



Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone

Azad Saglam Selcuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sancar⁴, Ahmet Ozkan Kul⁵ and Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yuzuncu Yil University, Disaster Management and Earthquake Research and Application Center, Van, Turkey

² Sakarya University Research, Development and Application Center (SARGEM), Sakarya, Turkey

³ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskişehir, Turkey

⁴ Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

⁵ Van Yuzuncu Yil University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Van, Turkey

⁶ Erdem Earth Sciences, Mugla, Turkey

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-6923

Keywords

Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Tectonic Geomorphology, Drone, Paleoseismology, Eastern Anatolia, Bingöl

Highlights

- * Sancak-Uzunpazar Fault Zone is a sinistral fault causing intrablock deformation within Anatolian plate
- * The eastern segment accumulated 1.1 km maximum morphological sinistral offset
- * Paleoseismic trenching revealed two distinct event possibly within the Holocene

Acknowledgements

We would like to thank to the Bingöl Governorship Provincial Disaster and Emergency Directorate and Adaklı District Governorate and Municipality.

Aim

The segmentation and paleoseismicity of the SUFZ is the main purpose of this study.

Location

Sancak-Uzunpazar Fault Zone is located Karakocan (Elazığ) in southwest and Kaynarçınar (Bingöl) in northeast.

Methods

In this study, field studies, aerial photographs and paleoseismological methods were applied.

Results

It has been concluded that SUFZ produce distributed deformation on its sub parallel segments .

Manuscript

Research Article

Received: 03.05.2021

Revised: 08.06.2021

Accepted: 09.06.2021

Printed: 30.06.2021

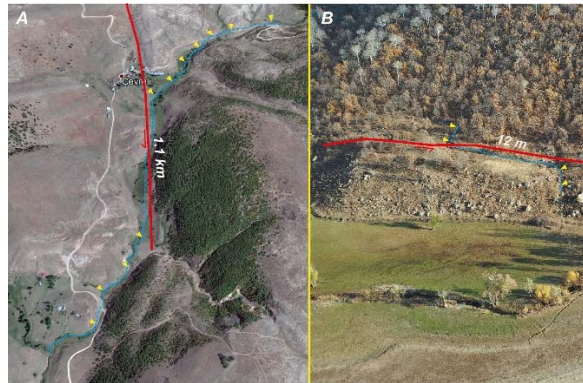
DOI

10.46464/tdad.932089

Corresponding Author

Azad Saglam Selcuk

Email: azadsaglam@yyu.edu.tr



The morphological (river) offset observed along the eastern segment of the SUFZ

How to cite

Selcuk A.S., Erturac M.K., Karabacak V., Sancar T., Kul A.O., Yavuz M.A., 2021. Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 75-91, <https://doi.org/10.46464/tdad.932089>



Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun Genç Tektonik Konumu ve Paleosismitesi

Azad Sağlam Selçuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sançar⁴, Ahmet Özkan Kul⁵ ve Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Afet Yönetimi ve Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Van, Türkiye

² Sakarya Üniversitesi Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi (SARGEM), Sakarya, Türkiye

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

⁴ Munzur Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli, Türkiye

⁵ Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye

⁶ Erdem Yer Bilimleri, Muğla, Türkiye

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-69236

ÖZET

Sancak-Uzunpazar Fay Zonu K40D uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarıpınar (Bingöl) arasında yaklaşık 70 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde sol yönlü doğrultu atımlı bir makaslama zonudur. Bu fay, Doğu Anadolu Fayı'na paralel uzanır ve KD'da Kuzey Anadolu Fayı, güneydoğusunda ise Karakoçan Fayı ile sınırlandırılır. Bu makalede, Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun morfolojisi, tektonik konumu ve ilk paleosismolojik çalışmalarının sonucu sunulmaktadır. Sancak-Uzunpazar Fay Zonu birbirine paralel gelişen yaklaşık 1.5 km uzaklıkta iki farklı segmentten (Doğu-Batı) oluşmaktadır. Yapılan saha çalışmaları ve hava fotogrametrisi çalışmaları segmentlerin fay önu düzlükleri, uçgen yüzeyler, ötelenmiş dereler, çöküntü alanlar ve kapanan sirtlar gibi morfolojik yapılar sunduklarını ortaya koymaktadır. Özellikle Doğu segmentinde maksimum toplam dere ötelenme 1.1 km olup, bu ötelenmeler ortalama 7-12 m arasında değişmektedir. Ayrıca, bu çalışmada ortaya konulan paleosismolojik veriler, bölgede Holosen içerisinde en az iki yüzey faylanmasının delillerini göstermektedir. Elde edilen morfolojik veriler, bölgede yer alan diğer aktif faylar ile karşılaştırıldığında Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun nispeten daha düşük bir kayma hızına sahip olabileceğini ve mevcut hareket hızının morfolojiye yansımalarının Doğu segment üzerinde daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler

Sancak-Uzunpazar Fay Zonu, Tektonik jeomorfoloji, Hava fotogrametrisi, Paleosismoloji, Doğu Anadolu, Bingöl

Öne Çıkanlar

* Sancak-Uzunpazar Fay Zonu, Anadolu Bloğu içerisindeki içsel deformasyonu kontrol eden üyelerden biridir

* Doğu segmenti boyunca maksimum sol yönlü ötelenme 1.1 km civarındadır

* Paleosismolojik hendek çalışması sonuçları bölgede iki farklı tarihsel depremin meydana geldiğini göstermektedir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.05.2021

Düzeltilme: 08.06.2021

Kabul: 09.06.2021

Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932089

Sorumlu yazar

Azad Sağlam Selcuk

Eposta:

azadsaglam@yyu.edu.tr

Active Tectonic Setting and Paleoseismicity of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone

Azad Sağlam Selcuk¹, Mehmet Korhan Erturac², Volkan Karabacak³, Taylan Sançar⁴, Ahmet Özkan Kul⁵ and Mehmet Ali Yavuz⁶

¹ Van Yuzuncu Yil University, Disaster Management and Earthquake Research and Application Center, Van, Turkey

² Sakarya University Research, Development and Application Center (SARGEM), Sakarya, Turkey

³ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Eskişehir, Turkey

⁴ Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Turkey

⁵ Van Yuzuncu Yil University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Van, Turkey

⁶ Erdem Earth Sciences, Muğla, Turkey

ORCID: 0000-0003-4943-3870, 0000-0002-6501-760X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-2500-9787, 0000-0003-1854-2206, 0000-0001-7594-69236

ABSTRACT

Sancak-Uzunpazar Fault Zone is N40E-trending sinistral shear zone that has a 50 km length and 5 km width between Karakoçan (Elazığ) in southwest and Kaynarıpınar (Bingöl) in northeast. The fault extends parallelly to East Anatolian Fault is bounded by the North Anatolian Fault to the northeast and Karakoçan Fault to the southeast. Herein, morphological features, the tectonic setting of the Sancak-Uzunpazar Fault Zone and the first paleoseismological studies on it is represented. The Sancak-Uzunpazar Fault Zone is consist of two parallel segments (called East and West) with a 1.5 km distance. Conducted field studies and aerial photogrammetry show that the segments exhibit morphological features like faceted surfaces, faulted scarps, shutter ridges, and offset streams. Especially, average offsets are about 7-12 m along the eastern segment while the cumulative maximum offset reaches 1.1 km. Moreover, revealed paleoseismological data show evidence of at least two surface ruptures during Holocene. Obtained morphological data reveal that the Sancak-Uzunpazar Fault Zone may have a relatively lower slip rate when compared to other active faults in the region and the reflection of the slip rate to the morphology is more evident in the eastern segment.

Keywords

Sancak-Uzunpazar Fault Zone, Tectonic geomorphology, Drone, Paleoseismology, Eastern Anatolia, Bingöl

Highlights

* Sancak-Uzunpazar Fault Zone is a sinistral fault causing intrablock deformation within Anatolian plate

* The eastern segment accumulated 1.1 km maximum morphological sinistral offset

* Paleoseismic trenching revealed two distinct event possibly within the Holocene

Manuscript

Research Article

Received: 03.05.2021

Revised: 08.06.2021

Accepted: 09.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.932089

Corresponding Author

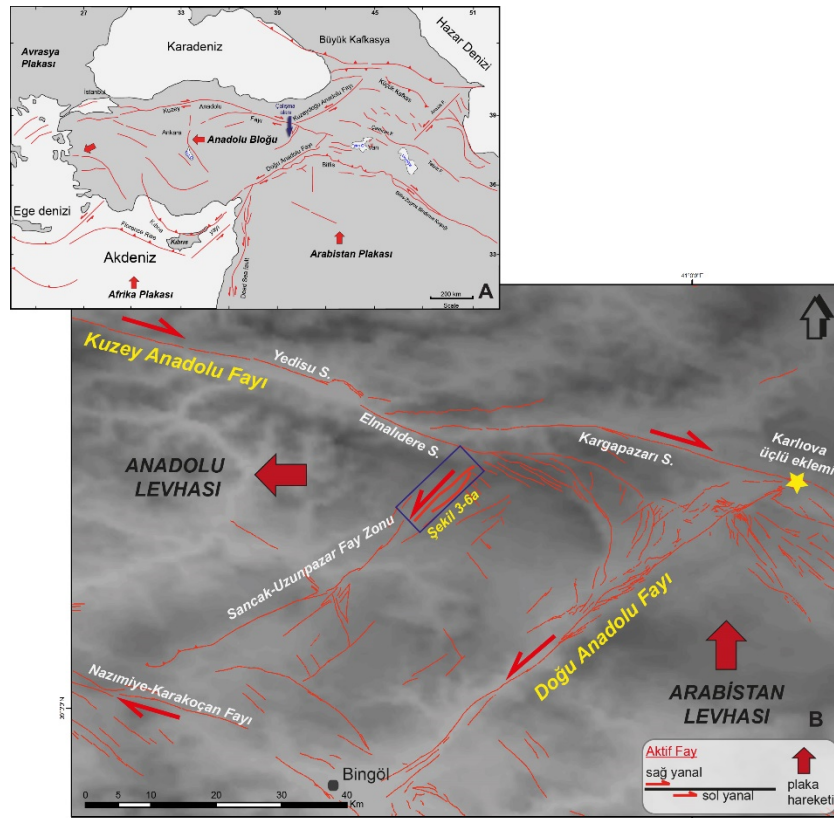
Azad Sağlam Selcuk

Email:

azadsaglam@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye’de Neotektonik dönem, Avrasya ve Arap Levhalarının Bitlis-Zagros kenet zonu boyunca çarpışmaları sonucunda başlamıştır. Geç Miyosen döneminde gerçekleşen çarpışma sonucunda, Doğu Anadolu’da kıta kabuğu kalınlaşmış ve bölgesel bir yükselme gözlenmiştir (Sengor ve Yılmaz, 1981). Doğu Anadolu’da 11 my önce başlayan sıkışmalı tektonik rejim sonucunda, günümüzden yaklaşık 5 my önce, Anadolu levhası Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca batıya doğru hareketine başlamış ve bölgede kaçma tektoniği hakim olmuştur (Sengor 1979, Sengor ve diğ. 2019) (Şekil 1a). KAF ilk olarak Ketin (1948) tarafından sağ-yönlü çok büyük bir fay zonu olarak tanımlanmıştır. DAF segmentasyonu ise Arpat ve Şaroğlu (1972) ve Seymen ve Aydın (1972) tarafından ortaya konulmuştur. Son yıllarda bu iki ana fay zonuna bağlı olarak Türkiye dört farklı neotektonik bölgeye ayrılmış ve Doğu Anadolu Bölgesinin batı kısmının içinde yer aldığı kesim Anadolu Kaçma Bölgesi olarak tanımlanmıştır (Şengör 1980). Bu çalışmanın ana konusunun oluşturan Sancak-Uzunpazar Fay Zonu (SUFZ), KAF ve DAF tarafından sınırlanan Anadolu Kaçma Bölgesi içerisinde yer alan KD-GB uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Bununla birlikte, son yıllarda Reilinger ve diğ. (2006) tarafından GPS hareket vektörlerinden yapılan blok modellemesine göre çalışma alanı güneyde Arabistan levhası, doğuda Türk-İran Platosu kuzeyde ise Avrasya levhası ile sınırlanan Anadolu mikro levhasının en doğu kesiminde yer alır (Şekil 1a).



Şekil 1: (a) Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'nun aktif tektonik konumu ve inceleme alanının konumu (Reilinger ve diğ. (2006)'dan düzenlenerek), (b) Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun genç tektonik konumu (Diri faylar: Duman ve diğ. 2012, Emre ve diğ. 2012a; 2012b)

DAF'a paralel uzanan Sancak-Uzunpazar Fay Zonu Anadolu mikro levhasının deformasyonu kontrol eden ana faylardan biri durumundadır. Ancak günümüze kadar bu fay zonunun bölgedeki geometrisi ve genç tektonik konumu ile ilgili ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece, literatürde SUFZ üzerinde genel değerlendirmeler ve Türkiye Yenilenmiş Diri Fay

haritası (Şekil 1b) dışında herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Bu nedenle, SUFZ'nun segmentasyonu ve paleosismitesinin incelenmesi bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda arazide ve insanız hava aracı (İHA) ile görüntüleme yöntemiyle elde edilen fotomozaiklerden jeolojik ve morfolojik belirteçler kullanılarak segmentler haritalanmıştır. Çalışma boyunca, SUFZ doğu ve batı segmenti olmak üzere iki kısımda incelenmiş ve haritalama çalışmaları bu şekilde yapılmıştır. Arazi ve İHA çalışmalarına bağlı olarak batı ve doğu segmentlerinin neden olduğu morfolojik ötelenmeler tespit edilmiş ve oluşturulan yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modellerinden faydalanarak bu ötelenmeler ölçülmüştür. Anadolu Bloğunun içsel deformasyonunu kontrol eden aktif faylardan biri olan SUFZ'nin kuzeydoğu kesimleri bu çalışma ile ayrıntılı bir şekilde haritalanmış ve doğu segmenti üzerinde bir adet hendek çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan paleosismoloji çalışmasına bağlı olarak iki eski depremin izlerine rastlanılmıştır ve gözlenen verilere bakıldığında bu alanda gerçekleşen aktivitelerin son 10 bin yılda gerçekleştiği düşünülmektedir.

2. TEKTONİK ÇERÇEVE: SANCAK-UZUNPAZAR FAY ZONU ve ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

2.1) Tektonik Konum

Hem Türkiye hem de Dünya ölçeğindeki en önemli tektonik yapılardan biri olan KAF Avrasya ve Anadolu levhaları arasındaki hareketin karşılandığı neotektonik bir yapıdır. KAF, dünyadaki en aktif sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan biri olduğu için üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yaklaşık olarak 1200 km uzunluğunda olan KAF, Anadolu Bloğunun kuzey sınırını oluşturur ve doğuda Karlıova üçlü ekleminden başlayarak Karadeniz kıyı çizgisini yaklaşık olarak 100 km güneyden takip ederek Ege Denizi'nin kuzeyinde Saros Körfezine kadar uzanır (Şekil 1a) (Sengor ve diğ. 2005, Zabcı 2012). KAF, doğu kesiminde saf sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindedir ve bölgede tarihsel ve aletsel dönemlerde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok depremin oluşumunu kontrol etmiştir. Bu fay zonu boyunca bir deprem göçü olduğu ve bu göçün 1939 Erzincan depremi ile başladığı ve batıya doğru göç ettiği ifade edilmiştir (Egeran ve Lahn 1944, Ketin ve Rösli 1953, Ambraseys 1970, Barka 1992, Barka 1996, Stein ve diğ. 1997, Dikbaş 2009). KAF üzerinde batıda Marmara Denizi ve doğuda ise Yedisu Segmenti üzerinde iki önemli sismik boşluk yer almakta ve bu bölgeler için yüksek deprem tehlikesi tanımlanmaktadır. Çalışma alanının kuzey kesimlerini sınırlayan Elmalı ve Yedisu segmenti Zabcı (2012) tarafından tanımlanmış olup, Üzümlü Beldesi (Erzincan) ile Yedisu-Kızılcubuk beldesi (Bingöl) arasında yer alır. Yedisu segmenti, Yedisu havzasına kadar yaklaşık 70 km boyunca ortalama K70B doğrultusunda devam eder ve bu noktadan sonra içbükey bir dönüş yaparak Elmalı segmenti olarak yaklaşık aynı doğrultuda devam eder (Şekil 1b) (Sançar 2006, Zabcı 2012). Çalışma alanının kuzeyinde yer alan bu sismik boşluğa uzaklığı yaklaşık 10-15 km civarındadır (Şekil 1b). Türkiye'nin en önemli transform faylarından biri olan Doğu Anadolu Fayı (DAF) çalışma alanını doğudan sınırlamaktadır. DAF, Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışında güney sınır fayı olarak tanımlanmakta ve kayma hızı 8-10 mm/yıl arasında değişmektedir (Aktuğ ve diğ. 2016). Geçtiğimiz yüzyılda DAF'ın segmentlerinden biri olan Ilica Segmenti, 1971 depremi ($M_s=6.8$) ile kırılmış ve bölgede şiddetli hasara neden olmuştur (Arpat ve Şaroğlu 1972). 1966 yılında meydana gelen Varto-Bingöl depreminin de kaynağının DAF'ın kuzeydoğusunda yer aldığı belirtilmiştir (Akyüz 2009). Ancak, bu transform fayının en kuzey kesimini oluşturan Karlıova segmenti üzerinde yüzey kırığı yaratan herhangi bir deprem meydana gelmemiştir. Çalışma alanı olan SUFZ'nin doğusunda yer alan DAF'a uzaklığı yaklaşık 25 km'dir (Şekil 1b).

Anadolu mikro levhasının içsel deformasyonu birden fazla sağ yanal veya sol yanal doğrultu atımlı fay tarafından kontrol edilmektedir. Bu faylardan KD-GB doğrultulu sol yanal Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ), çalışma alanının batı kesimini sınırlamaktadır. Bu fay zonunun kuzey kesimlerinde yapılan çalışmalarda kayma hızının 3 mm/yıl olduğu belirlenmiştir (Zabcı ve diğ. 2017). Bununla birlikte, MOFZ'nin deprem döngüsünü ortaya çıkarmak için yapılan paleosismolojik çalışmalarda ise son on bin yıl içerisinde dört büyük deprem tespit edilmiş ve

deprem tekrarlanma aralığı 2275 ± 605 yıl olarak hesaplanmıştır (Sançar ve diğ. 2018). Bu bölgede gerçekleşen son depremin yaklaşık olarak MÖ 965-549 yılları arasında olduğu belirtilmiştir. (Sançar ve diğ. 2018). Bu veriler fay zonunun deprem üretme aralığı ile birlikte değerlendirildiğinde MOFZ'nin güneybatı kesimi için tanımlanan Malatya Fayı üzerinde yakın gelecekte deprem olma ihtimalinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Malatya Fayı üzerinde beklenen depremin büyüklüğü, fay hattının 130 km olan uzunluğu dikkate alındığında, 7.5 ve bu fay zonunun kuzeydoğu kesimlerini oluşturan Ovacık Fayı üzerinde beklenen depremin büyüklüğü, fay hattının 110 km olan uzunluğu dikkate alındığında, 7.4 olarak tahmin edilmektedir (Zabci ve diğ. 2017, Sançar ve diğ. 2018). Sancak-Uzunpazar Fay Zonu'nun batısında kalan bu alana uzaklığı yaklaşık 90 km'dir. Nazimiye-Karakoçan Fay Zonu ise çalışma alanını güneyden sınırlamaktadır (Şekil 1b). Bu fay zonu KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı karakterlidir. Oldukça çizgisel olarak uzanan fayın uzunluğu göz önünde bulundurulduğunda fay üzerinde 7 veya daha büyük deprem gerçekleşme kapasitesi ortaya çıkar (Sançar ve diğ. 2018; 2019; 2020).

2.2) Stratigrafi

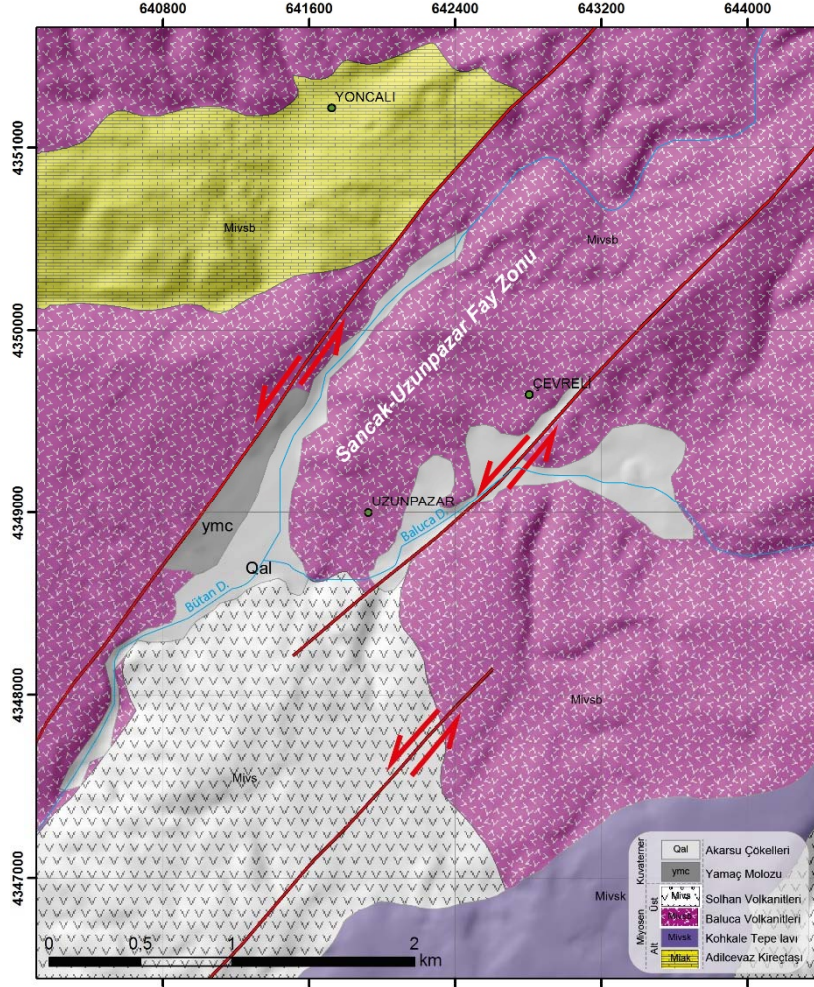
SUFZ'nin yer aldığı bölge, paleotektonik açıdan Torid bloğunun içerisinde yer almaktadır (Okay ve Tuysuz 1999). Bölgenin paleotektonik evrimi, Liyas öncesinde Paleo-Tetis ve onun yay ardı havzası olan Karakaya Okyanuslarının, Kretase sonunda ise Neo-Tetis Okyanusunun farklı kollarının kapanması ile ifade olur. Çalışma alanında Üst Kretase'den Pliyosen'e kadar yaygın volkanizma gözlenmektedir. Bu volkanik birimler Senozoyik boyunca derin (Eosen) ve sığ (Alt Miyosen) denizel kireçtaşları ile ardalanmaktadır. Neo-Tetis'in kapanmasının ardından büyük ölçüde kara haline gelen bölge Erken Miyosen'de sığ denizlerle kaplanmıştır (Tarhan 1997). Ancak her iki denizel ortam da bölgenin kuzey-güney sıkışmalarla bindirmeli bir yapı kazanması ve yükselmesi yüzünden uzun ömürlü olmamıştır (Sançar 2006).

Anadolu Bloğunun doğu kesimlerinde, yaşları Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar değişen, farklı litolojik özelliklerde jeolojik formasyonlar yüzlek vermektedir (Tarhan 1997). İnceleme alanında yüzlek veren en yaşlı birim Alt Miyosen yaşlı Adilceviz Kireçtaşı (Miak) ve üstüne açılal uyumsuzlukla yerleşen karasal ortamda gelişmiş Solhan Volkanitleri'dir (Mivs) (Şekil 2).

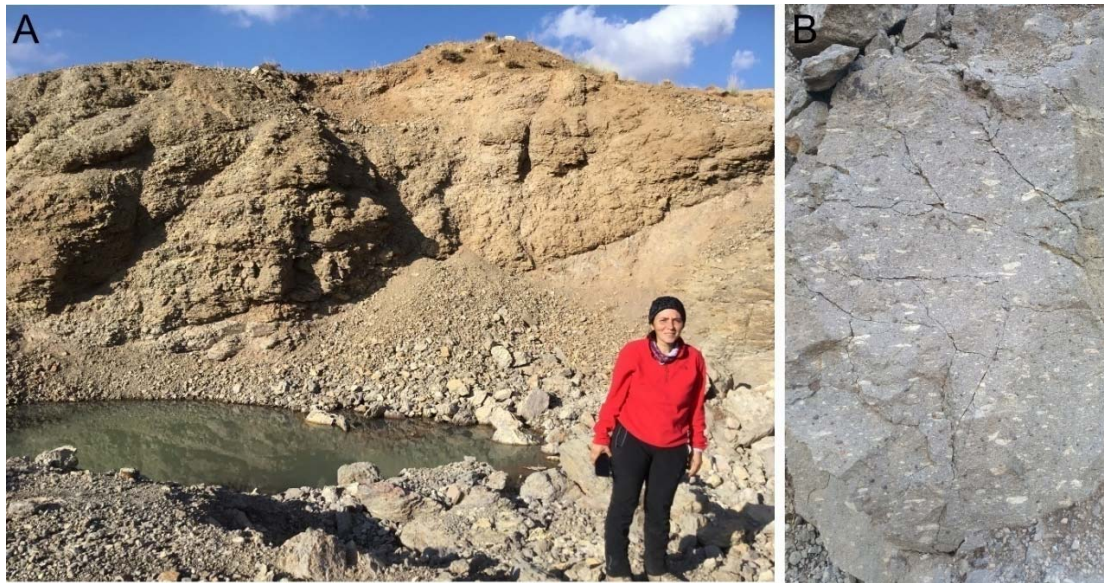
Adilceviz formasyonu (Mia) ve Kireçtaşı üyesi (Miak), temel litolojisi tuf katkılı resifal kireçtaşı olan birimin bu birim içerisinde kumtaşı, çakıltası ve marn üyeleri ayrılmıştır. Birim inceleme alanının en kuzeybatı kesiminde sınırlı olarak yüzlek vermektedir (Şekil 3a). Kireçtaşları masif karakterli, ince-orta kalınlıkta tabakalıdır. Yer yer tuf, çakıltası ve marn ara katkıları gözlenmektedir. Birimin yaşı içerdiği fosil içeriğine göre Alt Miyosen olarak tanımlanmıştır (Tarhan ve diğ. 1991).

Solhan formasyonu, tamamen karasal ortamda oluşmuş lav akıntıları ve piroklastik birimlerden oluşmaktadır. Bu birime ait tip kesitler Bingöl Volkanı'nın güney eteğindeki Varto ve inceleme alanı yakın çevresidir. Birim inceleme alanının kuzey ve batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenir. Baluca Volkanitleri (Mivsb) olarak gruplanan volkanitler ve Kohkaletepe lavları birbirinden jeokimyasal ve dokusal açıdan ayrılabilen kayaç gruplarını ifade etmektedir. İnceleme alanı yakın çevresinde birimler bazaltik lav akıntıları ve trakitlerdir (Şekil 3b). Ercan ve diğ. (1991) bu birimlerden elde ettikleri K/Ar yaşlara göre 8.3 ± 0.1 My önce yüzleydiklerini ortaya koymuşlardır. Buna göre grubun genel yaşı Miyosen olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında Adilceviz formasyonu'na ait Kireçtaşı üyesi ile Solhan formasyonuna ait volkanitler SUFZ batı segmeti boyunca sınırlı bir alanda faylı dokanak ilişkisi sunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Adaklı ve Çevreli arasında inceleme alanı 1/20000 ölçekli jeoloji haritası ve çalışma alanı içerisinde gözlenen birimlerin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Tarhan 1997)



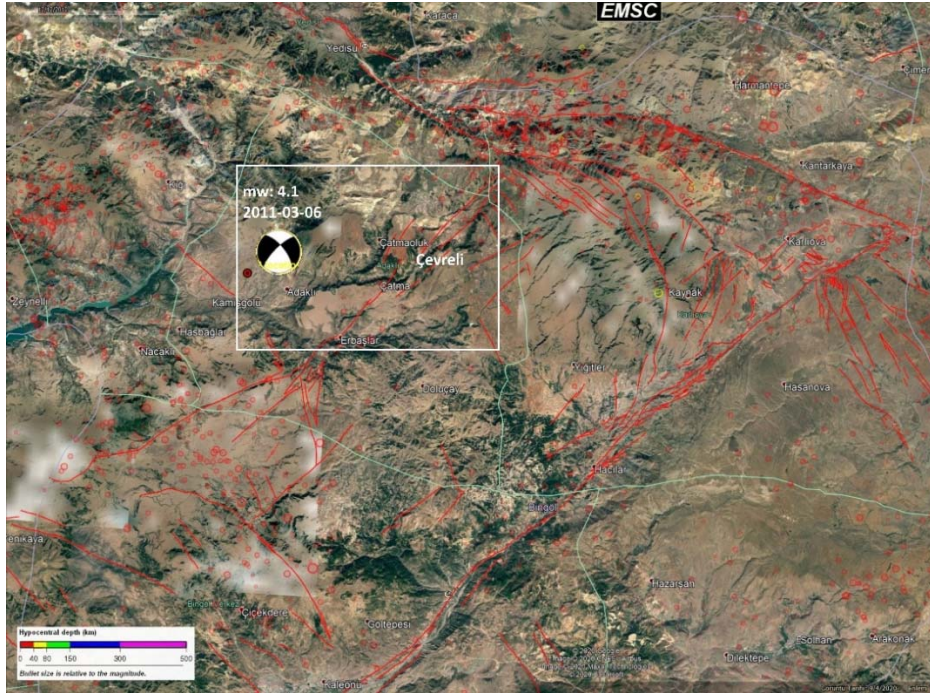
Şekil 3: (a) Adilcevaz kireçtaşlarının doğal bir kesitteki görünümü, (b) Solhan Volkanitlerine ait iri fenokristalli trakit

Çalışma alanı içerisinde alüvyal yelpaze ve güncel alüvyon birimleri bölgede Kuvaterner birimlerini oluşturmaktadır. Alüvyonlar oldukça dar bir kesimde inceleme alanında bulunan Baluca ve Bütan dereleri boyunca depolanmış, akarsu çökelleri ile yamaç molozlarından oluşmaktadır. Dere kanalları içerisinde çakıl, kum, silt ve kil boyutlu malzemeler depolanmıştır.

2.3) Depremsellik

SUFZ üzerinde gelişmiş tarihsel depremleri ayırtlamak genç tektonik konumu nedeniyle oldukça güçtür. Bunun temel nedeni SUFZ'nin, KAF, DAF, MOFZ ve Nazimiye-Karakoçan Fay zonları tarafından sınırlanan Anadolu Bloğu'nun doğu kesiminde yer alması ve blok içi bir fay zonu özelliğinde olmasıdır. Bölgedeki tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesinin büyük oranda bu faylardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Aletsel dönem içerisinde, Anadolu Levhası'nın doğu kesimi yıkıcı deprem aktivitesinin en yoğun olduğu bölgelerden biridir. Son yüzyılda KAF'ın Erzincan ile Karlıova arasında ve Karlıova ile Varto arasında kalan kesiminde can kaybı ile sonuçlanan, yıkıcı özellikteki 17 Ağustos 1949 Elmalı ($M_s=6.9$), 19 Ağustos 1966 Varto ($M_s=6.8$), SUFZ'nin batısında kalan 26 Temmuz 1967 Pülümür-Kiğı ($M_s=6.0$) depremleri meydana gelmiştir (Ambraseys 1988). KAF boyunca, bölgede meydana gelen en son yıkıcı deprem ise 13 Mart 1992 tarihindeki $M_s=6.8$ büyüklüğündeki Erzincan depremidir. DAF'ın Bingöl-Karlıova arasında kalan kesiminde ise 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi ($M_s=6.8$) meydana gelmiştir. Bu iki ana fay arasında kalan Bingöl-Karlıova-Erzincan üçgeni içerisindeki aktif faylar boyunca son yüzyılda can ve mal kaybına da neden olan orta büyüklükteki depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar, 7 Temmuz 1957 Kiğı ($M_s=5.1$), 24 Nisan 1968 Çan (Kiğı) ($M_s=5.1$), 22 Mayıs 1971 (Bingöl) ($M_s=6.8$), 5 Aralık 1995 Kiğı ($M_s=5.7$) ve 3 Şubat 2003 Pülümür ($M_w=6.1$) depremleridir (Emre ve diğ. 2003).

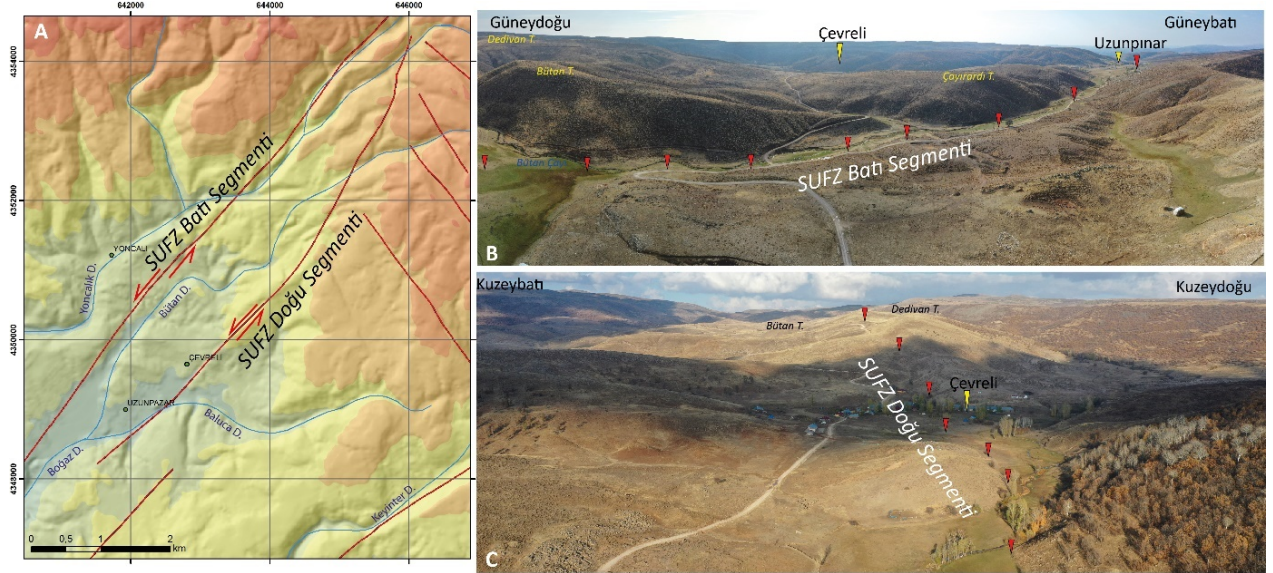
Çalışma alanı içerisinde yer alan Adaklı İlçesi'nin KB kesiminde 6 Mart 2011 yılında $M_w=4.1$ büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir. İksel odak mekanizma çözümü depremin kaynak fayının kuzeye eğimli, ters bileşene sahip oblik sol yönlü doğrultu atımlı SUFZ ya da KB-GD doğrultulu sağ yönlü Kamışgölü Fayı olduğuna işaret edebilir (Şekil 4).



Şekil 4: İnceleme alanı ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremler (EMSC 1998-2020) ve 2011 Adaklı Depremi odak mekanizma çözümü (AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı)

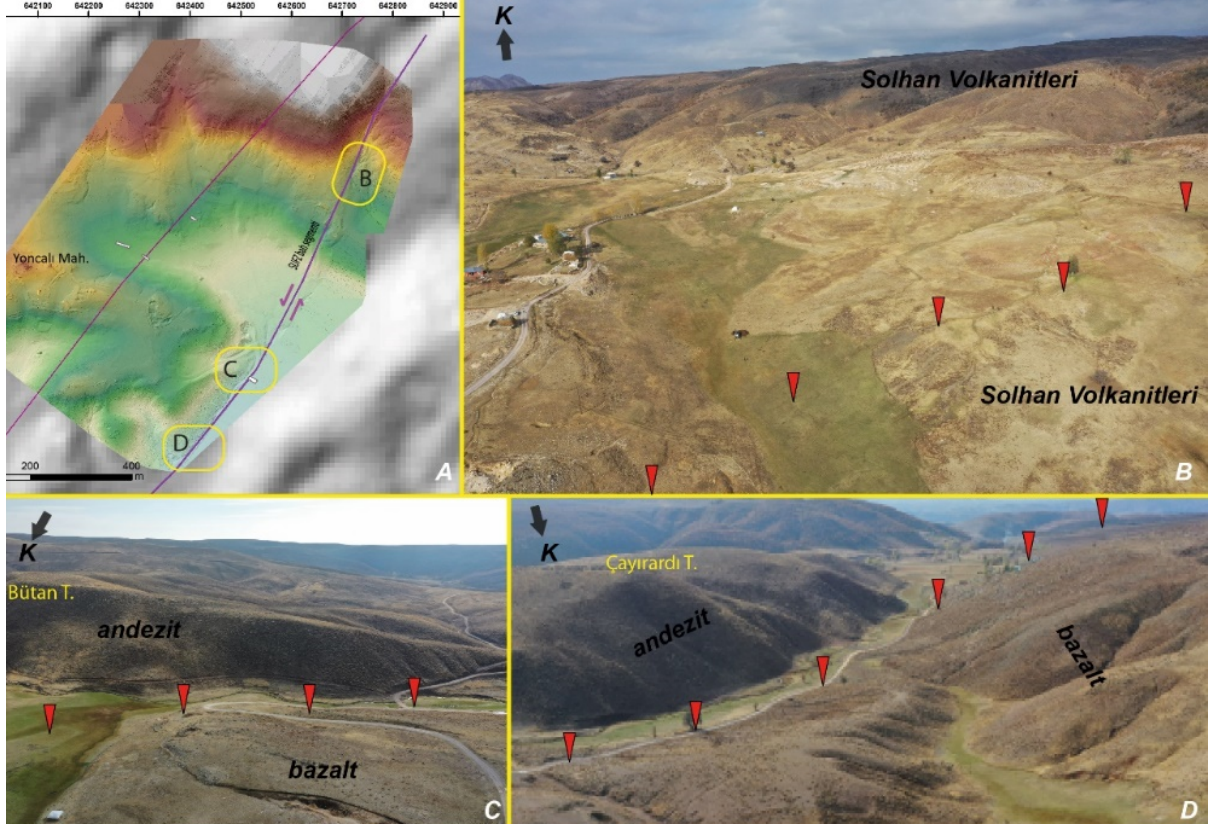
3. SANCAK-UZUNPAZAR FAY ZONU

Yaklaşık 70 km uzunluğa sahip olan SUFZ (Emre ve diğ. 2012a) $K40^{\circ}D$ uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarpınar (Bingöl) arasında yer almaktadır (Şekil 1b). Sol yönlü doğrultu atımlı olarak tanımlanan bu fay zonu, daha öncede belirtildiği üzere DAF'na paralel uzanır ve kuzeyinde KAF, güneydoğusunda ise Nazımiye-Karakoçan Fay Zonu ile sınırlanır. SUFZ, çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde yaklaşık 5 km genişliğinde 11 km uzunluğa sahip birbirine paralel fay segmentlerinden oluşmaktadır (Şekil 5a). Bu fay zonu güneybatıya doğru dış bükey büküm yaparak, $K55^{\circ}D$ doğrultusunda ters bileşenli olarak devam eder. Bu çalışmada, SUFZ'nin kuzeydoğu kesiminde Adaklı İlçesi sınırları içerisinde yer alan birbirine paralel, 1.5 km uzaklıkta doğu ve batı segmenti olarak tanımlanan segmentler detaylandırılmıştır (Şekil 5a). Hedef bölgede fay segmentlerinin detaylı haritalanması için saha çalışmaları esnasında İHA kullanılarak alanın panoramik oblik hava fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 5b,c). Bunun yanı sıra, morfolojik yapıların net olarak gözlemlendiği yerlerden batı segmentinin kuzeydoğu (Şekil 6a) ve doğu segmenti güneybatı kesiminde (Şekil 7a) İHA fotogrametri yöntemi ile yüksek çözünürlüklü ortofoto ve sayısal arazi modeli üretilmiştir.



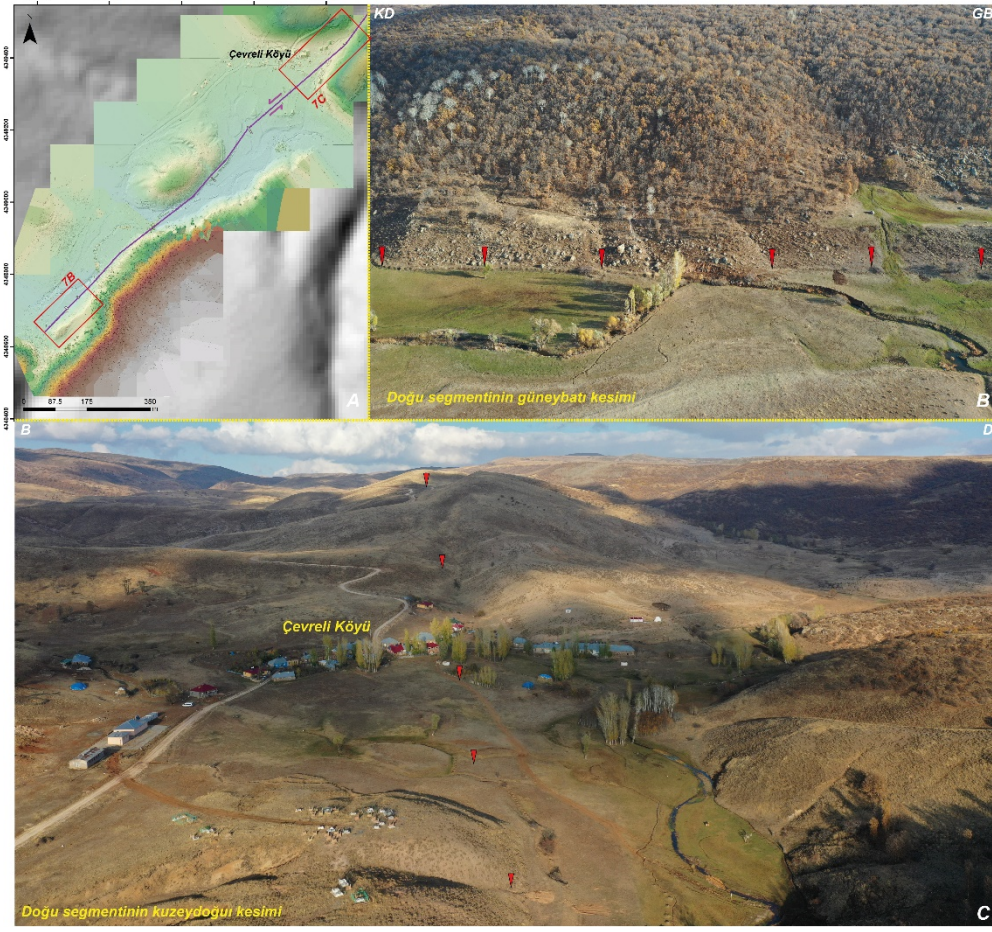
Şekil 5: (a) SUFZ'nin kabartı topografya haritasında genel gidişi ve çalışma alanının konumu (faylar: Emre ve diğ. 2012b). Çalışma alanının; (b) Batı ve (c) Doğu kesiminin insansız hava aracı ile elde edilmiş panoramik fotoğrafı ile tanımlanmış diri fayların uzanımı

Batı segment, Uzunpazar-Yoncalı köyleri civarında yaklaşık 11 km uzunluğundadır. $K34-40^{\circ}D$ doğrultusunda uzanan bu segment sol yönlü doğrultu atımlıdır (Şekil 6a,b,c,d). Doğrultusu boyunca takip edildiğinde çoğunlukla vadi boyunca veya dik yamaçları keserek devam ettiği ve doğuda temel kayalar ile akarsu çökeltileri arasında tektonik dokanak oluşturduğu gözlenmektedir (Şekil 6c,d). Segmentin kuzeydoğu kesiminde Adilcevaz Kireçtaşları yoğun deformasyona uğramış, faylanmış ve birçok yerde kıvrılmıştır (Şekil 3a). Ayrıca, bu alanda Solhan volkanitlerine ait bazaltlar ile kireçtaşları arasındaki tektonik dokanağı oluşturmaktadır. Batı segmenti boyunca ani eğim kırılmaları fayın morfolojik olarak aktif olduğunun kanıtı durumundadır. Ancak, segmentin çoğunlukla vadi boyunca veya dik yamaçları keserek devam etmesi morfolojik ötelenmelerin belirlenmesinde dezavantaj yaratmaktadır.

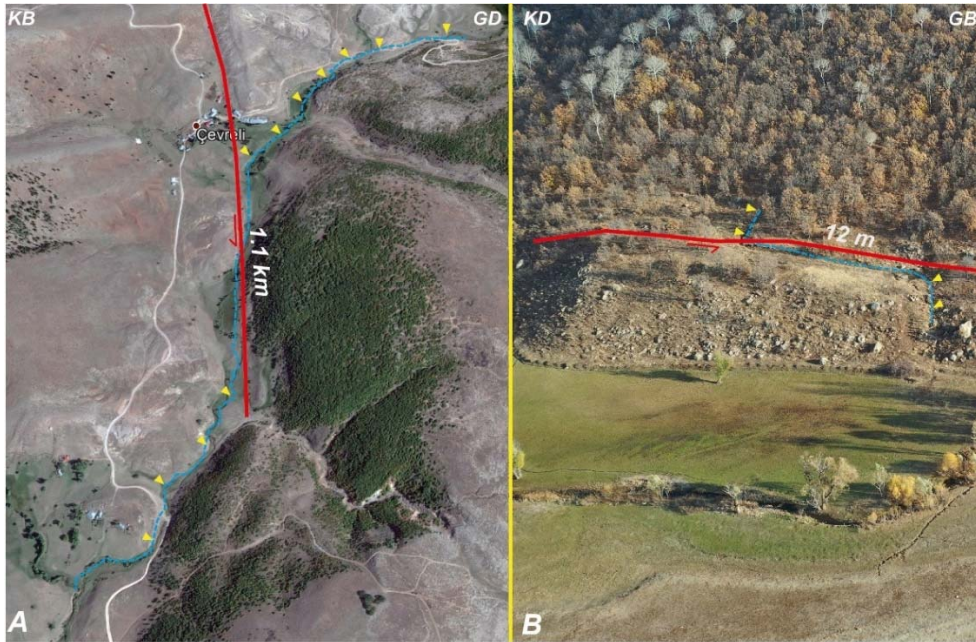


Şekil 6: (a) SUFZ'nin batı segmentinde yer alan morfolojik yapıların tespiti için İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli. SUFZ batı segmentinin; (b) Kuzeydoğu kesimi, (c) Orta kesimi, (d) Güneybatı kesiminde uzanımı

Doğu segmenti, yaklaşık 8 km uzunluğundadır ve Dinarbey ile Çevreli yerleşimlerinin arasında yer almaktadır. İHA kullanılarak alınan hava fotoğraflarında ve arazi çalışmalarında fay önü düzlükleri, üçgen yüzeyler ve ötelenmiş dereler ile fay kontrollü çöküntü alanları tespit edilmiştir (Şekil 7a). Segment, güney kesimlerde morfolojik olarak net takip edilmekte ve ötelenmiş dere ile kapanan sırtlar gibi morfolojik yapılar sunmaktadır (Şekil 7b). Doğu segmenti üzerinde gerçekleştirilen ortofoto çalışmaları ile segment boyunca sol yanal dere ötelenmeleri net olarak takip edilmektedir. Özellikle Baluca deresi nin doğu segmenti atarından kesilip 1.1 km sol yanal ötelenmiş görür (Şekil 8a) Bu kısımda yer alan derelerde ötelenme miktarları 7-12 m arasında değişmektedir (Şekil 8b). Doğrultusu boyunca kuzeye doğru takip edildiğinde morfoloji üzerinde fay basamakları yaratmaktadır (Şekil 7b). Ayrıca kuzeyde Solhan volkanitlerine ait bazaltlar içerisinde çöküntü alanları da yaratmıştır (Şekil 7c).



Şekil 7: (a) SUFZ'nin doğu segmentinde yer alan morfolojik yapıların tespiti için İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli. SUFZ doğu segmentinin; (b) Güneybatı kesimi, (c) Kuzeydoğu kesiminde uzanımı



Şekil 8: (a) Kato deresinde yer alan 1.1 km'lik sol yönlü ötelenme, (b) Doğu segmentinin güneybatı kenarında yer alan 12 m'lik sol yönlü ötelenme

4. PALEOSİSMOLOJİ: ÇEVRELİ HENDEĞİ

SUFZ'nin aktivitesini anlamak ve tarihsel dönemlerde bölgenin geçirmiş olabileceği depremleri belirleyebilmek için paleosismolojik fay kazısı yapılmıştır. Paleosismoloji çalışmalarında morfolotektonik yapıların incelenmesi oldukça önemlidir. Örneğin doğrultu atımlı faylar üzerinde meydana gelmiş ötelenmiş dereler, bel verme gölcükleri, basınç sırtları gibi morfolotektonik öğeler paleosismolojik hendek çalışmaları için yer belirlemede referans noktalarıdır. Arazi çalışması kapsamında, SUFZ'yi oluşturan segmentlerden doğu segmenti boyunca fay morfolojisini yansıtan yapılar araştırılmıştır (Şekil 9a). İnsansız hava aracı kullanılarak alınan hava fotoğraflarında ve arazi çalışmalarında fay önü düzlükleri, üçgen yüzeyler ve ötelenmiş dereler ile çöküntü alanları tespit edilmiştir (Şekil 9b). Bu morfolojik yapılar dikkate alınarak, Uzunpazar ve Yoncalık mahallelerini doğudan sınırlayan SUFZ'nin doğu segmentinde fay uzanımını dik olarak kesen (KB-GD yönlü) paleosismolojik amaçlı hendek çalışması yapılmıştır (Şekil 9c).



Şekil 9: (a) Çevreli Hendeğinin topoğrafik harita üzerindeki konumu, (b) Hendek yerinin insansız hava aracı kullanılarak belirlenmesi, (c) Hendek yerinin uzanımı ve konumu

4.1) Çevreli Hendeği

Çevreli hendeği, Bingöl İli, Adaklı ilçesi, Çevreli köyü 1/5000 ölçekli Erzurum-J 45-A-23-B paftası üzerinde KB 642854/4349253 ve GD642836/4349270 koordinatlarında, 1950 metre rakımında açılmıştır. KB-GD doğrultulu hendeğinin uzunluğu 25 m, ortalama derinliği ~3 m dir.

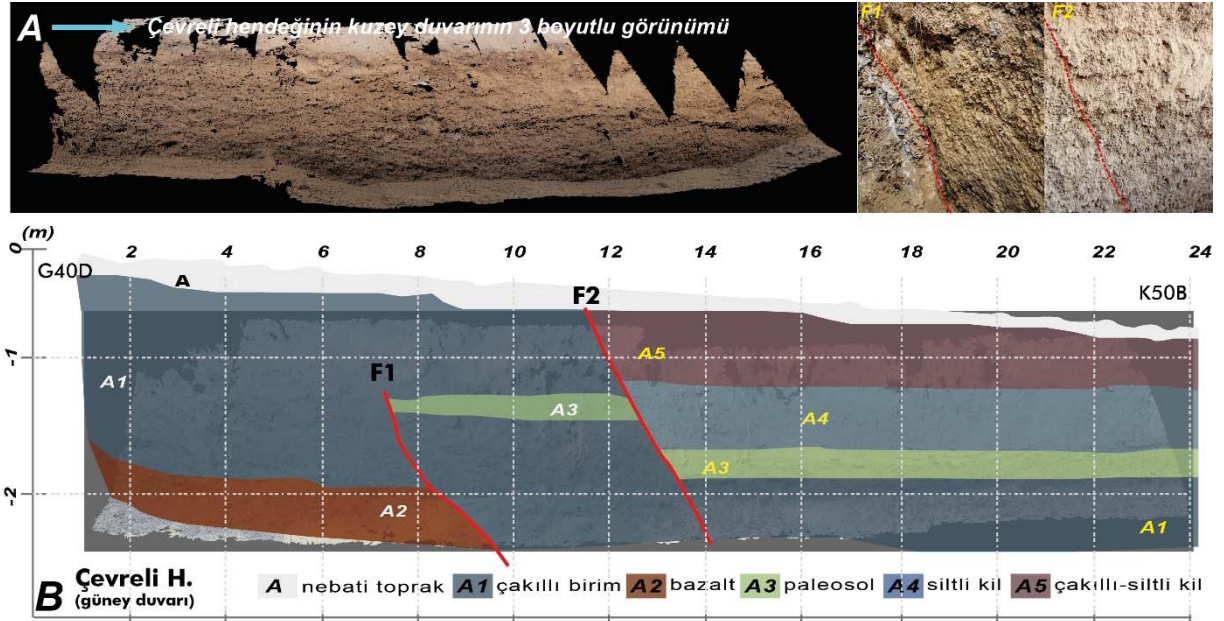
4.1.1) Morfolotektonik Özellikleri

Çevreli hendeği civarında Doğu segmenti, güneybatıda Karmış tepesinin batı yamacını kontrol ederek Çevreli beldesinden Dedivan tepesinin batı kenarından doğrusal olarak devam etmektedir. Yaklaşık $K40^{\circ}D$ doğrultusunda uzanan bu segment Dedivan tepesi ile Bütan Tepesi arasında morfolojik olarak sınır oluşturmaktadır. Çevreli Hendeği, Dedivan tepesinin batı yamacında yer almaktadır. Bu alanda, segmentin neden olduğu morfolojik unsurlar net olarak gözlenmektedir. Özellikle bu morfolojik yapılara arasında yamacın doğrultusu boyunca gelişen ani eğim kırılmaları ile fay önü basamak göze çarpan en önemli unsurlardandır. Bununla birlikte oluşturulan İHA yardımıyla oluşturulan sayısal yükseklik modellerinden ve arazi çalışmalarına bağlı olarak küçük sol yanal dere ötelenmelerin (1-2 m) olduğu görülmektedir Çevreli hendeği, segment boyunca gelişen morfolotektonik unsurlar göz önüne alındığında Dedivan Tepesinin batı yamacında yer alan düz bir şev üzerinde açılmıştır. Bu alanda özellikle taşkın ve sellenmeye bağlı ani çökelinin olmamasıda bu alanın seçiminde etken rol oynamıştır.

4.1.2) Stratigrafi

Çevreli hendeği, çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik, morfolojik ve yapısal özellikleri gözetilerek K50°B doğrultusunda açılmıştır (Şekil 9c). Yapılan İHA ile görüntüleme sayesinde fay basamağının olduğu alanda Çevreli hendeğinin yeri belirlenmiş ve kazı işlemi yapılmıştır. Hendeğin bulunduğu alanda üstten alta doğru, nebati toprak (A), çakıllı seviye (A1), bazalt (A2), paleosol (A3), siltli kil seviye (A4), Siltli-killi-çakıllı birimleri yer almaktadır (A5). Hendeğin içinde toplam altı farklı seviye tespit edilmiştir (Şekil 10a).

Hendeğin duvarında ayıklanan seviyelerden A1 seviyesi köşeli çakıllı yamaç molozudur. Bu seviyenin çakıllarını andezit ve bazalt çakıllarından meydana gelmektedir (Şekil 10b). Çakıllar kötü boylanmalı ve ortalama çapları 2-4 cm arasında değişmektedir. Bu birimin, hendeğin duvarı (doğudan-batıya) hendeğin içerisindeki kalınlığı değişkendir. Hendeğin güneydoğu kesiminde yaklaşık 10'uncu metreye kadar bazalt birimi (A2) yamaç molozunun altında, 1.5 metre derinlikten itibaren yer almaktadır. Bazaltların makaslanarak, yoğun deforme oldukları görülmektedir. Hendeğin kuzeybatıya doğru devam edildiğinde hendeğin 10'uncu metresi ile 14'üncü metresi arasında eski toprak seviyesi (A3-paleosol) yer almaktadır (Şekil 10b). Kalınlığı yaklaşık 15 ile 20 cm arasında değişmektedir. Hendeğin 14. metresi ile 24. metresi arasında siltli killi bir birim yer almaktadır (A4). Kahve renkli olan bu birimin kalınlığı 40 cm civarındadır. Çevreli hendeğinin en üst bölümünde, koyu kahve renkli orta ile kötü boylanmış pekişmemiş bitkisel toprak örtü bulunmaktadır (A-seviyesi). Bu bölümde yer alan pekişmemiş bitkisel toprak örtüsü, çakıl ve kum boyutunda taneler içeren ve başlıca kil ve çamur bileşenlerinden meydana gelir. Yaklaşık kalınlığı 20 cm kadardır (Şekil 10b).



Şekil 10: Çevreli Hendeği; (a) Kuzey duvarının foto mozaik görüntüsü, (b) Güneybatı duvarı yorumlanmış logu (ayna görünümü)

4.1.3) Yapısal İlişki

Çevreli Hendeğinin GB duvarında güneydoğu yönünden başlanarak kuzeybatıya doğru loglama işlemi yapılmıştır. Hendeğin içerisinde beş farklı birim ayırtlanmıştır. Hendeğin GB duvarında ilk 10 m birimlerin kesikliğe uğradığı görülmektedir (Şekil 10b). F1 olarak tanımlanan bu fayın önünde eski toprak seviyesi olabilecek bir seviye yer almaktadır. A3 olarak tanımlanan bu seviye takip edildiğinde 12'inci metrede kesikliğe uğradığı ve ötelendiği görülmektedir. F2

fayına bağlı bu düşey ötelenmenin miktarı yaklaşık 30 cm civarındadır (Şekil 10b). Ayrıca hendek duvarının 12'inci metresine kadar siltli killi birim yüzeylemezken, bu noktadan itibaren fayın tavan bloğunda yüzeylemektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere, hendek duvarında iki ayrı fay tanımlanmıştır. Bunlardan F2 olarak tanımlanan fayın K55°D, 80 KB'ya doğru eğimli olduğu görülmektedir (Şekil 10a,b). Çevreli hendeğinde tespit edilen iki farklı olay fay zonuna ait iki farklı depremi yansıtmaktadır. F2 fayının yüzeye olan yakınlığı son yüzey kırığı yaratan depremin bu kol üzerinde olduğuna işaret eder. Bununla birlikte stratigrafik ilişkiler ile bu alandaki birimler Pleyistosen-Holosen olarak tanımlanmıştır.

Hendek içerisindeki gözlemlenen birimler yatay konumludur. Bu anlamda harita görünümünde doğrultu atımlı hareket karakterine sahip olan fayın kesit görünümünde gözlemlenen yaklaşık 30 cm lik düşey yerdeğiştirme (A3 biriminin F2 fayı ile kesilmesi), fayın oblik karakterine işaret etmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Anadolu levhasının doğu bölümünde yer alan çalışma alanı, KAF, DAF, Nazımiye-Karakoçan ve MOFZ ile sınırlanan bir blok içerisinde gelişmiş sol yönlü doğrultu atımlı SUFZ kontrolünde genç tektonik evrimini sürdürmektedir. Bölgede SUFZ morfolojiyi denetlemektedir, bununla birlikte temel kayaları kesmekte ve farklı yaş ve litolojideki birimleri yanyana getirmektedir. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda, yaklaşık 70 km uzunluğa sahip olan SUFZ (Emre ve diğ. 2012b), kuzeydoğu kesimlerinde K45°D uzanımıyla güneybatıda Karakoçan (Elazığ), kuzeydoğuda ise Kaynarınar (Bingöl) arasında yaklaşık 50 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde birbirine paralel fay segmentlerinden oluşan bir makaslama zonu oluşturmaktadır. Bu faylar sol yönlü doğrultu atımlı fay karakterindedir ve doğu ile batı segmenti olarak iki segment tanımlanmıştır. Her iki segment boyunca yapılan arazi ve hendek çalışmasında segmentlerin bölgenin deformasyonunda aktif olarak rol aldığı görülmektedir. Ayrıca bölgede yapılan arazi çalışmalarında ve İHA yardımı ile oluşturulan fotomozaiklere bağlı olarak aktif faylanmayı gösteren morfolojik yapılar (ötelenen dere, kapanan sırt vb.) tespit edilmiştir. Segmentlerin doğrultusu boyunca genç faylanmayı işaret eden belirgin jeolojik ve jeomorfolojik yapılar gözlenmiştir. Fay zonunun karakteristik özellikleri ilk kez doğrudan arazi gözlemleri ile kayıt altına alınmıştır.

Bölgesel stratigrafiye göre çalışma alanı içerisinde farklı yaş ve litolojiden oluşan kayaç grupları yüzlek vermektedir. Bunlar, temel kaya olarak Alt Miyosen Adilcevaz kireçtaşları ve Üst Miyosen Solhan Volkanitlerine ait birimler yer alır. Çalışma alanı içerisinde birikinti yelpazeleri ve güncel alüvyonal birimleri bölgede Kuvaterner birimlerini oluşturmaktadır. Bu birimler oldukça sınırlı yayılıma sahiptir ve yamaç döküntüleri ile inceleme alanını KD-GB yönlü olarak akaçlayan Bütan ve Baluca dereleri boyunca kısıtlı alanlarda depolanmıştır.

SUFZ'nin doğu ve batı segmentleri, yamaç hareketleri ile heyelan süreçleri ile depolanan örtü birimlerini belirgin olarak kesmekte ve normal bileşenle 10-30 cm arasında ötelemektedir. Çalışma alanı içerisinde sedimantasyon hızı yüksek olmasından dolayı bazı alanlarda segmentlerin izleri net olarak tespit edilememiştir. Ancak özellikle doğu segmentinde yapılan İHA görüntülemelerinde net gözlenebilen ötelenmeler tespit edilmiştir. Ancak bu ötelenmiş birimlerin depolanma zamanlarının radyometrik tarihlendirilmesi yapılmamıştır.

SUFZ boyunca yayınlanmış morfokronoloji tabanlı bir kayma hızı çalışması bulunmamaktadır. Ancak, SUFZ'nu kuzeyden sınırlayan KAF boyunca Zabcı ve diğ. (2015) 13 mm/yr ve Hubert-Ferrari ve diğ. (2002) 18 mm/yr bir kayma hızı hesaplamışlardır. Bununla birlikte, GPS tabanlı blok modeli çalışmaları, KAF'ın merkezden doğu kesimleri boyunca yaklaşık 25 mm/yr sabit bir hız önermektedir (Reilinger ve diğ. 2006), oysa GPS ölçümlerinden alınan hız profilleri doğuya doğru azalmayı göstermektedir (Tatar ve diğ. 2012). Aktug ve diğ. (2013), Erzincan'ın batısında $12,1 \pm 0,3$ mm/yıl ve doğusunda $11,8 \pm 0,3$ mm/yıl gibi daha yavaş blok modeli hızları sağlayarak bu azalan gradyan modelini desteklemektedir. SUFZ Doğu segmenti boyunca bazı

alanlarda dere ötelenmeleri ölçülmüştür. Bu ötelenmeler 7 m ile 1.1 km arasında değişmektedir (Şekil 8a,b). Doğu segmenti boyunca ölçülen maksimum ötelenme, Çevreli köyü civarında yer alan Kato deresindeki 1.1 km sol yönlü ötelenmedir (Şekil 8a). SUFZ'nin doğu ve batı segmentlerinin ötelediği morfolojik yapılar değerlendirildiğinde, bu fayın kayma hızının nispeten daha düşük olabileceği düşünülmektedir.

SUFZ'nin inceleme alanı içerisinde yer alan iki segmenti üzerinde yürütülen arazi çalışmaları ile birlikte bir adet paleosismolojik hendek çalışmasında doğu segmentinde yürütülmüştür. Doğu segmenti üzerinde yer alan Çevreli hendeğinde iki adet eski depremin izlerine rastlanılmıştır. Bu depremlerin Holosen içerisinde gerçekleştiği hendek için stratigrafik ilişkilerden ortaya konulmuştur. Ayrıca açılan Çevreli Hendeğinde, hendek içi stratigrafik ilişkilere göre gözlenen tüm faylar Holosen içerisinde gerçekleşmiş depremlerle ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, gözlenen verilere bakıldığında bu alanda gerçekleşen aktivitelerin son 10 bin yılda gerçekleştiği düşünülmektedir.

Çalışma alanı olan SUFZ'nin kuzey-kuzeydoğu kesimi hem bölgesel açıdan hem de Türkiye açısından deprem riski yüksek olan bir bölge içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının içinde bulunduğu ve KAF-DAF ile Nazımiye-Ovacık Fayları tarafından sınırlanan tektonik blok tarihsel dönemden günümüze kadar önemli bir sismik hareketliliğe kaynaklık ettiği (Ergin ve diğ. 1967, Sosyal ve diğ. 1981, Ambraseys 1988; Guidoboni ve diğ. 1994, Ambraseys and Finkel 1995, Tan ve diğ. 2008), aletsel ve tarihsel dönem deprem kataloglarında ve bazı tarihsel kayıtlarda, bölgedeki şehirlerin büyük depremlerden etkilendikleri ve büyük yıkımların var olduğuna dair bilgiler bulunmaktadır.

İnceleme alanı Dünya'nın en aktif kıtasal doğrultu atımlı faylarından birisi olan KAF'ın doğu kesiminde önemli deprem tehlikesi arz eden ve sismik boşluk olarak tanımlanan (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) Yedisu Segmenti'ne 25 km uzaklıktadır. Deprem tekrarlanma aralığı 236 ± 30 yıl (Zabcı ve diğ. 2017) olarak tanımlanan bu fay üzerinde gerçekleşebilecek $M=7.1-7.2$ büyüklüğündeki bir depremin inceleme alanında da önemli yıkıma yol açabileceği, hatta SUFZ segmentlerinde de ikincil deformasyona neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Elde edilen veriler ışığında inceleme alanında gerek SUFZ doğu ve batı segmentleri, gerekse de çalışma alanına yakın ve gelecekte orta-büyük ölçekte deprem üretme potansiyeli yüksek olan Yedisu Segmentinin varlığı dikkate alındığında inceleme alanının yüksek deprem tehlikesine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, arazi çalışmalarına desteklerini esirgemeyen Bingöl Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne ve Adaklı Kaymakamlığı ile Belediyesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

AFAD. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>

Akyüz H.S., Altunel E., Zabcı C., Sançar T., Çakır Z., Yalçiner Ç., Gutsuz P., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerindeki Yedisu Sismik Boşluğu ve Karlıova Fayı (Bingöl) Üzerinde Paleosismolojik ve Morfotektonik Araştırmalar, TÜBİTAK Proje No 106Y174, 114 s.

Aktug B., Dikmen U., Dogru A., Ozener H., 2013. Seismicity and strain accumulation around Karlıova triple junction (Turkey), *J. Geodyn.* 67 21-29.

Aktug B., Ozener H., Dogru A., Sabuncu A., Turgut B., Halicioğlu K., Havazlı E., 2016. Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, *J. Geodyn.* 94, 1-12.

- Ambraseys N.N., 1970. Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics* 9, 143-65.
- Ambraseys N.N., 1988. Engineering Seismology, *Journal Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 17, 105.
- Ambraseys N.N., Finkel C., 1995. The Seismicity of Turkey and adjacent areas. A Historical Review: 1500-1800, Eren Yayıncılık, İstanbul, 240 pp.
- Arpat E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. *MTA Dergisi* 78, 44-50.
- Barka A., 1992. The North Anatolian Fault zone. *Ann. Tectonics* 6, 164-95.
- Barka A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. *Bull. Seism. Soc. Amer.* 86, 1238-54.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics* 7, 663-684.
- Dikbaş A., 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonunun İzmit-Gölyaka (Düzce) arasındaki segmentlerinin paleosismolojisi ve morfolojik özellikleri, doktora tezi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 287 sf.
- Duman T.Y., Emre Ö., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Elazığ (NJ37-7) Paftası, Seri No:45: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Egeran N., Lahn E., 1944. Note sur la carte sismique de la Turquie au 1:2.400.000, *Maden Tetk. Arama Enst. Mecmuası* 9, 2/32, 279-89.
- EMSC, Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi, 1998-2020 deprem katalog verileri. <https://www.emsc-csem.org>
- Emre Ö., Duman T.Y., Kondo H., Olgun Ş., Özalp S., Elmacı H., 2012a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzincan (NJ37-3) Paftası, Seri No:44, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö., Duman T.Y., Olgun Ş., Özalp S., Elmacı H., 2012b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Erzurum (NJ37-4) Paftası, Seri No:48, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre O., Toda S., Duman T.Y., Sugai T., Dogan A., Awata Y., Okuno M., Tsutsumi H., Ozalp S., Tokay F., 2003. Recurrence of the large earthquakes on the 1999 İzmit and Düzce surface ruptures, North Anatolian Fault, Turkey, *Geophys. Res. Abstr.* 5, 04635.
- Ercan T., Fujitani T., Matsuda J.I., Notsu K., Tokel S., Tadahide U.I., 1991. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner Volkanitlerine İlişkin Yeni Jeokimyasal, Radyometrik ve İzotopik Verilerin Yorumu, *MTA Dergisi* 110, 143-164.
- Ergin K., Güçlü U., Uz Z., 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Yer Fiziği Ens., Teknik Rapor No: 24.

Guidoboni E., Comastri A., Triana G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century, *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* 504, ISBN:88-85213-06-5.

Hubert-Ferrari A., Armijo R., King G., Meyer B., Barka A., 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, *J. Geophys. Res.* 107, ETG 9-1-ETG 9-33.

Ketin İ., 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anadoluischen Erdbeben des letzten Dezenniums, *Geol. Rund.* 36, 77-83.

Ketin İ., Rosli F., 1953. Makroseismische Untersuchungen über das nordwest anatolische Beben vom 18 März 1953, *Eclogae Geol. Helv.* 46, 187-208.

Okay A.I., Tuysuz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society, London Special Publications* 156 (1), 475-515.

Reillinger, 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., Dmitrova, 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, *J. Geophys. Res: Solid Earth* 111 (B05411), 1-26

Sançar T., 2006. Yedisu Fay Segmentinin Paleosismolojik ve Morfotektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sancar T., Akyuz H.S., Schreurs G., Zabcı C. 2018 Mechanics of plio-quadernary faulting around the Karliova triple junction: implications for the deformation of Eastern part of the Anatolian, *ScholleGeodin. Acta* 30, 287-305.

Sancar T., Zabcı C., Akcar N., Karabacak V., Yesilyurt S., Yazıcı M., Vockenhuber C., 2020. Geodynamic importance of the strike-slip faults at the eastern part of the Anatolian Scholle: Inferences from the uplift and slip rate of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone, eastern Turkey), *J. Asian Earth Sci* 188, 104091.

Sançar T., Zabcı C., Karabacak V., Yazıcı M., Akyuz H.S., 2019. Geometry and Paleoseismology of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone), Eastern Turkey: Implications for intraplate deformation of the Anatolian, *ScholleJ. Seismolog.* 23, 319-340.

Sengör A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault; its age, offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc. London* 136 (3), 269-282.

Şengör A.M.C., 1980. Türkiye Neotektoniğinin Esasları (Principles of the Neotectonism of Turkey), *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*, 40.

Sengor A.M.C., Yılmaz Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.

Sengor, A.M.C., Tuysuz O., Imren C., Sakıncı M., Eyidogan H., Gorur N., Le Pichon X., Rangin C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112.

Sengor A.C., Zabcı, C., Natal'in, B.A., 2019. Continental transform faults: congruence and incongruence with normal plate kinematics. In Transform plate boundaries and fracture zones *Elsevier*, 169-247.

Seymen İ., Aydın A., 1972. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi, *MTA Dergisi* 79, 1-8.

Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, TÜBİTAK Proje No: TBAG 341, İstanbul.

Stein R.S., Barka A.A., Dieterich J.H., 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophys. Journ. Int.* 128, 594-604.

Tan O., Tapirdamaz C., Yoruk A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 405-418.

Tarhan N., 1997. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Erzurum G 31 (J 45) ve G 32 (J 46) Paftaları, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Tarhan N., Yusufoglu H., Bağirsakçı S., Papak İ., Karabalık N., 1991. Bingöl-Karlıova-Yedisu dolayının jeolojisi ve petrolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Tatar O., Poyraz F., Gursoy H., Cakir Z., Ergintav S., Akpınar Z., Polat A., 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements, *Tectonophysics* 518, 55-62.

Zabcı C., 2012. Kuzey Anadolu Fayı'nın Iğaz (Çankırı) - Karlıova (Bingöl) arasında kalan kesiminin morfoloji tabanlı son beşbin yıllık kayma hızı tarihçesi ve depremselliği, Doktora tezi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Zabcı C., Sancar T., Akyuz H.S., Kiyak N.G., 2015. Spatial slip behavior of large strike-slip fault belts: Implications for the Holocene slip rates of the eastern termination of the North Anatolian Fault, Turkey, *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 120, 8591-8609.

Zabcı C., Akyuz H.S., Sancar T., 2017. Palaeoseismic history of the eastern part of the North Anatolian Fault (Erzincan, Turkey): Implications for the seismicity of the Yedisu seismic gap, *J. Seismol.* 21, 1407-1425.