektedir (Şekil 4.11 a&b). Maden Karmaşığı'nın en üst kısmını oluşturan bazaltik lavların oluşturduğu kayaçlar ise koyu renkleri ile dikkat çekmektedir. Tüm ölçeklerde karmaşığın baskın yapısal dokusu budinler ya da oldukça deforme olmuş daha sünek bir matriks içinde bloklardan oluşmaktadır.



Şekil 4.11. (a)Yarpuzlu-Narlı arasında Pütürge Metamorfitleri'nin (Pzpme) Maden Karmaşığı'nın (Tem) volkano-sedimanter birimlerini üzerlediğini gösteren arazi görünümü, (b) Arıkonak yerleşim yeri kuzeyinde Melefan Formasyonuna (Temm) ait olistostromal birimlerin mostra görünümü (KB'ya bakış)

Tüm ölçeklerde karmaşık içerisinde yapısal anlamda budinler ya da oldukça deforme olmuş daha sünek bir matriks içerisindeki bloklar baskındır (Şekil 4.12). Ayrıca nispeten daha kırılğan katmanlar içerisinde farklı ölçeklerde makaslama kırıkları bulunmaktadır. Maden Karmaşığı'nın içerisinde gelişmiş olan makroskopik ölçekteki yapısal unsurlar, volkanoklastiklerin en şiddetli deformasyona maruz kaldığını göstermektedir. Bu fasiyes daha kırılğan blokların, deformasyonun çoğunu karşılayan daha sünek kayalar içerisinde karışmasına yol açmıştır. Mezoskopik ölçekte ise makaslama zonları ve nadiren iç foliasyonlu kıvrım oluşumları karmaşığın volkanoklastiklerini ve pelajik kireçtaşlarını etkilemiştir. Bu makaslama deformasyonu muhtemelen bindirme faylarındaki yer değişimlerine ve eş zamanlı birimlerin yeşil şist fasiyesi metamorfizması geçirmesine yol açmıştır. Tektonik parçalanmaya rağmen orijinal stratigrafiyi gösteren düzenli yapısal seviyeler mevcuttur. Volkanoklastikler fasiyes kompleks içindeki tüm katmanlarda ortaya çıkmakta ve karmaşığın matriksini oluşturmaktadır (Hempton, 1985).



Şekil 4.12. Şahinbeyler mevkiinde Maden Karmaşığı'nın volkano-sedimanter birimleri içerisindeki daha kırılğan blokların sünek kayalar içerisindeki mostra görünümü (KD'ya bakış)

Maden Karmaşığı çalışma alanının kuzey kesimlerinde yaygın mostralara sergilerken, çalışma alanının batı ve güney kesimlerinde de belli kesimlerde görülmektedir. Malatya Metamorfileri ve Elazığ Magmatitleri tarafından tektonik olarak üzerlenen karmaşığın, Pütürge Metamorfileri ile dokanak ilişkisi Çelikhan civarında tektoniktir. Ancak çalışma alanının kuzeydoğu bölümünde

Maden Karmaşığı ile Pütürge Metamorfitleri arasındaki dokanak ilişkisi uyumsuz (Şekil 4.13) olarak değerlendirilmektedir (Ertürk, 2016). Şiro vadisi boyunca gözlemlenen alüvyonlar ve DAFZ genellikle Pütürge Metamorfitleri ile Maden Karmaşığı arasındaki ilksel dokanak ilişkisini bozan unsurlardır.



Şekil 4.13. Ormaniçi köyü doğusunda Maden Karmaşığı'nın Karadere Formasyonu'na (Temk) ait volkano-sedimanter birimlerin Pütürge Metamorfitleri'ne ait şistler (Pzpş) ve alüvyonlarla (Qal) ilişkisini gösteren arazi görünümü (GD'ya bakış)

Karmaşığın içerisindeki karbonatlı seviyelerden Eosen dönemini karakterize eden fosiller derlenmiş ve Orta Eosen yaşı önerilmiştir (Perinçek, 1978; Yazgan, 1981). Breş seviyesinin algli kireçtaşlarından derlenen *Nummulites* fosillerine göre Orta-Geç Lütésiyan yaşı verilmiştir. Ancak tektonik dilim olarak matrikse karışmış büyük kireçtaşı bloklarından Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlarının elde edilmesi; bu blokların karmaşığın oluşumu sırasında bünyesine katıldığını işaret etmektedir (Herece, 2008). Karadere Formasyonu'na ait spilitik bazaltların üzerine gelen miltaşlarındaki nanoplankton fosillerine göre Geç Lütésiyan-Bartoniyan yaş aralığı saptanmıştır (Herece ve Akay, 1992). Hopan çayı güneyinde Karadere Formasyonu'na ait diyabaz ve bazaltik yastık lavlara uygulanan K-Ar radyometrik yaşlandırma yöntemi sonucu Erken-Orta Eosen (44,8±16,9, 45±5,7 ve 52,0±10,3) yaşı elde edilmiştir (Pişkin ve Delaloye, 1981).

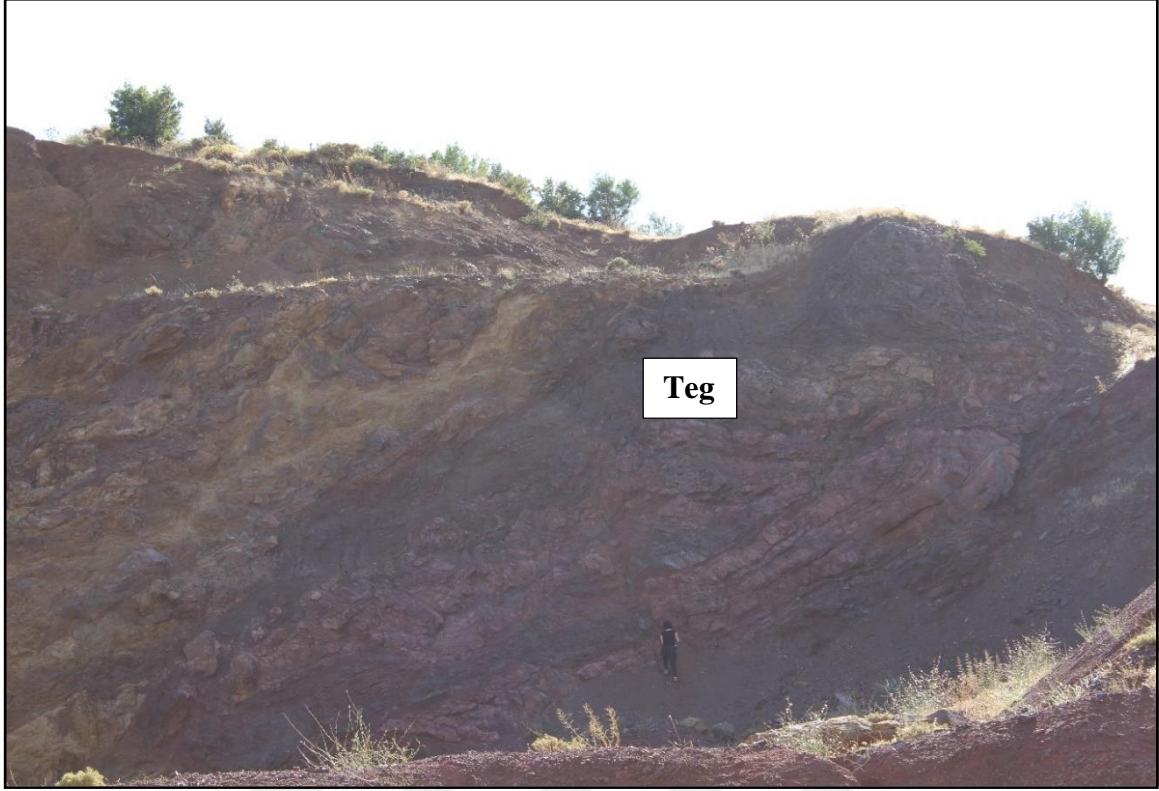
Karmaşığın içerisindeki volkanik kayaçların okyanus içinde gelişen ada yayı ortamını gösterdiğini belirten Miyashiro (1973); karmaşık içinde gözlenen mineral topluluklarının yeşil şist fasiyesini karakterize ettiğini belirtmektedir. Karmaşıktan elde edilen jeolojik ve jeokimyasal veriler, birimin Maden kenar havzasındaki okyanusal kabuk üzerinde oluşan, henüz olgunlaşmamış bir ensimatik ada yayı volkanizmasının bir ürünü olduğu ifade edilmiştir (Özçelik, 1985). Bir diğer araştırmacı ise çarpışma sonrası devam eden sıkışma tektoniğinin üst mantoda kısmi ergimeye sebep olan, levha içi kıtasal yitimin volkanik aktivitesi sonucu geliştiği vurgulanmıştır (Yazgan vd., 1987). Karmaşığa ait volkanit birimlerinin petrografik ve jeokimyasal incelemesi, bu kayaçların aktif kıta kenarında çökeldiğini göstermiştir (Bingöl, 1988). Birçok çalışmada Maden Karmaşığı, Eosen döneminde hızla açılıp kapanan bir yay ardı havza olarak değerlendirilmiştir (Aktaş ve Robertson, 1990; Turan vd., 1995). Maden Karmaşığı'na ait kayaçlarına uygulanan jeokimyasal yöntemler ile şoşonitik seri karakterinde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç üzerine Maden Karmaşığı'nın kıta içerisinde litosferik çökme alanlarında gelişmiş olduğu modeli önerilmiştir (Ertürk, 2016; Ertürk vd., 2018).

4.11. Midyat Grubu

Arap platformunda ilk nap yerleşimini takiben, Eosen döneminden itibaren depolanan kayaç toplulukları yanal ve düşey yönde oldukça hızlı fasiyes değişimleri gösterdikleri için; çalışmacılar tarafından farklı birimler olarak değerlendirilmiştir. Midyat Grubu içerisinde tanımlanan Gercüş ve Hoya formasyonları hakkında alt başlık olarak bilgi verilmiştir.

4.11.1. Gercüş Formasyonu

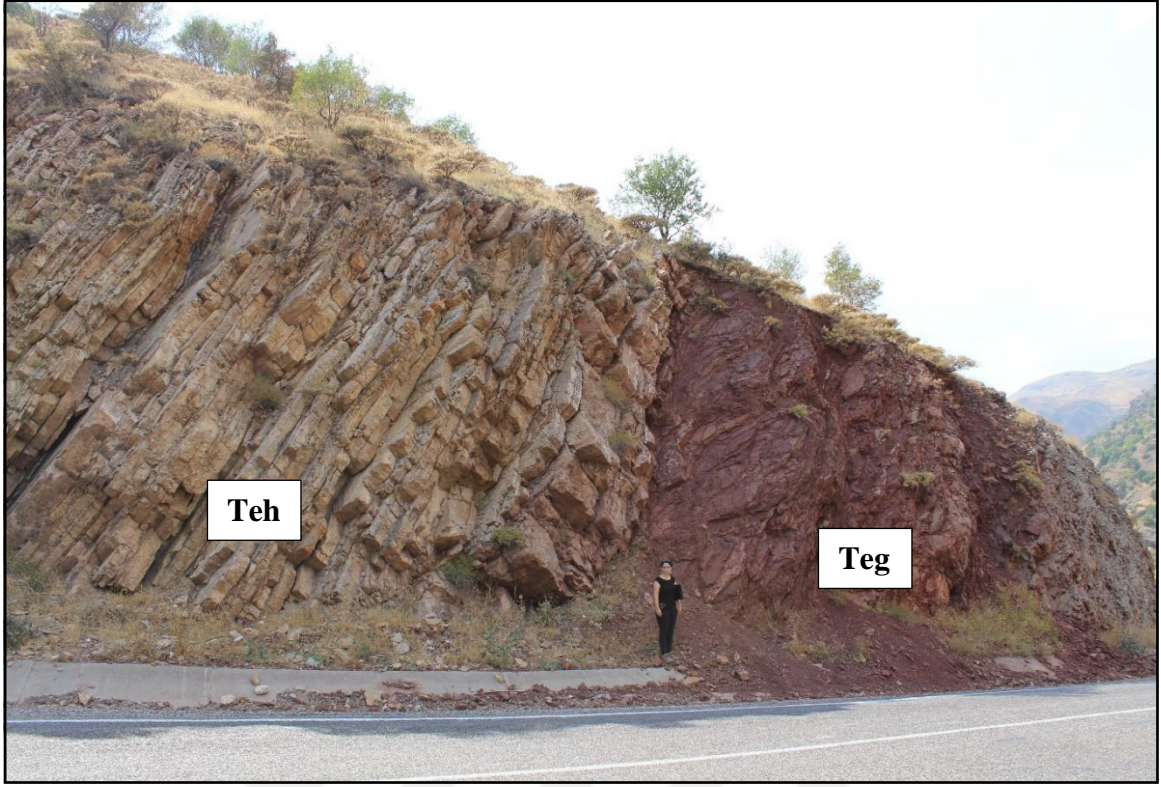
Midyat Grubu'nun taban çakılları olarak bilinen Gercüş Formasyonu Sungurlu (1974) tarafından isimlendirilmiştir. Paleosen birlikleri üzerine uyumsuzlukla gelen bu birim kumtaşı ve kireçtaşı ara katkılı çakıltaşları bordo-kızıl alacalı rengiyle arazide kolaylıkla ayırt edilmektedir. Birimin karbonat çimentoyla tutturulmuş kötü boylanmalı çakılları çört, radyolarit, volkanit, ofiyolit ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Herece, 2008). Koçali-Çelikhan yerleşim yerleri arasında, altındaki Paleosen yaşlı Germav Formasyonu ile uyumsuzluk göstermektedir (Perinçek, 1978). Çalışma alanının güneyinde yer alan bu birim üstüne depolanan Hoya Formasyonu tarafından uyumlu bir şekilde örtülmüştür. Birim içerisindeki kıvrım oluşumları ve ters faylar birimin Orta Eosen dönemi sonrasında sıkışmalı bir deformasyona maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 4.14). Formasyondan yaş verisi alınacak herhangi bir fosil tespit edilemediği için, alt ve üst birimlerine göre nispi yaşlandırma ile birime Erken Eosen yaşı uygun görülmüştür. Birimin litolojik özellikleri gölsel akarsu ve alüvyon yelpazesi gibi karasal ortamları yansıtmaktadır (Herece, 2008).



Şekil 4.14. Çelikhán güneyinde bordo renkli Gerçüş Formasyonu'nun (Teg) kıvrımlı mostra görünümü

4.11.2. Hoya Formasyonu

Güneydoğu Anadolu'da Orta Eosen dönemi sonrasında başlayan bölgesel transgresyon sığ karbonatların depolanmasına yol açmıştır. İlk olarak Perinçek (1978) tarafından tanımlanan Hoya Formasyonu açık rengiyle Gerçüş Formasyonu üzerinde kolaylıkla ayırt edilmektedir (Şekil 4.15). Midyat Formasyonu (Tuna, 1974; Yalçın, 1976; Perinçek, 1978) olarak adlandırılan birimi Sungurlu (1974) Midyat Formasyonu'nun çörtlü kireçtaşı üyesi olarak değerlendirmiştir. Perinçek (1979) sonraki çalışmasında birimi Midyat Grubu içerisinde Hoya Formasyonu olarak tanımlamıştır. Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı katmanlarından oluşan birim alg içeriklidir. Terlemez (1992) birim içerisinde tanımladığı fosillere göre Orta Lütesiyen-Bartoniye yaşını önermiştir. Çelikhán güneyinden derlenen fosil örnekleri Erken-Orta Eosen yaşı tespit edilmiştir. Litoloji ve fosil içeriğine göre birim açık şelf ortamının sığ kesimini karakterize etmektedir (Herece, 2008).



Şekil 4.15. Adıyaman-Çelikhan yolu üzerinde yüzlek veren Gercüş Formasyonu (Teg) çakılları ile Hoya Formasyonu (Teh) karbonatlarının uyumlu dokanağına ait mostra görünümü

4.12. Fırat Formasyonu

Fırat Formasyonu ilk olarak Peksü (1969) tarafından “Fırat Kireçtaşı Formasyonu” olarak tanımlanmıştır. Güneydoğu Anadolu platformunda geniş alanlarda yüzeyleyen birimi; İlker (1972) “Fırat Formasyonu” olarak isimlendirmiştir. Açık rengiyle mostrada ayırt edilen ve Miyosen yaşlı karbonatlar olarak bilinen birimin üst kesimlerini çörtlü kireçtaşları oluştururken; alt ve orta kesimlerinde orta-kalın tabakalı, sıkı dokulu, bol çört yumrulu ve fosil kavkılı kireçtaşları bulunmaktadır (Herece, 2008). Çalışma alanında Yarpuzlu-Sincik yerleşim yerleri arasında izlenen birim, Koçali Karmaşığı ve Belveren Formasyonunu uyumsuz olarak örterken; Lice Formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçiş göstermektedir. Lice Formasyonu’nun tabanını oluşturan birimin kireçtaşlarından derlenen fosil örneklerinden Erken Miyosen (Geç Akitaniyen) yaşı uygun görülmüştür. Koçali Karmaşığı üzerinde uyumsuz olarak bulunan kumlu kireçtaşlarından derlenen mikrofosillere göre Akitaniyen yaşı önerilmiştir. Karbonatlardan oluşan birimin litolojik özellikleri resif-şelf ortamını yansıtmaktadır (Herece, 2008).

4.13. Lice Formasyonu

Birçok araştırmacı (Sungurlu, 1974; Tuna, 1974; Yalçın, 1976; Perinçek, 1978) ‘‘Lice Formasyonu’’ olarak adlandırılan birim, bazı çalışmalarda (Perinçek ve Kozlu, 1984; önanan, 1988) ‘‘Kuzgun Formasyonu’’ adı altında tanımlanmıştır. Alt kesimi iyi boylanma gösteren orta-kalın katmanlı kumtaşlarından oluşan birim; üst kesimlere doğru kumtaşı ara seviyeli şeyl katmanları, en üs kesiminde ise kumtaşı-şeyl ardalanması göstermektedir (Duran vd., 1988). Sincik yerleşim yerinin doğusunda 460 m kalınlık (Sungurlu, 1973) gösteren birim çalışama alanının güney kısmında bulunmaktadır (şekil 4.16).



şekil 4.16. Sincik güneyinde gözlenen Lice Formasyonu’na (Tml) ait kıvrımlı ve faylı (kırmızı çizgi) mostra görünümlü (GD’ya bakış)

Neojen döneminin otokton birimleri içerisinde yer alan Lice Formasyonu Pütürge Metamorfitleri ve Guleman Ofiyoliti tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Tabanını oluşturan Fırat Formasyonu üzerine uyumlu bir şekilde gelmektedir. Birimin tabanını oluşturan kiltatşlarında tespit edilen nanoplanktonlara göre Geç Akitaniyen-Burdigaliyen yaş aralığı önerilirken, şeyl içerisindeki istiftaşı ara seviyelerinden derlenen fosil örnekleri Orta Miyosen (Erken Langiyen) yaşını vermektedir. Birimin en üstteki kiltatşlarından saptanan nanoplanktonlar ise Orta-Geç Miyosen yaş aralığı sunmaktadır. İstifin litolojik özellikleri, birimin Miyosen boyunca açık şelf-yamaç ve yamaç ötesi-denizaltı yelpazesi ortamlarında geliştiğini yansıtmaktadır (Herece, 2008).

4.14. Kuvaterner ökelleri

Çalışma alanının güncel birimlerini fay terasları (Q2), yamaç molozları (Qay) ve alüvyon yelpazeleri (Oal) oluşturmaktadır. Eski alüvyonlar olarak da değerlendirilen fay terasları bugün faylar tarafından yükseltilmiş eski akarsu çökelleridir (şekil 4.17). Çakıl, kum, silt gibi farklı tane boylarından oluşan birim düzgün tabaka oluşumu göstermemektedir. Farklı tane boylarının oluşturduğu seviyeler yanal ve düşey yönde birbirleri ile geçiş göstermektedir.



şekil 4.17. şiro vadisi boyunca DAFZ'nun etkisi ile yükselen fay teraslarının mostra görünümü (GD'ya bakış)

Gevşek yapılı birim dağ eteklerinde alüvyon yelpazesi oluştururken; vadi boyunca akarsu çökeli olarak depolanmıştır (şekil 4.18 a). Bu birimlerin oluşumu akarsuların vadileri daha derin kazılmasıyla gelişmiş olup, Pleyistosen dönemine ait birimlerin çökmesini sekteye uğratmıştır. Bu yüzden birim için Geç Pleyistosen-Holosen yaş aralığı uygun görölmüştür (Herece, 2008). Fırat nehri yatağı ve şiro vadisi boyunca DAFZ'ndan etkilenen fay terasları sismik aktiviteye bağlı gelişmiş deformasyon izlerini taşımaktadır (şekil 4.18 b). Ancak birimin yapısı gevşek olduğu için fay düzlemleri gelişimine olanak vermemiştir.



Şekil 4.18. (a) Mollahan çayı boyunca gelişmiş alüvyonların arazi görünümü, (b) Şiro vadisi boyunca yükselmiş eski alüvyonlar içerisindeki deformasyon izlerine ait mostra görünümü (GD'ya bakış)

Yamaç molozları ise farklı kökenli ve boyutlu tanelerin fay sarplıkları ve yüksek eğime sahip yamaçlar boyunca yığılmasıyla oluşan birimlerdir. Yanal yönde merceklenen birim kendisinden yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Günümüz akarsu yataklarında, vadilerde, dağ yamaçlarında gelişen farklı kökenli ve boyutlu tanelerin meydana getirdiği gelişmekte olan oluşumlardır. Yanal ve düşey yönde geçiş gösteren birim içerisindeki taneler tutturulmamış halde bulunmaktadır (Herece, 2008).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yakınsayan sınırlar okyanusal kabuklarda dar bir deformasyon zonu oluştururken, kıtasal yakınsamanın olduğu sınırlar ise geniş bir deformasyon zonu geliştirmektedir (McKenzie, 1970). Kıta içine yayılan bu deformasyonun önemli bir kısmı, devam eden yakınsamaya bağlı gelişen doğrultu atımlı faylar tarafından karşılanmaktadır (Şengör vd., 1985). Sokulum tektoniği ile ilişkilendirilen bu faylardan biri olan DAFZ da Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki kısalma ve artan kabuk kalınlığı gibi kıta içi deformasyonların karşılanmasında önemli rol oynamaktadır.

Yakınsayan levhalar arasındaki etkileşim çok aşamalı deformasyona ve buna bağlı olarak karmaşık bir jeolojiye neden olmaktadır. Şiddetli depremlerin meydana geldiği bu zonlarda, deformasyon aşamalarının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Fay veri setlerine dayalı olarak yapılan kinematik analiz çalışmaları da fay zonunun hareket ve deformasyon geçmişi ortaya çıkaran bu çalışmalardan biridir. Bu tür çalışmalara ek olarak, karmaşık jeolojiyi anlamak ve kinematik verilerin toplanacağı lokasyonları belirlemek için morfolojik analiz çok önemlidir. Özellikle temel birimler içerisinde gelişmiş fayların paleostres analizi için aktif tektoniği yansıtan morfolojik gözlemler oldukça belirleyicidir. Uydu görüntülerinin işlenmesine dayalı uzaktan algılama çalışmaları da aktif tektonik çalışmaları için büyük fayda sağlamaktadır.

Bu kapsamda kıta içi yakınsamaya bağlı gelişmiş sol yönlü DAFZ'nun oldukça yaşlı birimleri etkilediği Doğanyol ile Çelikhan aralığında kinematik ve morfolojik incelemelere ek olarak; uzaktan algılama çalışmaları gerçekleştirilmiş ve multidisipliner bir çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışmalardan elde edilen veriler aşağıda ilgili başlıklar altında sunulmuştur.

5.1. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Kimliği

Türkiye'nin neotektonik döneminde önemli bir rol oynayan DAFZ, çeşitli ölçeklerde hazırlanan jeolojik ve tektonik haritalarda Karlıova-Bingöl arasında bir çizgisellik olarak haritalanmıştır (Altınlı, 1963; Ketin, 1966; 1968). Allen (1969) ise KAFZ'nun Karlıova civarında aniden sonlanmasına eşlenik bir fayın neden olduğunu belirterek; Karlıova'dan itibaren KD-GB doğrultulu bir fayın varlığından söz etmiştir.

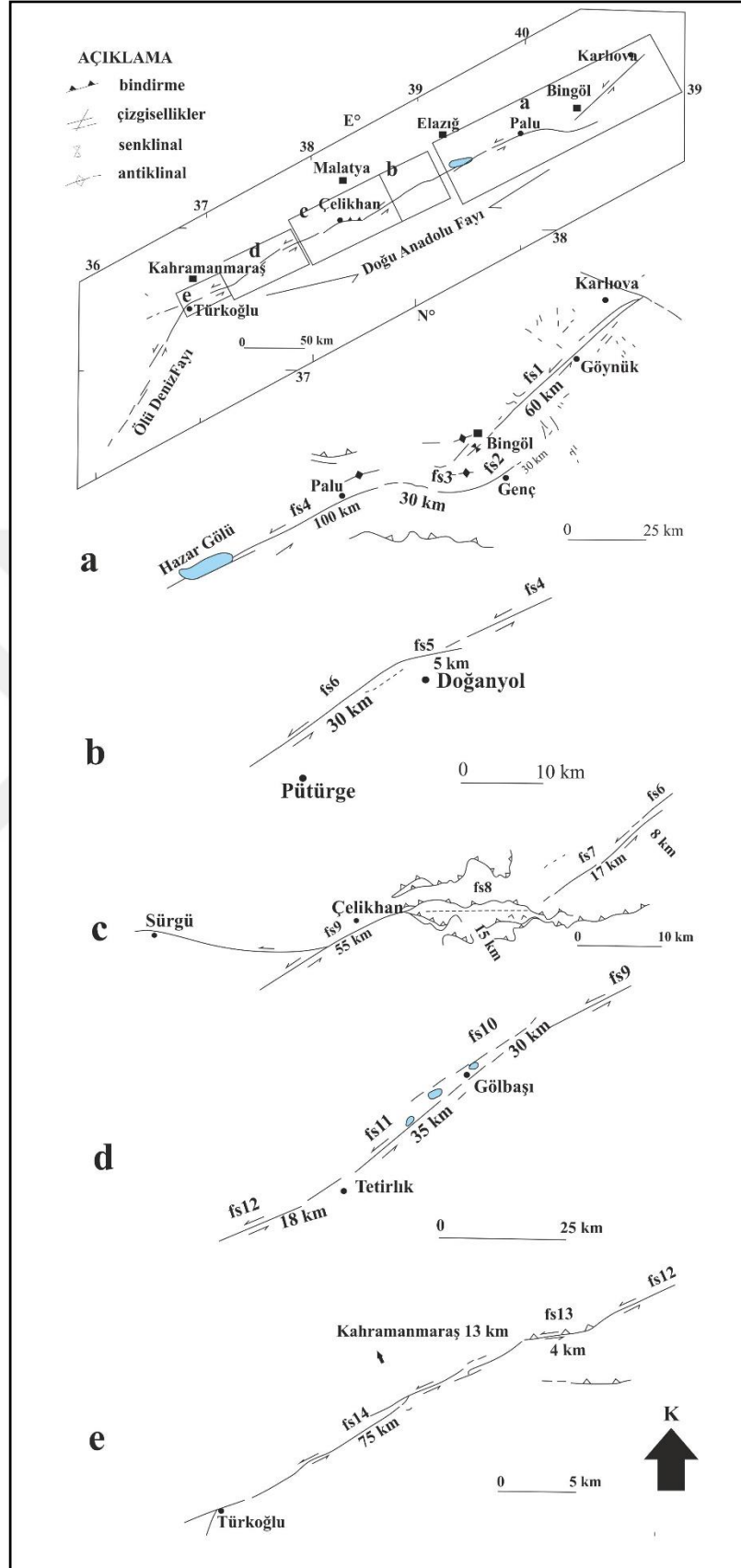
1971 yılında Bingöl'de meydana gelen depremden sonra, DAFZ birçok araştırmacının (Ambraseys, 1970, 1972; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Aydın ve Seymen, 1972) çalışma konusu olmuş ve fay zonun Karlıova-Bingöl arasındaki kesimi ile Bingöl depremine bağlı gelişmiş yüzey kırıkları haritalanmıştır. "Doğu Anadolu Fay Zonu" olarak isimlendirilmiş olan fayın özellikleri ilk defa tanımlanmış ve Amik ovasına kadar olan devamı haritalanmıştır (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975).

Fay zonu boyunca başlayan çalışmalar farklı görüşlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Fay zonunun başlangıç noktasında (Karlova) hemfikir olan araştırmacılar, fayın uzanımı hakkında gruplara ayrılmışlardır. Bazı araştırmacılar (McKenzie, 1970, 1972; Dewey vd., 1973; Jackson ve McKenzie, 1984; Gülen vd., 1987; Hempton, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Taymaz vd., 1991; Westaway, 1994; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Robertson vd., 2004) DAFZ'nun Akdeniz'e uzandığını, bazıları (McKenzie, 1976; Dewey ve Şengör, 1979; Muehlberger ve Gordon, 1987) Kıbrıs yayı ile birleştiğini, bazıları (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şengör vd., 1985; Kiratzi, 1993; Şaroğlu vd., 1992; Över vd., 2004) ise ÖDFZ ile birleştiğini ileri sürmüştür. DAFZ'nun uzanımı için benimsenen görüş ise fayın (Şekil 5.1.) Karlova ile Türkoğlu üçlü eklemeleri arasında bir uzanımına sahip olduğudur (Görür vd., 1984; Lovelock, 1984; Muehlberger ve Gordon, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Yürür ve Chorowicz, 1998).



Şekil 5.1. DAFZ'nun üç kısmını ve üç kolunu gösteren harita, A.K.: Ana Kol, O.K.: Orta Kol, G.K.: Güney Kol, H G: Hatay Grabeni (Perinçek ve Çemen'den (1990) düzenlenmiştir)

DAFZ boyunca fayın sıçramasına ve büklüm yapmasına bağlı olarak fayın doğrultusu değişim göstermektedir. Fay zonu boyunca gözlenen bu sıçrama ve büklüm noktalarına göre fayın geometrisi ve segmentasyonu için araştırmacılar farklı önerilerde bulunmuştur. Bazı araştırmacılar (McKenzie, 1976; Hempton vd., 1981; Muehlberger ve Gordon, 1987) DAFZ'nu 5 segmente ayırarak incelemişlerdir. Barka ve Kadinsky-Cade (1988) ise fay zonları boyunca gelişmiş olan geometrik süreksizliklere (sıçrama, büklüm yapma gibi) ve büyük depremlerin oluşturduğu kırıklara göre fay segmentasyonu yaparak; DAFZ üzerinde 14 segment belirlemiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. DAFZ'nun segmentasyonunun şematik görünümü (Barka ve Kadinsky-Cade'den (1988) düzenlenmiştir)

Perinçek ve Çemen (1990) DAFZ'nu 3 kola ayırarak incelerken, Şaroğlu vd. (1992) tarafından Karlıova-Türkoğlu üçlü eklemleri arasında 6 segment tanımlanmıştır. Herece (2008) fay zonu boyunca gelişmiş yükselim ve çöküntü alanlarını esas alarak fay zonu üzerinde 11 segment tanımlamıştır. DAFZ boyunca son detaylı segmentasyon gerçekleştiren Duman ve Emre (2013), fay zonunu ana kol ve kuzey kol olmak üzere iki kısma ayırmıştır. Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu ana kol üzerinde 7 segment, kuzey kol üzerinde ise 9 segment belirleyerek; toplamda 16 segment tanımlamışlardır. Çalışma alanı tanımlanan bu segmentlerden "Pütürge segmentine" karşılık gelmektedir.

Arabistan Platformu'nun Anadolu Bloğu ile çarpışmasına bağlı olarak DAFZ'nun Geç Miyosen-Erken Pliyosen zaman aralığında oluştuğu birçok araştırmacı tarafından benimsenmiştir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Hempton, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Lyberis vd., 1992). Bazı araştırmacılar (Şaroğlu vd., 1987; Şaroğlu vd., 1992; Trifanov vd., 1994) jeolojik kanıtları esas alarak DAFZ'nun aktivitesini Geç Pliyosen zamanında kazandığını ileri sürmüşlerdir. Herece ve Akay (1992) ise fay zonunun kuzeydoğu kesimindeki Pliyosen havzalarında gelişen D-B eksenli kıvrımların, DAFZ'nun oluşumundan önce çarpışmayla ilişkili K-G doğrultulu sıkışma rejimi sonucu oluştuğunu belirtmiştir. Bu verilere göre DAFZ'nun oluşumu için Geç Pliyosen-Kuvaterner zaman aralığını önermişlerdir.

Fayın yaşı hakkında en önemli veri kaynağını oluşturan birim sınırlarındaki atım miktarı fayın davranışını ve hareketini açıkça göstermektedir. Fayın segmentleri için birim sınırları ve drenaj ağlarındaki ötelenmelere bakılarak, farklı atım miktarları söylenmiştir. Çalışma alanı içerisinde Fırat nehrinin DAFZ tarafından sol yanal ötelenmesi bazı araştırmalarda (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Dewey vd., 1986; Hempton, 1987) 15 km olarak belirtilmiştir. Aynı ötelenmeyi Muehlberger ve Gordon (1987) uydu görüntülerinden faydalanarak 13 km, Perinçek ve Çemen (1990) ise 12 km olarak ölçmüştür. Fırat nehri yatağındaki atım miktarının yaklaşık 10 km olduğunu söyleyen Herece ve Akay (1992), aynı segment üzerinde metamorfik temel ile Maden Karmaşığı'nın birim sınırındaki atım miktarının 9 km olduğunu bildirmiştir. Ayrıca bu araştırmacılar Çelikhan'ın doğusunda metamorfik birimler ile volkanoklastik birimler arasındaki tektonik dokanağında 10 km yer değiştirme olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışma alanının güneybatısında BSZ'nun DAFZ tarafından 25 km sol yanal ötelendiği önerilmiştir (Gülen vd., 1987).

DAFZ boyunca gözlemlenen jeolojik verilere dayalı olarak, fay zonu için 4-13.5 mm/yıl kayma hızı önerilmiştir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1972; Yürür ve Chorowicz, 1998; Koçyiğit vd., 2001; Güneyle, 2002; Çetin vd., 2003; Aksoy vd., 2007). Tensör çözümleri ve GPS verilerine dayanan kinematik analiz sonuçları 7.8-19 mm/yıl aralığındaki kayma hızları ile uyumludur (Lyberis vd., 1992; Westaway, 2004; 2006). GPS ölçümleri ise DAFZ boyunca 4-15

mm/yıl kayma hızı göstermektedir (Oral vd., 1992; Barka ve Reilinger, 1997; McClusky vd., 2000; Westaway, 2003; Reilinger vd., 2006). DAFZ boyunca gerçekleştirilen sismolojik analizler ise yıllık 6-31 mm aralığında kayma hızı vermektedir (Taymaz vd., 1991; Kiratzi, 1993).

5.2. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Depremselliği

DAFZ büyük depremlerin gerçekleştiği ve deformasyonun kıta içerisine yayıldığı kıtasal yakınsama zonlarının bir ürünüdür. Bu anlamda fayın tarihsel ve aletsel dönemlerdeki sismik aktivitesinin bilinmesi, fayın kinematik karakterinin belirlenmesinde önemli veri setini oluşturmaktadır. Fay zonu üzerinde son yüzyıl boyunca yıkıcı bir depremin yaşanmamış olması ve sismik aktivitedeki seyreklik dikkat çekmektedir. Fay zonunun depremselliğini konu alan araştırmalar, aletsel dönemde oldukça suskun bir davranış sergileyen fay zonunda, tarihsel dönemlerde birçok yıkıcı depremin meydana geldiğini göstermektedir. DAFZ, eşleniği olarak bilinen ve son yüzyılda doğudan batıya doğru gelişen deprem serilerinin yaşandığı KAFZ ile sismik etkinlik bakımından karşılaştırılmaktadır. Tarihsel deprem kayıtlarına göre, DAFZ aktif bir depremsellik sergilerken; KAFZ'nun suskun bir sismik dönem geçirdiğini işaret etmektedir (Ambraseys, 1971; 1989).

DAFZ'nun da içinde yer aldığı, Kenar Kıvrımları Kuşağı boyunca 1500-1905 yılları arasında gelişmiş büyük depremler ($M_s > 6.6$) Türkiye ve çevresindeki birçok ülkenin arşiv, kaynak ve yazışma gibi resmi kayıtlarından derlenmiştir (Ambraseys, 1971, 1989). Bu tür çalışmalarda tarihsel kayıtların doğruluğu kadar, bilgilerin doğru yorumlanması da güvenilir sonuçlar elde etmede önem taşımaktadır. DAFZ, BSZ ve ÖDFZ'nun kuzey kesimlerini içine alan Kenar Kıvrımları Kuşağı'nda meydana gelen büyük tarihsel depremlerden DAFZ ile ilişkili olanları, Tablo 5.1'de işaretlenmiştir.

Ambraseys ve Jackson (1998) tarihsel dönemde yaşanan en yıkıcı depremlerin sırasıyla 1114 ($M > 7.8$), 1513 ($M > 7.4$) ve 1893 ($M > 7.1$) yıllarında yaklaşık 390 yıl arayla meydana geldiğini ifade etmiştir. Bu yıkıcı deprem serisinin tekrarlanma süresi aletsel dönemde meydana gelen 1905 Malatya depremi ($M: 6.8$) ile bozulmuştur. Osmanlı kaynaklarından, 28 Mart 1513 depreminin Tarsus-Malatya arasında geniş bir alanı etkilediği ve yıkıma neden olduğu bilgisi elde edilmiştir (Ambraseys, 1989). Oldukça şiddetli olan bu depremin Mısır'da da belirtilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1998). Etkilemiş olduğu alanlara bakıldığında Tarsus-Malatya depreminin, çalışma alanının güneybatısında Gölbaşı segmenti üzerinde gelişmiş olabileceği tahmin edilmektedir (Herece, 2008).

Tablo 5.1. Kenar Kıvrımları Kuşağı boyunca meydana gelmiş tarihsel depremler (Ambraseys, 1989)

Tarih	Episantır (N)	Episantır (E)	M _s	I ₀	Lokasyon
1503	37.4°	43.8°	6.9 -	-	Hakkâri (?)
1513	37.5°	36.5°	7.4 +	IX*	Tarsus-Malatya
1544 Ocak	38.0°	37.0°	6.7 +	X*	Zitun-Malatya
1573 c.	35.5°	45.0°	6.9 -	IX*	Shahrizur
31 Mart 1648	38.3°	43.5°	6.7	X	Van-Haytsdzor
22 Eylül 1666	37.0°	43.0°	6.6	IX*	Kuzey Musul
1 Ağustos 1670	38.0°	42.0°	6.6 +	-	Hizan
22 Kasım 1685	39.0°	41.0°	6.7	-	Gönek
27 Ocak 1705	38.7°	41.7°	6.7	IX*	Bitlis
8 Mart 1715	38.4°	43.9°	6.6 +	IX*	Van
29 Mayıs 1789	39.0°	40.0°	7.0 +	-	Palu
26 Nisan 1796	35.5°	36.0°	6.6 -	VIII*	Latakiya
13 Ağustos 1822	36.7°	36.9°	7.4 +	X	Afrin
20 Haziran 1866	38.5°	40.9°	6.8 -	IX*	Kulp
17 Mart 1871	38.0°	43.0°	6.8 +	-	Hakkâri
3 Nisan 1872	36.4°	36.5°	7.2 -	X	Amik Gölü
3 Mayıs 1874	38.5°	39.5°	7.1 +	X*	Gölcük Gölü I
3 Mart 1875	38.5°	39.5°	6.7	VII*	Gölcük Gölü II
10 Şubat 1884	37.5°	42.5°	6.9 -	VIII*	Siirt

Roma'daki ilkel sismograflar tarafından kaydedilen 2 Mart 1893 tarihli deprem çalışma alanının güneybatı kesimlerinde meydana gelmiştir. Özellikle Pütürge ile Malatya arasındaki dağ köylerini tamamen yıkan deprem 220 km uzunluğunda ve 120 km genişliğinde bir alanı etkilemiştir (Ambraseys, 1989). Büyük depremlerin episanırları genellikle fay zonlarındaki sıkışmalı bükümlerin yakınlarında gelişmektedir (Barka, 1983; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Çok sayıda can kaybı ve hasarın yaşandığı bu deprem Çelikhan'ın doğusundaki sıkışmalı bükümün olduğu dağlık alanda meydana gelmiştir.

Fay zonu boyunca aletsel dönemde meydana gelen en büyük depremlerin magnitüdüleri M: 6.0-6.8 arasında değişmektedir. Tarihsel dönemde büyük depremler ile kırılan fay zonu, aletsel dönemde genellikle orta büyüklükteki depremlerle sarsılmıştır (Tablo 5.2). Seyrek gözlenen büyük depremlerin yanı sıra; M<6.0'dan depremler DAFZ boyunca yoğunluk göstermektedir.

Tablo 5.2. DAFZ boyunca gelişmiş aletsel dönemdeki büyük depremlere ait veriler (AFAD)

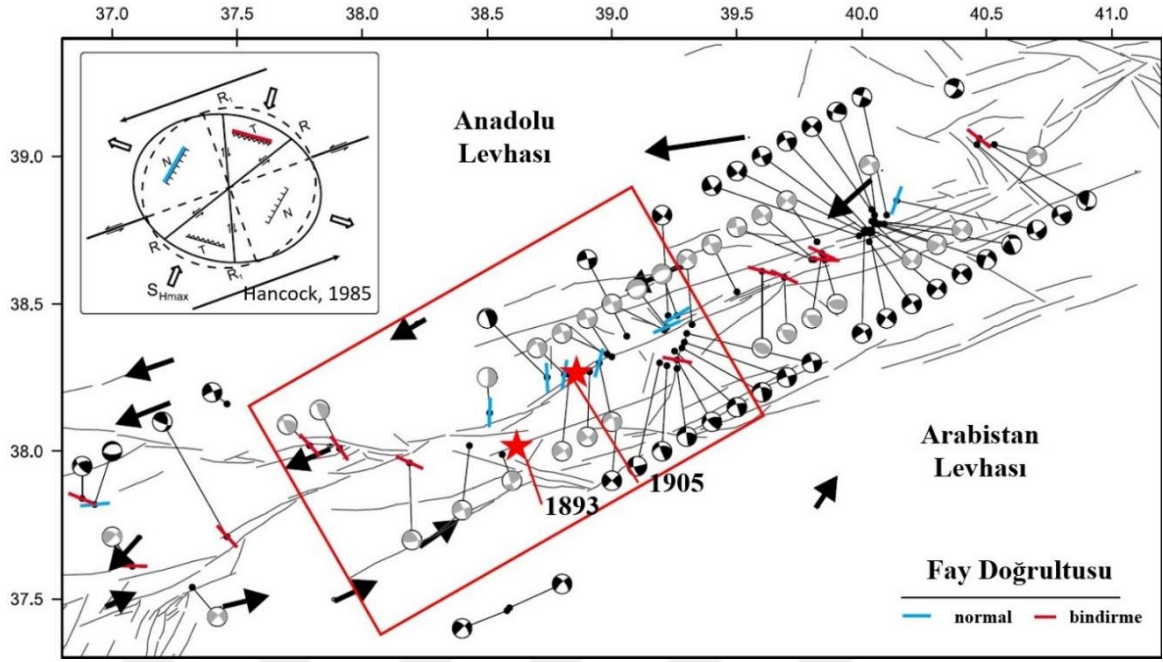
Tarih	Episantr (N)	Episantr (E)	M	Lokasyon
4 Aralık 1905	38.1°	38.6°	6.8	Malatya
14 Haziran 1964	38.1°	38.5°	6.0	Sincik
22 Mayıs 1971	39.0°	40.7°	6.7	Bingöl
6 Eylül 1975	38.5°	40.7°	6.2	Lice
5 Mayıs 1986	38.0°	37.7°	6.0	Doğanşehir
1 Mayıs 2003	39.0°	40.4°	6.4	Bingöl
11 Ağustos 2004	38.3°	39.2°	6.0	Sivrice
8 Mart 2010	38.7°	40.1°	6.1	Karakoçan

Pütürge-Sürgü arasındaki dağ köylerinde ağır hasar ve can kaybına yol açan 1905 Malatya depremi, 62 sismograf istasyonu tarafından kaydedilmiştir. Malatya'nın güneydoğusunda meydana gelen bu deprem, Suriye kıyılarını da içerisine alan geniş bir alanda hissedilmiştir (Ambraseys, 1989). Ana sarsıntı ardından, güçlü artçı şoklar (M:5.5) yaklaşık iki hafta kadar bölgede etkili olmuştur (Ambraseys ve Finkel, 1987).

1905 Malatya depremi ile neredeyse aynı merkez üssü lokasyonu veren 14 Haziran 1964 depremi Sincik yakınlarında meydana gelmiştir. Malatya'da hasara yol açan bu depremin ters çözüm, doğrultu atımın baskın olduğu normal faylanma mekanizmasında geliştiğini göstermektedir (Taymaz vd., 1991).

Bu iki deprem dışında orta büyüklükte depremlerin yaşandığı çalışma alanı, fay zonun diğer segmentlerine oranla daha sakinidir. Ancak Çelikhan doğusunda, fayın doğrultusundaki değişime bağlı gelişen sıkışmalı büklüm, deformasyon birikiminin en yoğun olduğu alan olarak sismik risk taşımaktadır.

DAFZ boyunca gelişmiş olan sismik faaliyetlerin araştırılması sonucunda, hiposantr dağılımının fay zonunun KD-GB doğrultusu ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra D-B ve K-G doğrultusundaki alt segmentlerin oluşturduğu lokal kümelenmeler sırasıyla bindirme ve normal fay oluşumlarını yansıtmaktadır. Depremlerin odak mekanizmaları da DAFZ'nun sol yanal hareketini doğrulamaktadır. Fay zonunda lokal olarak münferit bindirme ve normal fay oluşumunu gösteren odak mekanizmaları görülmektedir (Şekil 5.3). Sismik aktivitenin düşük olduğu Gölbaşı-Çelikhan-Pütürge alanlarındaki faylanma mekanizmasının dağılımı bu segmentin bir sismik boşluğu temsil ettiğini göstermektedir. Segment üzerindeki son yıkıcı deprem olarak yorumlanan 1893 (M>7.0) depremi düşünüldüğünde, bu segmentin sismik döngünün son fazına ulaştığı sonucuna varılabilir (Bulut vd., 2012).



Şekil 5.3. DAFZ boyunca meydana gelmiş depremlerin odak mekanizma çözümlerinin dağılımı ve sol yanal deformasyon elipsoidinin şematik görünümü (Bulut vd., 2012, yıldız ile gösterilen tarihsel deprem lokasyon verileri MTA'ya aittir)

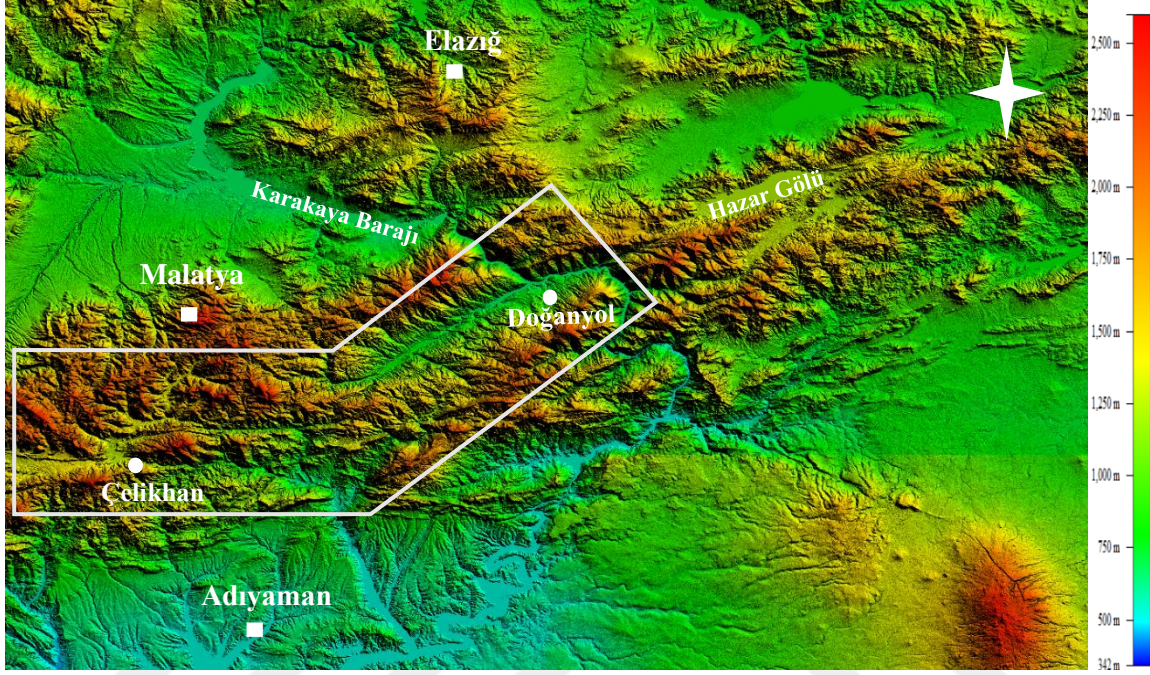
5.3. Uzaktan Algılama Çalışmaları

Yer bilimlerinde oldukça yaygın ve etkili bir şekilde kullanılan uzaktan algılama çalışmaları, aktif tektonik konularında da oldukça fayda sağlayan bir yan daldır. Bu anlamda saha çalışması öncesi inceleme alanının uzaktan algılama yöntemleri ile araştırılması büyük kolaylık sağlamaktadır. Uzaktan algılama çalışmaları mekânsal ve spektral çözünürlüklere sahip uydu görüntülerinin, amaca uygun yöntemlerle işlenmesine ve yorumlanmasına dayanmaktadır (Kaymakçı, 2006).

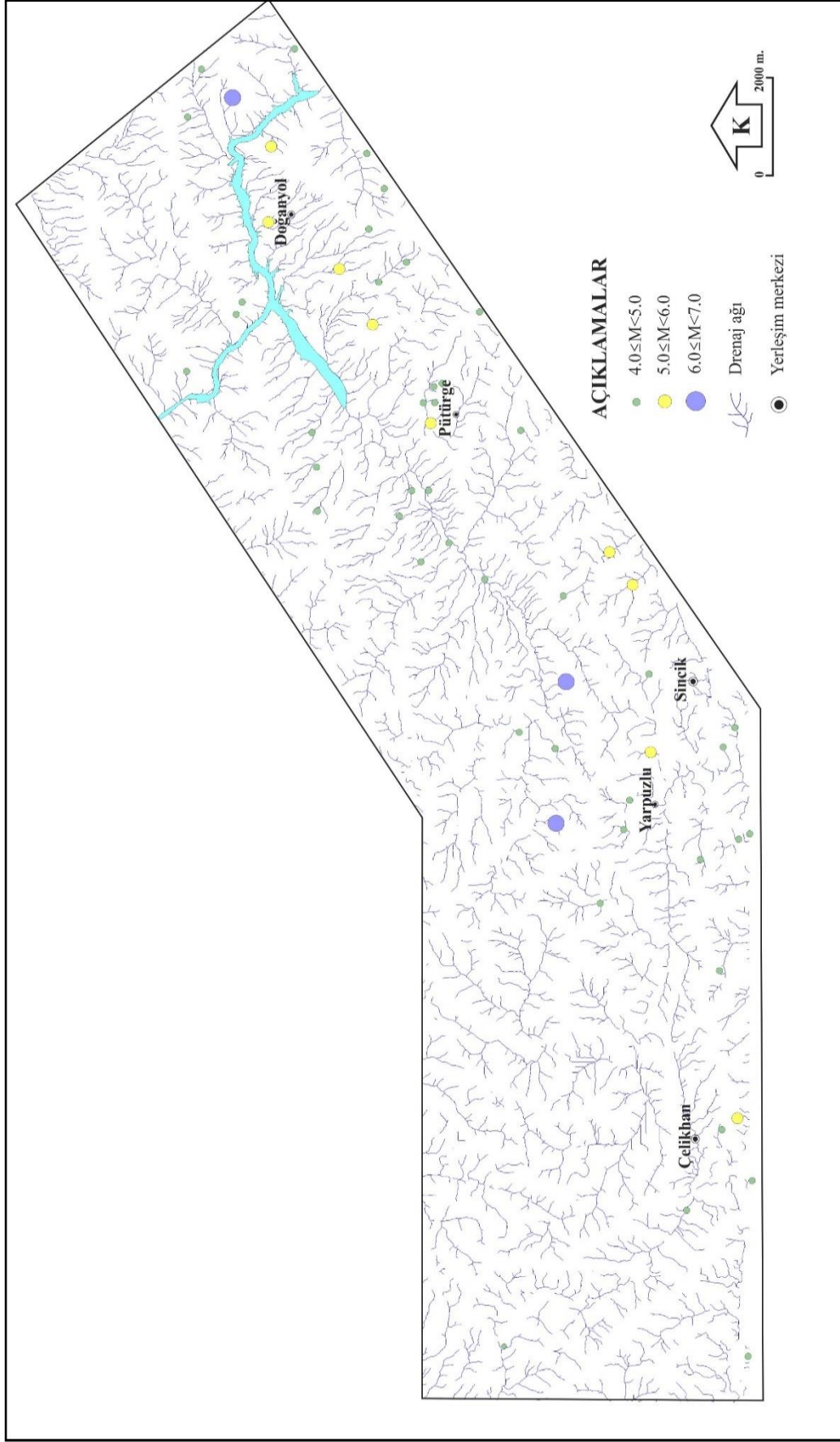
Bu kapsamda 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 8 (Yörünge 173, Sıra 33-34) ile 1 ARC saniye (30x30m) çözünürlüğündeki SRTM (Koordinat: 37N-38E, 37N-39E, 38N-38E, 38N-39E) uydu görüntülerine USGS üzerinden ücretsiz olarak erişim sağlanmıştır. 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip ASTER uydu görüntüleri ise MADAS üzerinden ücretsiz olarak elde edilmiştir. ASTER uydu görüntüleri; görünür yakın kızılötesi (VNIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızıl ötesi (TIR) olmak üzere toplamda 14 bant kapsamında, yüksek spektral çözünürlük sağlamaktadır.

SRTM görüntüleri arazinin topoğrafyasını yansıtarak, ana tektonik hatların belirlenmesinde oldukça fayda sağlamaktadır (Şekil 5.4). Morfolojik çeşitlilik sergileyen doğrultu atımlı faylarda net bir şekilde görülen drenaj ötelenmeleri, aktif tektonik hatların belirlenmesinde kullanılan en

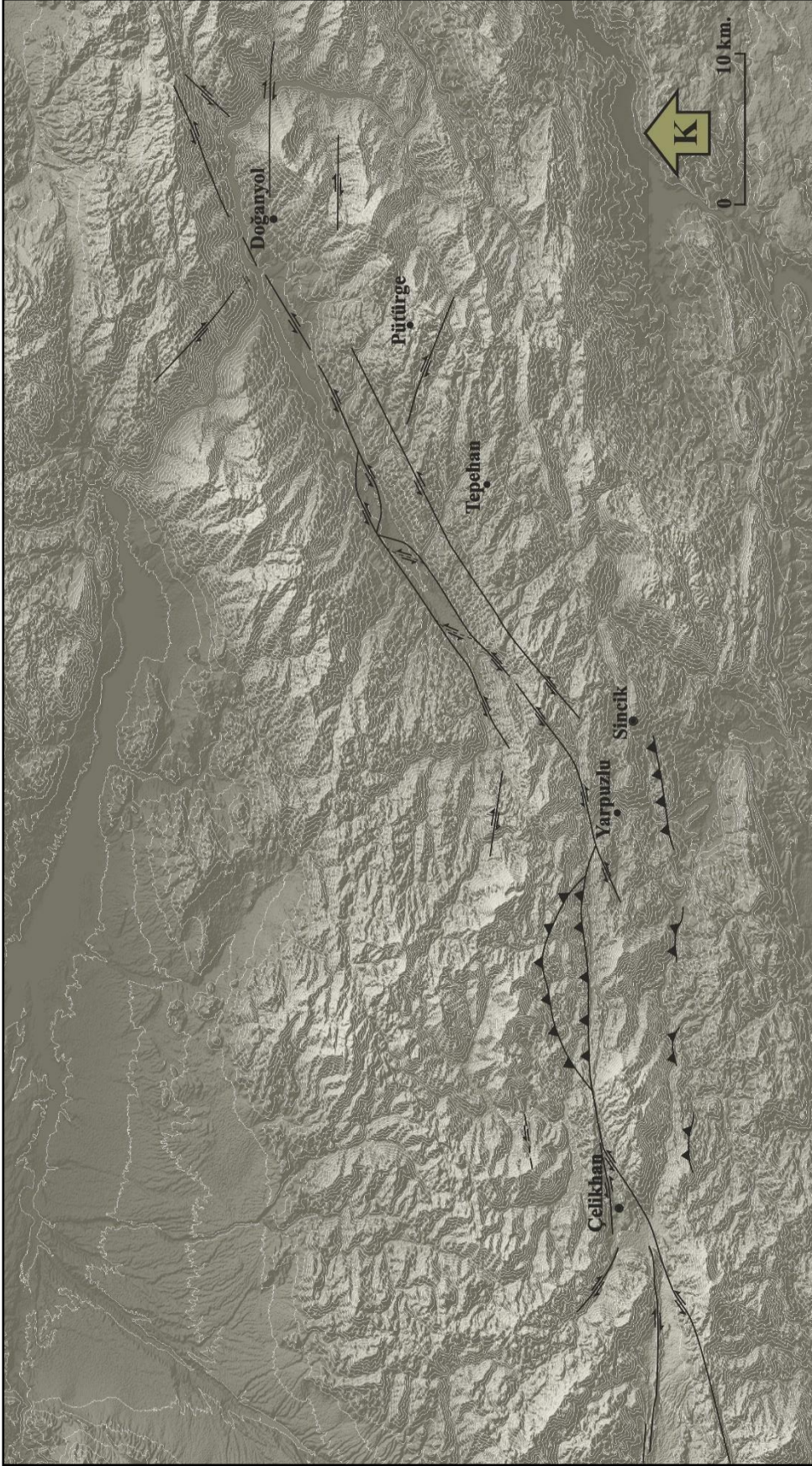
güvenilir ölçüttür. Bu görüntülerden sayısal programlar ile elde edilen drenaj ağı haritası ve aletsel döneme ait sismik aktivite lokasyonları çalışma alanının tektonik çatısının oluşturulmasında etkili olmuştur (Şekil 5.5). Sayısal görüntüler üzerinden oluşturulan 1/100.000 ölçekli tektonik haritanın (Şekil 5.6) kontrolü arazi çalışmaları ile denetlenmiştir.



Şekil 5.4. Çalışma alanına ait SRTM görüntüsü (USGS)



Şekil 5.5. SRTM görüntüsünden elde edilen drenaj haritası ve $M > 4.0$ olan aletsel dönem depremlerin dağılımı (AFAD)

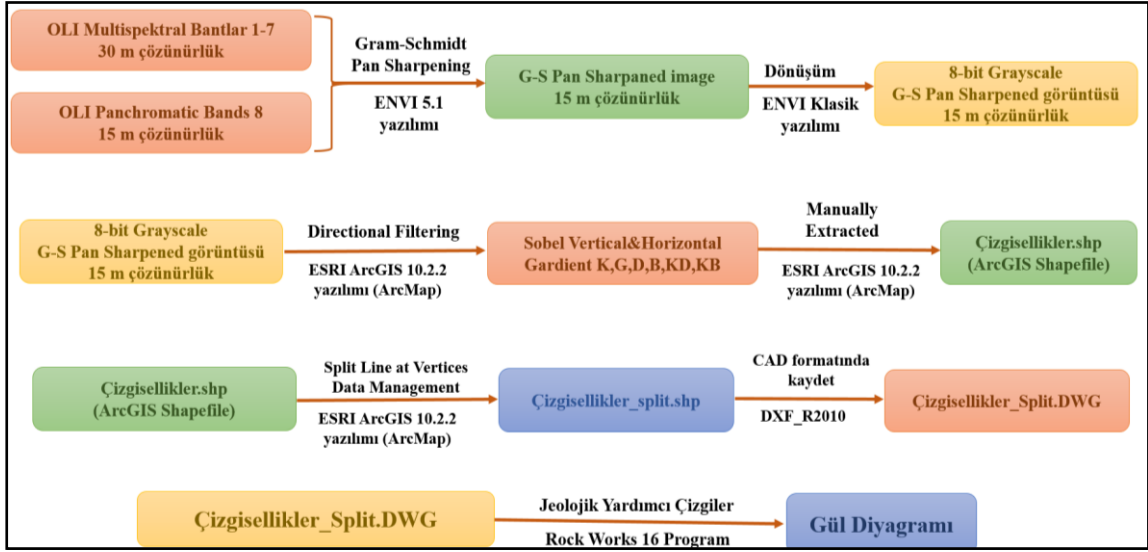


Şekil 5.6. SRTM görüntüsünden üzerine işlenen çalışma alanının 1:100.000 ölçekli tektonik haritası

Tektonik çatının oluşturulmasının yanı sıra; çalışma alanındaki çizgiselliklerin belirlenmesi ve yorumlanması deformasyon mekanizmasının çözümüne katkı sağlamaktadır. Özellikle de doğrultu atımlı faylar çizgisellik analizi için oldukça fazla yapısal çeşitlilik (ana yer değiştirme zonu, antitetik ve sentetik kırıklar, p kırıkları, genişlemeli ve sıkışmalı yapılar) sergilemektedir. Çizgisellikler jeolojik, morfolojik, ton farklılıkları ve insan yapımı olmak üzere dört grupta toplanabilir. Fay, kırık, eklem setleri ve çizgisel zayıflık zonlarını kapsayan jeolojik çizgisellikler analiz için en önemli veriyi oluşturmaktadır. Morfolojik çizgisellikleri ise sırtlar, çizgisel vadiler ve taraçalar oluşturmaktadır. Jeolojik ve tektonik süreçler sonucu gelişmiş olan bu morfolojik özellikler çizgisellik analizi için bir diğer veri kaynağını oluşturmaktadır. Ton farklılıklarına bağlı oluşan çizgisellikler ise birimlerin litolojik farklılığına, topraktaki nemlilik oranına ve bitki örtüsüne bağlı gelişmektedir. Bu üç çizgisellik türünün tektonik kökenli olup olmadığı arazi gözlemleri ile kesinlikle denetlenmelidir. Jeolojik süreçlere bağlı oluşmadıkları için yol, ekili alanlar, binalar, maden ocakları gibi insan yapımı çizgisellikler analizlerde değerlendirilmemelidir.

Çizgisellikler işlenen uydu görüntüleri üzerinden manuel ve otomatik olarak belirlenebilmektedir (Sarp, 2005). Bir önceki paragrafta bahsedilen çizgisellik çeşitleri düşünüldüğünde çizgiselliklerin manuel yöntemlerle belirlenmesi, otomatik yöntemlerle belirlenmesinden daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Kısa sürede sonuç elde edilmesi bakımından otomatik yöntemler avantajlı gibi görünse de, insan yapımı çizgisellikleri de kapsamı, analizin yorumlanmasında yanıltıcı olmaktadır. Ancak en dikkat edilmesi gereken nokta her iki yöntemde de belirlenen çizgiselliklerin arazi gözlemleri ile karşılaştırılmasıdır. Analiz yorumlamaları en doğru bu şekilde gerçekleştirilebilir.

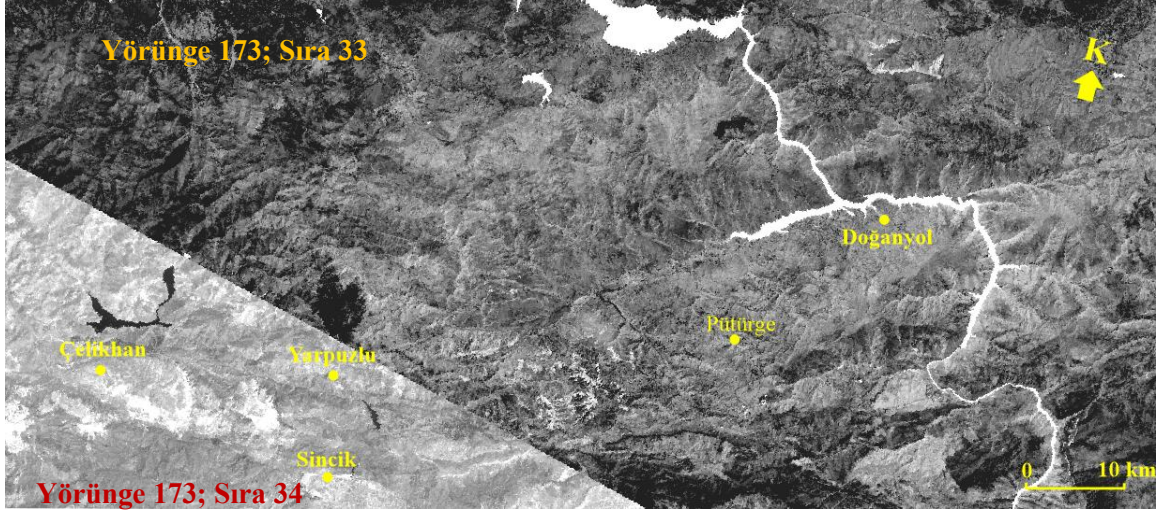
Bu çalışmada manuel yöntemlerle, uydu görüntüleri üzerinden çizgisellikler belirlenmiştir. Manuel yöntemlerle çizgiselliklerin belirlenmesine katkıda bulunabilecek birkaç görüntü zenginleştirme tekniği bulunmaktadır. Bu tekniklerden bazıları filtreleme işlemleri, temel bileşen analizleri (PCA), renk kombinasyonları ve spektral ölçeklendirmedir. Bu çalışmada da çizgisellik analizinin amacına uygun zenginleştirme teknikleri uygulanarak; çizgisellikler belirlenmiştir (Şekil 5.7).



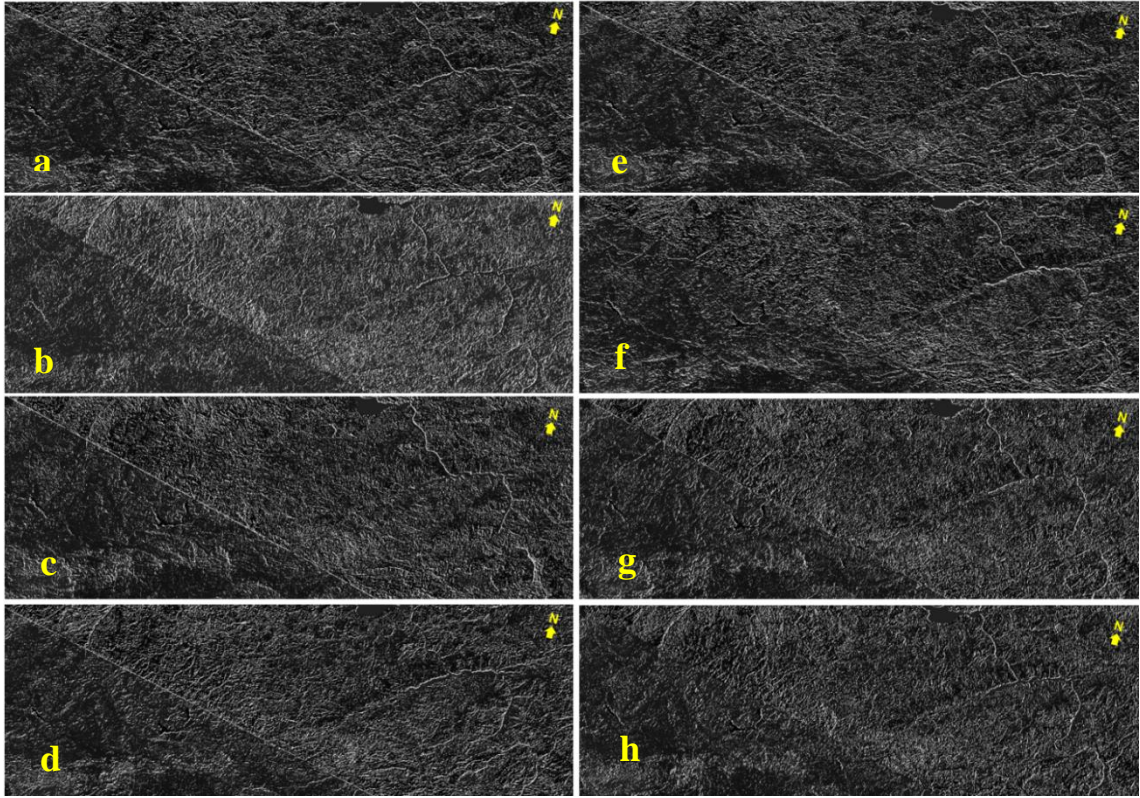
Şekil 5.7. Çizgisellik analizi için Landsat 8 uydu görüntüsüne uygulanan tekniklerin akış şeması (Doski (2019)'den değiştirilmiştir)

Çalışma alanının boyutları düşünülerek, çizgisellik analizi için 30 m çözünürlüğe sahip Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. 11 tane bant içeren Landsat 8 uydusunun ilk 7 bandı multispektral (30 m çözünürlüğe sahip), 8. bandı pankromatik (15 m çözünürlüğe sahip) ve son 3 bandı ise termal (90 m çözünürlüğe sahip) özelliktedir. Mekânsal çözünürlüğü en yüksek olan 8. pankromatik bant üzerine uygulanan Gram-Schmidt (G-S) Pan-sharpening zenginleştirme metodu ile çok bantlı, spektral çözünürlüğü yüksek görüntü ile birleştirilmiştir. Böylece mekânsal ve spektral çözünürlüğü yüksek daha kaliteli bir görüntü elde edilmiştir (Doski, 2019). Ayrıca çizgisellikleri maksimize etmek için bu görüntü üzerine temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır (Şekil 5.8).

Bu zenginleştirmelere ek olarak kenar belirleme analizi kapsamında görüntüye yönlü filtrelemeler (Sobel Dikey-Yatay, Gradient KD-KB-K-G-D-B) uygulanarak; çizgisellikler farklı yönlerdeki görüntüler üzerinden belirlenmiştir (Şekil 5.9). Yatay ve dikey çizgiselliklerin yanı sıra, dört ana yönde ve DAFZ'nun doğrultusuna paralel (KD) (Şekil 5.9 c) ve dik (KB) (Şekil 5.9 d) yönde kenar belirleme analizleri yapılmıştır. Özellikle DAFZ'na uygulanan dik (KB) (Şekil 5.9 d) yöndeki filtre fay zonuna ait KD-GB doğrultulu çizgisellikleri belirginleştirerek çizgiselliklerin belirlenmesinde etkili olmuştur.

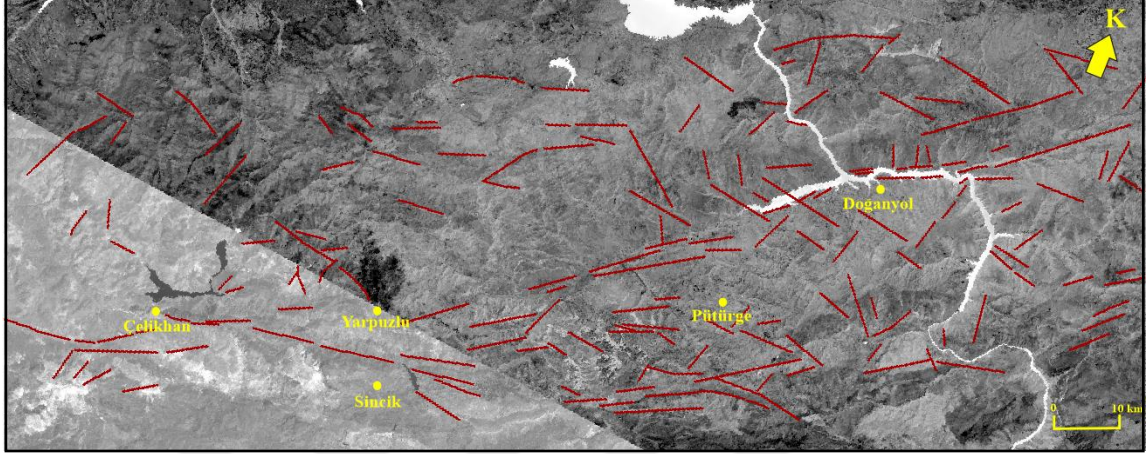


Şekil 5.8. G-S Pan-sharpening zenginleştirme tekniği ile temel bileşen analizi (PCA) uygulanarak; mekânsal çözünürlük ve çizgiselliğin artırıldığı Landsat 8 uydu görünümü



Şekil 5.9. Landsat 8 uydu görüntüsü üzerine uygulanan yönlü filtrelerin görünümü, (a) Sobel-Yatay, (b) Sobel-Dikey, (c) Gradient-KD, (d) Gradient-KB, (e) Gradient-K, (f) Gradient-G, (g) Gradient-D, (h) Gradient-B

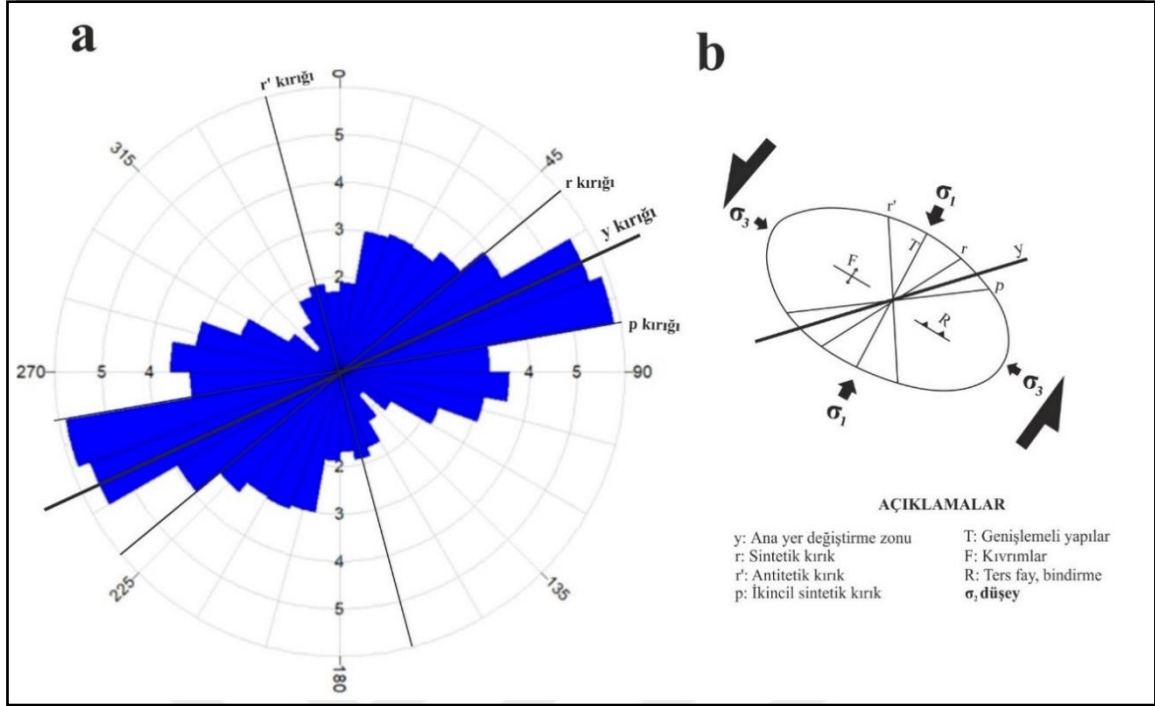
Uygulanan filtreler sonucunda çalışma alanındaki çizgisellikler görüntüler üzerinden manuel olarak belirlenmiştir (Şekil 5.10). Çizgiselliklerin tektonik kökenli olması için analiz, arazi gözlemleri ile desteklenmiştir. Çizgisellik analizi sonucunda toplam 290 çizgisellik elde edilmiştir. Çizgiselliklerin toplam uzunluğu 756.367,914 km olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10. Manuel olarak elde edilen çizgisellik haritasının görünümü (Landsat 8 OLI)

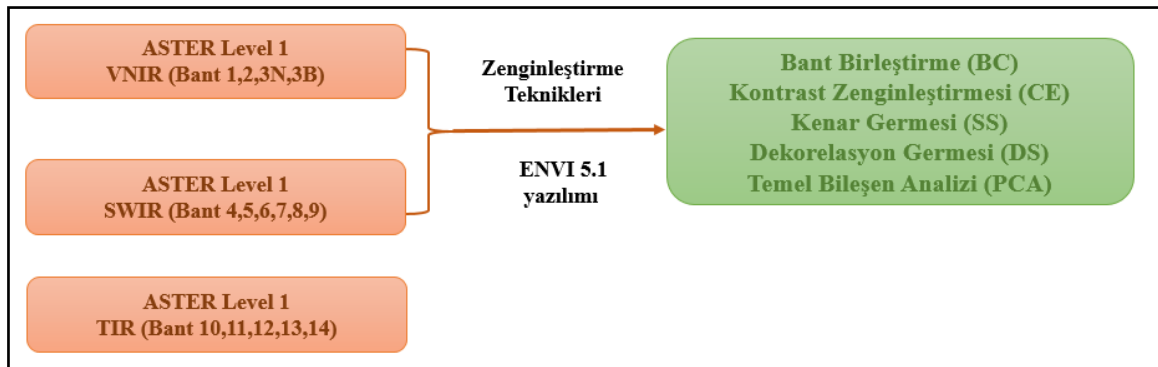
Elde edilen çizgiselliklerin doğrultuları, çizgiselliklerin başlangıç ve bitiş noktalarının koordinat verilerine göre sayısal programlar ile belirlenmiştir. Elde edilen doğrultular Rock Works 16 yazılımı (deneme sürümü) ile değerlendirilerek, gül diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 5.11 a). Gül diyagramı değerlendirildiğinde, çizgiselliklerin iki doğrultuda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu doğrultulardan biri $K65^{\circ}D$ doğrultusu ile DAFZ'na ait çizgisellikleri temsil ederken; $K75^{\circ}-80^{\circ}D$ doğrultusundaki çizgisellikler ise yaklaşık D-B uzanıma sahip bindirme faylarını göstermektedir.

Sol yönlü DAFZ sol yanal deformasyon elipsoidi içinde değerlendirildiğinde; ana fay zonuna yarı paralel gelişmiş ve aynı yönlü sentetik kırıklar (r kırığı) $K50^{\circ}D$ doğrultusunda yoğunlaşmıştır (Şekil 5.11 b). Antitetik kırıklar (r' kırığı) $K15^{\circ}B$ doğrultusunda olup ana fay zonun tersi davranış sergilemektedir. İkincil sentetik kırıklar ise $K80^{\circ}D$ doğrultusunda fayla aynı kinematik davranışı göstermektedir. Bunların dışında D-B doğrultusundaki çizgisellikler sıkışmalı yapıları, K-G doğrultusundaki çizgisellikler ise genişlemeli yapıları temsil etmektedir.



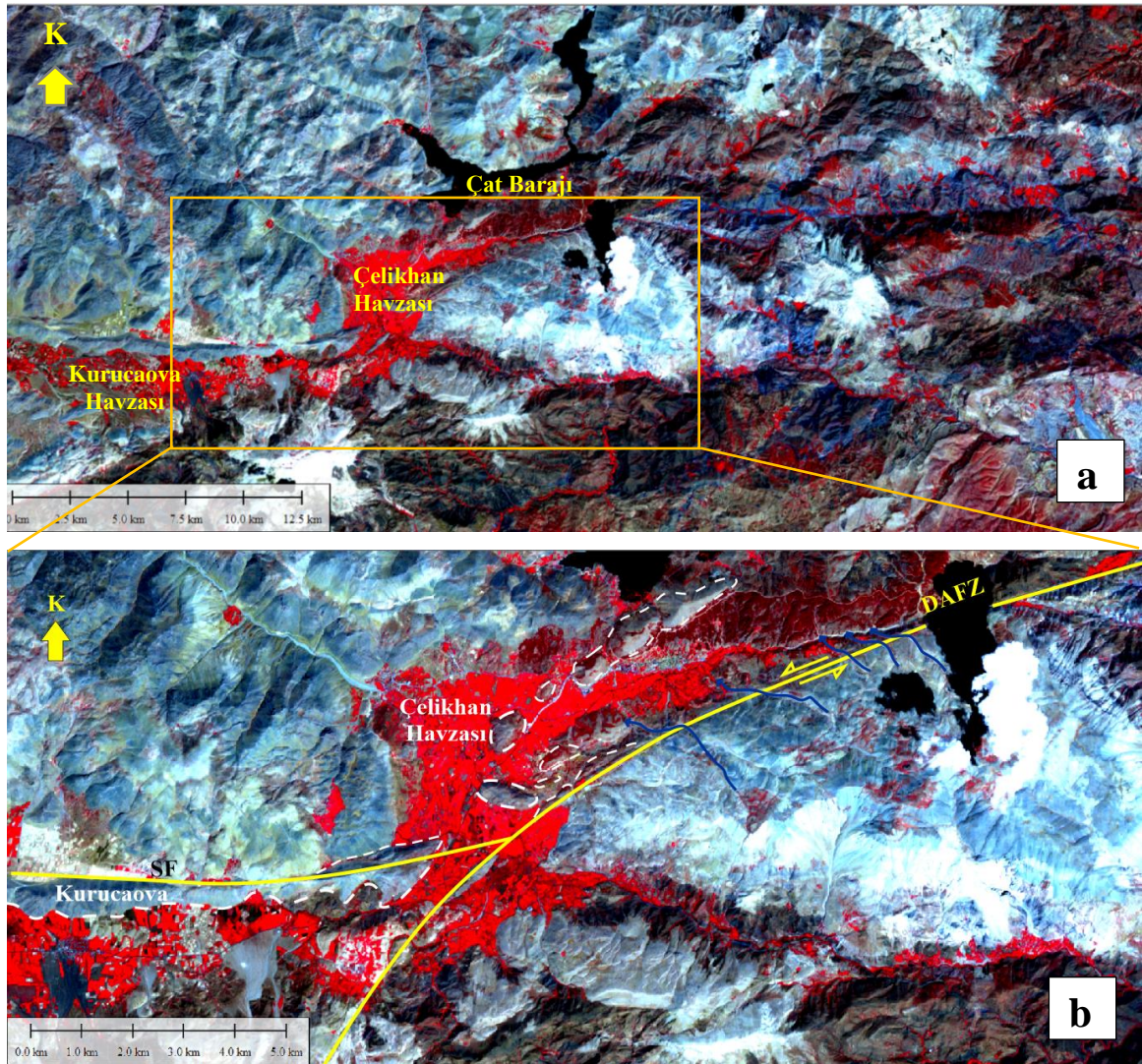
Şekil 5.11. (a) Uydu görüntüleri üzerinde belirlenen çizgiselliklerden elde edilen gül diyagramının görünümü, (b) sol yanal deformasyon elipsoidinin şematik görünümü (Sylvester, 1988)

ASTER uydu görüntüleri ise yüksek spektral çözünürlüğü ile tektonik ana hatların yanı sıra morfolojik unsurların ve litolojik farklılıkların tespit edilmesini sağlamaktadır. Görüntüler çeşitli zenginleştirme yöntemleri kullanılarak ENVI 5.1 yazılımı ile işlenmiştir. Bu zenginleştirme tekniklerini bant birleştirme, kontrast zenginleştirme, dekorelasyon germesi, kenar germesi ve temel bileşen analizi oluşturmaktadır (Şekil 5.12). Bu zenginleştirme işlemleri uydu görüntüsünün yorumlanmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. ASTER uydu görüntüleri işlenerek, tektonik hatlar daha belirgin hale getirmekte; aktif tektonik açısından en önemli morfolojik ölçüt olan drenaj ötelenmeleri de görüntü zenginleştirme teknikleri ile kolaylıkla belirlenmektedir.



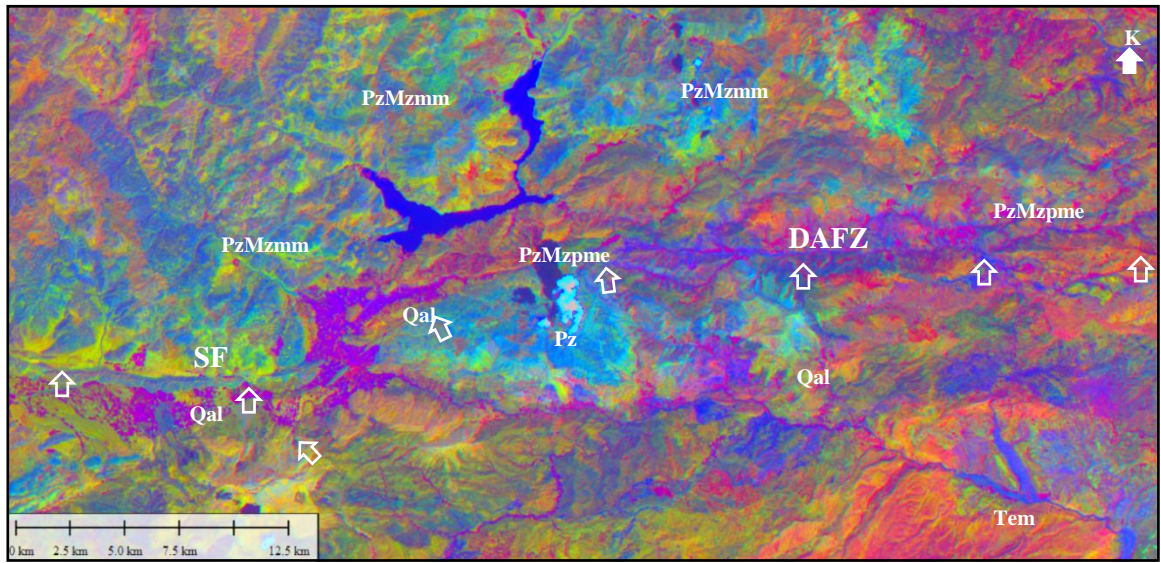
Şekil 5.12. ASTER uydu görüntülerine uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin akış şeması

Çalışma alanının güneybatı kesimine ait ASTER uydu görüntüsüne uygulanan RGB:321 bant kombinasyonu ile yapay renk bileşimi oluşturulmuştur (Şekil 5.13 a). Ek olarak keskinleştirme filtresi uygulanarak, görüntü daha net hale getirilmiştir. Elde edilen görüntüde kırmızı renkli alanlar havzaları ve tarım arazilerini temsil ederken, diğer alanlar ise bölgedeki dayanımlı kayaların oluşturduğu yükseltilerdir. Çelikhan'ın hemen doğusunda vadi içerisindeki akarsu ötelenmeleri yaklaşık 100 m ile 400 m arasında sol yanal davranış sergilemektedir. DAFZ Çelikhan'ın güneyinde doğrultusunu bir yay gibi değiştirerek Çelikhan havzasının güneydoğusunu sınırlamaktadır. Bu alanda faya paralel uzamış sırtlar dikkat çekmektedir (Şekil 5.13 b).



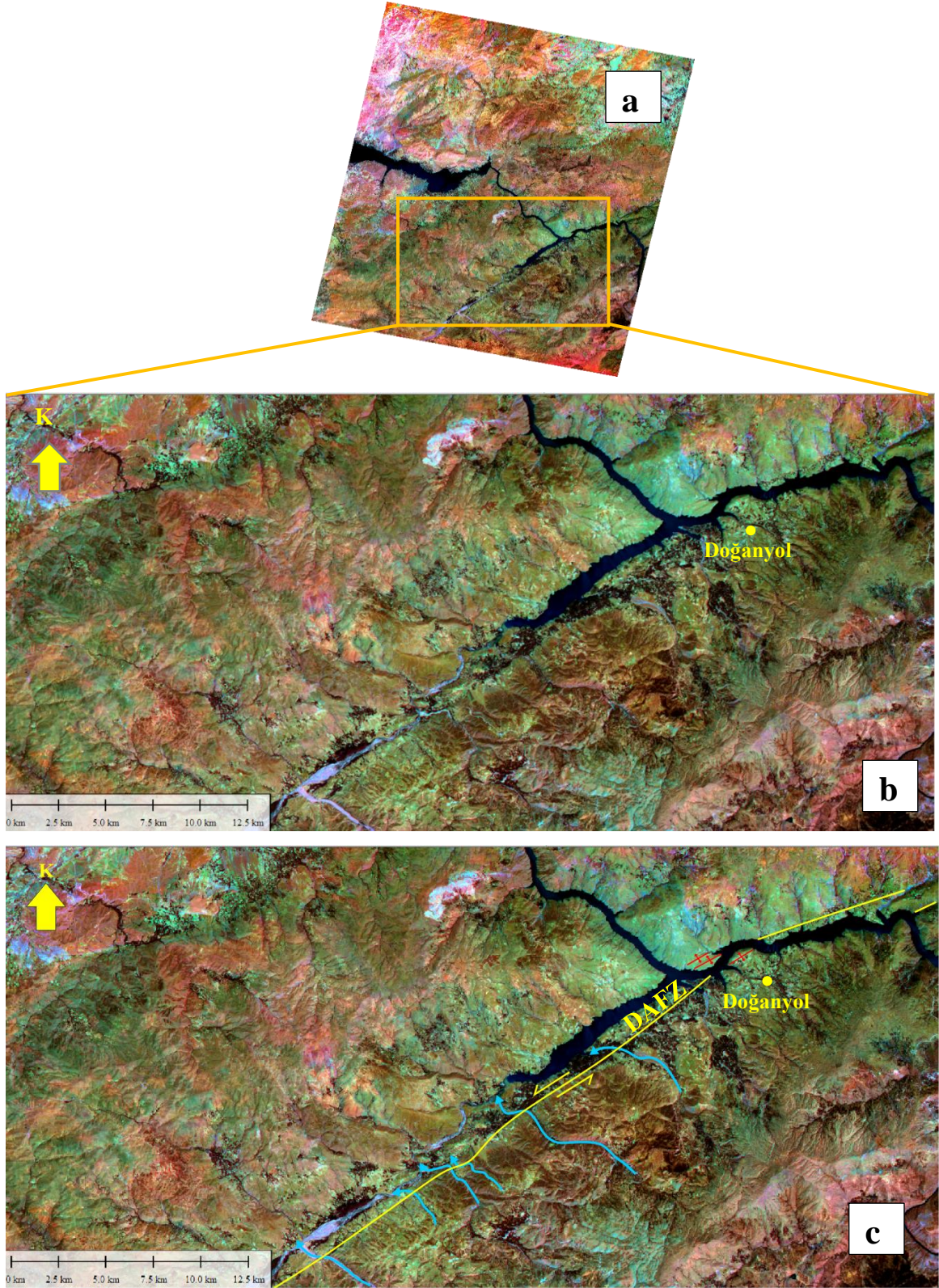
Şekil 5.13. (a) RGB: 321 bant bileşimi ve kenar gemesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü, (b) Çelikhan havzası ve çevresinin yorumlanmış hali (sarı çizgiler ana fay zonunu, beyaz kesikli çizgiler faya paralel uzamış basınç sırtlarını, mavi çizgiler ise ötelenmiş akarsuları göstermektedir)

ASTER uydu görüntülerinin yüksek spektral çözünürlüğünden faydalanılarak çok sayıda mineral dağılımına dayalı tematik jeoloji haritaları üretilmektedir (Van der Meer, 1997; Rowan ve Mars, 2003). Bu çalışmada RGB: 421 bant kombinasyonuna ait görüntü üzerine uygulanan dekorelasyon germesi alandaki litolojik farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Mavi renkli alanlar Malatya Metamorfileri'ne ait mermerleri, mor alanlar alüvyonları, Turuncu alanlar Maden Karmaşığı'na ait birimleri, sarı-kahverengi karışımı alacalı alanlar ise Pütürge Metamorfileri'ne ait birimleri göstermektedir. Böylece birim sınırları hakkında kabaca bilgi vermektedir. Birimlerin petrografik, mineralojik ve reolojik farklılıklarından kaynaklı DAFZ ve Sürgü Fayı'nın uzanımı renk kontrastı ile net olarak ayırt edilmektedir (Şekil 5.14).



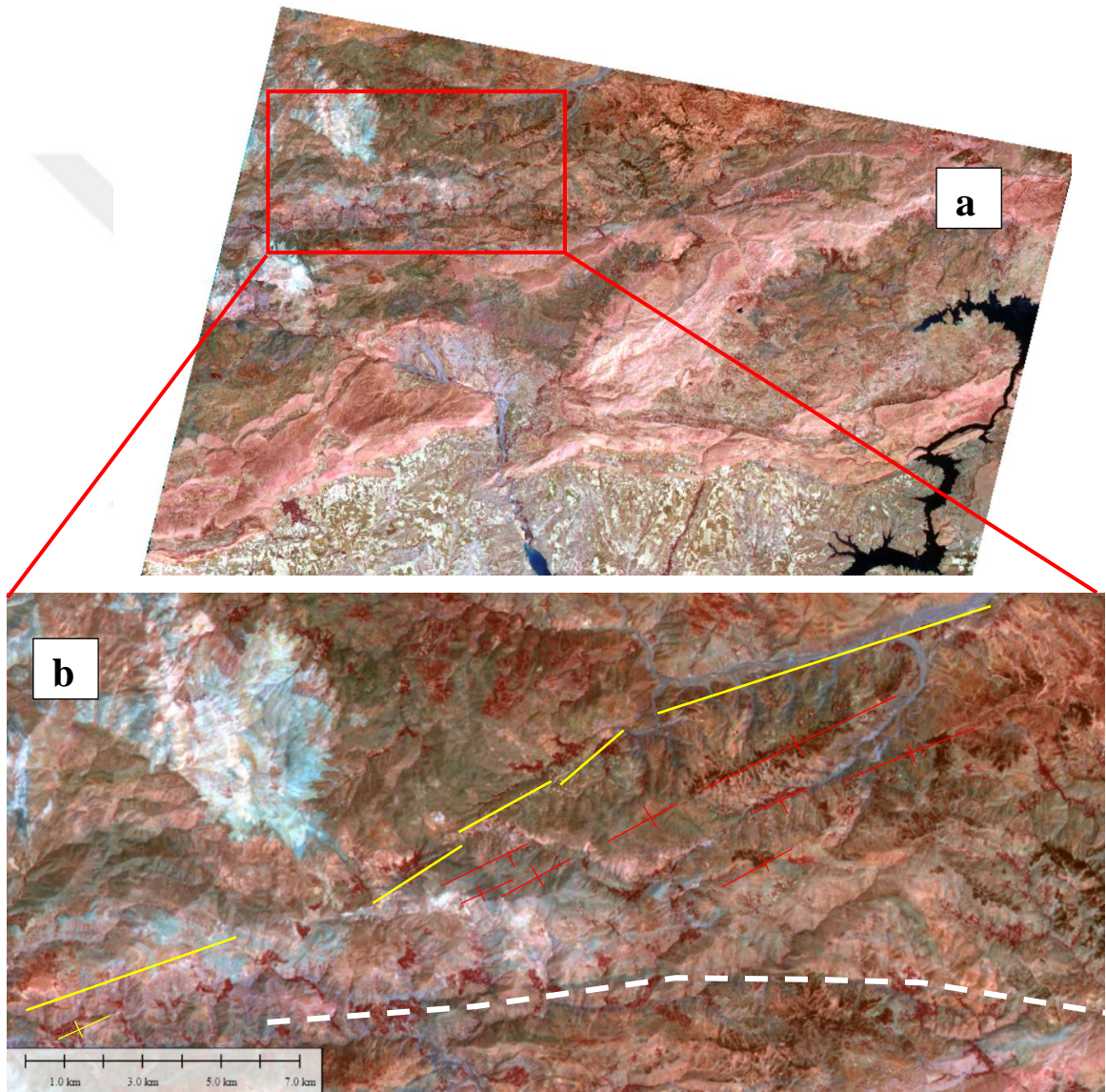
Şekil 5.14. Çelikhan ve çevresinin RGB: 421 bant bileşimi ve dekorelasyon germesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü (PzMzmm: Malatya Metamorfileri, PzMzpm: Pütürge Metamorfileri, Tem: Maden Karmaşığı, Qal: Alüvyon, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, SF: Sürgü Fayı, beyaz oklar belirgin fay izini göstermektedir)

Çalışma alanının Doğanyol kesiminde yaklaşık 13 km'lik atıma sahip Fırat Nehri boyunca DAFZ'na ait segmentler net bir şekilde görülmektedir (Şekil 5.15 a). Ayrıca fay zonuna paralel gelişmiş uzamış sırtlar ve çizgisellikler RGB: 521 renk kombinasyonu ve kenar germesi yöntemleri ile daha belirgin hale getirilmiştir. Ayrıca Fırat Nehri'ni besleyen yan kollardaki ötelenmeler fayın sol yönlü karakterini açıkça göstermektedir (Şekil 5.15 b, c).



Şekil 5.15. (a) RGB: 521 bant bileşimi ve kenar gemesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü, (b) Fırat Nehri ve civarının yakından görünümü (c) Bu görünümün yorumlanmış hali (sarı çizgiler ana fay zonunu, kırmızı çizgiler faya paralel uzamış basınç sırtlarının eksenlerini, mavi çizgiler ise ötelenmiş akarsuları göstermektedir)

DAFZ güneybatıya doğru, Şiro vadisi boyunca ilerlemektedir. Vadiye boşalan akarsulardaki sol yönlü atımlar, vadinin fayın etkisiyle gelişmiş çizgisel bir vadi olduğunun kanıtıdır. Ayrıca fay zonunun bu kesiminde faylanma ile ilksel ilişkiye sahip basınç sırtları faya paralel bir şekilde sıralanmıştır (Şekil 5.16 a, b). Fay Şiro vadisi boyunca Pütürge Metamorfitleri ile alüvyonlar arasındaki süreksizlik zonunda ilerlemiştir. Reolojik özelliklerden kaynaklı fay düzlemleri metamorfik kayalar üzerinde oluşmuştur. Gevşek özellikteki alüvyonlar ve eski seviyelerinden 25 m yukarıda duran teraslar (Herece, 2008) içinde, faylanmaya bağlı deformasyonlar gözlenmiştir.



Şekil 5.16. (a) RGB: 421 bant bileşimi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü, (b) Pütürge ve çevresinin ASTER görüntüsünün yorumlanmış halı (sarı çizgiler ana fay zonunu, beyaz kesikli çizgiler bindirme fayını, kırmızı çizgiler ise uzamış basınç sırtlarını göstermektedir)

5.4. Kinematik Analiz Çalışmaları

Bölgede etkili olan gerilmeler kayacın türüne bağlı olarak; yerkabuğunun üst kısmında gevrek deformasyona ve dolayısıyla kırık sistemlerinin gelişimine neden olabilir. Uygun koşullarda, deformasyona neden olan hareketin türü bu kırık sistemleri içerisinde korunmaktadır. Bir alan içerisinde farklı noktalardan ölçülecek olan bu kırık sistemleri, fayın geometrisi ve deformasyon geçmişinin ortaya çıkarılmasında en önemli veri setini oluşturmaktadır (Carey-Guailhardis ve Mercier, 1987). Bir fay düzlemi bir veya birden fazla faz içerebilir. Paleostres analizleri fayın oluşumundan itibaren geçirdiği farklı deformasyon evrelerini ortaya koymakla beraber, bölgede etkin olan son tektonik rejim hakkında da bilgiler sunmaktadır.

5.4.1. Fay Topluluklarının Değerlendirildiği Kinematik Analiz Yöntemi

Kinematik yönü gösteren fay topluluklarının deformasyon geçişleri farklı yöntemler kullanılarak bulunabilir. Grafikselleştirilen yöntemler (Arthaud, 1969), deprem odak çözümleri ve sismik veriye dayalı eş alan yöntemleri (Pegoraro, 1972; Angelier ve Mechler, 1977) ve fay veri setlerine dayalı sayısal analiz yöntemleri (Carey, 1976; 1979; Angelier, 1984) ile paleostres analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler Wulff ağı veya Schmidt ağı üzerinde stereografik metotlar ile elde çizilmektedir. Bununla birlikte fayların kinematik yorumlaması için; bazı mekanik yaklaşımlara dayalı bilgisayar destekli kantitatif yöntemler (Wallace, 1958; Bott, 1959; Price, 1966) geliştirilmiştir. Bu mekanik yaklaşımların gerektirdiği koşullar şöyle sıralanabilir.

- Kayaç kütlesi içindeki tektonik faz, tek bir homojen gerilme tensörü ile temsil edilmektedir.
- Tektonik faz için kayacın izotropik ve homojen olduğu varsayılmaktadır.
- Fay düzlemi üzerinde gelişen kayma yönü (kayma (S_i) çizgisi) maksimum makaslama gerilmesinin (τ_i) doğrultusuna ve yönüne paralel olarak kabul edilmektedir.
- Faylarla ayrılmış bloklar arasında sürekli deformasyonun olmadığı ve deformasyon esnasında fay düzleminde rotasyonların olmadığı varsayılmaktadır.

Fay topluluklarının kinematik analizi için çalışma alanında belirlenen lokasyonlardan fay parametrelerinin (fay düzleminin doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, kayma vektörü, hareketin yönü ve türü) ölçülmesi gereklidir. Paleostres değerlendirmeleri için hareketin yönü ve türünün arazi çalışmalarında tespit edilmesi çok önemlidir. Ayrıca aynı fay düzlemi üzerinde birbirini üzerleyen kayma vektörleri bölgedeki tektonik fazların kronolojik olarak ayırt edilmesinde kullanılmaktadır. Fay topluluklarının gözlemlendiği lokasyonda ölçülen fay verisinin miktarı kadar, verilerin sınıflandırılması da önem taşımaktadır.

Gerilme değişimlerini (stres inversiyonu) belirleyen yöntemler sonucunda deformasyona neden olan gerilme eksenleri ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ve gerilme oranı ($R: (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, $0 < R < 1$) parametreleri hesaplanmaktadır (Angelier, 1990). 0 ($\sigma_2 = \sigma_3$) ile 1 ($\sigma_1 = \sigma_2$) arasında bir değere sahip gerilme oranı (R), deformasyon elipsoidinin şeklini belirlemektedir (Angelier, 1994).

Bu çalışmada ölçümlerin yapıldığı tüm noktalardaki veriler alt gruplar halinde sınıflandırılmış ve WinTensor yazılımı içerisindeki rotasyonel optimizasyon yöntemi ile gerilme eksenleri ve gerilme oranı hesaplanmıştır. Yöntemde gözlenen fay setinin yönelimi ile fay düzlemi üzerinde çözümlenmiş maksimum kayma gerilmesi arasındaki açı, uyumsuzluk açısı (α) olarak ifade edilmektedir. Hesaplanan gerilme tensörü ile gözlenen fay kayma verileri arasındaki en iyi uyum, uyumsuzluk açısını (α) en aza indirmek için, hesaplanan gerilme tensörünün kademeli olarak döndürülmesiyle elde edilmektedir.

Uyumsuzluk açısının iyileştirilmesi, normal gerilimi en aza indirerek ve çalışılan fay düzlemine etkiyen kayma gerilimini en üst seviyeye çıkartılması ile ilişkilidir (Delvaux ve Sperner, 2003). Böylece sahada gözlemlenen fay topluluklarının yönelimi ile hesaplanan gerilme tensörü arasındaki en iyi uyum, uyumsuzluk açısı ile kontrol edilmektedir. Dolayısıyla uyumsuzluk açısı bir nevi değerlendirilen verilerin doğruluğunu göstermektedir.

Ayrıca gerilme rejimi indeksi (R') gerilme oranına (R) göre hesaplanmaktadır. Gerilme rejimi indeksi (R') 0 ile 3 arasında bir değere sahiptir. Normal fay oluşumunda gerilme rejimi indeksi gerilme oranına eşit olup ($R' = R$), 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Doğrultu atımlı fayların oluşumunda ise gerilme oranı değeri 2 rakamından çıkarılarak gerilme rejimi indeksi değeri ($R' = 2 - R$) elde edilir ve $1 < R' < 2$ aralığında bir değere sahiptir. Sıkışmalı rejimlerde ise gerilme rejimi indeksi gerilme oranına 2 rakamı eklenerek ($R' = 2 + R$) hesaplanmaktadır. Gerilme alanları σ_1 düşey ekseninde olduğu zaman; radyal genişleme rejiminden ($0 < R < 0.25$), saf genişleme rejimine ($0.25 < R < 0.75$) ve transtansiyonel rejime ($0.75 < R < 1$) değişmektedir. Düşey ekseninde σ_2 gerilme ekseninde olduğu zaman; gerilme alanları transpresiyonel rejimden ($0 < R < 0.25$), saf doğrultu atımlı rejime ($0.25 < R < 0.75$) ve transtansiyonel rejime ($0.75 < R < 1$) değişmektedir. σ_3 'ün düşey ekseninde bulunması durumunda ise gerilme alanları transpresiyonel rejimden ($0 < R < 0.25$), saf sıkışma rejimine ($0.25 < R < 0.75$) ve radyal sıkışma rejimine ($0.75 < R < 1$) değişmektedir (Delvaux vd., 1997). Bu değerler Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

Gerilme tensörü tipi	GENİŞLEME				DOĞRULTU ATIM				SIKIŞMA				
Gerilme sembolleri													
Gerilme oranı R	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Gerilme rejimi	Radyal Genişleme		Saf Genişleme		Transtansiyonel	Saf Doğrultu Atım		Transpresiyonel	Saf Sıkışma		Radyal Sıkışma		
Gerilme indeksi R'	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00

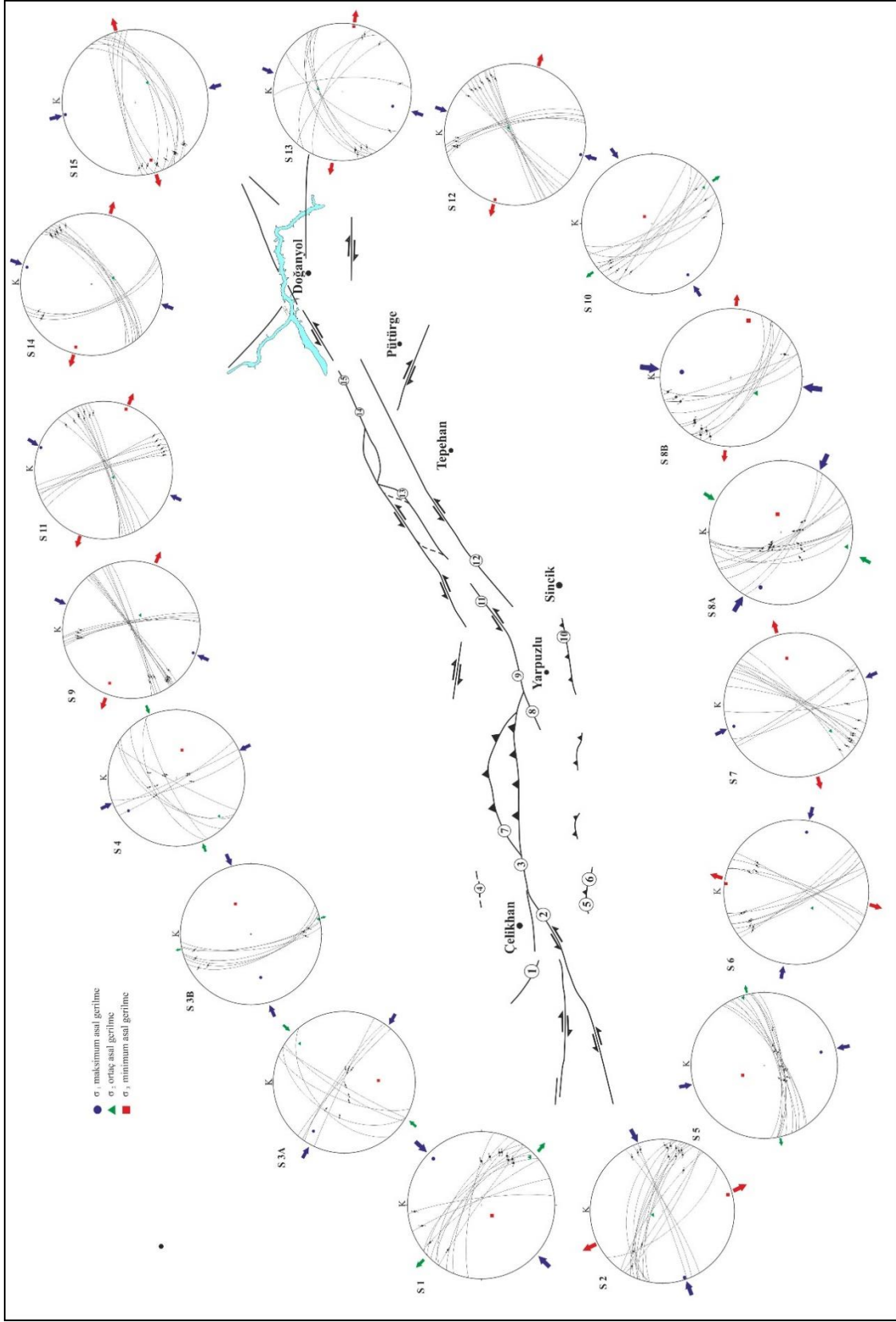
Şekil 5.17. Gerilme rejimlerine ait şematik görünüm (Delvaux vd., 1997'den düzenlenmiştir)

5.4.2. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Sonuçları

Çalışma alanında fay topluluklarından ölçülen kinematik parametreler (fay düzleminin doğrultusu, eğim yönü, eğim miktarı, sapma açısı ve hareketin türü) Win Tensor (Delvaux ve Sperner, 2003) adlı yazılımın, rotasyonel optimizasyon yönteminin F3 ve F5 modülünde değerlendirilmiştir. Değişik yaşta ve türde jeolojik birimleri etkilemiş olan faylardan (Tablo 5.3) toplamda 15 lokasyonda 202 adet fay verisi ölçülmüştür (Şekil 5.18).

Tablo 5.3. Fay topluluklarının ölçüldüğü lokasyon ve jeolojik birim bilgisi (N: ölçüm sayısı).

Lokasyon	Enlem (K)	Boylam (D)	N	Jeolojik Birim	Litoloji	Yaş
1	4213894	431845	12	PzMzm	Mermer	Jura-Kretase
2	4209994	436811	16	Pzpm	Şist	Prekambriyen
3	4211809	441913	16	Tem	Volkanoklastikler	Orta Eosen
4	4219370	436347	14	PzMzm	Mermer	Jura-Kretase
5	4203471	438630	12	Teg	Karasal kırıntılılar	Orta Eosen
6	4203499	439135	11	Teg	Karasal kırıntılılar	Orta Eosen
7	4212683	447640	14	Tem	Volkanoklastikler	Orta Eosen
8	4211911	451646	22	Tem	Volkanoklastikler	Orta Eosen
9	4214057	456756	15	Tem	Volkanoklastikler	Orta Eosen
10	4211591	459266	10	Pzpm	Amfibolit	Prekambriyen
11	4216180	465716	14	Pzpm	Amfibolit	Prekambriyen
12	4221709	472286	14	Pzpm	Şist	Prekambriyen
13	4222188	473059	10	Pzpm	Şist	Prekambriyen
14	4232059	486064	11	Q	Karasal kırıntılılar	Pliyo-Kuvaterner
15	4232592	486413	11	Pzpm	Şist	Orta Eosen



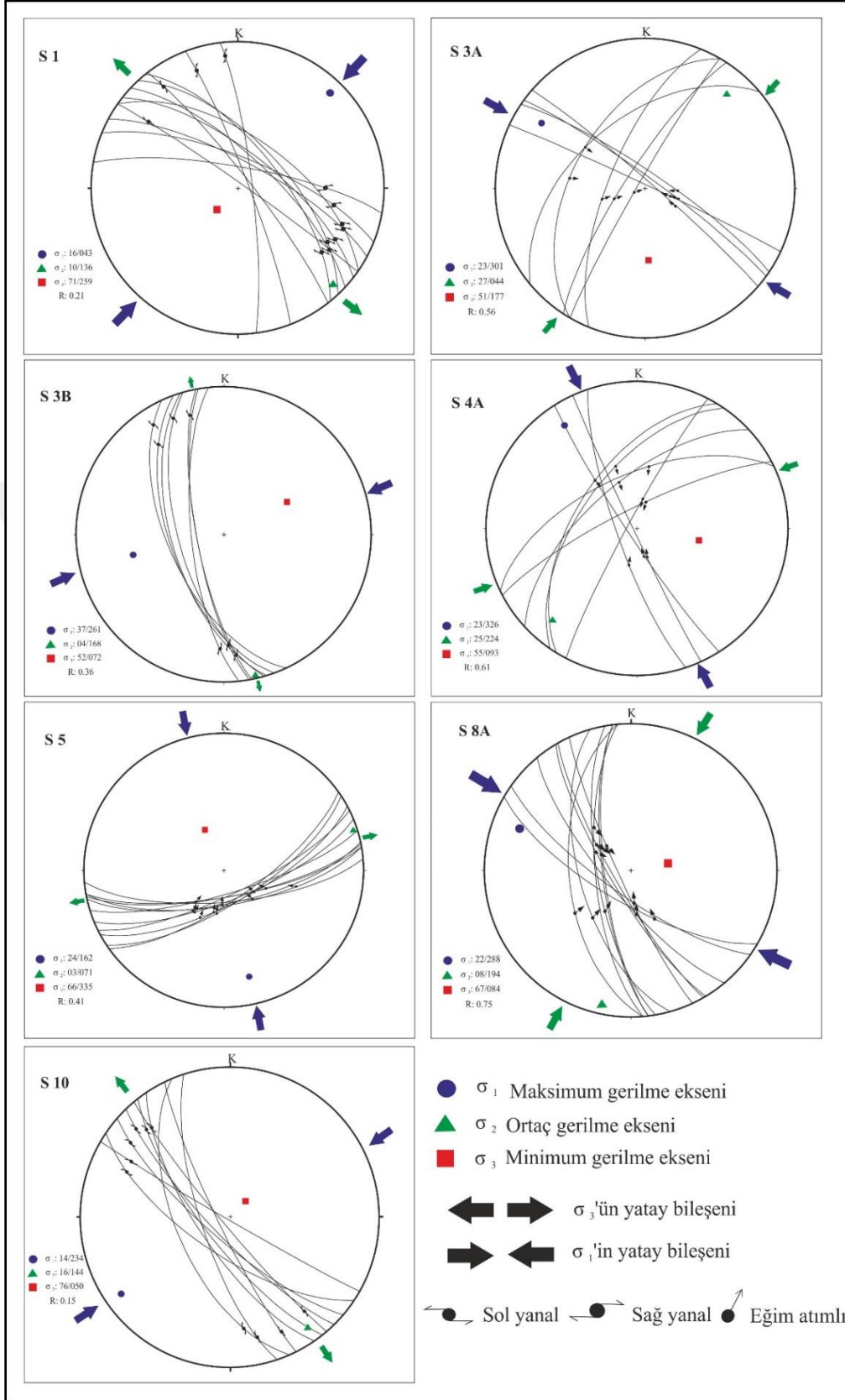
Şekil 5.18. Tektonik harita üzerinde fay topluluklarının ölçüm noktaları ve paleostres analizlerinin görüntümü

Sıkışmalı Tektonik Rejimler

1, 3A, 3B, 4A, 5, 8A ve 10 numaralı lokasyonlardan ölçülen fay toplulukları sıkışmalı tektonik rejimi altında gelişmiş olup; σ_3 düşey konumda bulunmaktadır (Tablo 5.4). Bu fay toplulukları R ve R' değerlerine göre saf sıkışma rejiminden radyal sıkışma ve transpresiyonel rejime geçmektedir. Genellikle KB-GD ile yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma altında gelişmiş fay toplulukları (3A, 4A, 5, 8A, 10) sırasıyla Orta Eosen-Geç Oligosen zaman aralığı ile Orta Miyosen sonlarındaki deformasyonun, ağırlıklı olarak saf sıkışma rejimi olduğunu göstermektedir. 8A lokasyonundaki fay verileri 0.75 R oranı ile radyal sıkışmalı rejim gösterirken; 10. lokasyondaki fay toplulukları 0.15 R oranı ile transpresiyonel rejim altında gelişmiştir. Geç Pliyosen'den günümüze etkili olan KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş 1 ve 3B lokasyonlarındaki fay topluluklarının R oranları ise, sırasıyla transpresiyonel ve saf sıkışma rejimi ile uyumludur (Şekil 5.19).

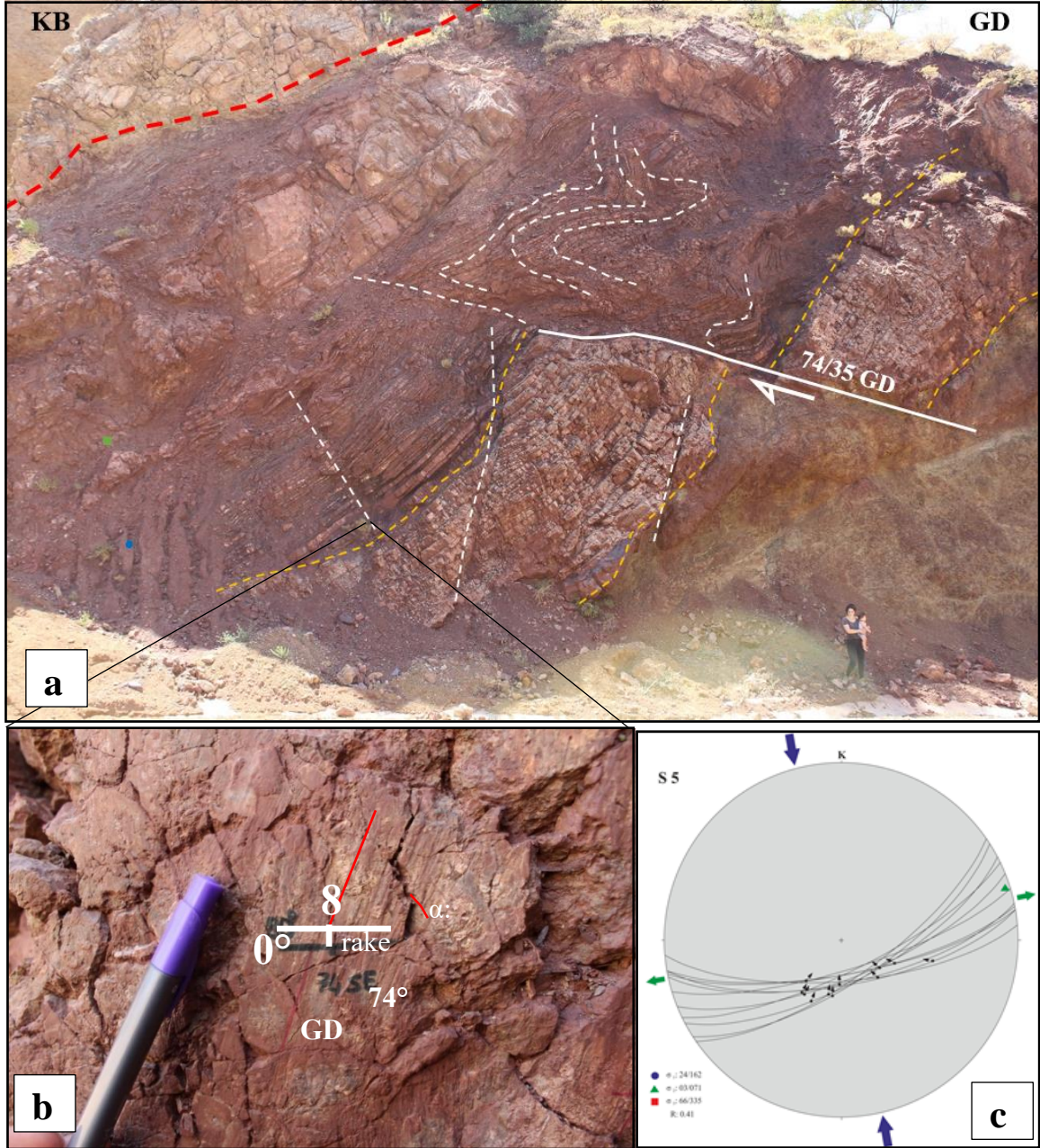
Tablo 5.4. Sıkışmalı tektonik rejim altında gelişmiş fay topluluklarının Delvaux ve Sperner (2003) tarafından geliştirilen rotasyonel optimizasyon yöntemi sonucu hesaplanan gerilme eksenlerinin (σ_1 , σ_2 , σ_3) durumu, gerilme oranı (R), gerilme indeksi (R') ve bu değerlere göre belirlenen rejim türü (TP: Transpresiyonel, PC: Saf sıkışma, RC: Radyal sıkışma, N: Ölçüm sayısı, P°/D°: Eğim miktarı/Eğim yönü)

İstasyon	N	σ_1 (P°/D°)	σ_2 (P°/D°)	σ_3 (P°/D°)	R oranı	R' indeksi	Rejim
1	12	16°/043°	10°/136°	71°/259°	0.21	2.21	TP
3A	9	23°/301°	27°/044°	51°/177°	0.56	2.56	PC
3B	7	37°/261°	04°/168°	52°/072°	0.36	2.36	PC
4A	9	23°/326°	25°/224°	55°/093°	0.61	2.61	PC
5	12	24°/162°	03°/071°	66°/335°	0.41	2.41	PC
8A	12	22°/288°	08°/194°	67°/084°	0.75	2.75	RC
10	10	14°/234°	16°/144°	76°/050°	0.15	2.15	TP



Şekil 5.19. Sıkışmalı tektonik rejime ait fay topluluklarının Schmidt alt yarım kürede stereografik gösterimi

Çelikhan ve Yarpuzlu civarında bulunan bu ölçüm noktalarındaki faylar çeşitli jeolojik birimleri etkilemiştir. 5 numaralı lokasyonda Alt Eosen yaşlı Gercüş Formasyonu içerisinde gelişmiş olan faylar, çalışma alanındaki KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesini yaşlandırmak için önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır (Şekil 5.20 a,b,c).



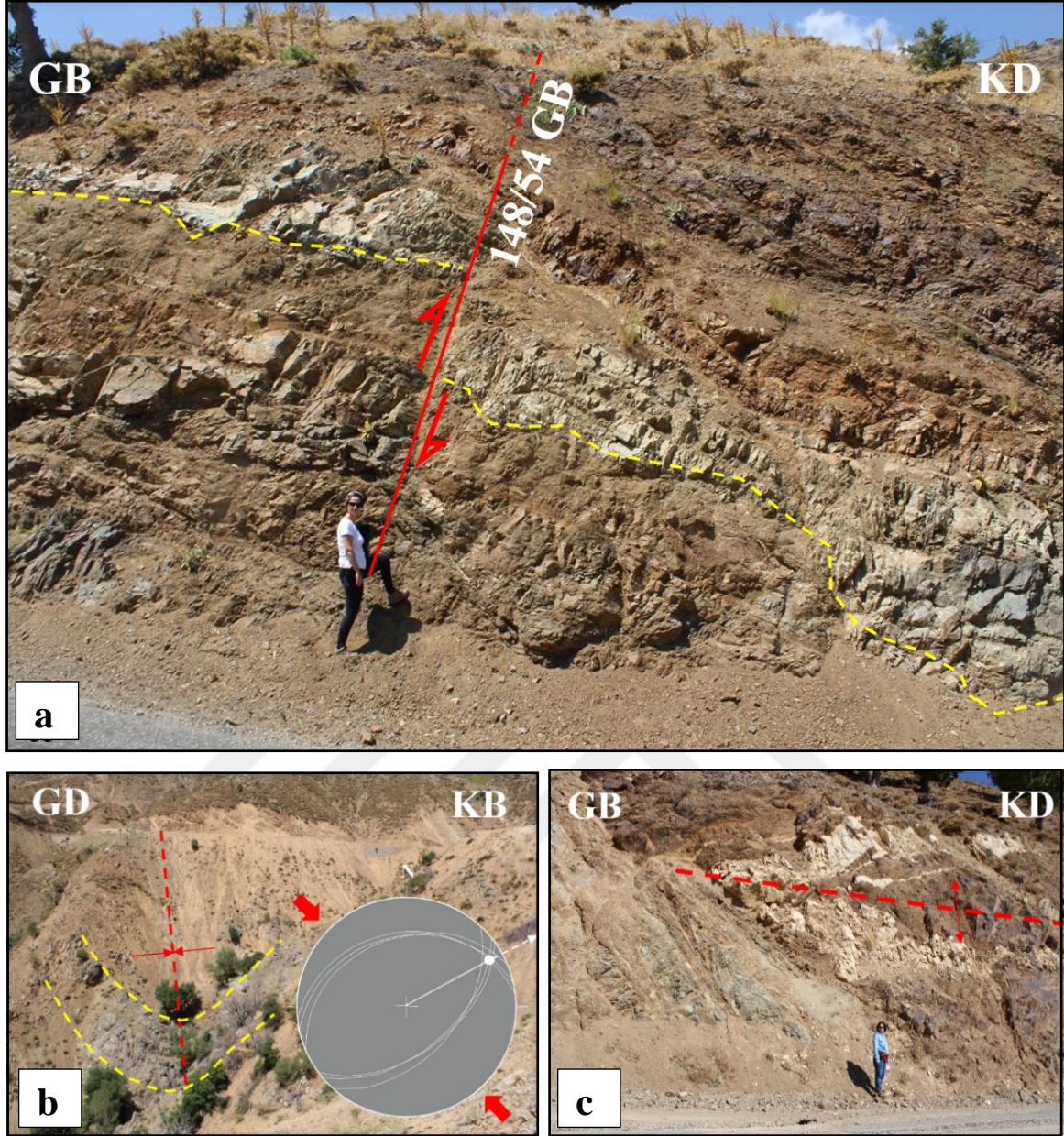
Şekil 5.20. (a) Gercüş Formasyonu'na ait Orta Eosen yaşlı karasal kırıntılılar içerisinde KKB-GGD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü, (b) fay düzleminin görünümü, (c) fay topluluklarının kinematik analiz sonucu (Çelikhan)

Gercüş Formasyonu'nu etkileyen deformasyonun, birimin üstünde yer alan Geç Eosen yaşlı Hoya Formasyonu'na ait birimleri de etkilediği görülmektedir. Bu durum Eosen sonlarında başlayan sıkışmalı deformasyonun Oligosen'de de devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca deformasyonun yoğunluğu fay oluşumları boyunca ezik bir zon ve fay kili gelişimine neden olmuştur. Faylanan tabakalar ise deformasyonun devamlılığı ile yatay konumlarını kaybedip; rotasyona uğramıştır (Şekil 5.20 a). Ayrıca Malatya Metamorfileri içerisinde gelişmiş olan KD-GB doğrultulu ($024^{\circ}/05^{\circ}$ KD) kıvrım eksenleri, KB-GD doğrultulu sıkışmayı desteklemektedir (Şekil 5.21).



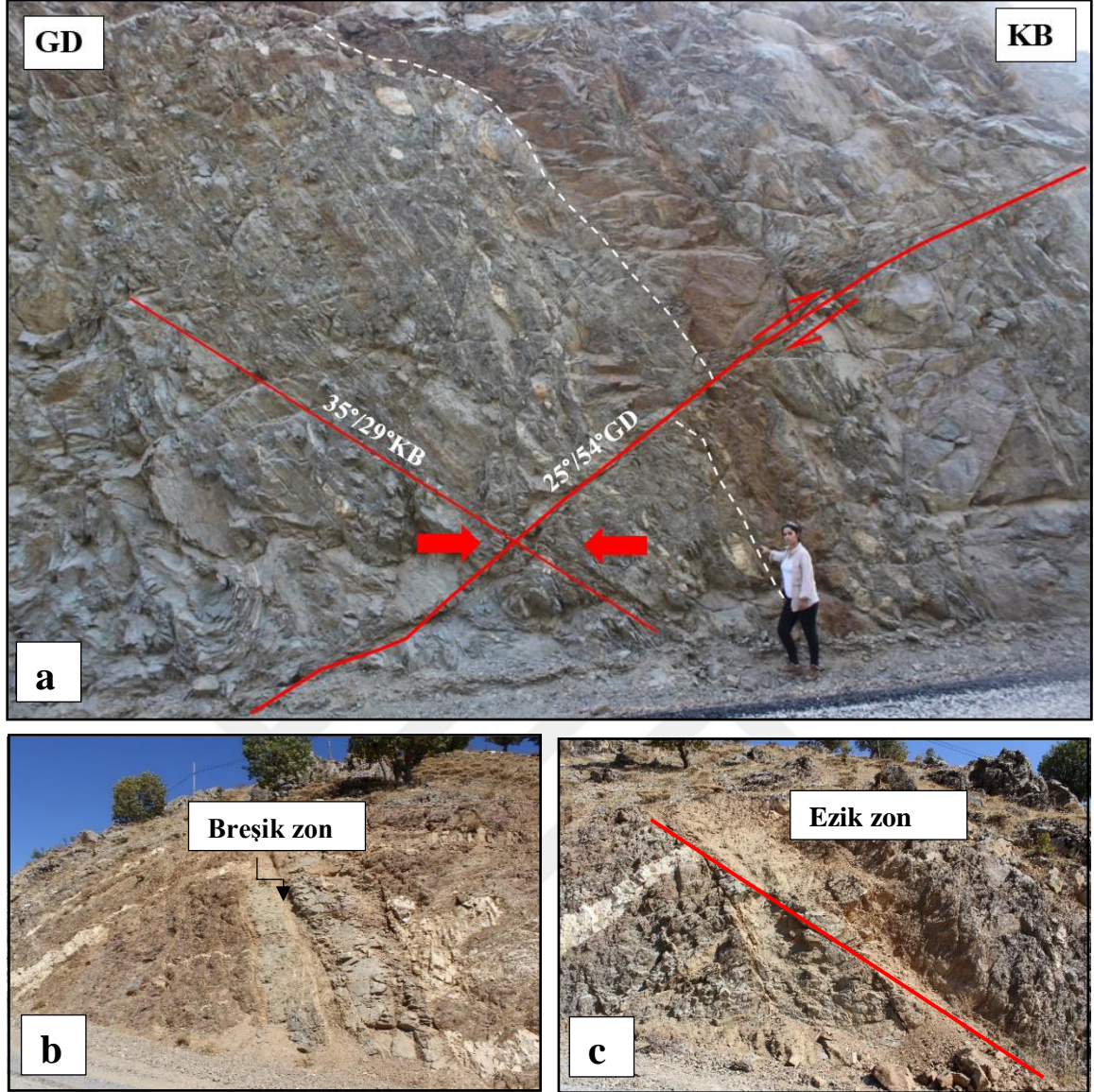
Şekil 5.21. Malatya Metamorfileri'ne ait Mesozoyik yaşlı mermerler içerisinde KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan kıvrımın mostra görünümü (Çelikhan)

Sincik ve çevresinde de bu sıkışmalı rejimin etkileri yoğun bir şekilde görülmektedir. Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı içerisindeki yaklaşık 1,5 m atıma sahip ters fayın gelişimi Geç Eosen sonlarında etkili olan KB-GD doğrultulu sıkışmayı göstermektedir (Şekil 5.22a). Ayrıca bu alanlarda KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi etkisi altında gelişmiş KD-GB eksenli kıvrım eksenine sahip bir senklinal Geç Eosen sıkışmasını desteklemektedir (Şekil 5.22b). Sıkışma rejiminin baskın olarak gözlemlendiği bu alanda, yatık izoklinal kıvrım Pütürge Metamorfileri'nin amfibolitleri içinde gelişmiştir (Şekil 5.22c).



Şekil 5.22. (a) Maden Karmaşığı'na ait Orta Eosen yaşlı volkanoklastikler içerisinde gelişmiş yaklaşık 1,5 m atıma sahip ters fayın mostra görünümü, (b) KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan senklinalin arazi görünümü (c) Pütürge Metamorfitleri içerisinde sıkışmalı rejime bağlı gelişmiş yatık izoklinal kıvrımın mostra görünümü (Fotoğraflar Sincik ve çevresine aittir)

Sıkışmalı deformasyon fazı Sincik ve çevresinde kaotik mostraların gelişimine yol açmıştır. Maden Karmaşığı'na ait birimlere etkileyen yoğun sıkışmalı deformasyonun etkisi, ters fayların ve kırık setlerinin gelişimi ile açıkça görülmektedir (Şekil 5.23 a). Yer değiştirme miktarı yukarı doğru giderek azalmaktadır. Ayrıca kırılğan deformasyonun etkisi ile breşik ve ezik zonlar (Şekil 5.23 b&c) gelişmiştir. Fayların gelişimine neden olan kırılğan deformasyonun yanı sıra mostra boyunca rastlanan yatık izoklinal kıvrımlar (Şekil 5.22c) sıkışmalı deformasyonun evreleri hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 5.23. (a) Maden Karmaşığı'na ait birimler içerisinde gelişmiş ters faylar ve kırık setlerinin kaotik mostra görünümü, (b) deformasyonun etkisi ile gelişmiş olan breşik zonun mostra görünümü, (c) faylanma boyunca gelişmiş olan ezik zonun mostra görünümü (Fotoğraflar Sincik ve çevresine aittir)

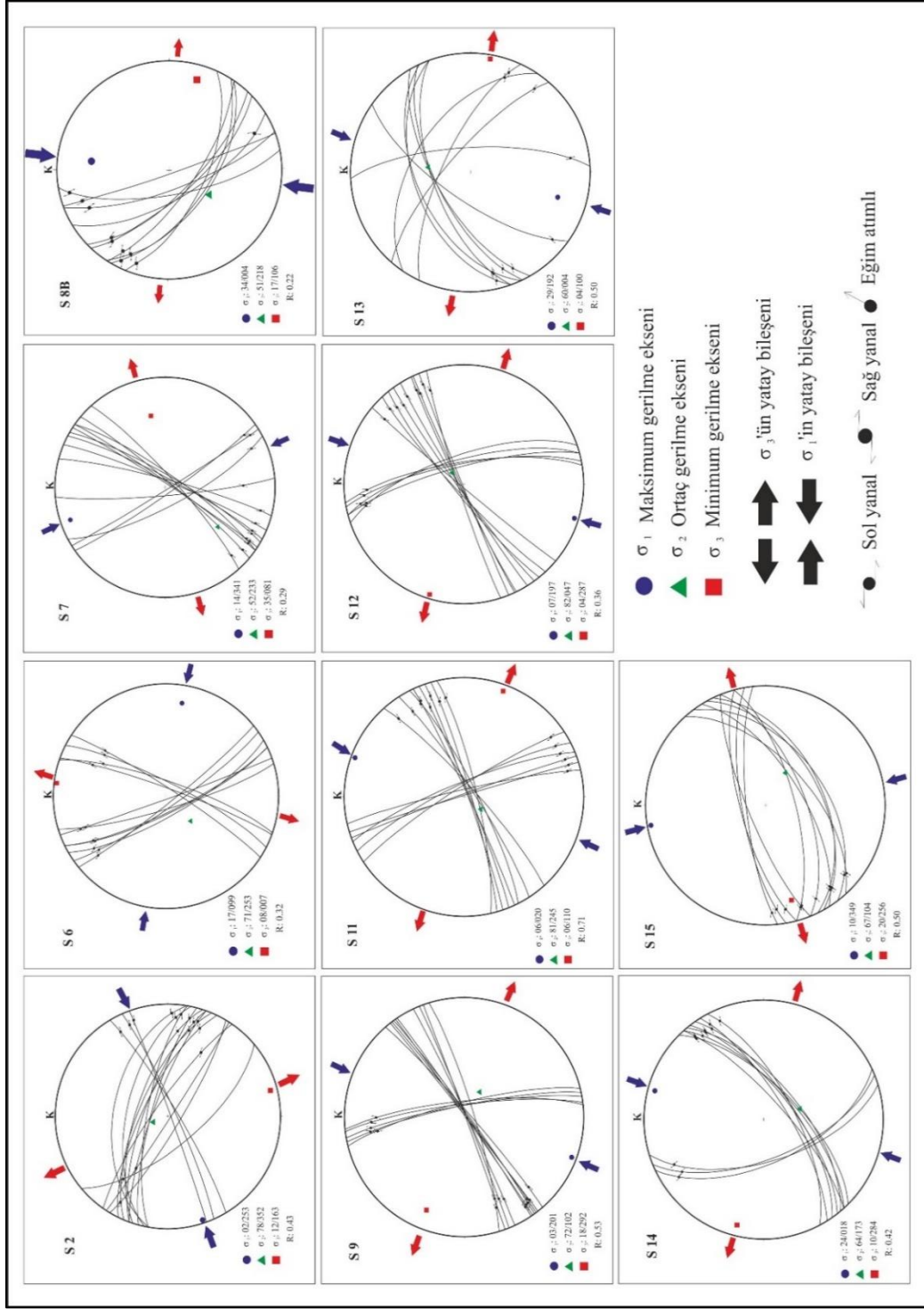
Doğrultu Atımlı Tektonik Rejimler

2, 6, 7, 8B, 9, 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı lokasyonlardan ölçülen fay toplulukları doğrultu atımlı tektonik rejim altında gelişmiş olup σ_2 düşey konumda bulunmaktadır (Tablo 5.5). Bu fay toplulukları R ve R' değerlerine göre saf doğrultu atımlı rejim karakteri göstermektedir. Sadece 8B lokasyonundaki fay topluluklarının analiz sonucu 0.22 R oranı değeri ile transpresiyonel tektonik rejimi vermektedir.

Genellikle KD-GB (2, 9, 11, 12, 13, 14) ile yaklaşık K-G (7, 8B, 15) doğrultulu sıkışma altında gelişmiş fay toplulukları, Pliyosen'den günümüze kadar, ağırlıklı olarak saf doğrultu atım rejiminin etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 5.24). 6. lokasyondaki fay verileri KB-GD doğrultulu sıkışma ile Geç Eosen sonlarındaki deformasyon fazında meydana gelmiştir.

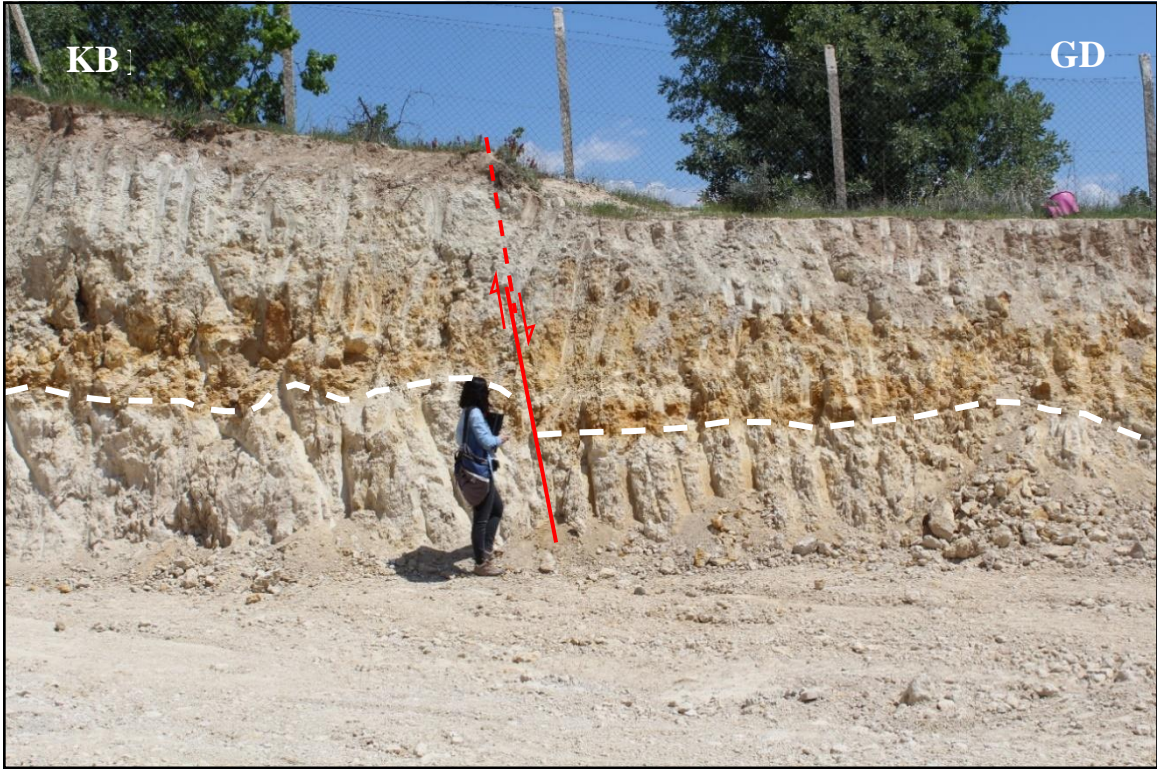
Tablo 5.5. Doğrultu atımlı tektonik rejim altında gelişmiş fay topluluklarının Delvaux ve Sperner (2003) tarafından geliştirilen rotasyonel optimizasyon yöntemi sonucu hesaplanan gerilme eksenlerinin (σ_1 , σ_2 , σ_3) durumu, gerilme oranı (R), gerilme indeksi (R') ve bu değerlere göre belirlenen rejim türü (TP: Transpresiyonel, SS: Saf Doğrultu Atım, N: Ölçüm sayısı, P°/D°: Eğim miktarı/Eğim yönü).

İstasyon	N	σ_1 (P°/D°)	σ_2 (P°/D°)	σ_3 (P°/D°)	R oranı	R' indeksi	Rejim
2	16	02°/253°	78°/352°	12°/163°	0.43	1.57	SS
5	12	24°/162°	03°/071°	66°/335°	0.41	2.41	SS
6	11	17°/099°	71°/253°	08°/007°	0.32	1.68	SS
7	14	14°/341°	52°/233°	35°/081°	0.29	1.71	SS
8B	10	34°/004°	51°/218°	17°/106°	0.22	1.78	TP
9	15	03°/201°	72°/102°	18°/292°	0.53	1.37	SS
11	14	06°/020°	81°/245°	06°/110°	0.71	1.29	SS
12	14	07°/197°	82°/047°	04°/287°	0.36	1.64	SS
13	10	29°/192°	60°/004°	04°/100°	0.50	1.50	SS
14	11	24°/018°	64°/173°	10°/284°	0.42	1.58	SS
15	11	10°/349°	67°/104°	20°/256°	0.50	1.50	SS



Şekil 5.24. Doğrultu atımlı tektonik rejime ait fay topluluklarının Schmidt alt yarım kürede stereografik gösterimi

Genel anlamda DAFZ'nun varlığını gösteren bu rejimin etkisi, çalışma alanı boyunca morfolojik ve tektonik olarak izlenmiştir. Fay zonu boyunca, düşeye yakın düzlemler üzerindeki düşük sapma açıları saf doğrultu atımlı rejimi yansıtmaktadır. Çalışma alanı boyunca fay zonu genellikle Pütürge Metamorfileri ile Maden Karmaşığı'na ait birimleri etkilemiş olup, güncel birimler içerisinde de deformasyona neden olmuştur. Ancak paleostres analizi için gerekli kinematik parametreler daha sert yapıya sahip masif ve karmaşık içerisindeki kayalardan elde edilmiştir. Ancak gerek morfolojik aktiflik gerekse düzlemlerden ölçülen verilerin Kuvaterner yaşlı birimler içerisindeki deformasyon yapıları ile karşılaştırılması, DAFZ'nun çalışma alanını etkileyen son deformasyon fazında geliştiğini göstermektedir. Hareketi gösteren fay düzlemleri Kuvaterner yaşlı birimlerde gelişmemiş/korunmamış olsa da yer değişimleri ve faylanmanın doğrultusu bizlere genç tektonik hakkında önemli bilgiler vermektedir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Doğanıyol civarında Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç birimler içindeki faylanmanın mostra görünümü

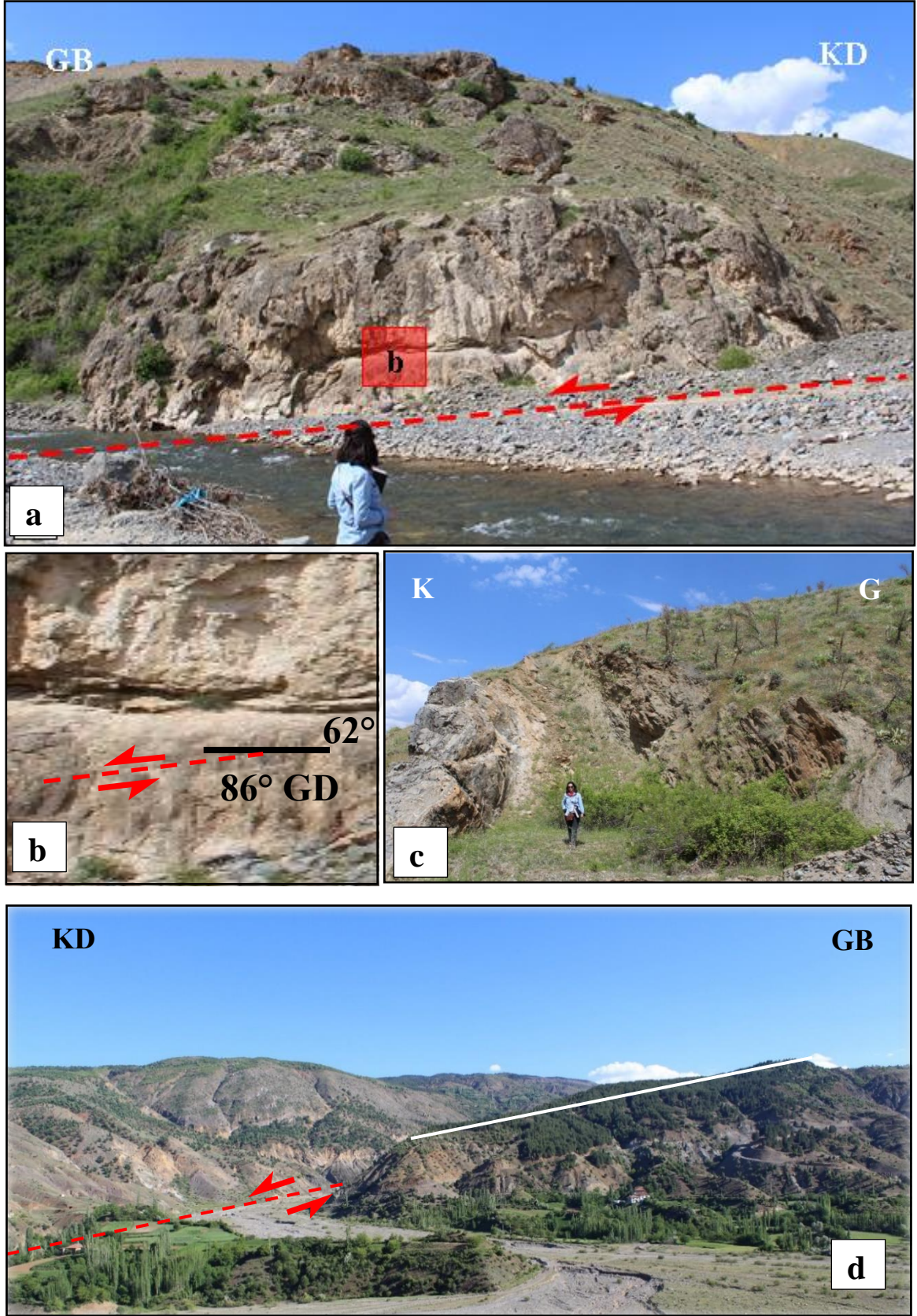
Çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde fay genellikle Pütürge Metamorfileri ile Kuvaterner yaşlı birimler arasındaki zayıflık zonunu kullanarak ilerlemiştir. Bu alanda kinematik veriler genellikle masife ait kayalar içerisinde bulunmaktadır. Ancak masif oldukça yaşlı ve metamorfik birimlerden oluştuğu için, içerisinde eski deformasyon verileri ve kayaların şisti dokusu iyi ayırt edilmelidir.

Doğanyol civarında Pütürge Metamorfitleri içerisindeki fay düzlemleri yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiştir. Eşlenik faylar, az miktarda ters bileşene sahip doğrultu atımlı rejimin baskın olduğu düzlemlere sahiptir (Şekil 5.26). Buradaki faylanma mekanizması K-G doğrultulu sıkışma rejiminin giderek günümüzdeki doğrultu atımlı rejime dönüşmeye başladığını göstermektedir. Bunun nedeni Pütürge Metamorfitleri ile uyumsuz dokanak ilişkisi gösteren Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılıların sıkışmalı deformasyondan etkilenmemesidir. Bu lokasyon ölçümleri bize DAFZ oluşumunun hemen öncesindeki deformasyon evresini yansıtmaktadır.



Şekil 5.26. Pütürge Metamorfitleri içerisinde yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan eşlenik fayların mostra görünümü ve fay topluluklarının kinematik analiz sonucu

Çalışma alanının güneybatısına doğru ilerledikçe DAFZ tarafından denetlenen çizgisel Şiro vadisi, faya paralel olarak gelişen uzamış sırtlar ve üçgen yüzeyler, fay zonunun aktifliğini göstermektedir. Fayın oluşumu ile doğrudan ilişkili olan bu morfolojik unsurlar fayın varlığını açıkça göstermektedir. Ayrıca Şiro vadisi boyunca akan Mollahan Çayı'nı besleyen yan kollardaki yer değiştirmeler fayın kinematik davranışını gösteren en önemli morfolojik unsurlardır. Şiro vadisinin güneybatı ucunda Başmezra köyü güneyinde, Pütürge Metamorfitleri'ni etkileyen fay zonu, aynı zamanda Küçük Çayı yaklaşık 100 m sol yanal ötelemiştir (Şekil 5.27 a). Metamorfik masifin şistleri içerisinde fay düzlemi görülürken (Şekil 5.27 b); masife ait amfibolitler kırırılmıştır (Şekil 5.27 c). Buradaki fay düzlemi faya paralel olarak gelişmiş basınç sırtının kenarını sınırlamaktadır (Şekil 5.27 d).



Şekil 5.27. (a) Pütürge Metamorfitleleri'ni keserek temel kayalar ile alüvyon arasındaki sınırı oluşturan ve Küçük çayı sol yanal öteleyen fayın mostra görünümü, (b) fay düzleminin yakından görünümü, (c) deformasyonun etkisi ile amfibolitlerde gelişen kıvrım oluşumu, (d) Başmezra yerleşim yeri güneyinde fay zonunun izi ve faya paralel gelişmiş basınç sırtının arazi görünümü (Şiro Vadisi)

Morfolojik gözlemlerin yanı sıra fay zonunun bu alanda oluşturduğu deformasyon güncel birimleri de etkilemiş olup şistler içerisinde gelişmiş fay düzlemine paralel kırık ve kıvrım oluşumu güncel birimlerin mostrasında da gözlenmiştir (Şekil 5.28).



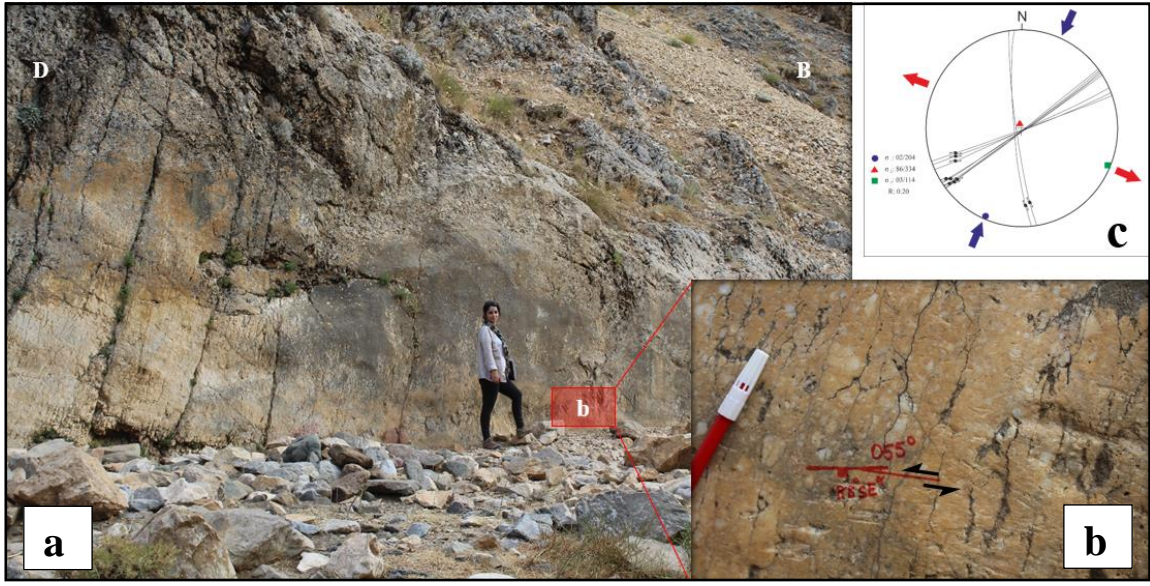
Şekil 5.28. Küçük çayın yakınlarında deformasyondan etkilenen güncel birimlerin mostra görünümü

Ayrıca DAFZ tarafından sınırlanan Şiro vadisinin güneyi boyunca fay teraslarının yükselimi dikkati çekmektedir. Bu güncel fay terasları ya da sekileri içerisinde DAFZ'nun deformasyon etkileri görülmektedir. Kıvrım oluşumları, kırıklar ve her ne kadar fay düzlemi gelişirse de birim içindeki seviye değişimleri, bu güncel birimlerin fay zonundan etkilendiğini göstermektedir (Şekil 5.29). Özellikle zon boyunca etkiyen sıkışmalı gerilmeler, bu terasların faylanmanın etkisi ile yükselmesini sağlamıştır.

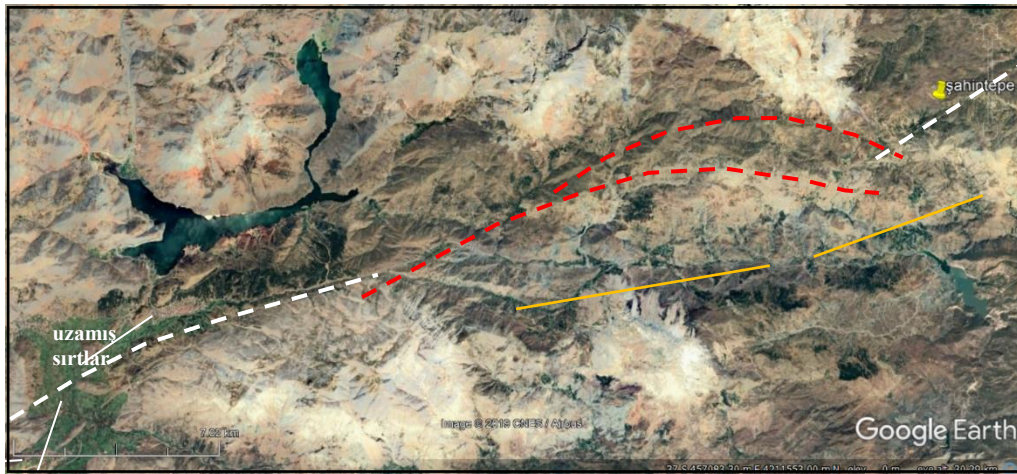


Şekil 5.29. DAFZ tarafından etkilenen Şiro vadisi güneyinde teraslardaki deformasyon izlerinin görünümü

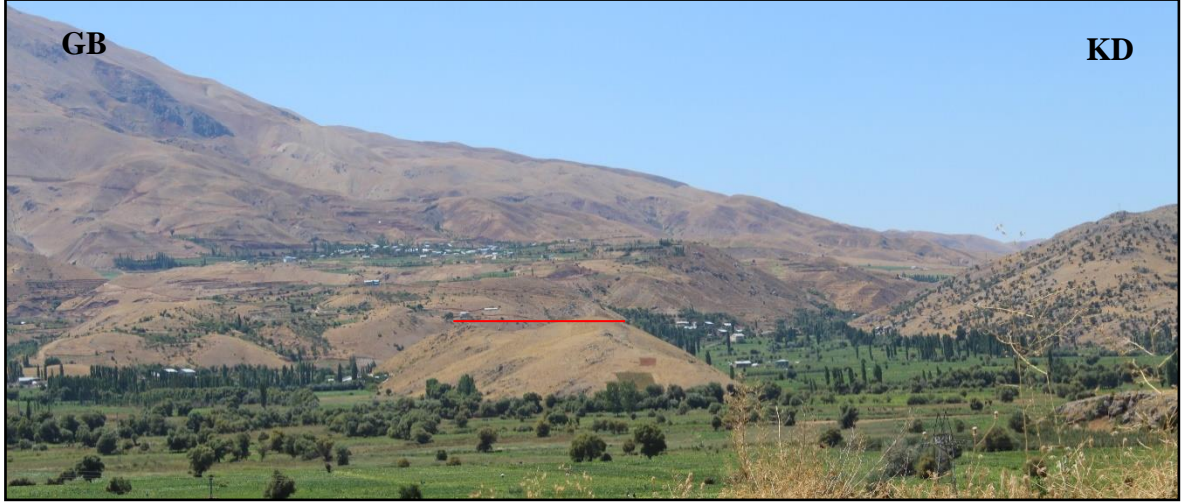
Fay zonunun en iyi gözlemlendiği bir diğer lokasyon olan Şahin tepenin kuzeybatısı DAFZ tarafından sınırlanmaktadır. Neredeyse düşey olan fay düzlemi (Şekil 5.30 a) ve yataya yakın sapma açısı (Şekil 5.30 b) ile 9. istasyon saf doğrultu atımlı fay mekanizmasını karakterize etmektedir (Şekil 5.30 c). Bu lokasyondan itibaren fayın güneybatıya doğru ilerleyişi ve BSZ ile etkileşimi morfolojik olarak oldukça belirgindir. Bir diğer fay yine Şahin tepenin güneyinden geçmektedir. DAFZ'na yaklaşık paralel olan bu fayın DAFZ'nun eski kırığı (Şekil 5.31) olduğu belirtilmektedir (Herece, 2008).



Şekil 5.30. (a) Pütürge Metamorfizmaları içerisinde KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü, (b) fay düzleminin görünümü, (c) 9. istasyonun fay topluluklarının kinematik analiz sonucu (Şahintepe)

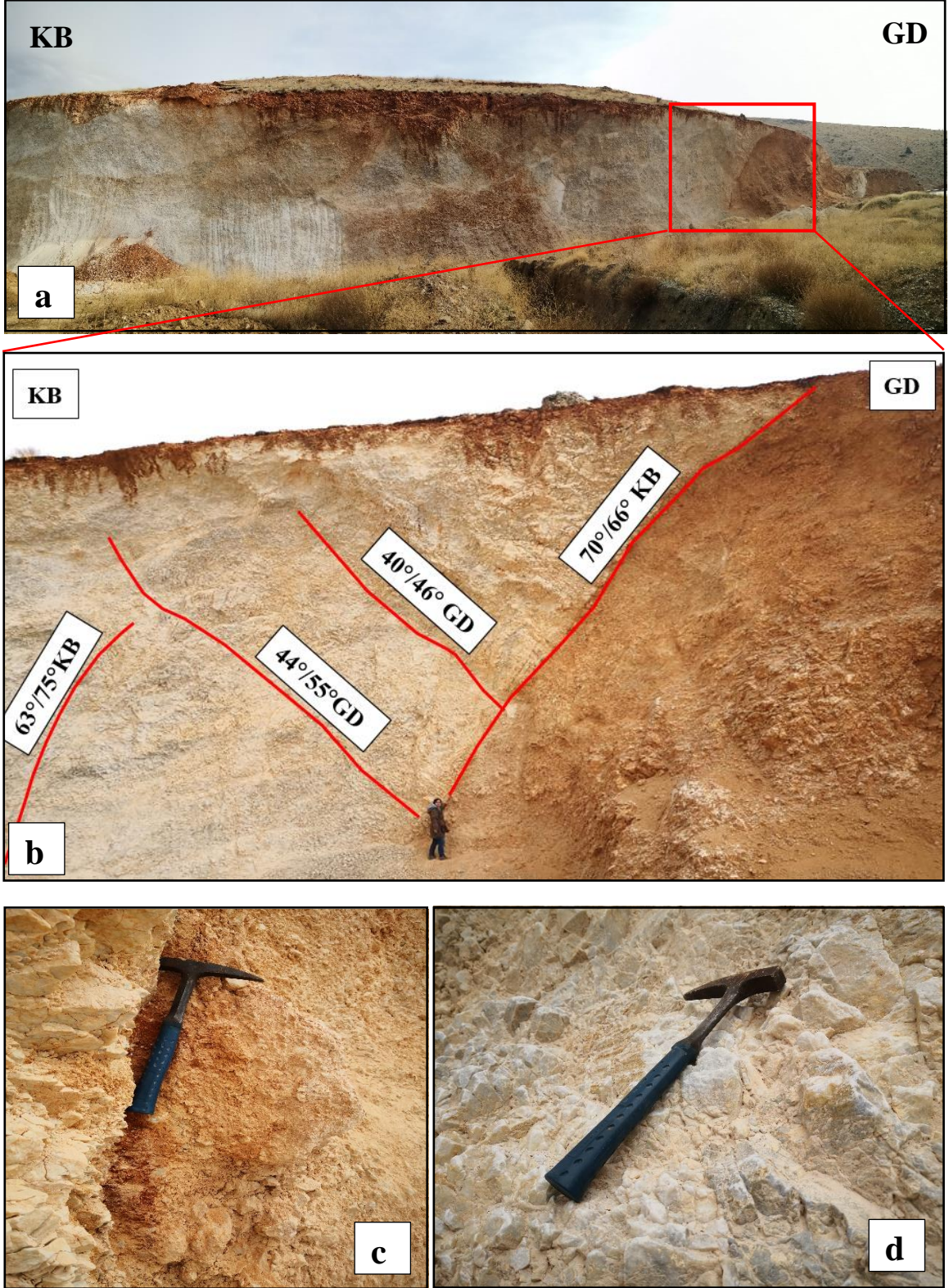


Şekil 5.31. Şahin tepeden itibaren DAFZ ve BSZ'nun tektonik ve morfolojik olarak yorumlanmış Google Earth görünümü (kırmızı çizgiler bindirme kuşağını, beyaz çizgiler DAFZ'nu, sarı çizgiler ise DAFZ'nun eski kırığını temsil etmektedir)



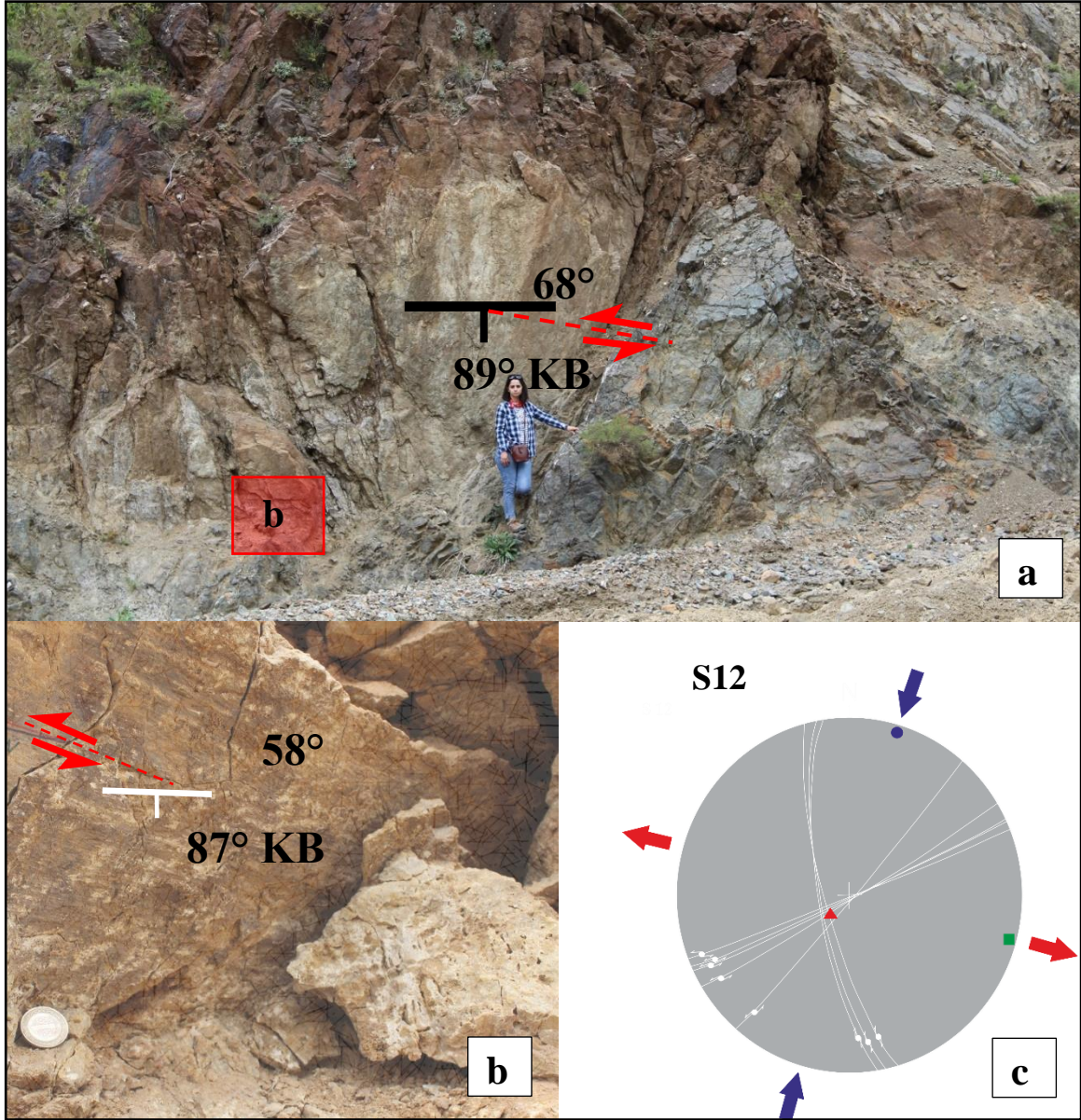
Şekil 5.32. Çelikhán havzası içerisinde güncel birimlerden oluşan fay zonuna paralel uzamış sırtın arazi görünümü (kırmızı çizgi basınç sırtının uzun eksenini göstermektedir)

Bu uzamış sırtın karşısında bulunan faylanmış mostra (Şekil 5.33 a) DAFZ ile ilişkili fay oluşumlarını içermektedir. Kayaçlar yoğun deformasyonun etkisiyle makaslama gerilmesine bağlı breşleşmiş ve fay düzlemleri boyunca ezik zonlar oluşturmuştur (Şekil 5.33 b). Birimin oldukça gevşek olmasından kaynaklı bir iki fay düzlemi boyunca yataya yakın fay çizgisi gözlemlenmiştir (Şekil 5.33 c&d). Gerek fayların doğrultusu olsun gerekse yataya yakın kayma çizgileri DAFZ'nun doğrultu atımlı tektoniğini yansıtmaktadır. Bu alanda fayların etkileşimi Malatya Metamorfizmi'nin yükselimi içinde bir süsüdsans oluşturmuştur. Çelikhán havzası olarak bilinen bu havza aktif tektonizma etkilerinin görüldüğü, tektonik gerilmeler sonucu açılmış bir havzadır.



Şekil 5.33. (a) Çelikhane civarında fayların uzaktan görünümü, (b) fayların yakından görünümü, (c&d) fay düzlemlerinin yakından görünümü

12. lokasyonda da yine Pütürge Metamorfitleri'ni etkileyen fay zonu saf doğrultu atımlı fay oluşumunu gösteren düzlemler sunmaktadır (Şekil 5.34 a,b,c). Aynı zamanda alanda etkili olan sıkışmalı gerilmeler ve kenet zonunun da etkisi ile birlikte makro ölçekte kıvrım oluşumu (Şekil 5.35) ve basınç sırtları gelişmiştir. Şahin tepe, Pon tepe ve Balık tepe faya paralel olarak gelişmiş uzamış sırtları oluşturmaktadır.



Şekil 5.34. (a)Pütürge Metamorfitleri içerisinde KD-GB doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş olan fayın mostra görünümü, (b) fay düzleminin görünümü, (c) fay topluluklarının kinematik analiz sonucu



Şekil 5.35. KB-GD doğrultulu eksene sahip kıvrımın görünümü (GB'ya bakış)

DAFZ'nun oluşumu öncesindeki KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesi altında gelişmiş düzlemleri içeren 6. istasyon Geç Eosen-Oligosen zaman aralığındaki deformasyon ile karakterize edilmektedir. Bu deformasyon evresi sonucu Gercüş Formasyonu'na ait birimler içerisinde kıvrım ve ters bileşene sahip doğrultu atımlı fay oluşumları meydana gelmiştir (Şekil 5.36).



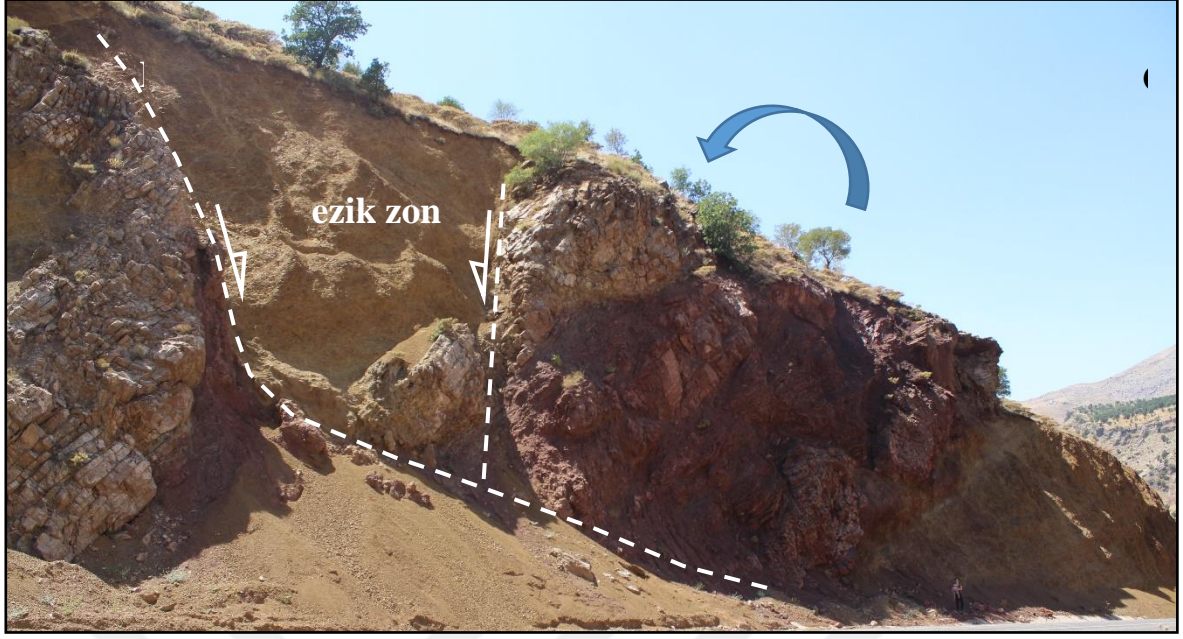
Şekil 5.36. Orta Eosen yaşlı karasal kırıntılı birim içinde KB-GD doğrultulu sıkışma altında oluşmuş kıvrım ve fayların görünümü (Çelikhan güneyi)

Çalışma alanının bazı yerlerinde normal bileşene sahip faylar da görülmektedir. Seviye değişimleri normal bileşenin varlığını gösterse de, fay düzlemlerindeki ikincil mineralizasyondan kaynaklı kayma verileri görülemediği için sadece fayların duruşu ölçülebilmektedir. Ancak bu alanda sıkışmalı gerilmelerin etkisi göz önüne alındığında, mostralardaki bu fayların normal bileşene sahip eşlenik faylar olabileceği düşünülmektedir. Özellikle fay düzlemlerinin eğim miktarlarının yüksek oluşu, bunların doğrultu atımlı faylar olduğu düşüncesini desteklemektedir (Şekil 5.37).

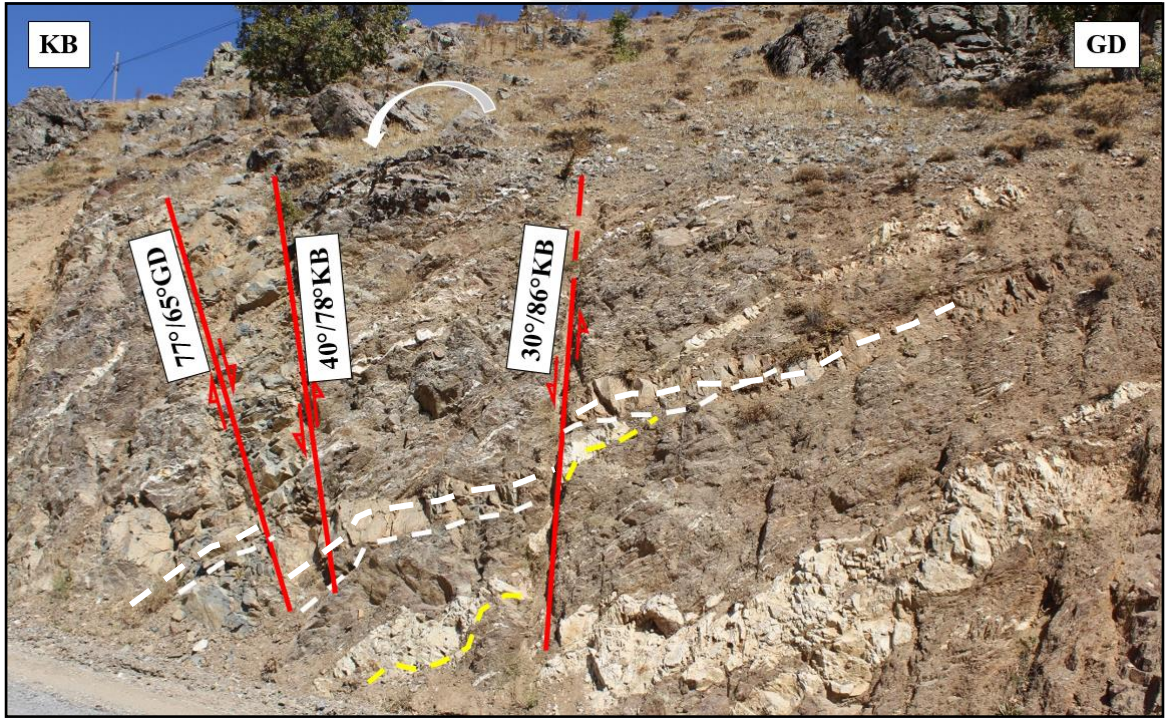


Şekil 5.37. Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı birimleri içinde KD-GB doğrultulu sıkışma altında gelişmiş eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü (Sincik)

Orta Eosen dönemine ait Gerçüş Formasyonu içerisindeki ters faylardan ve kıvrım oluşumlarından Geç Eosen döneminden itibaren KB-GD doğrultulu sıkışmanın olduğu belirtilmiştir. Günümüzde etkili olan KD-GB doğrultulu sıkışma bu alanlarda eşlenik doğrultu atımlı fayların gelişimine yol açmıştır. DAFZ'nun gelişimine yol açan günümüzdeki deformasyon, bu makaslama zonları boyunca saat ibresinin tersi yönünde rotasyonlar oluşturmuştur (Şekil 5.38). Sincik civarında da güncel deformasyon fazının etkisinde gelişmiş düşeye yakın düzlemlere sahip eşlenik doğrultu atımlı faylarda saat ibresi tersi yönündeki rotasyonlar açıkça görülmektedir (Şekil 5.39).

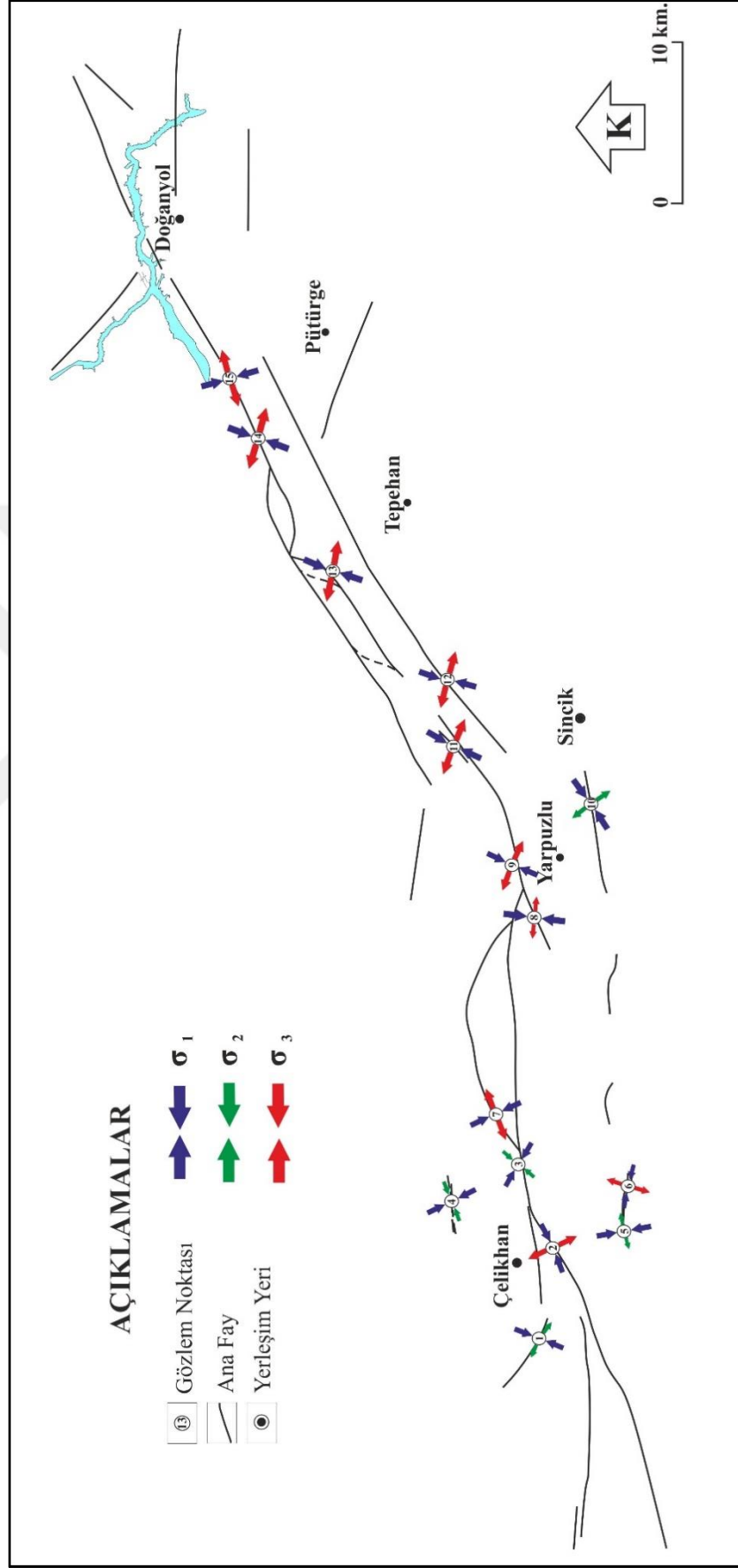


Şekil 5.38. Eosen yaşlı karasal kıvrımlı birimler içinde eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü (Çelikhán güneyi)

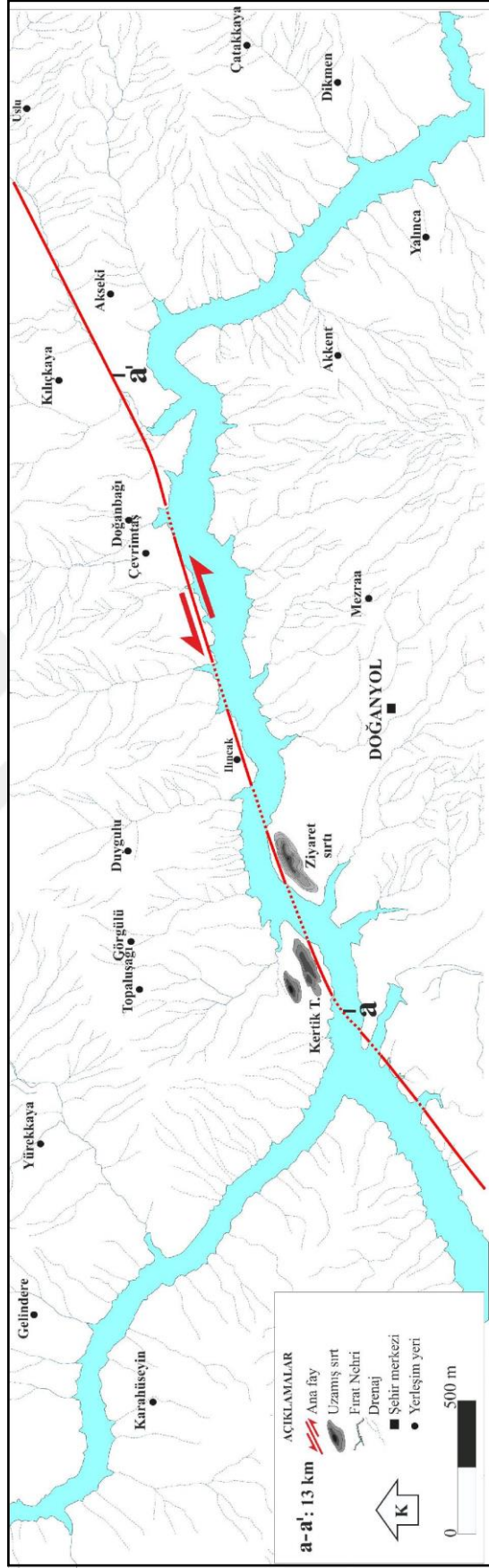


Şekil 5.39. Maden Karmaşığı içinde eşlenik doğrultu atımlı fayların mostra görünümü (Çelikhán güneyi)

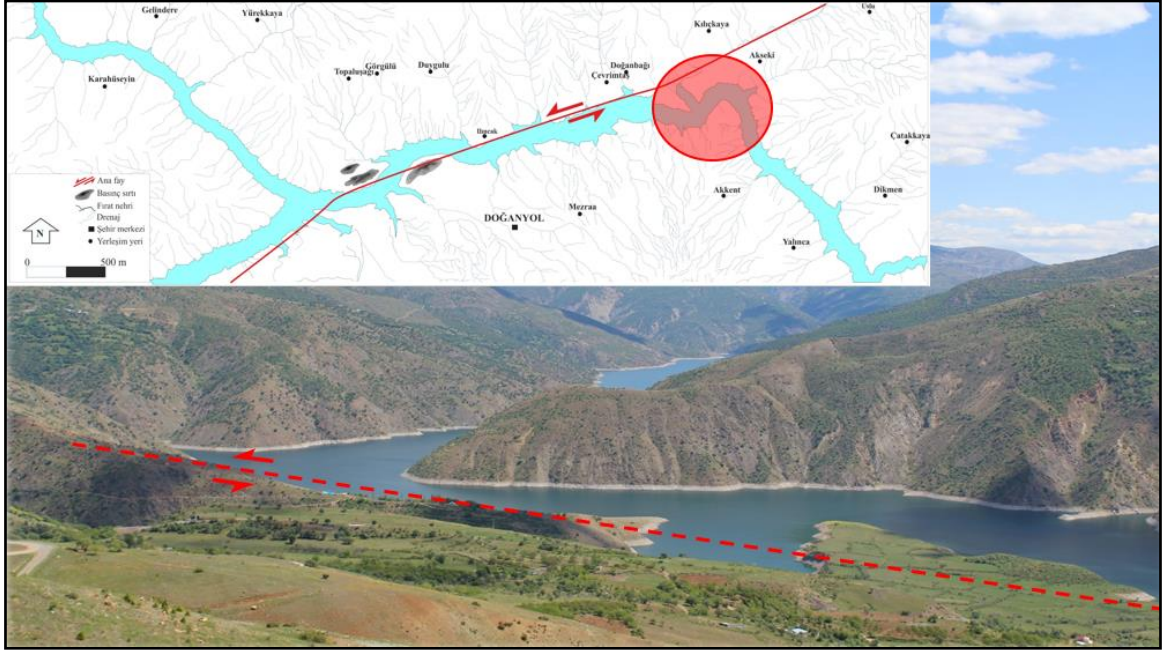
Tüm gerilme durumları değerlendirildiğinde çalışma alanında üç farklı döneme ait sıkışmalı fazın varlığı tespit edilmiştir. Eosen dönemine ait birimler içerisinde gelişmiş olan kıvrım ve ters fay düzlemleri, Eosen sonlarında başlayıp Oligosen süresince devam eden KB-GD doğrultulu sıkışma fazını göstermektedir. Çalışma alanındaki en eski deformasyon fazı olarak değerlendirilen bu sıkışmalı deformasyon, Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsama hızının artması sonucu, Maden havzasının kapanmasına yol açmıştır. Yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma ile karakterize edilen ikinci deformasyon fazı, çalışma alanında yaklaşık D-B doğrultulu bindirme kuşaklarını ve kıvrım eksenlerini oluşturmuştur. Orta Miyosen sonlarında Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yitimin tamamlanması ve nihai çarpışma ikinci deformasyon fazının gerçekleşmesini sağlamıştır. DAFZ'nun gelişimine yol açan ve çalışma alanındaki son deformasyon fazı olarak değerlendirilen; KD-GB doğrultulu sıkışma ise Geç Pliyosen'den itibaren etkili olmuştur. Bu deformasyonun etkileri çoğunlukla Pütürge Metamorfikleri ile Maden Karmaşığı'na ait birimler üzerinde görülmüş olsa da, 14. ölçüm lokasyonundaki Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal birimler içerisindeki doğrultu atımlı faylar ve DAFZ boyunca güncel birimlerden oluşmuş fay terasları içerisindeki deformasyon yapıları son tektonik rejim olduğunu doğrulamaktadır. Yaşlı birimler içerisindeki taze ve genç morfolojiyle uyuşan fay düzlemleri verileri toplamamıza ve değerlendirmemize büyük ölçüde fayda sağlamıştır. Sahada açıkça gözlemlenen akarsu ötelenmeleri, uzamış sırtlar, çizgisel vadiler, üçgen yüzeyler gibi aktif tektoniği yansıtan morfolojik veriler de son deformasyonu desteklemektedir (Şekil 5.40).



Şekil 5.40. Çalışma alanında belirlenen gerilme durumlarının tektonik harita üzerindeki dağılımı

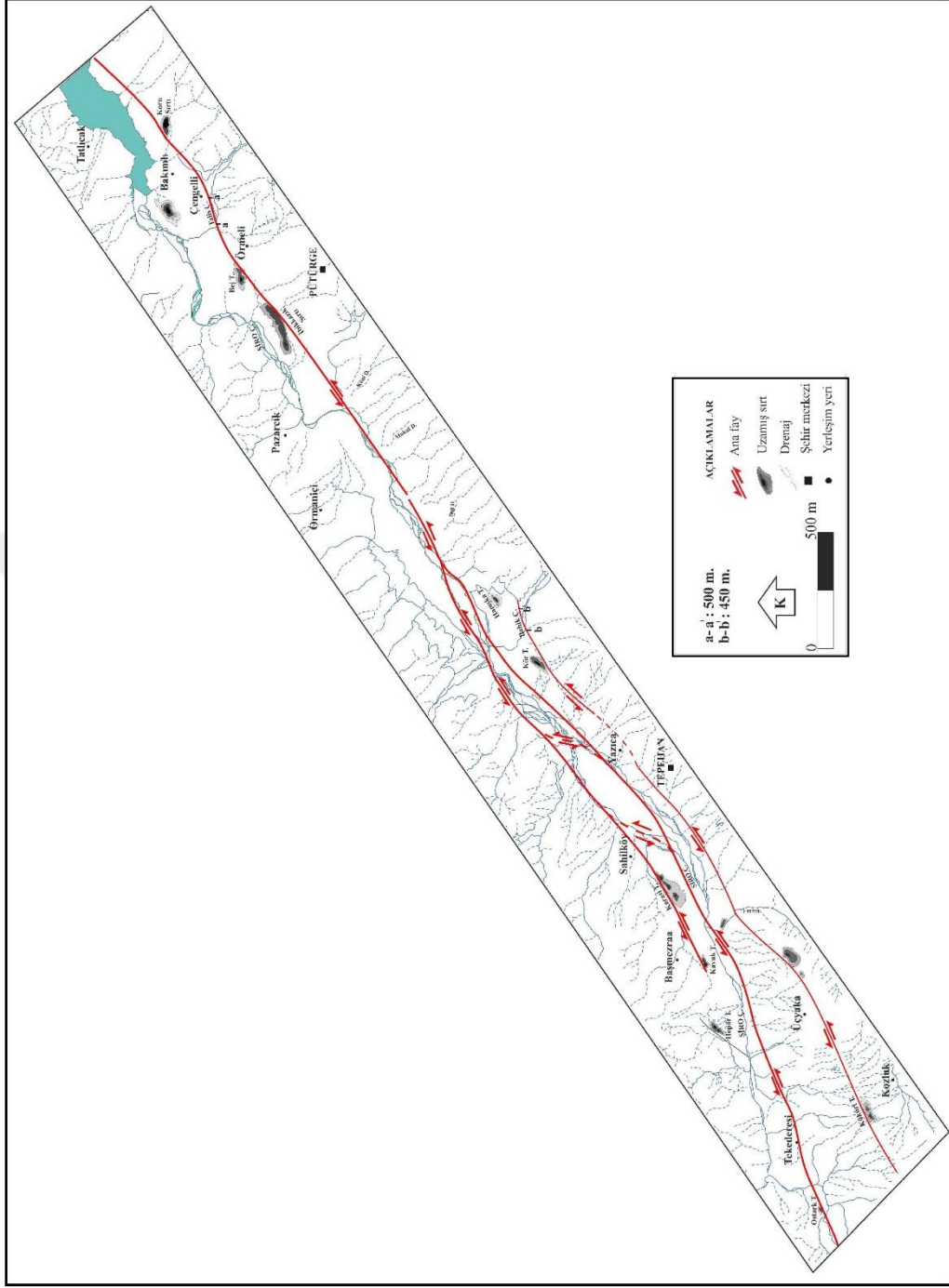


İlk kısımdaki en büyük drenaj ötelenmesi yaklaşık 13 km olarak ölçülen Fırat nehrinin sol yanal yer değişimidir (Şekil 5.43). DAFZ tarafından ötelenen bu nehri besleyen yan kollarda faya yakın yerlerde küçük çarpıklıklar meydana gelmiştir. Doğanbağı civarında Fırat nehrinin yaklaşık 13 km'lik sol yanal yer değiştirmesi ve fay zonu ile birincil ilişkiye sahip basınç sırtları bu alandaki kinematik ölçümlere ve değerlendirmelere büyük katkı sağlamıştır.



Şekil 5.43. Fırat Nehri'ndeki ötelemenin arazi görünümü ve morfolojik haritası (Doğanbağı, GD'ya bakış).

Bu alandan itibaren fay zonu Koldere, Tosunlu ve Bakımlı yerleşim yerlerini kuzeylerinden sınırlayarak güneybatıya doğru ilerlemektedir (Şekil 5.44). Bu alanda fay zonundan etkilenen drenaj ağlarında yaklaşık 100-500 metre arasına sol yanal yer değiştirmeler mevcuttur. Fay zonu bu alanda Pütürge Metamorfileri ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal birimlerin arasında ilerlemektedir. Doğanbağı'nun kuzeyinde ve batısında geniş alanlar kaplayan alüvyon yelpazeleri fay zonunun varlığını morfolojik olarak göstermektedir.



Şekil 5.44. Şiro vadisi boyunca gelişen morfolojik yapıların fayın uzanımını gösteren morfolojik harita

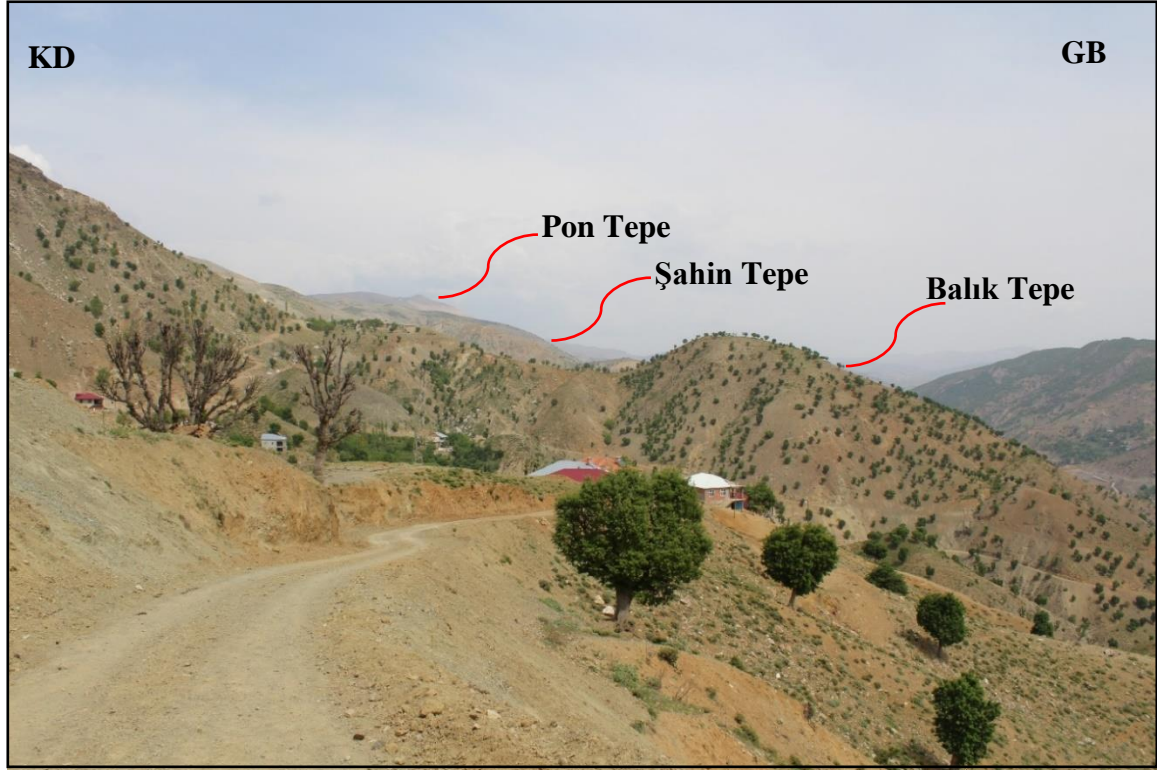
Pütürge'nin kuzeyinde yer alan Çengelli ve Örmeli yerleşim yerlerinden geçen fay zonu KD-GB doğrultusunda Şiro vadisine doğru ilerlemektedir. Bu alanda fay zonu Kuru sırtını kuzeybatısından, İbikkazık sırtını ve Bej tepesi güneydoğusundan sınırlayarak, Pütürge Metamorfizmi ile genç birimler arasında ilerlemektedir. Fay zonu boyunca gözlemlenen üçgen yüzeyler ve morfolojinin kademeli yapısı aktif tektoniğin diğer göstergeleridir (Şekil 5.45).



Şekil 5.45. Pütürge dolaylarında DAFZ (kırmızı kesikli çizgiler) ile birincil ilişkili uzamış sırt (beyaz kesikli çizgi) ve üçgen yüzeylerin arazi görünümü

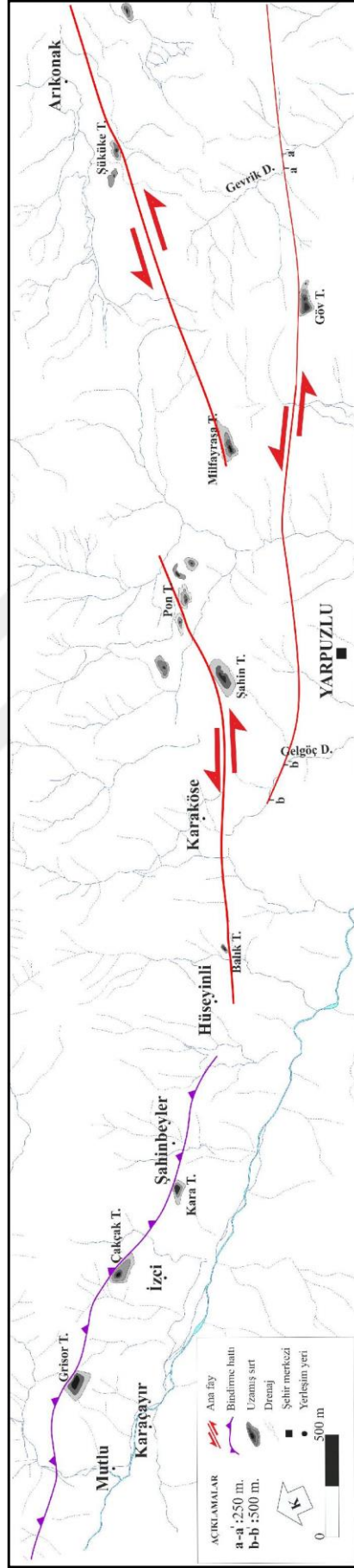
Bu alanda fay zonuna paralel gelişmiş basınç sırtlarının yanı sıra, kuzeye doğru akan drenaj ağlarında sol yanal ötelenmeler fayın kinematik davranışını açıkça sergilemektedir. Taliş ve Babik çaylarındaki yaklaşık 500 metrelik sol yanal ötelenmeler, bu yer değişimlerinin belirgin olanlarıdır. Ayrıca Köni (~250 m), Mukul (~200 m), Dut (~100 m) derelerinde de farklı miktarda atımlar gelişmiştir. Örmeli köyünün güneybatısına kadar çizgisel ilerleyen fay zonu Şiro vadisini kuzeyinden ve güneyinden sınırlayan birkaç segment olarak zon şeklinde gelişmiştir. Şiro vadisi her ne kadar çizgisel bir vadi gibi gözüküyor olsa da, fay zonu burada birkaç segmentten oluşması ve bağlantı alanlarındaki sıçramalar Kim vd. (2004) tarafından önerilen sınırlandırılmış mercek görünümündedir. Doğrultu atımlı rejimlere özgü bu morfolojik görünüm eski seki seviyelerinin yükselmesine yol açmıştır. Fay zonuna paralel DAFZ'nun bir diğer kırığı Şiro vadisinin güneyden geçmektedir. Bu kırık Tepehan yerleşim merkezinin kuzeydoğusundan Üçyaka köyüne doğru ilerlemektedir. Şiro vadisini sınırlayan ana fay zonu ise Tekederesi ve Arkonak köylerine uzanmaktadır.

Arıkonak köyünden itibaren İbbikazık sırtının güneydoğusunu sınırlayan fay zonu, güneybatı yönünde ilerlemektedir. Bu alanlarda Güz ve Milfayraşa tepeleri fay zonuna paralel olarak gelişmiştir. Pon ve Şahin tepeleri kuzeybatısından sınırlayan fayın doğrultusu değişerek sıkışmalı bir alan oluşturmuştur (Şekil 5.46). Bu sıkışmaya bağlı olarak çok sayıda basınç sırtı gelişmiştir.



Şekil 5.46. DAFZ tarafından sınırlandırılmış Balık tepe, Şahin tepe ve Pon tepenin arazi görünümü

Karaköse köyünün güneyinden devam eden fay Balık tepenin güneydoğusunu sınırlayarak Hüseyinli köyünün güneyinde yaklaşık D-B uzanımlı BSZ'nu atıma uğratmaktadır. BSZ varlığı Kara, Çakçak ve Grisor tepelerin kuzeyini sınırlayan çizgiselliklerden anlaşılmaktadır. Bu alanda K-G doğrultulu sıkışma rejimi ile Pütürge Metamorfite Maden Karmaşığı üzerine bindirmeli dokanakla gelmiş olup, son fazda gelişen DAFZ boyunca atıma uğratılmıştır. DAFZ'nun bir diğer kırığı güneyden Pütürge Metamorfite içinden geçmektedir. Yazıca köyünden gelen bu kırık Gevrik dereyi yaklaşık 250 m sol yanal öteleyerek; Göv tepesi kuzeybatısından sınırlamaktadır. Gelgöç dereye yaklaşık 500 m atıma yola açan kırık, Yarpuzlu yerleşim merkezine doğru ilerlemektedir (Şekil 5.47).



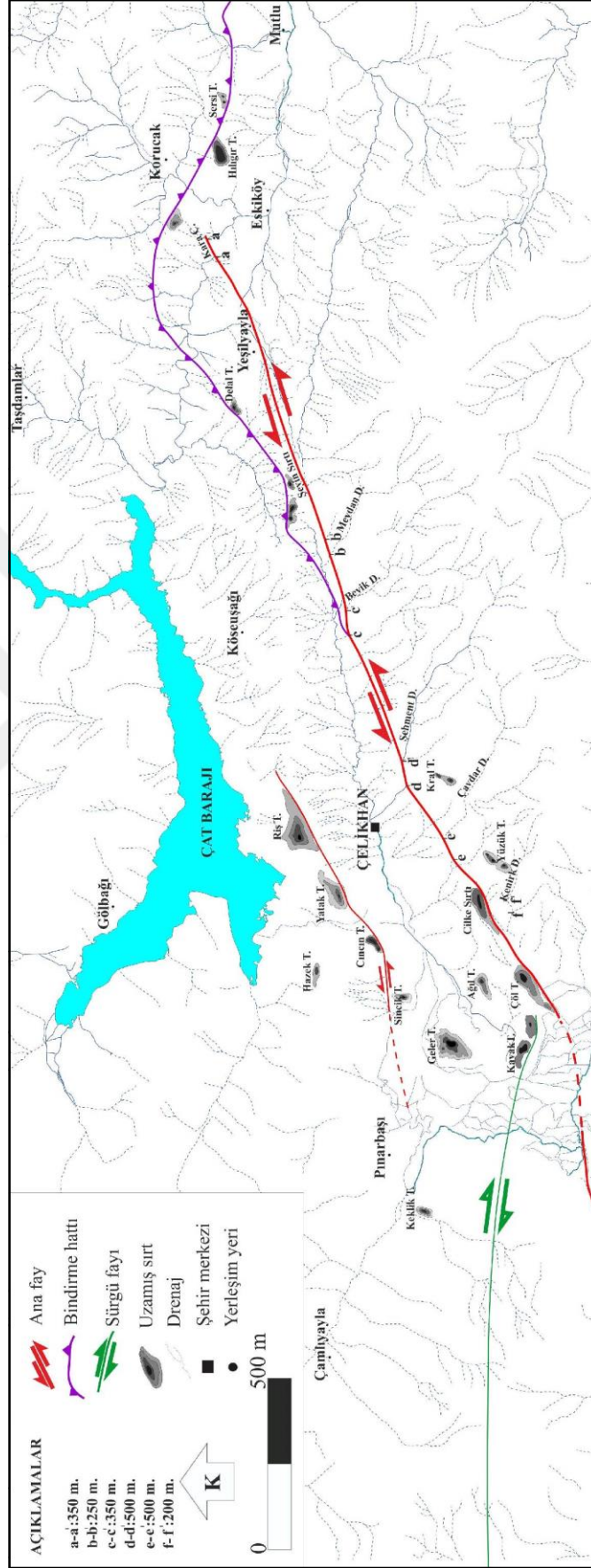
Şekil 5.47. Yarpuzlu civarında gelişen morfolojik yapıların ve fayın uzanımını gösteren morfolojik harita

DAFZ çalışma alanının güneybatı ucunda Eskiköy yerleşim yerinin kuzeybatısında yer alan Kara çayı yaklaşık 350 m öteleyerek morfolojide tekrar belirgin olarak izlenmeye başlar. Yeşilyayla köyünün güneyinden geçen fay zonu Basiki çayını besleyen yan kollarda sol yanal ötelenmeler oluşturmuştur. Meydan deresindeki atım miktarı yaklaşık 250 m iken, Beyik, Şehment ve Çavdar derelerindeki atım miktarı 350-500 m arasında değişmektedir (Şekil 5.48). 100 m ile 450 m arasında değişen sol yanal drenaj ötelenmeleri Holosen dönemine (Özdemir ve İnceöz, 2003) ait sismik aktivite olaylarını yansıtarak, DAFZ'nun çalışma alanındaki en genç tektonizmayı oluşturduğunu göstermektedir. Bu drenaj ötelenmeleri MTA tarafından önerilen 1893 tarihsel depreminin lokasyonu ile örtüşmesi, 1893 depremine ait kırığın bu alanda etkili olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 5.48. DAFZ tarafından ötelenmiş akarsuların Google Earth görünümü

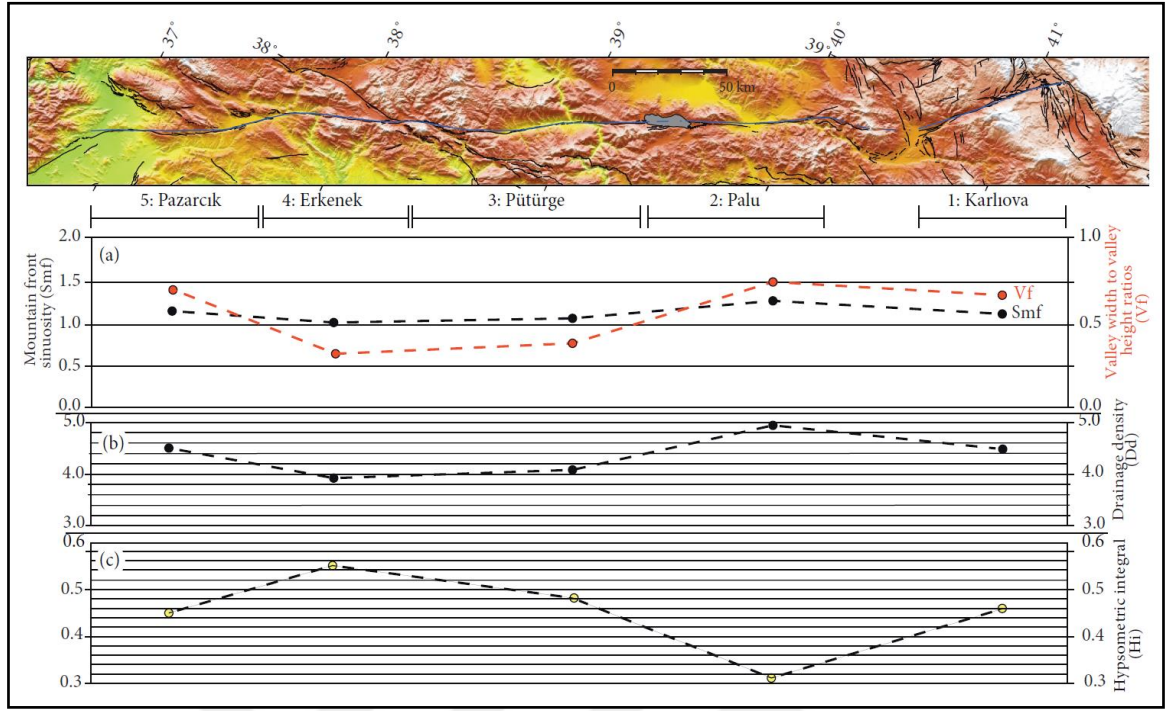
Bu alandan itibaren fay zonu doğrultusunu değiştirerek Cilke sırtı ve Çöl tepeyi güneydoğusundan sınırlayarak belirgin bir şekilde izlenmektedir. Çelikhana havzası içerisinde belirginliğini yitiren fay zonu yaklaşık DKD-BGB doğrultulu sırtı sınırlayarak güneybatıya doğru ilerlemiştir. Ayrıca bu kola paralel bir diğer kırık ise Çat Barajı'nın hemen güneyinden geçerek; Raf sırtı ile Yatak, Cıncın ve Geler tepelerini güneydoğusundan sınırlayarak belirginliğini kaybetmiştir. Çöl tepenin batısında yer alan Kavak tepe ise BKB-DGD doğrultusu ile Sürgü fayına paralellik sunmaktadır. Mutlu köyünün kuzeyinden devam eden bindirme hattı Sersi tepeyi güneybatısından, Hılgır tepeyi kuzeydoğusundan sınırlamaktadır. Bindirme hattı Korucak köyünün batısından itibaren konkav şeklinde Delal tepeyi ve Şeyin sırtını kuzeyinden sınırlayarak Köseuşağı köyünün güneyinde DAFZ'nun uzanımı ile son bulmaktadır (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. Çelikhan civarında gelişen morfolojik yapıların ve fayın uzanımını gösteren morfolojik harita

Morfolojik ve yapısal tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, paleostres analizi sonuçlarının farklı gerilme yönleri gösterdiği sonucuna varılır. Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsama çalışma alanında üç farklı sıkışma gerilmesinin varlığını göstermektedir. Tüm gerilme yönleri değerlendirildiğinde, çalışma alanının kuzeydoğusu genişlemeli bir rejim sunarken; Şiro vadisinin ortalarından itibaren saf doğrultu atım görülmektedir. Sincik civarından itibaren bindirme kuşağının ve Sürgü fayının da etkisiyle çalışma alanının güneybatı kesimi saf sıkışma ya da transpresif rejim sunmaktadır. Bu alanda elde ettiğimiz transpresif rejim özelliği Yılmaz vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma alanının güneybatısındaki kinematik analiz sonuçları ile uyum göstermektedir. Çalışma alanının kuzeydoğu kesimi Hazar Gölü'nün negatif çiçek yapısı modellenmesi (Aksoy vd., 2007) ve Şiro vadisinin geniş bir zon oluşturması; faylanmanın bu alanda tek bir doğrultuda değil, vadiyi sınırlayan birçok tekil faylardan oluşan bir zon olduğunu göstermektedir. Ayrıca Şiro vadisi boyunca görülen yaklaşık 30 m kalınlıktaki teraslar, DAFZ'nun Hazar gölündeki negatif çiçek yapısı modelinin bu alanda da devam ettiğini düşündürmektedir. Ancak DAFZ'nun bu alandaki geometrisi; Kim vd. (2004) tarafından önerilen faylar arasındaki bağlantı alanlarında görülen, doğrultu atımlı faylarla sınırlandırılmış lens modeli ile oldukça uyumludur. Bu alandan itibaren saf doğrultu atımın etkileri kinematik, morfolojik ve sismik (Bulut vd., 2012) olarak görülmektedir. Çalışma alanının güneybatı ucu ise Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki yakınsamanın etkilerinin ilk görüldüğü yerlerdendir. Özellikle en eski faz olarak değerlendirdiğimiz Geç Eosen-Oligosen zaman aralığındaki KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesinin etkileri bu alandaki Eosen dönemine ait birimler ve daha eski birimler üzerinde görülmüştür. Livermore ve Smith (1983) tarafından derlenen paleomanyetik veriler, Afrika ile Avrasya arasındaki yakınsama hızının Eosen sonlarında arttığını göstermektedir. Bu durum çalışma alanının güneybatı ucunda yitimin neredeyse tamamlanarak (Le Pichon ve Gaulier, 1988); çarpışmanın ilk bu alanlarda etkili olduğunu (Dercourt vd., 1986) ifade etmektedir.

DAFZ boyunca gelişmiş olan morfolojik özellikler fayın aktivitesi ve evrimindeki değişimin anlaşılması açısından önemlidir. Bu kapsamda tektonik jeomorfolojiye göre beş ayrı segment olarak değerlendirilen DAFZ boyunca, bazı morfometrik indisler (akarsu uzunluğu-eğimi indisi [S_L], dağ önü sinüslüğü indisi [S_{mf}], vadi genişliğinin uzunluğuna oranı indisi [V_f], havza asimetri indisi [A_F], drenaj yoğunluğu indisi [D_d] ve hipsometrik integral indisi [H_i]) uygun hatlar boyunca gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.51). Çalışma alanını kapsayan Pütürge segmenti boyunca gerçekleştirilen analiz sonuçları, diğer segmentlerin morfometrik analiz sonuçları ile kıyaslandığında çalışma alanının DAFZ'nun ikinci aktif segmenti olduğu tespit edilmiştir (Khalifa vd., 2018). Çalışma alanı litolojik açıdan temel birimlerin oluşturduğu yaşlı bir arazi olsa da, morfolojik veriler çalışma alanının tektonizma açısından oldukça genç ve aktif olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.51. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gerçekleştirilen morfometrik indislerin değerleri a) V_f ve S_{mf} değerleri, b) D_d değerleri, c) H_i değerleri (Khalifa vd.,2018).

6. SONUÇLAR

Arabistan Levhası ile Anadolu Levhası arasındaki bölüm yakınsama tektoniğinin önemli yapısal unsurlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol ile Çelikhan arasında gerçekleştirilen saha çalışmaları ve uzaktan algılama çalışmaları kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Çalışma alanında gerçekleştirilen jeolojik gözlemler, Pre-Kambriyen'den günümüze farklı yaş ve litolojik özelliklere sahip birimlerin varlığını göstermektedir. Çalışma alanının çoğunluğu Pütürge Metamorfileri, Malatya Metamorfileri ve Maden Karmaşığı'na ait birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler birbirleri üzerine düşük açılı bindirme düzlemleri boyunca itilerek bölgedeki nap alanını oluşturmaktadır. Çalışma alanının güneyini oluşturan diğer allokton birimler ise yitime bağlı gelişmiş olan ofiyolitik birimlerdir. Allokton birimlerin yanı sıra tektonizmanın etkisinin azalmasıyla, sedimantasyona elverişli dönemlerde otokton birimler gelişmiştir. Akarsu yatakları boyunca alüvyonlar ve teraslar gibi güncel birimler görülmektedir.

- Çalışma alanındaki tektonik hatlar SRTM (1 Arc-second çözünürlüklü) uydu görüntüleri üzerinden belirlenerek çalışma alanının tektonik çatısı oluşturulmuştur. Çalışma alanının tektonik hatları belirlenirken, çalışma alanına ait sayısal yükseklik modellerinden elde edilen drenaj ağı haritası ve $M > 4.0$ aletsel dönem deprem aktiviteleri (AFAD verilerinden yararlanılmıştır) de kullanılmıştır.

- Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında, çalışma alanının Landsat 8 uydu görüntülerinin işlenmesine ve yorumlanmasına dayalı çizgisellik analizi yapılmıştır. Uygulanan temel bileşen analizi ve yönlü filtreleme gibi zenginleştirme ve kenar belirleme yöntemleri sonucunda çalışma alanında toplam 290 adet çizgisellik elde edilmiştir. Çizgiselliklerin toplam uzunluğu 756.367 km olarak hesaplanmıştır. Manuel olarak elde edilen çizgisellikler gül diyagramında değerlendirildiğinde, çizgiselliklerin iki doğrultuda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu doğrultulardan biri $K65^{\circ}D$ doğrultusu ile DAFZ'na ait çizgisellikleri temsil ederken, $K75^{\circ}-80^{\circ}D$ doğrultusundaki çizgisellikler ise yaklaşık D-B uzanımına sahip bindirme faylarını göstermektedir. Diğer yönlerde gelişen doğrultular ise doğrultu atımlı faylanmanın sunduğu antitetik ve sentetik kırıkları temsil etmektedir.

- ASTER (Level 1 T) uydu görüntülerinin zenginleştirmesine dayalı analizler ana fayın izi, akarsu ötelenmeleri, faya paralel uzamış sırtlar, litolojik ayırım, havza alanları ve çizgisel vadilerin belirlenmesi ile saha öncesi ve sonrası çalışmalara katkı sağlamıştır. Bant kombinasyonu, kenar gemesi, temel bileşen analizi ve dekorelasyon gemesi yöntemleri ile morfotektonik yapılar belirginleştirilmiştir. Farklı filtreleme yöntemlerinin uygulandığı görüntülerin maskeleme işlemleri, yapısal unsurların belirlenmesi kapsamında oldukça başarılı olmuştur.

- Çalışma alanı boyunca fay zonunun geometrisinin daha iyi anlaşılabilmesi için; 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden drenaj ağları ve faya paralel gelişmiş sırtlar belirlenerek, morfolojik haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalar üzerinde fay zonuna ait ana fay izi ve diğer tektonik unsurlar eklenerek; fay zonu boyunca gelişen doğrultu değişimleri, sıçrama ve bükülmelere bağlı gelişen genişlemeli sıkışmalı alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda segmentlerin uzanımı, akarsu ötelenmeleri ve fay zonunun sınırladığı sırtlar ayrıntılı olarak gösterilmiş olup fayın geometrisi anlamlandırılmıştır.

- Saha çalışmaları kapsamında uydu görüntüleri ve sayısal yükseklik modeli ile belirlenen tektonik hatlar kontrol edilmiş olup gerekli düzeltmeler ve eklemeler saha gözlemlerine dayalı yapılmıştır. Sahada yapılan morfolojik gözlemler fay zonunun KD-GB doğrultulu uzanımını açıkça yansıtmaktadır. Ayrıca çalışma alanı boyunca gözlemlenen faya paralel uzamış sırtlar, ötelenmiş akarsular, üçgen yüzeyler, çizgisel vadiler gibi morfolojik unsurlar fayın aktivitesinin anlaşılması açısından oldukça fayda sağlamıştır. Çalışma alanında fay zonu temel birimleri etkilemiş olsa da morfolojik veriler tektoniğin aktivitesini açıkça sergilemektedir. Bu anlamda morfolojik verilerden, deformasyon fazlarını kronolojik olarak ilişkilendirmede büyük ölçüde yararlanılmıştır.

- Çalışma alanındaki gerilme durumlarının belirlenebilmesi için uygun düzlemlerden fay topluluklarına ait kinematik veriler toplanmıştır. Fay düzlemlerinden ölçülen kayma verileri WinTensor yazılımı ile değerlendirilerek paleostres analizi gerçekleştirilmiştir. Fay topluluklarının paleostres analizi ile fayların kinematik davranışına neden olan gerilme eksenleri ve deformasyon türünü gösteren R oranı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler bölgesel gerilme verileri ile karşılaştırıldığında; çalışma alanında Geç Eosen-Oligosen, Orta Miyosen sonları ve Geç Pliyosen zamanlarında farklı doğrultularda etkili olmuş en az üç deformasyon fazı belirlenmiştir. En eski faz olarak belirlenen Geç Eosen-Oligosen döneminde, KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında kıvrımlar, makaslama kırıkları, ters faylar ve doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Bu deformasyon evresinde saf sıkışma rejimi baskın olup; bazı lokasyonlarda transpresiyonel rejimin etkileri de görülmektedir. Bu deformasyonun anlamı, bölgesel olarak Maden havzasının Orta Eosen sonlarında kapanmaya başlamasını sağlayan Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsama hızının artmasıdır. İkinci faz olan Orta Miyosen sonundaki deformasyon ise, yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma ile karakterize edilmektedir. Bu deformasyon fazı ise yaklaşık D-B uzanımlı kıvrımların gelişimi ile bindirme faylarının geliştiği deformasyon türünü göstermektedir. Kaymakçı ve arkadaşları (2010) tarafından bölgesel ölçekte gerçekleştirilen çalışmada, yitimin tamamlanması ve Arabistan Levhası'nın Anadolu Levhası ile çarpışması sonucu geliştiği belirtilen bu deformasyon, sıkışmalı rejimden saf doğrultu atımlı rejime geçiş dönemini yansıtmaktadır. Çalışma alanının güneybatısında Yılmaz ve arkadaşları (2006) tarafından gerçekleştirilen kinematik analiz çalışmaları sonucu elde edilen Miyo-Pliyosen zaman aralığındaki KKB-GGD (yaklaşık K-G) doğrultulu sıkışma paleostres analizinden elde ettiğimiz 2. fazı desteklemektedir. Geç Pliyosen'den

günümüze etkili olan KD-GB doğrultulu sıkışmayı gösteren son deformasyon fazı saf doğrultu atımı karakterize etmektedir. Son deformasyon fazı Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki devam eden yakınsamanın kıta içi deformasyona sebep olduğu, kıta içi doğrultu atımlı fayların geliştiğini göstermektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu, bu deformasyon evrelerinin son fazında meydana gelmiştir.

- Sonuç olarak Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsama çalışma alanında dönemsel olarak farklı gerilmelerin gelişimine yol açmıştır. Sıkışmalı tektoniğin yoğun bir şekilde deforme ettiği çalışma alanı, BSZ'nun ard ülkesinde yer almaktadır. Yakınsamanın ilk aşamaları çalışma alanında kıvrım ve bindirme tektoniğine bağlı yoğun ve karmaşık bir deformasyon oluşturmuştur. Yakınsamanın devam etmesinden kaynaklanan sıkışmalı gerilmeye bağlı olarak, çalışma alanındaki deformasyon türü doğrultu atımlı rejime dönüşmüştür. Doğrultu atımlı rejim, eski tektonik ve morfolojik unsurları saat ibresinin tersi yönünde rotasyona uğratmıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D.ve Baştuğ, C. (1975). *V. Bölge Cacas-Hani yöresi kuzey sahalarının jeoloji raporu ve petrol olanakları*, TPAO kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Akgül, B. (1993). *Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aksoy, E., İnceöz, M. ve Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 319-338 s.
- Aktaş, G. ve Robertson, A.H.F. (1984). The Maden Complex, SE Turkey: evolution of a Neotethyan continental margin, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, *Geology Society London, Special Publication*, 17, 375-402 s.
- Aktaş, G. ve Robertson, A. H. F. (1990). Tectonic Evolution of the Tethys Suture zone in SE Turkey: Evidence From the petrology and Geochemistry of Late Cretaceous and Middle Eocene Extrusives, *Ophiolites and Oceanic Lithosphere, Eds., J. Malpas, et al, Nicosia, Cyprus*.
- Aktimur, H. T. ve Oral, A. (1981). *Şiro Çayı ve dolayının yerbilim verileri*, Institute of Mineral Research and Exploration Report 6883, Ankara.
- Allen, C.R. (1969). *Active faulting in northern Turkey*, Contr.1577.Division of Geology Sciences, California Institute of Technology, 32 s.
- Altınlı, İ.E. (1963). *Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500000 scale; Erzurum sheet*, Institute of Mineral Research and Exploration Report, Ankara.
- Ambraseys, N.N. (1971). Value of Historical Records, *Nature*, 232.
- Ambraseys, N.N. (1989). Temporary Seismic Quiescence: SE Turkey, *Geophysical Journal International*, 96, 311-331 s.
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C. (1998). Seismicity of Turkey and neighbouring regions 1500-1800, *Geophysical Journal of International*, 133, 390-406 s.
- Ambraseys N.N. ve Jackson J.A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 133/ 2, 390-406 s.
- Angelier J. (1984). Tectonic analysis of the slip data sets. *Journal of Geophysical Research*, 89, 5835-5848 s.
- Angelier, J. (1990). Inversion of field data in Fault tectonics to obtain the regional stress: A new rapid direct inversion method by analytical means, *Geophysical Journal International*, 103, 363-376 s.
- Angelier, J. 1994. *Fault slip analysis and palaeostress reconstruction*, Pergamon Press, Oxford, 53-100.
- Angelier, J. ve Mechler, P. (1977). Sur methode graphique de recherche des contraintes principales egalement utilisable en tectonique et en sismologie: La Methode Dièdre Droit, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 19, 1309-1318.
- Arpat, E. (1977). Karakaya barajı çok büyük depremlerle sınanacaktır, *Yeryuvarı ve İnsan*, Şubat, 59-62 s.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F.1(972). Doğu Anadolu fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *MTA Dergisi*, 78, 44-50 s.

- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *TJK Bülteni*, 18, 91-101 s.
- Arthaud, F. (1969). Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, D'allongement et intermédiaire d'une population de failles, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 11, 729-737.
- Asutay, H.J. (1985). *Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik ve petrografik incelenmesi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Aydın, A. ve Seymen, İ. (1972). Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fay zonu ile ilişkisi, *MTA Bülteni*, 79, 1-8 s.
- Barka, A.A. (1983). Büyük magnitudlü depremlerin episantr alanlarını önceden belirleyebilecek bazı jeolojik veriler, *TJK Bülteni*, 26, 21-30 s.
- Barka, A.A. ve Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7/3, 663-684 s.
- Barka, A.A. ve Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Mediterranean region: Deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annali di Geofisica*, 11/3, 587-609 s.
- Baştuğ, C. (1976). Bitlis napının stratigrafisi ve Güneydoğu Anadolu suture zonu evrimi, *Yeryuvarı ve İnsan*, 1/3, 55-61 s.
- Bedi, Y., Usta, D., Özkan, M.K., Beyazpirinç, M., Yıldız, H., Yusufoglu, H. (2005). Doğu Toroslar'da (Göksun- Sarız-Elbistan) allokon istiflerin tektonostratigrafik özellikleri. *TJK bildiri özleri*, 262-263 s.
- Bedi, Y., Yusufoglu, H., Beyazpirinç, M., Özkan, M.K., Usta, D., Yıldız, H., Baran, C., Karakuş, E. (2008). *Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi (Doğanşehir-Malatya)*, MTA kurum raporu, Ankara.
- Beyarslan, M. (1996). *Kömürhan Ofiyolit Biriminin Petrografik ve Petrolojik İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F. (1991). Petrographical Features of the Ispendere Ophiolite Kale-Malatya, Türkiye, *Yerbilimleri*, 19, 59-68 s.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F. (1996). Kömürhan Ofiyolit biriminin petrografik ve petrolojik incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8,2, 1-15 s.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F. (2000). Petrology of a supra-subduction zone ophiolite (Kömürhan-Elazığ-Turkey), *Canadian Journal of Earth Sciences*, 37, 1411-1424 s.
- Beyarslan, M. ve Bingöl A.F. (2014). Petrology of the Ispendere, Kömürhan and Guleman Ophiolites (Southeast Turkey): Subduction initiation rule (SIR) ophiolites and arc related magmatics, *3rd Annual International Conference on Geological and Earth Sciences (GEOS 2014)*, Singapore.
- Beyarslan, M., Lin, Y.C., Bingöl, A.F., Chung, S.L. (2016). Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implication of Cadomian (Ediacaran-Early Cambrian) magmatism in SE Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 130, 223-238 s.
- Beyarslan, M. ve Bingöl, A.F. (2018). Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implication of Late Cretaceous intra-oceanic arc magmatism in the Southeast Anatolian Orogenic Belt, SE-Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 147, 477-497 s.
- Bingöl, A.F. (1984). Geology of Elazığ area in the Eastern Taurus region, *The International Symposium Geology of the Taurus Belt*, Ankara.

- Bingöl, A.F. (1986a). New findings on the structural setting on the chromitites in the Guleman massive (Eastern Taurus), *Journal of Fırat University Science and Technology*, 1, 37–46 s.
- Bingöl, A.F. (1986b). Petrographic and petrologic characteristics of the Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey), *Geosound*, 13/14, 41–57 s.
- Bingöl, A.F. (1988). Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus–Turkey), *Journal of Fırat University Science and Technology*, 3/2, 1-17 s.
- Blumenthal, M.M. (1941). Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Toroslarnın jeolojisine umumi bir bakış, *MTA yayını*, B/6, 48 s.
- Blumenthal, M.M. (1946). Die neue geologische Karte der Türkei und einige ihrer stratigraphisch-tektonischen Grundzüge, *Eclogae Geol. Helv.*, 39, Bale.
- Bott, M.H.P. (1959). The mechanics of oblique slip faulting, *Geol. Mag.*, 96, 109-117 s.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30 s.
- Brayant, G.F. (1960). Stratigraphic report of the Penbeğli-Tutköy area, petroleum district VI, SE Turkey, *American Overseas Petroleum “AMOSEAS” report. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi*, 12, 27s.
- Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., Dresen, G. (2012). The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations, *Journal of Geophysical Research*, 117, B07304, 1-16 s.
- Carey, E. (1976). *Analyse numerique d’un modele mecanique elementaire applique a l’etude d’une population de failles: Calcul d’un tenseur moyen des contraintes a partir des stries de glissement*, PhD Thesis, Tectonique Generale, University of Paris-Sud, Orsay.
- Carey, E. (1979). Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d’une population de failles, *Revue Geological Dynamic and Géography Physic*, 21, 57-66.
- Carey-Gailhardis, E. ve Mercier, J.J. (1987). A numerical method for determining the state of stress using focal mechanism of earthquake populations, *Earth Planet Science Letter*, 82, 165-179.
- Çağlayan, M.A., İnal, R.N., Şengün, M., Yurtsever, A. (1983). Structural setting of the Bitlis Massif, *The International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara.
- Çetin, H., Güneşli, H. ve Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 374, 163-197 s.
- Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Petit, C., Levi, K., Miroshnichenko, A., Ruzhich, V., San’kov, V. (1997). Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting, *Tectonophysics*, 282, 1-38 s.
- Delvaux, D. ve Sperner, B. (2003). New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program, *Geological Society London*, Special Publications, 212/1, 75-100 s.
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, U.G., Le Pichon, X., Knipper, A.I., Grand jacquet, C., Sbertshikow, I.M., Geysant, J., Levvier, G., Pechersky, D.H., Boulin, J., Sibuet, J.C., Savostin, L.A., Stokhtin, O., Westpal, M., Bazhenow, M.L., Lauer, J.F., Bijo-duval, B. (1986). Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias, *Tectonophysics*, 123, 241-315 s.

- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone, *Geology Society London, Special Publication*, 19, 3-36 s.
- Dewey, J. F., Pitman, I. W. C., Ryan, W. B. F., Bonnin, J. (1973). Plate tectonics and the evolution of the Alpine System, *Geology Society of American Bulletin*, 84, 3137- 3180 s.
- Dewey, J. F. ve Şengör, A. M. C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multi-part and continuum tectonics in a convergent zone, *Geology Society of American Bulletin*, 90, 84-92 s.
- Doski, J.A.H. (2019). Tectonic analysis of lineaments in the Gara anticline, Kurdistan, Northern Iraq, *Journal of Indian Society of Remote Sensing*.
- Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, *Geological Society London, Special Publications* 19.
- Duran, O., Şemşir, D. ve Perinçek, D. (1988). Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimentolojisi ve petrol potansiyeli, *TPJD Bülteni*, 1/2, 99-126 s.
- Egeran, N. (1947). *Tectonique de la Turquie et relation entre les unites tectoniques et les gites metalliferes de la Turquie*, Thise, 1/8, Nancy.
- Ercan, A. (1979). Doğu Anadolu Fayı üzerinde küçük deprem çalışmaları, *Yeryuvarı ve İnsan*, 2, 21-30 s.
- Erdem, E. (1994). *Pütürge (Malatya) Metamorfitleri'nin petrografik ve petrolojik özellikleri*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Erdoğan, B. (1977). *Geology, geochemistry and genesis of the sulphide deposits of the Ergani-Maden region, SE Turkey*, University of New Brunswick, Doktora tezi.
- Ertürk, M.A. (2016). *Maden Karmaşığı'nın (Doğu Toroslar-Türkiye) petrolojik özellikleri*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S-L., Lin, T-H. (2018). Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian Orogenic Belt: Magma genesis and tectonic implications, *Geoscience Frontiers*, 9, 6, 1829-1847 s.
- Göncüoğlu, M.C. ve Turhan, N. (1984). Geology of the Bitlis metamorphic belt, *The International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara.
- Göncüoğlu, M.C. ve Turhan, N. (1985). *Bitlis metamorfik kuşağı orta bölümünün temel jeolojisi*, MTA kurum raporu, Ankara.
- Göncüoğlu, M. C. ve Turhan, N. (1992). *Muş-133 Sheet: 100 000 Scale Geological Map Series of Turkey*, MTA kurum raporu, Ankara.
- Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, İ., Şengör, A. M. C. (1984). Palaeotectonic evolution of Tuzgölü basin complex, Central Turkey, *Geological Society London, Special Publication*, 17, 81-96 s.
- Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. N. (1987). Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon, Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları, *Yerbilimleri*, 14, 319- 336 s.
- Güneyli, H. (2002). *Doğu Anadolu Fay Sistemi, Palu-Hazar Gölü Segmentinin Neotektoniği ve Paleosismolojisi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gürsu, S., Möller, A., Göncüoğlu, M.C., Köksal, S., Demircan, H., Toksoy Köksal, F., Kozlu, H., Sunal, G. (2015). Neoproterozoic continental arc volcanism at the northern edge of the Arabian Plate, SE Turkey, *Precamb. Res.*, 258, 208–233 s.

- Hempton, M.R. (1985). Structural and deformation history of the Bitlis suture near lake Hazar, Southeastern Turkey, *Geology Society of American Bulletin*, 96, 233-243 s.
- Hempton, M. R. (1987). Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea, *Tectonics*, 6, 687-705 s.
- Hempton, M. R., Dewey, J. F. ve Şaroğlu, F. (1981). The East Anatolian Transform Fault: along strike variations in geometry and behaviour, *EOS Transac*, 62, 393.
- Hempton, M.R. ve Dewey, J.F. (1983). Earthquake-induced deformational structures in young lacustrine sediments, East Anatolian Fault, southeast Turkey, *Tectonophysics*, 98, 7-14 s.
- Hempton, M.R. ve Savcı, G. (1982). Elazığ volkanik karmaşığının petrolojik ve yapısal özellikleri: TJK Bülteni, 25/2, 143-151 s.
- Herece, E. ve Akay, E. (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu fayı, *Türkiye 9. Petrol Kongresi*, Ankara.
- Herece, E. (2008). *Atlas of East Anatolian Fault*, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series 13, 359 s.
- İlker, S. (1972). *VI. Bölge Adıyaman kuzey ve kuzeydoğusundaki sahalar hakkında jeolojik rapor*, TPAO kurum raporu, 27 s. (yayınlanmamış).
- Jackson, J.A. ve McKenzie, D. (1984). Active tectonic of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264 s.
- Karaman, T., Poyraz, N., Bakırhan, B., Alan, İ., Kadıncık, G., Yılmaz, H., Kılınç, F. (1993). Malatya-Doğuşehir-Çelikhan dolayının jeolojisi, *MTA Derleme*, 9587, 57 s.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M. ve Ertepinar, P. (2006). 3D architecture and Neogene evolution of the Malatya Basin: inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacik Fault Zones, *Turkish Journal of Earth Sciences* 15, 123–154 s.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P., Koç, A. (2010). Late Cretaceous to recent kinematics of SE Anatolia (Turkey), *Geological Society London, Special Issue*, 340, 409-435 s.
- Kellog, H.E. (1960). *Stratigraphic report, Hazro area, Petroleum District V, SE Turkey*, American Overseas Petroleum-AMOSEAS Report 1 (unpublished).
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, *MTA Dergisi*, 66, 20-34 s.
- Ketin, İ. (1968). Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *MTA Bülteni*, Ankara.
- Khalifa, A., Çakır, Z., Owen, L.A., Kaya, Ş. (2018). Morphotectonic analysis of the East Anatolian Fault, Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 27, 110-126 s.
- Khalifa, A., Çakır, Z., Owen, L.A., Kaya, Ş. (2019). Evaluation of the relative tectonic activity of the Adıyaman fault within the Arabian-Anatolian plate boundary (eastern Turkey), *Geologica Acta*, 17, 6, 1-17 s.
- Kim, Y.S., Peacock, D.C.P. ve Sanderson, D.J. (2004). Fault damage zones, *Journal of Structural Geology*.
- Kiratzı, A. (1993). A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian Fault Zones, *Tectonophysics*, 225, 191-203 s.

- Koç, A. ve Kaymakçı, N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study, *Journal of Geodynamics*, 65, 292-307.
- Koçyiğit, A. ve Beyhan, A. (1998). A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 284, 317– 336 s.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S. (2001). Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta*, 14, 177-195 s.
- Köküm, M. ve İnceöz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System, *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63 s.
- Le Pichon, X. ve Gaulier, J.M. (1988). The rotation of Arabia and the Levant fault system, *Tectonophysics*, 153, 271-294 s.
- Lin Y.-C., Chung S.-L., Bingöl A.F., Beyarslan M., Lee H.-Y., Yang J.-H. (2015). Petrogenesis of late Cretaceous Elazığ magmatic rocks from SE Turkey: New age and geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints, *Goldschmidt*.
- Livermore, R.A. ve Smith, A.G. (1983). Relative motion of Africa and Europe in vicinity of Turkey, *The International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara.
- Lovelock, P.E.R. (1984). A review of the tectonics of the northern Middle East region, *Geol. Mag.*, 121/6, 577-587 s.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt, *Tectonophysics*, 204, 1-15 s.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounins, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5720 s.
- McKenzie, D.P. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean region, *Nature*, 220, 239-343 s.
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185 s.
- McKenzie, D.P. (1976). The East Anatolian fault: A major structure in eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 29, 189-193 s.
- Michard, A., Whitechurch, H., Ricou, I.E., Montigny, R., Yazgan, E. (1984). Tauric subduction (Malatya-Elazığ provinces) and its bearing on tectonics of the Tethyan realm in Turkey, *Geological Society London, Special Publication*, 17, 361-374 s.
- Miyashiro, A. (1973). The Troodos ophiolite was probably formed in an island arc, *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 218-224 s.
- Muehlberger, R.W. ve Gordon, M.B. (1987). Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey, *Journal of Structural Geology*, 9, 899-903 s.
- Nalbant, S.S., McClusky, J., Steacy, S., Barka, A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 291-298.

- Okay, A.I. ve Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society London, Special Publications*, 156, 475-515 s.
- Oral, M.B., Reilinger, R. ve Toksöz, R. (1992). Deformation of the Anatolian block as deduced from GPS measurements, *Transactions, American Geophysical Union, EOS*, 73, 120.
- Önalın, M. (1988). Kahramanmaraş Tersiyer havzasının jeolojik evrimi, *TJK Bülteni*, 31/2, 1-10 s.
- Över S., Özden S. ve Yılmaz, H. (2004). Late Cenozoic stress evolution along the Karasu Valley, SE Turkey, *Tectonophysics*, 380, 43-68 s.
- Özçelik, M. (1985). Malatya güneydoğusundaki magmatik kayaların jeolojisi ve tektonik ortamına jeokimyasal bir yaklaşım, *TJK Bülteni*, 28, 1, 19-35 s.
- Özdemir, M.A. ve İnceöz, M. (2003). Doğu Anadolu Fay Zonunda ötelenmelerin tektonik verilerle karşılaştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5/1, 89-114 s.
- Özener, H., Aktuğ, B., Doğru, A., Taşçı, L., Yılmaz, O., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Sabuncu, A., Bulut, F. (2017). Ülke ölçeğinde ana fayların GPS ile elde edilen verilerle güncel kayma hızları, *16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Özgül, N., Özyardımcı, N., Şenol, M., Bingöl, İ., Uysal, Ş. (1981). *Munzur dağlarının jeolojisi*, MTA Raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Özgül, N. ve Turşucu, A. (1983). Stratigraphy of the Mesozoic carbonate sequence of the Munzur Mountains (Eastern Taurides), *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara.
- Özkan, Y.Z. ve Öztunalı, Ö. (1984). Petrology of the magmatic rocks of Guleman ophiolite, *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara.
- Özkaya, İ. (1974). Güneydoğu Anadolu Sason ve Baykan Yöresi Stratigrafisi, *TJK Bülteni* 17, 51-71 s.
- Özkaya, İ. (1978). Stratigraphy of the Ergani-Maden region, *Geology Society of Turkey Bulletin*, 21, 120-140 s.
- Pegoraro, O. (1972). Application de la microtectonique a une erude de neotectonique sur le golfe maliaque (Gece centrale): These de 3 cycle, *Montpellier*.
- Peksü, M. (1969). Proposed rock units nomenclature, Petroleum District V. and VI., SE Turkey. TPAO kurum raporu, Ankara.
- Perinçek, D. (1978). *Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman) alanının jeolojik incelemesi ve petrol olanaklarının araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü.
- Perinçek, D. (1979a). GD Anadolu'da allokton birimler, 33. *TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 115-116 s.
- Perinçek, D. (1979b). Güneydoğu Anadolu'daki allokton birimlerin birbirleri ile olan ilişkileri ve bunların jeolojik evrimdeki yeri, 33. *TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 117-118 s.
- Perinçek, D. (1979c). Geological investigation of the Çelikhan- Sincik-Koçali area (Adıyaman province), *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, Seri B44, 127-147 s.
- Perinçek, D. (1980a). Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri, *Türkiye 5. Petrol Kongresi*, 77-93 s.
- Perinçek, D. (1980b). Bitlis Metamorfiterleri'nde volkanitli Triyas, *TJK Bülteni*, 23, 201-211 s.
- Perinçek, D. ve Çemen, İ. (1990). The Structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea Fault zones in Southeastern Turkey, *Tectonophysics*, 172, 331-340 s.

- Perinçek, D. ve Kozlu, H. (1984). Afşin-Elbistan-Doğuşehir dolayının stratigrafisi ve bölgedeki birliklerin yapısal ilişkileri, TPAO kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Perinçek, D. ve Özkaya, İ. (1981). Arabistan Levhası kuzey kenarı tektonik evrimi, *Yerbilimleri Dergisi*, 8, 91-101 s.
- Pişkin, Ö. (1978). Çelikhan doğusu lökokuvarsmonzonitleri üzerine petrokimya ve jeokronoloji verileri (Adıyaman-Türkiye), *TJK. Bülteni*, 21, 107-111 s.
- Pişkin, Ö. ve Delaloye, M. (1981). Pétrologie et géochronologie des ophiolites de Çelikhan (Taurus oriental, Turquie), *Schweiz Mineral. Petrogt. Mitt*, 61, 133-145 s.
- Price, N. (1966). *Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock*, Oxford: Pergamon Press 176 p.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 111/B5, 52 s.
- Rızaoğlu, T., Parlak, O., Hoeck, V., İşler, F. (2006). Nature and significance of late Cretaceous ophiolitic rocks and their relation of the Baskil granitic intrusion of the Elazığ region, SE Turkey, *Geological Society London, Special Publications*, 260, 327-350 s.
- Rigo de Righi, M. ve Cortesini, A. (1964). Gravity tectonics in feethils structure belt of Southeast Turkey, *A.A.P.G. Bulletin*, 48, 1911-1937 s.
- Rizeli, M.E. (2014). *Guleman (Elazığ) Ofiyoliti Manto Peridotitlerinin Kökeni*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Rizeli, M.E., Beyarslan, M., Wang, K.-L., Bingöl, A.F. (2016). Mineral chemistry and petrology of mantle peridotites from the Guleman ophiolite (SE Anatolia, Turkey): Evidence of a forearc setting, *Journal of African Earth Sciences*, 123, 392-402 s.
- Robertson, A.H.F. (2002). Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean, Tethyan region, *Lithos*, 65, 1-67 s.
- Robertson, A. H. F., Ünlügenç, U., İnan, N., Taşlı, K. (2004). Misis-Andrın Complex: melange formation related to closure and collision of the South Tethys in S Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 22, 413-453 s.
- Rowan, L.C. ve Mars, J.C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, *Remote Sensing of Enviroment*, 84, 350-366 s.
- Sançar, T. (2014). Karlova Üçlü Eklemlerinin Kuvaterner evrimi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Sarp, G. (2005). *Lineament analysis from satellite images, north-west Ankara*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Savcı, H., Yöndem, F., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N. (1979). Bitlis-Mutki dolayının jeotektonik evrimi, 33. *T.J.K. Bilimsel ve Teknik Kongresi*, Bildiri Özetleri, 113-114 s.
- Selçuk, H. (1985). *Kızıldağ-Keldağ Hatay dolayının jeolojisi ve jeolojik evrimi*, MTA kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Sungurlu, O. (1973). *VI. Bölge Gölbaşı-Gerger arasındaki sahanın jeolojisi*, 33. TPAO kurum raporu (yayınlanmamış).

- Sungurlu, O. (1974). VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi*, 85-107 s.
- Sungurlu, O. (1979a). GD sürüklenme kuşağı Kretase sürüklenimleri, 33. *TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 119-120 s.
- Sungurlu, O. (1979b). GD sürüklenme kuşağı Tersiyer sürüklenimleri 33. *TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 121-122 s.
- Sylvester, A.G. (1988). Strike-slip faults, *Geological Society of American Bulletin*, 100, 1666-1703 s.
- Şahin, Ö. ve Işık, V. (2010). Çelikhhan (Adıyaman) civarında yüzeyleyen metamorfik ve magmatik kayaların petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53/2-3,129-158 s.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987). *Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri*, MTA kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Şaroğlu, F., Emre, O. ve Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian fault zone of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6, 99-125 s.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1987). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 107,73-94.
- Şenel, M., Selçuk, H., Şen, A.M., Dinçer, A., Durukan, E., Arbas, A., Örçen, S., Bilgi, C. (1989). *Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)-Elmalı (Antalya) dolayının jeolojisi*, MTA kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey; A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241 s.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub.*, 37, 227-264 s.
- Şentürk, S., Çakır, Z., Ergintav, S., Karabulut, H. (2019). Reactivation of the Adıyaman Fault (Turkey) through the Mw 5.7 2007 Sivrice earthquake: An oblique listric normal faulting within the Arabian-Anatolian plate boundary observed by InSAR, *Journal of Geodynamics*, 131.
- Tan, A. ve Eyidoğan, H. (2019). The kinematics of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey and Seismotectonic implications, *International Journal of Engineering and Applied Science*, 11, 4, 494-506 s.
- Taymaz, T., Eyidogan, H. ve Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), *Geophysical Journal International*, 106, 537-550 s.
- Terlemez, H.Ç.İ., Şentürk, K., Ateş, Ş., Sümengen, M., Oral, A. (1992). *Gaziantep dolayının ve Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli arasının jeolojisi*, MTA kurum rapor, Ankara (yayınlanmamış).
- Trifonov, V. G., Karakhanian, A. S. ve Kozhurin, A. I. (1994). Major active faults of the collision area between the Arabian and Eurasian plates, *International Conference at Yerevan-Sevan*, Armenia, 56-76 s.
- Tuna, D. (1974). VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi*, 183-192 s.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A.F. (1995). Doğu Toroslar'ın jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7/2, 177-199 s.
- Turan, M. ve Bingöl, A.F. (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri., ed. Yetiş, C., *Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu*, Adana, 211-226 s.

- Ulu, Ü., Genç, Ş., Giray, S., Metin, Y., Çörekçioğlu, E., Örcen, S., Ercan, T., Yaşar, T., Karabıyıkoglu, T. (1991). *Belveren-Araban-Yavuzeli-Nizip-Birecik alanının jeolojisi, Senozoyik yaşlı volkanik kayaların petrolojisi ve bölgesel yayılımları*, MTA kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).
- Ural M. (2012). *Elazığ ve Malatya çevresindeki Yüksekova Karmaşığı bazik volkanitlerinin petrokimyası, petrolojisi ve yaşı*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Ustaömer, P.A., Ustaömer, T., Collins, A.S., Robertson, A.H.F. (2009). Cadomian (Ediacaran–Cambrian) arc magmatism in the Bitlis Massif, SE Turkey: magmatism along the developing northern margin of Gondwana, *Tectonophysics*, 473, 99–112 s.
- Ustaömer, P.A., Ustaömer, T., Gerdes, A., Robertson, A.H.F., Collins, A.S. (2012). Evidence of Precambrian sedimentation/magmatism and Cambrian metamorphism in the Bitlis Massif, SE Turkey utilising whole-rock geochemistry and U-Pb LA-ICP-MS zircon dating, *Gondwana Res.*, 21, 1001–1018 s.
- Vander Meer, F. (1997). What does multisensor image fusion add in terms of information content for visual interpretation?, *International Journal of Remote Sensing*, 18, 445- 452 s.
- Wallace, R.E. (1958). Geometry of shearing stress and relation to faulting, *Journal of Geology*, 59, 118.
- Westaway, R. (1994). Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean, *Journal Geophysics Research*, 99, 12071-12090 s.
- Westaway, R. (2003). Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, *Turkish Journal of Earth Science*, 12, 5-46 s.
- Westaway, R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey, *Tectonophysics*, 391, 203-237 s.
- Westaway, R. (2006). Late Cenozoic extension in southwest Bulgaria: a synthesis, *Geological Society London, Special Publications*, 260, 557-590 s.
- Woodcock, N.H. (1986). The role of strike-slip fault systems at plate boundaries, *Philosophical Transactions of the Royal Society Londra*, 317, 13-29 s.
- Yalçın, N. (1976). *Narince-Gerger (Adıyaman ili) alanının jeoloji incelemesi ve petrol olanaklarının incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi.
- Yazgan, E. (1981). Doğu Toroslar'da etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü (Üst Kretase-Orta Eosen), *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi*, 7, 83-104 s.
- Yazgan, E. (1983). A geotraverse between the Arabian Platform and Munzur nappes, *International Symposium on the Geology of The Taurus Belt*, Ankara.
- Yazgan, E. (1984). Geodynamic evolution of Eastern Taurus region, *International Symposium on the Geology of The Taurus Belt*, Ankara.
- Yazgan, E., Asutay, J., Gültekin, M.C., Poyraz, N., Sirel, E., Yıldırım, H. (1987). *Malatya güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi*, MTA arşiv raporu, Ankara, Rapor No: 2268.
- Yazgan, E. ve Chessex, R. (1991). Geology and Tectonic Evolution of the Southeastern Taurides in the region of Malatya, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 3/1, 1-42 s.
- Yılmaz H., Över S. ve Özden S. (2006). Kinematics of The East Anatolian Fault Zone Between Turkoglu (Kahramanmaraş) and Celikhan (Adıyaman), Eastern Turkey, *Earth Planets Space*, 58, 1463-1473 s.

- Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen, *Geological Society of American Bulletin*, 105, 251-271 s.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. ve Genç, Ş.C. (1984). GD Anadolu orojenik kuşağının batı kesiminin jeolojik evrimi, *Ozan Sungurlu Sempozyumu*, Ankara.
- Yılmaz, Y. ve Yiğitbaş, E. (1991). The different ophiolitic-metamorphic assemblages of S.E. Anatolia and their significance in the geological evolution of the region, *8th Petroleum Congress of Turkey*, Ankara.
- Yiğitbaş, E., Genç, C. ve Yılmaz, Y. (1993). Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağında Maden grubunun tektonik konumu ve jeolojik önemi, *Suat Erk Jeoloji Simpozyumu bildiriler kitabı: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayını*, Ankara.
- Yiğitbaş, E. ve Yılmaz, Y. (1996). New evidence and solution to the Maden complex controversy of the Southeast Anatolian orogenic belt (Turkey), *Geol Rundsch*, 85, 250-263 s.
- Yürür, M. T. ve Chorowicz, J. (1998). Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the Eastern Mediterranean, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 1-15 s.



ÖZGEÇMİŞ

Elif AKGÜN

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : İstanbul
Doğum Yılı : 1987
Uyruğu : T.C.
Adres : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ
E-posta : efiratligil@firat.edu.tr
Yabancı Diller : İngilizce (YÖKDİL: 78,75, YDS: 63,75)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : “Kütahya Fayı’nın Kinematik Özellikleri”
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010-2012
Prof. Dr. Süha Özden
Lisans :Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2006-2010
Lise : Yedikule (Yabancı Dil Ağırlıklı) Lisesi, İstanbul, 2005

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. Akgün, E. ve Özden, S. (2019). Plio-Quaternary stress states along the Kütahya Fault and surroundings, NW Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 28, 671-686 s.

Bildiriler:

1. Akgün, E., Akgün, Y., Manap, H.S., İnceöz, M. (2019). Remote sensing application to an active fault segment on the East Anatolian Fault Zone, 23. *ATAG Çalıştayı*, İstanbul.
2. Akgün, E., İnceöz, M. ve Manap, H.S. (2019). Geological lineament analyses application to a fault segment on the East Anatolian Fault Zone, 19. *SGEM Geoconferance*, Bulgaria.
3. Akgün, E. ve İnceöz, M. (2019). Structural and morphological analysis of Pütürge Segment: East Anatolian Fault Zone (EAFZ), Eastern Turkey, 72. *TJK*, Ankara.
4. Akgün, E., Akgün, Y. ve İnceöz, M. (2018). Doğu Anadolu Fay Zonu’nun Doğanyol ile Çelikhan Aralığındaki Segmentinin Gerilme Durumu, 22. *ATAG Çalıştayı*, Çanakkale

