



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/en/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Zilan Jeotermal Alanının (Erciş-Van) Jeolojisi ve Aktif Tektonik Özellikleri

Azad SAĞLAM SELÇUK

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Azad SAĞLAM SELÇUK, ORCID No:0000-0003-4943-3870

Sorumlu yazar e-posta: azadsaglam@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 08.03.2022
Kabul: 02.06.2022
Online Ağustos 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1084633

Anahtar Kelimeler

Diyadin,
Erciş,
Ilıca-Zilan Vadisi,
Zilan Fayı,
Zilan Jeotermal Alanı

Öz: Doğu Anadolu geçmişten günümüze aktif tektonizma etkisi altında kalarak gelişimini sürdürmektedir. Aktif tektonizma ve volkanizmanın sonucu olarak da bölge orta-yüksek sıcaklıklı kaynak potansiyeline sahiptir. Son yıllarda, jeotermal potansiyeli tanımlanmış Batı Anadolu jeotermal kaynakları; enerji üretimi, konut/şehir ısıtma, termal turizm, seracılık vb. gibi geniş bir yelpazede kullanım olanağı sağlamaktadır. Ancak Doğu Anadolu (DA) jeotermal kaynakları yerel ölçekte sadece termal turizm amacı ve küçük ölçekli seracılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde günümüze kadar yaklaşık 23 adet jeotermal kaynak belirlenmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sıcak su kaynaklarının çıkış noktaları ile fay hatları arasında bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Yani sıcak su kaynakları kırık hatları boyunca yüzeye ulaşmakta ve konumları da bu hatlara paralellik göstermektedir. KD-GB uzanımlı Erciş-Zilan-Ilıca Vadisi boyunca da yaklaşık 11 adet sıcak su kaynağı bulunup, dizilimleri yaklaşık olarak vadi uzanımına paraleldir. Bu çalışmada, yörede yer alan jeotermal kaynakların, Zilan Fayı ile ilişkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sıcak su noktalarının çıkış merkezleri, hassas RTK-GPS aracılığı ile belirlenmiş ve vadi boyunca arazi çalışmaları yapılarak faylanma verisi toplanmıştır. Elde edilen verilere göre Erciş bölgesini ve civarını etkileyebilecek Zilan Fayı'nın, KD-GB uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı aktif bir fay olduğu ve bölgede yer alan Zilan jeotermal alanının deformasyonunu denetlediği anlaşılmıştır.

Geology and Active Tectonics Properties of Zilan Geothermal Field (Erciş-Van)

Article Info

Received: 08.03.2022
Accepted: 02.06.2022
Online August 2022
DOI: 10.53433/yyufbed.1084633

Keywords

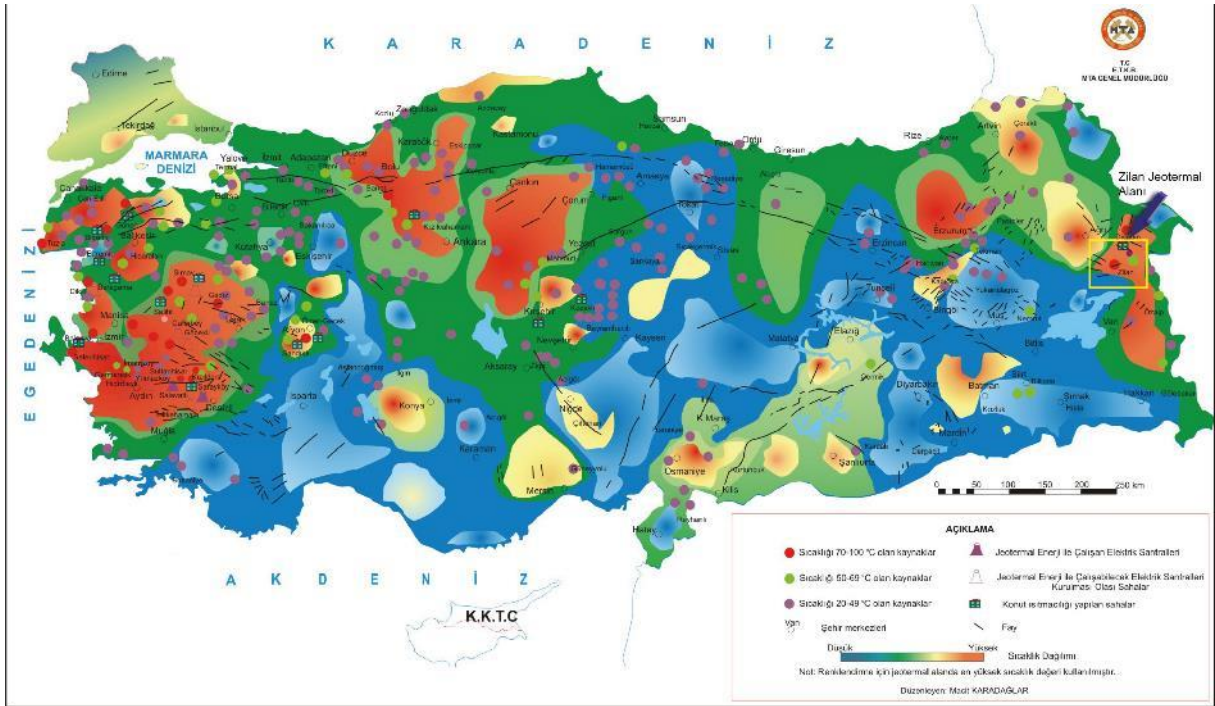
Diyadin,
Erciş,
Ilıca-Zilan Valley,
Zilan Fault,
Zilan Geothermal Field

Abstract: Development of Eastern Anatolia under the influence of active tectonics has continued from past to present. As a result of active tectonism and volcanism, there is a high geothermal potential in the region. In recent years, the geothermal resources of Western Anatolia, whose geothermal potential has been defined; energy production, housing/city heating, thermal tourism, greenhouse cultivation etc. provide a wide range of uses. However, Eastern Anatolia (EA) geothermal resources have been used only for thermal tourism purposes and small-scale greenhouse studies at the local scale. To date, approximately 23 geothermal resources were identified in the Eastern Anatolia Region. The some studies indicate that there is a relationship between the points of hot water sources and fault lines. Hot waters reach the surface along these fracture lines and are located parallel to the fault line. There are approximately 11 hot water points along the NE-SW trending Erciş-Zilan-Ilıca valley and their arrangement is approximately parallel to the valley extension. In this study, the relationship between the geothermal resources in the region and the Zilan Fault has been tried to be revealed. The locations of hot water points were determined by RTK-GPS and faulting data were collected by field studies along the valley. According to the data obtained, it has been understood that the Zilan Fault, which may affect the Erciş region and its surroundings, is a NE-SW trending left lateral strike-slip active fault and controls the deformation of the Zilan geothermal field in the region.

1. Giriş

Jeotermal kaynak kısaca yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş, çeşitli mineraller ve gazlar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Buradan yola çıkarak yer kabuğunun derinliklerinde bulunan magmatik ısı kaynakları (örneğin, dayk, intrüzyon, magma) ve bu kaynakların yüzeye çıkış alanları, jeotermal kaynakların oluşumu için oldukça önemli görülmektedir (Şener, 2018). Dünyada, tektonizma ve genç volkanik alanların bir arada bulunduğu bölgeler, jeotermal kaynaklar için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahip olup potansiyel olarak dünyanın 7. ülkesi konumundadır (MTA, 2019). Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır (Şekil 1) (MTA, 2005). Jeotermal sahaların dağılımı göz önünde bulundurulduğunda sahaların tamamına yakını aktif fay zonları (Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı, Çaldıran Fayı, Ege Graben Sistemi vb.) ve genç volkanik alanlar (Nemrut, Süphan, Tendürek, Hasandağı, Erciyes vb.) üzerinde ve yakınında yer almaktadır. Dolayısı ile bir bölgedeki tektonik ve volkanik aktivitenin belirlenmesi, o bölgedeki jeotermal potansiyelin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Geçmişten günümüze yoğun bir tektonizma etkisi altında olan Doğu Anadolu Bölgesi, aynı zamanda, bununla bağlantılı aktif volkanizmanın ürünlerini sergilemektedir. Bunun sonucu olarak da bölgede orta-yüksek sıcaklıklı kaynak potansiyeli mevcuttur. Bölge içerisinde 23 adet termal su kaynağı yer almaktadır (MTA, 2019). Geçmişte, farklı alanlardaki bu termal suların hidro-jeokimyasal özellikleri ile ilgili araştırmalar yapılmış ve buna bağlı olarak ta Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan jeotermal potansiyel alanlar belirlenmiştir (Akkuş ve ark., 2005; Baba ve ark., 2010; Fırat Ersoy & Çalık Sönmez, 2014; Pasvanoğlu, 2014 ve 2020; Temizel & Gültekin, 2018; Uzelli ve ark., 2021).



Şekil 1. Türkiye jeotermal kaynakları ve sıcaklık dağılımı (MTA, 2019).

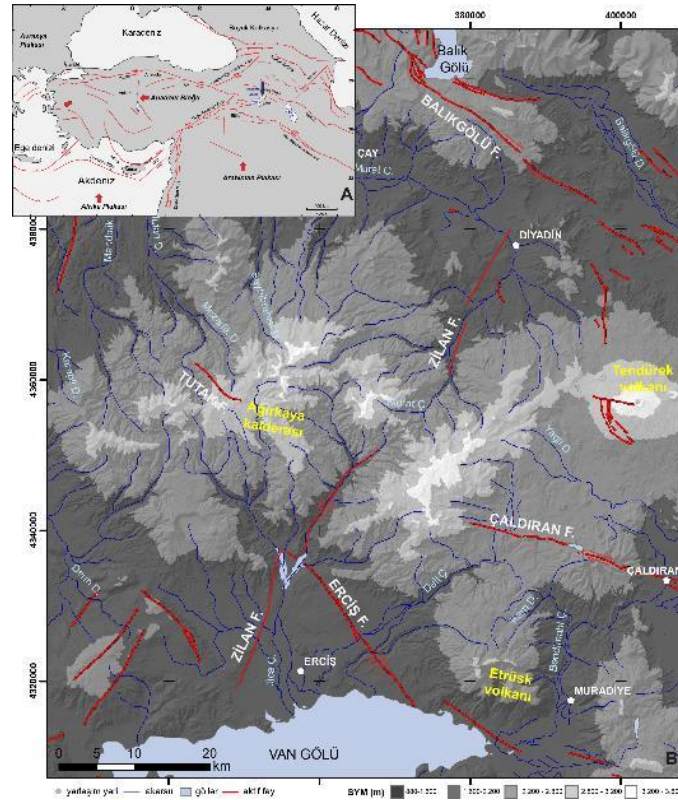
Son yıllarda, tektonik hatlar ve jeotermal aktivite arasındaki ilişkileri tanımlamak için birçok çalışma yapılmış ve bu iki değişken arasında yakın bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur (Faulds ve ark., 2009; 2010; 2011; Moeck, 2014; Faulds & Hinz, 2015; Siler ve ark., 2015; Hacıoğlu ve ark., 2020; Ateş & Özden, 2021; Uzelli ve ark., 2021). Aydın ve ark. (2020) ile Uzelli ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan termal su kaynaklarının çoğunun fay kontrollü olduğunu belirlemişlerdir. Kaynak alanların dağılımı bölgedeki başlıca birkaç aktif fay (örneğin, Kuzey

Anadolu Fayı, Karayazı Fayı, Kuzeydoğu Anadolu Fayı, Dumlulu Fayı, Çobandede Fayı, Horasan Fayı, Kağızman Fayı ve Çaldıran Fayı) tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 1) (Aydın ve ark., 2020).

Doğu Anadolu Bölgesi'nde K-G sıkışmaya bağlı olarak gelişmiş KB-KD doğrultu atımlı faylar, D-B ters faylar, K-G normal faylar ile genişleme çatlakları yer almaktadır (Şengör & Kidd, 1979; Şengör & Yılmaz, 1981; Dewey ve ark., 1986; Şaroğlu & Yılmaz, 1986; Yılmaz ve ark., 1987; Koçyiğit ve ark., 2001; Okuldaş & Üner, 2013; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Bununla birlikte bölgede volkanların çıkış merkezlerini denetleyen K-G doğrultulu açılma çatlakları ve bu sıkışmaya dik yönde gelişmiş D-B eksenli kıvrımlar da bulunmaktadır (Şaroğlu & Yılmaz, 1986). Bölgenin kuzeydoğusu yaklaşık birbirine paralel Erciş, Çaldıran, Doğubayazıt Fayı ile Balık Gölü Fay Zonu gibi sağ yanal doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edilmektedir. Bu bölge içerisinde yer alan Zilan ile Diyardin jeotermal alanı iki önemli deformasyon zonu olan, sağ yanal doğrultu atım karakterindeki, Erciş Fayı ile Balık Gölü Fay Zonu arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, sağ yanal makaslama zonu içerisinde gelişen Zilan Jeotermal Alanı'nın, bölgenin aktif tektonik yapısı ile olan ilişkisini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı olan Erciş (Van) ilçesinin kuzeyi ile Diyardin (Ağrı) arasında, Van Gölü Havzası'nın KKD kesiminde, 39°-39.5° K enlem ile 43°-43.5° D boylamları arasında kalır (Şekil 2). Zilan ve Diyardin jeotermal alanı olarak tanımlanan (MTA, 2005) alanda yaklaşık olarak 11 farklı noktada termal su kaynağı tanımlanmış (MTA, 2005; Pasvanoğlu, 2014) olup Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %40'lık sıcak su potansiyeline karşılık gelmektedir.



Şekil 2. A. Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'nun aktif tektonik konumu (Reilinger ve ark., 2006; Şengör ve ark., 2008), B. Çalışma alanı civarında yer alan aktif faylar (Emre ve ark., 2012; Sağlam Selçuk ve ark., 2016).

Zilan Jeotermal Alanı'nın yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, (i) vadi boyunca arazi çalışmaları yapılarak çalışma alanının litolojisi belirlenmiş, (ii) çizgisel bir hat sunan su kaynaklarının bulunduğu bölgenin morfolojik öğeleri (dere ötelenmesi, eğim değişikliği vb.) tespit edilmiş ve (iii) çalışma alanı içerisinde yer alan doğal/yapay yarmalardan kinematik veriler (doğrultu, eğim, kayma çizgisi yönü, hareket yönü, miktarı ve türü) toplanmıştır. Ayrıca, Zilan Fayı 1/25000 ölçeğinde

haritalanmış ve sıcak su noktalarının konumları RTK-GPS ile belirlenmiş ve haritaya işlenmiştir. Ek olarak, Harita Genel Müdürlüğü'nden proje kapsamında elde edilen renkli sayısal hava fotoğraflarından yüksek çözünürlüklü DSM (digital surface model) oluşturulmuştur.

3. Bölgesel Jeoloji

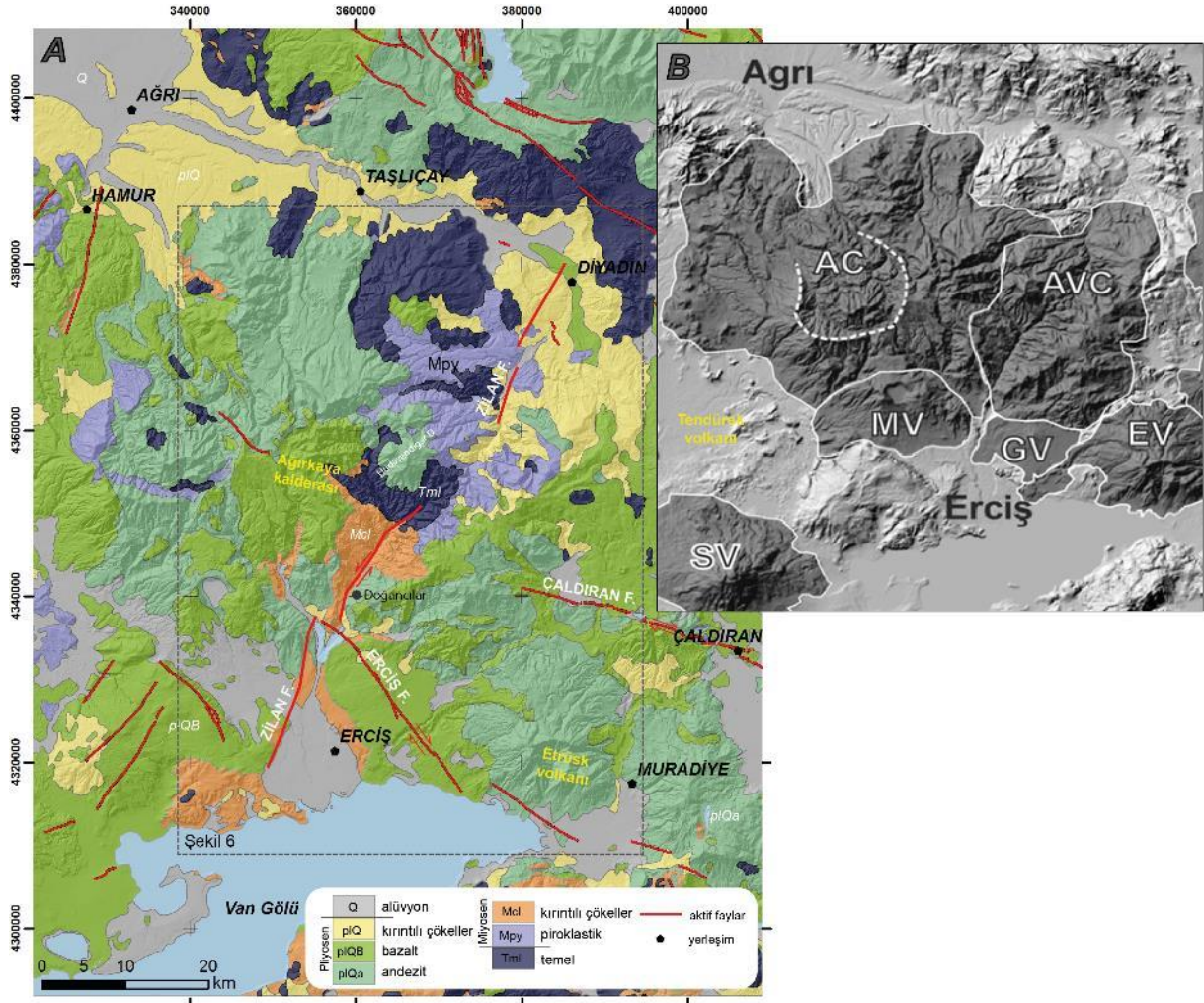
Çalışma alanının da içinde yer aldığı Doğu Anadolu Sıkışmalı Tektonik Bölgesi (DASTB) (Şengör ve ark., 1985) güneyden Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı ve kuzeyden ise Kafkas Bindirmesi ile sınırlıdır. Günümüzden 20-16 milyon yıl öncesinde gerçekleşen Arap ve Avrasya levhalarının çarpışması ile Doğu Anadolu'daki son okyanusal litosfer yitime uğramış (Okay ve ark., 2010) ve 13 milyon yıl önceden itibaren Doğu Anadolu Yüksek Platosu oluşumuna başlamıştır (Şengör & Kidd, 1979; Dewey ve ark., 1986; Şaroğlu & Yılmaz, 1986). Arap ve Avrasya levhaları arasında gerçekleşen bu kıta-kıta çarpışması, bölgenin yükselmesine ve kabuk kalınlaşmasına neden olmuştur (Şaroğlu & Yılmaz, 1986; Yılmaz ve ark., 1987). Doğu Anadolu Yüksek Platosu, geçen sürede yaklaşık 2000 m kadar yükselmiş olup bu yükselim günümüzde de devam etmektedir (Şekil 2A) (Şengör ve ark., 2008). Bu çarpışmanın en önemli sonuçlarından biri de Van Gölü Havzası'nın batısında ve kuzeyinde yüzeyleyen volkanik aktivitedir.

3.1. Zilan Jeotermal Alanı'nın jeolojisi ve tektoniği

Çalışma alanı, Van Gölü kapalı havzasının kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 2B). Bölge, farklı dönemlerde oluşmuş volkanizma-tektonizma etkisini net bir şekilde göstermektedir. Bu alandaki deformasyonu denetleyen birçok aktif fay tanımlanmıştır (Şaroğlu & Yılmaz, 1986; Şaroğlu, 1985; Yılmaz ve ark., 1987; Koçyiğit ve ark., 2001; Sağlam Selçuk ve ark., 2016). Erciş Fayı, Çaldıran ve Tutak fayları ile daha kuzeyde Balık Gölü Fay Zonu bunlardan en bilinenleridir (Şekil 2B). Bu fayların tümü yaklaşık KB-GD uzanımlı ve sağ yanal doğrultu atım karakterindedir. Çalışma alanının da içinde yer aldığı DASTB'nin deformasyonu doğrultu atımlı ve ters faylar tarafından kontrol edilse de bölgenin kuzeydoğusu baskın olarak sağ yanal doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol etmektedir. Bununla birlikte, bölgede sol yanal doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlaklarının da bu deformasyon üzerinde etkin olduğu görülmektedir (örneğin 2020 Başkale depremi).

Zilan deformasyon alanının da içerisinde yer aldığı Van Gölü Havzası'nın kuzeyinde bölgeyi etkileyen çarpışma sonrası volkanizmanın ürünleri baskın olarak yüzeylemektedir. Çalışma alanı içerisinde ve yakın civarında Etrüsk, Ağırkaya ve Tendürek volkanı yer almaktadır (Şekil 2B). Bu volkanların ürünleri, Miyosen'den Kuvaterner'e kadar değişen yaşlara ve litolojilere sahiptir (Şekil 3A). Farklı araştırmacılarca çalışılan bu bölgenin volkanizmasının, kalkalkalinden alkaline kadar değişen bileşimler sundukları belirlenmiştir (Şekil 3A) (Innocenti ve ark., 1976; Ercan ve ark., 1990; Pearce ve ark., 1990; Lebedev ve ark., 2010; Karaoğlu ve ark., 2005; Oyan, 2011; Özdemir & Güleç, 2014).

Çalışma alanını oluşturan Zilan Vadisi boyunca yoğun olarak volkanik birimler yüzeylemektedir. Alan içerisinde gözlenen litolojik birimler genel olarak temel kayalar, volkanik ürünler ile örtü kayaları şeklindedir. Ofiyolit ve mermerlerden oluşan temel kayalar, çalışma alanının kuzeyinde yaygın olarak yüzeylemektedir (Şekil 3A).

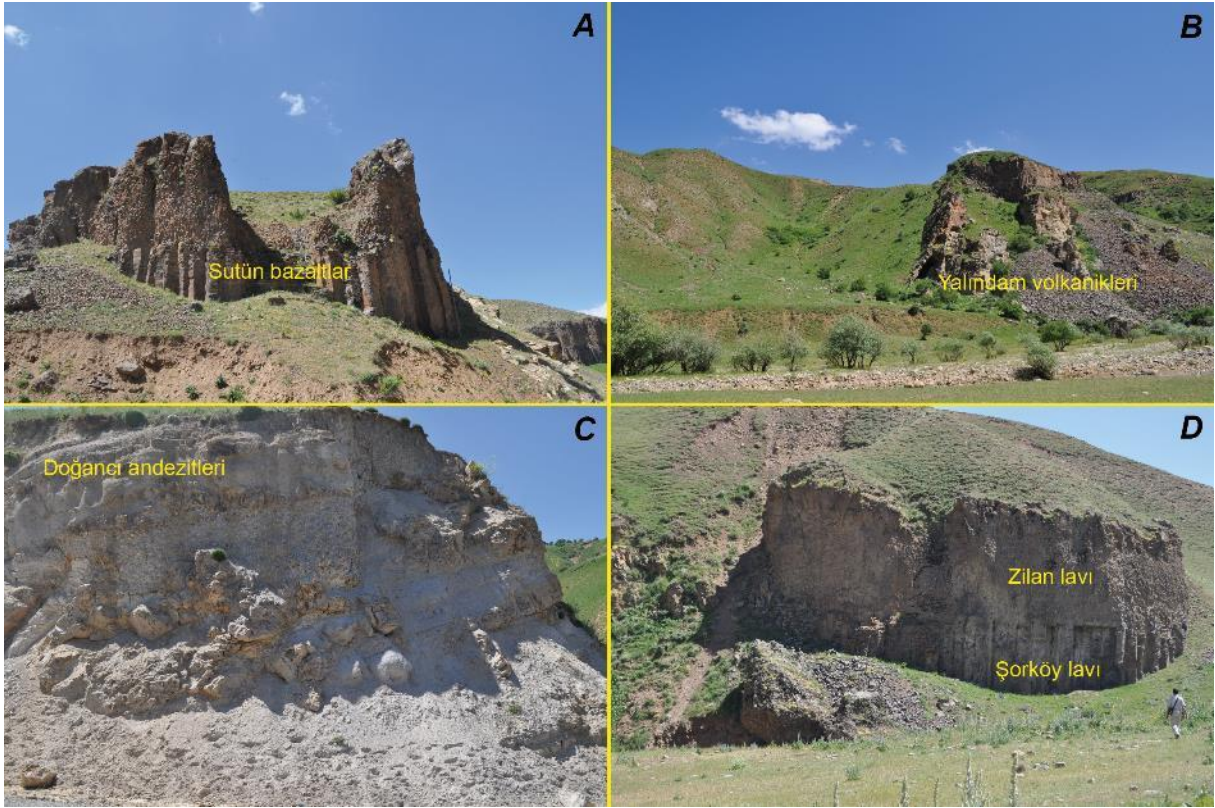


Şekil 3. A. Van Gölü kuzeyinin jeoloji haritası (Ateş ve ark., 2007), B. Çalışma alanı ve yakın civarındaki volkanik alanlar (Oyan ve ark., 2016) (AC: Ağırkaya volkanik alanı, AVC: Aladağ volkanik Alanı, MV: Meydan volkanik alanı, SV: Süphan volkanik alanı ve GV: Girekol volkanik alanı).

Volkanik ürünler ise, 4 farklı volkanizmanın ürünü olarak ayırt edilmiştir. Bunlar; Aladağ Volkanik Alanı (Alt-Orta Miyosen) (AVC), Ağırkaya Volkanik Alanı (Üst Miyosen) (AC), Meydan Volkanik Alanı (Pliyosen-Kuvaterner) (MV) ve Girekol Volkanik Alanı (GV) şeklindedir (Şekil 3B) (Oyan ve ark., 2016). Van Gölü kuzeyinde Miyosen’de ilk volkanizmanın Aladağ Volkanizması olduğu (Innocenti ve ark., 1976; Ercan ve ark., 1990; Lebedev ve ark., 2010; Oyan ve ark., 2016) ve bu volkanizmanın ürünlerinin, çalışma alanının kuzeyinde ve doğusunda geniş bir alanda yayılım sunduğu görülür. Lebedev ve ark. (2010) tarafından AVC’nin Van Gölü Havzası’ndaki en yaşlı volkanik ürünleri barındırdığı ve yaşının 15-13 My olduğu ifade edilmiştir. Bunlar Şorköy’ün batısında net yüzlekler sunmaktadır (Şekil 4A). Volkanitler çoğunlukla andezitik karakterde olup kahverenkli ve soğuma sonucu oluşan sütun yapılarına sahiptir (Şekil 4A) (Karamanderesi ve ark., 1984). Yalındam Lavı olarak da adlandırılan bu birim (Karamanderesi ve ark., 1984), arazide parazitik koniler şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4B). Miyosen-Pliyosen arasında magmatik bir durgunluğun olduğu ve dönemin yaklaşık 3 My sürdüğü ifade edilmektedir (Lebedev ve ark., 2010) (Şekil 3B). Pliyosen yaşlı stratovolkan yapısı gösteren, 3100 m yüksekliğinde yaklaşık 170 km² taban alanına sahip (Oyan, 2011) Etrüsk Volkanı’nda, trakitik, trakiandezitik, trakidasitik ve riyoitik lavların merkezi püskürmelerle çıkışı meydana gelmiştir (Keskin ve ark., 2010). Çalışma alanının güneybatısında bulunan Süphan Stratovolkanı, 4058 m yüksekliğindedir. 2000 km²’nin üzerinde geniş bir alana yayılmıştır. Kuvaterner yaşlı bir volkanidir (Güner & Şaroğlu, 1987; Özdemir ve ark., 2011). Süphan volkanizması ürünleri lav, dom ve piroklastiklerdir ve bazalttan riyoite kadar uzanan ortaç alkali ve kalkalkali seriler arasında

geçiş özelliği gösterir (Özdemir ve ark., 2011). Doğancı Lavı (Doğancı andezitleri) ise (Karamanderesi ve ark., 1984), çalışma alanının orta kesimlerinde yer alan Doğancı Köyü ve civarında geniş yayılımlar sunmaktadır (Şekil 4C). Genel olarak gri-pembe renkli andezitlerden oluşmaktadır. Volkan konileri ve bacalarında sütun yapısını gösteren Doğancı andezitleri, tüflerle birlikte yayılım gösterir (Karamanderesi ve ark., 1984). Çalışma alanının kuzeydoğusunda 3529 m yüksekliğinde Hüdavendigar Dağı yer almaktadır. Bu yükselti Hüdavendigar andezitleri olarak adlandırılan birimden meydana gelmektedir ve andezitler Hüdavendigar Dağı'ndan çıkarak geniş bir alanı kaplamıştır (Şekil 3B).

Zilan Çayı Vadisi'nin her iki yakasında, Zilan Lavı olarak adlandırılan birim yer almaktadır (Şekil 3A, 4D) (Oyan ve ark., 2016). Birim çalışma alanı içerisinde yer alan en genç volkanik üründür. Genel olarak Zilan Çayı'na ait taraça seviyelerinin alt kısımlarında yer almaktadır (Şekil 4D). Siyah renkli olan Zilan Lavı, akma dokusu özelliği sunmaktadır. Zilan Lavı üzerine, Kuvaterner yaşlı eski akarsu çökelleri uyumsuz olarak gelmektedir.

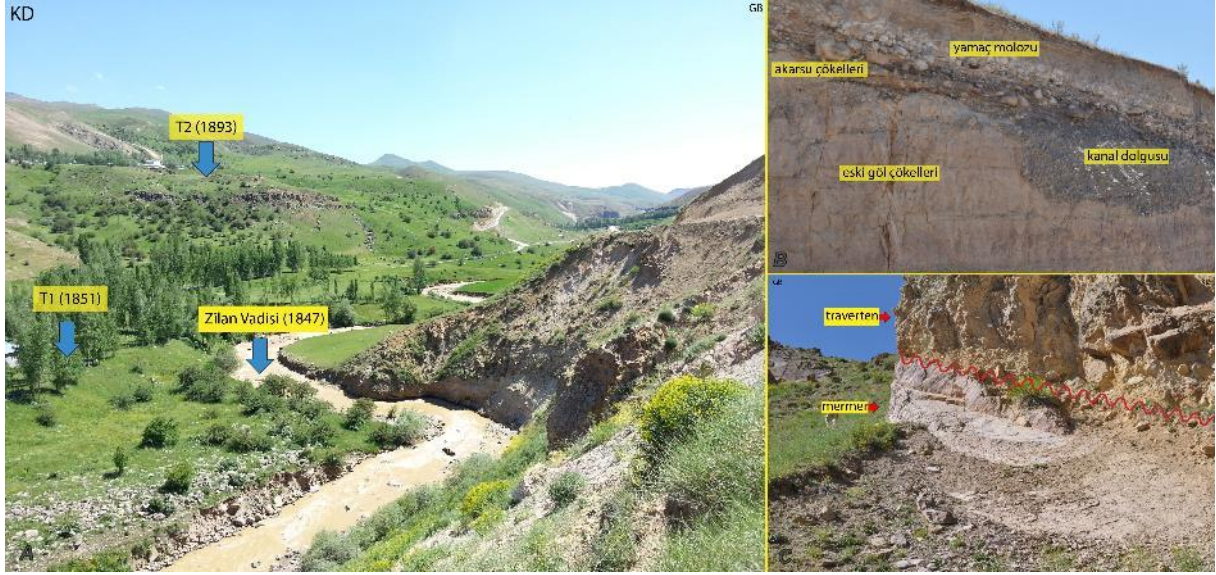


Şekil 4. A. Çalışma alanı içerisinde yer alan sütun bazaltlara, B. Zilan Vadisi boyunca Yalındam volkaniklerine, C. Doğancı Lavına, D. Şorköy Lavı ve Zilan Lavına ait araziden görünüm.

Van Gölü Havzası'na gerek sürekli ve gerekse mevsimsel akan akarsularla göle sediman taşınmaktadır. Çalışma alanında havzaya sediman taşıyan önemli ve sürekli akan akarsulardan biri de Zilan Çayı'dır. Göl havzasında meydana gelen iklimsel, tektonik ve volkanik etkilerle, Van Gölü su seviyesinde değişimler meydana gelmektedir. Havzada, bu değişimler sonucu gelişmiş ve çeşitli seviyelerde korunmuş taraçalar gözlenmektedir (Görür ve ark., 2015). Göl ve akarsu ortamında depolanan bu Kuvaterner çökelleri, Van Gölü Formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Aksoy, 1988; Üner ve ark., 2010).

Zilan Çayı Vadisi boyunca da eski taraça seviyeleri göze çarpmaktadır (Şekil 5A). Bu taraça seviyeleri, genel olarak çakıltası-kumtaşı ve bunları kesen kanal dolguları ile karakteristiktir (Şekil 5B). Çakıllar genel olarak yuvarlaklaşmış, 2-10 cm boyutunda ve volkanik kökenlidir. Çalışma alanı içerisinde Zilan Çayı'nın güney kesimlerinde eski göl çökelleri sınırlı bir alanda yüzlekler sunmaktadır (Şekil 5B). Bu çökeller genel olarak karbonatlı kumtaşı ve çakıltı şeklindedir. Kumtaşlarının ortalama kalınlığı 1-1.5 m arasında değişmekte-olup iyi yıkanmış, gevşek tutturulmuş, sarı-gri renkli, ince-orta ve seyrek olarak da çapraz katmanlıdır. Çapraz katmanlanmayı küçük kanal dolguları kesmektedir (Şekil 5B). Gölsel çökeller ince-kaba kum arasında değişen tane boyutunda ve yer yer biyoturbasyon yapıldır.

Kumtaşları ile aralanmalı bol *Dreissensia* sp. fosilli seviyeler, birimin üst seviyelerine doğru yoğunluk kazanmaktadır. Yine çökelin üst seviyelerine doğru gidildikçe kumtaşı ara düzeyli çakıltaşı seviyeler göze çarpmaktadır. Çakıllar, iyi boylanmış, gevşek tutturulmuş ve kum matrislidir.

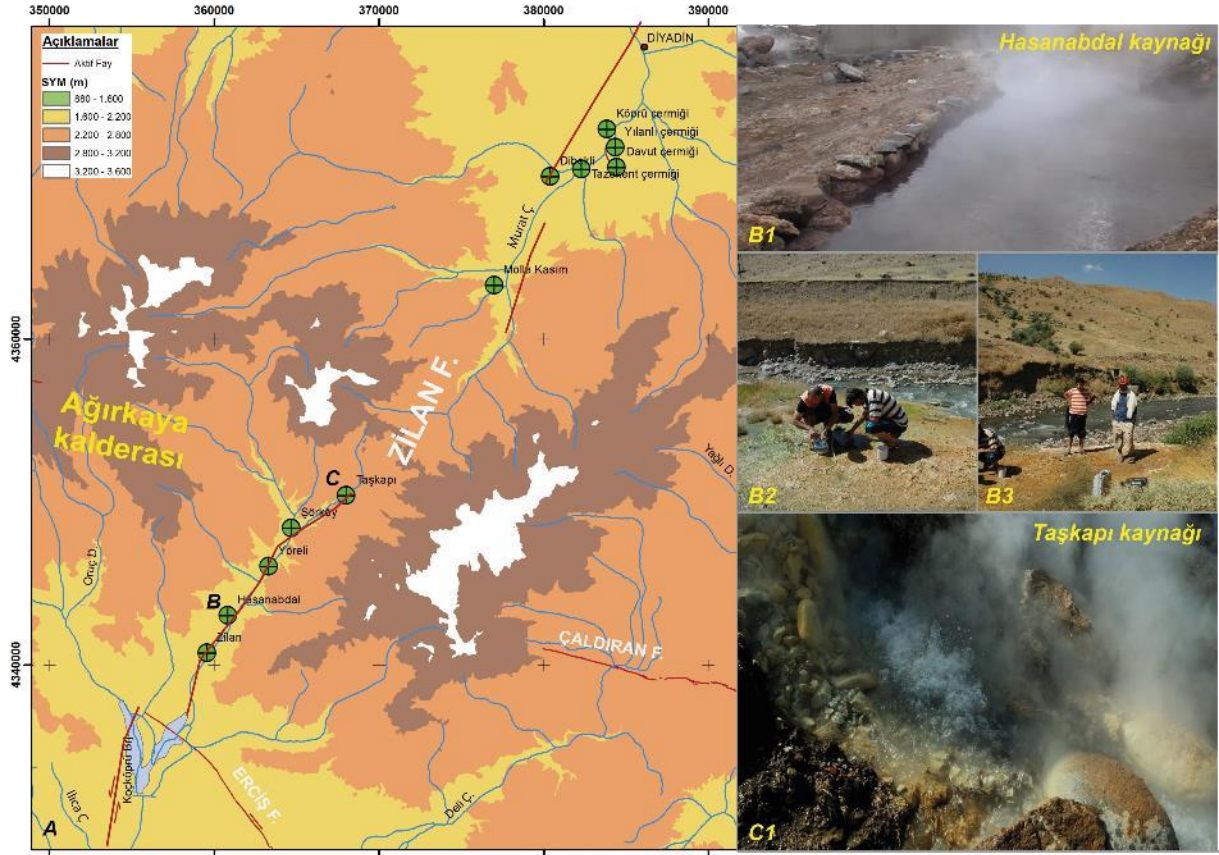


Şekil 5. A. Zilan Çayı'na ait akarsu taraçalarındaki (T1 ve T2) seviye değişimi, B. Zilan Çayı boyunca yüzeyleyen örtü kaya birimlerinin görünümü, C. Kuvaterner yaşlı travertenlerin arazideki görünümü.

Çalışma alanında özellikle Zilan Vadisi boyunca çıkan sıcak sulara bağlı lokal traverten oluşumları görülmektedir (Şekil 5C). Bu traverten oluşumlarından bazıları, halen günümüzde devam etmektedir. Genel olarak kirli sarı renkli masif bir yapıya sahiptirler. Bölgede yer alan mermerler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır.

3.2. Çalışma alanının jeotermal özellikleri

Çalışma alanının içinde yer aldığı Van ve Ağrı illerinde toplam 12 adet Jeotermal Alan (JA) tespit edilmiştir (MTA, 2005; Aydın ve ark., 2013; Mutlu ve ark., 2013). Bu alanlardan beşi, Van Gölü kuzeyinde geri kalan üç tanesi ise Van Gölü doğusu ve güneydoğusunda yer almaktadır. Çalışma alanının içinde yer aldığı, Zilan ve Diyadin (Ağrı) Jeotermal alanlarında, 52 adet termal su noktası tanımlanmıştır (Karamaneresi ve ark., 1984; Mutlu ve Aydın, 2010). Termal sular, Türkiye'nin doğusundaki ortalama yaz sıcaklığı (20.4° C) kullanılarak sınıflandırılmıştır (Aydın ve ark., 2020). Bu noktalardan 11 tanesi ekonomik jeoloji açısından potansiyele sahip olup (Şekil 6), hazne sıcaklığının 200°-250°C arasında olabileceği belirtilmiştir (MTA, 2005; Aydın ve ark., 2013; Mutlu ve ark., 2012, 2013). Bununla birlikte, Pasvanoğlu (2014 ve 2020) tarafından bu bölgede yapılan çalışmada kaplıcalar ve mineral kaynakların 20–78°C arasında değişen sıcaklıklara ve 3–20 L/s debilere sahip olduğu belirtilmiştir. Zilan Jeotermal Alanı içerisindeki en önemli kaynaklardan biri Hasanabdal Kaynağı'dır (Şekil 6B). Kaynağın yüzeye çıkış sıcaklığı 65 C° olup (MTA, 2005), Zilan Vadisi'nin güneybatı ucunda yer almaktadır (Şekil 6A ve 6B). Çalışma alanının orta kesimlerinde yer alan Taşkapı Kaynağı'nın ortalama sıcaklığı 50-70 C° arasında değişmektedir (MTA, 2005; Şekil 6B).



Şekil 6. A. Çalışma alanı civarında yer alan jeotermal kaynakların dizilimi (MTA, 2005'den değiştirilerek) ve faylar (Emre ve ark., 2012; Sağlam Selçuk ve ark., 2016; Sağlam Selçuk & Kul, 2021) ile ilişkisi, B. Hasanabdal kaynağı, C. Taşkapı kaynağı.

Hasanabdal ve Taşkapı bölgelerinde 1988 ile 2000 yılları arasında MTA tarafından termal su kaynak araştırmaları için sondaj çalışmaları yapılmıştır. Sondajlardan üç tanesi Taşkapı (ZG-1, ZG-2, ZG-3) ve bir tanesi Hasanabdal (ZD-1) bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Sondajlar 264 ile 1170 m aralığındaki derinliklere, 78 °C ile 98 °C aralığında sıcaklığa ve 4-40 L/s akış hızlarına sahiptir (Ertürk, 2002; Akkuş ve ark., 2005). Tüm kuyular yüksek akışkan basıncı nedeniyle kapatılmış, ancak 1168m derinlikte ZD-1 jeotermal kuyusunda ölçülen dip delik sıcaklığı 105°C ve 1064-1066 m derinlikteki kuyudan alınan kaya örneklerinde bulunan sıvı kapanımları için minimum homojenizasyon sıcaklığı 132°C olarak hesaplanmıştır (Ölmez & Güner, 1989). Bununla birlikte yüzeyden yapılan ölçümlerde termal suların 20–78°C arasında değişen sıcaklıklara ve 3–20 L/s debilere sahip olduğu belirtilmiştir (Pasvanoğlu, 2020).

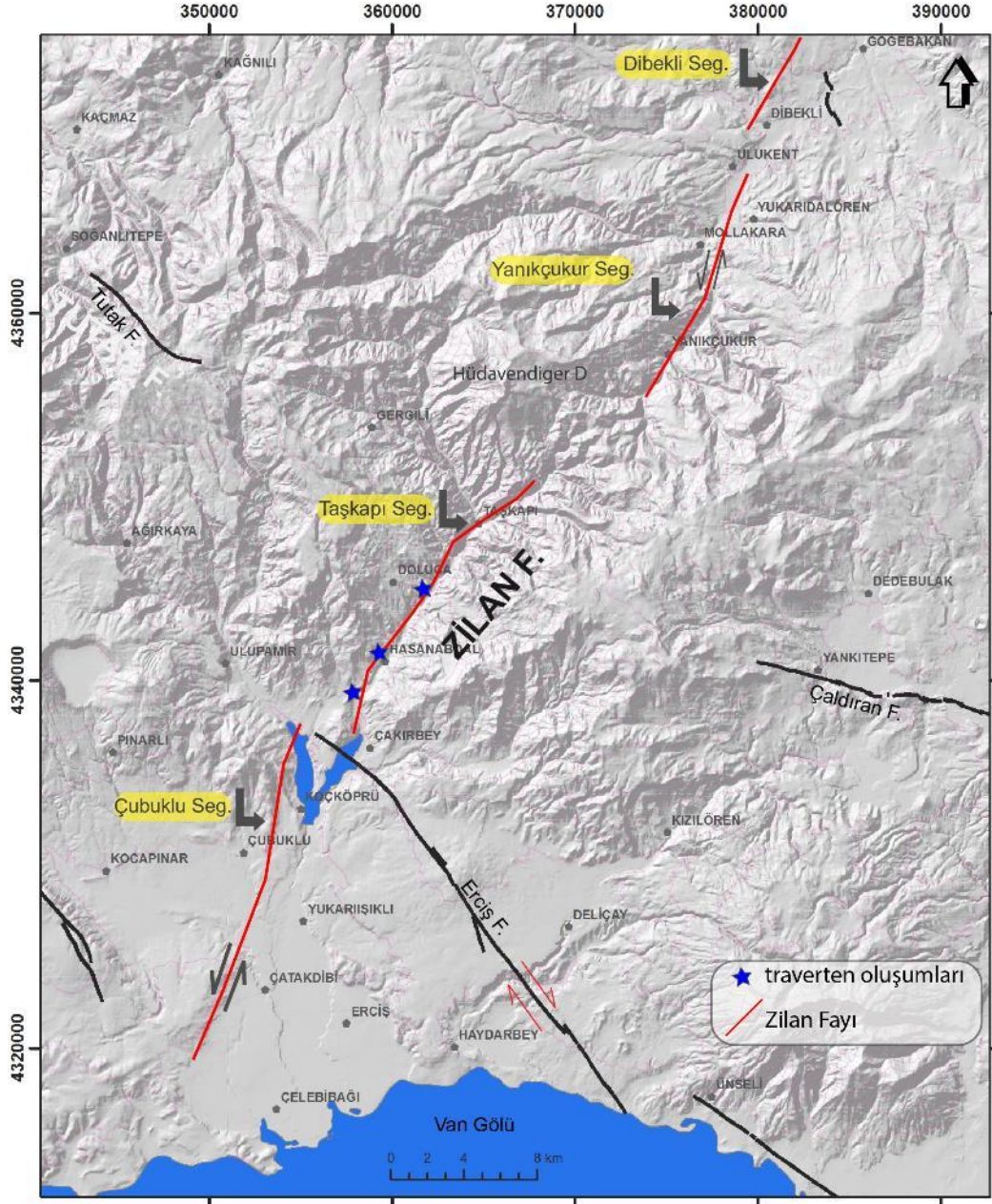
Zilan bölgesinde termal suların yanı sıra soğuk su çıkışları da bulunmaktadır. Bölgedeki jeotermal ve soğuk su kaynaklarının nasıl etkileştiği henüz açıklanmasa da bazı yazarlar (Karamanderesi ve ark., 1984; Ölmez & Güner, 1989), kaynak sıcaklığına ve hidrokimyasına dayalı olarak jeotermal akışkan ile sığ soğuk yeraltı suları arasında karışmanın meydana geldiğini varsaymışlardır, ancak bu karışımın gerçekten vadi boyunca olup olmadığı ise bilinmemektedir (Pasvanoğlu, 2020).

3.3. Çalışma alanının genç tektonik özellikleri

Doğu Anadolu bölgesi, son yıllarda yapılan GPS katı blok modellerine bağlı olarak küçük tektonik bloklara ayrılmıştır. Bu bloklar, güneyden kuzeye doğru Türkiye-İran bloğu (TIP), Küçük Kafkas (LCT) ve Büyük Kafkas (GC) bloğu şeklindedir (Reilinger ve ark., 2006; Djomour ve ark., 2011). Çalışma alanının içinde yer aldığı LCT bloğunun güney sınırını Erciş-Çaldıran-Tutak fayları, kuzey sınırını ise Nahçıvan Fayı oluşturmaktadır. LCT bloğunda gelişen sağ yanal makaslama zonu içerisinde KB doğrultulu sağ yanal ve KD doğrultulu sol yanal yapısal süreksizler yer almaktadır.

Zilan deformasyon alanı (ZDA) içerisinde daha önceki yıllarda sadece KD doğrultulu sol yanal faylar olduğu ifade edilmiştir (MTA, 2005). Zilan Fayı (ZF), Van Gölü havzasının kuzeyinde ve ZDA içerisinde yer alan sol yanal doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 7A). Bu bölgenin kuzeyinde Balık Gölü Fay Zonu, güneyinde Erciş Fayı ve orta kesimlerinde Çaldıran Fayı yer alır ve bu faylar yaklaşık KB doğrultusunda uzanan sağ yanal faylardır. Ancak ZF, bu makaslama zonunda KD doğrultusunda uzanan, yamulmaya dik gelişen ana süreksizliklerden biridir (Şekil 7A).

Yaklaşık olarak $K30^{\circ}-70^{\circ}D$ arasında değişen doğrultularla uzanan ZF, Erciş ilçesinin yaklaşık 7 km batısından başlayıp GB-KD doğrultulu Zilan Vadisi boyunca devam ederek Diyadin ilçe merkezine kadar uzanmaktadır (Şekil 7). Uzanımı boyunca akarsu ötelenmeleri, traverten oluşumları, farklı taraça seviyeleri, derine kazınmış vadiler ve çizgisel sıcak su çıkışları ile karakteristik morfolojik yapılar sunmaktadır.



Şekil 7. Zilan Fayı segment haritası.

Zilan deformasyon alanının morfolojisini kontrol eden ana faktörler, tektonizma ve volkanizmadır. Genel olarak engebeli bir topografya sunan bölge (Şekil 7A), Van'ın, Erciş ilçesinden kuzeye doğru gidildikçe sürekli yükselmekte ve Hüdavendigâr Dağı'nda 3535 m'ye ulaşmaktadır.

Bölgede 15 km çapında volkanik çıkış merkezi bulunmaktadır. Bunun dışında çok sayıda ikincil çıkış merkezleri de bulunmaktadır (Şaroğlu, 1985). Aynı zamanda bölge içerisinde yer alan Ağırkaya volkanik alanı da bölgedeki önemli morfolojik yükseltiyi oluşturmaktadır. Bu volkanik yükseltilerin yoğun bir deformasyon geçirerek aşındığı ve tam bir volkan morfolojisi sunmadığı görülür. Bunun nedenleri arasında bölgedeki ani tektonik yükseltiler ve buna bağlı gelişen akarsu drenaj ağının morfoloji üzerindeki aşındırma etkisidir.

3.4. Zilan Fayı

Zilan Fayı'nın, hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları sonucunda, dört farklı segmentten oluştuğu belirlenmiştir. Güneyden kuzeye doğru bu segmentler, Çubuklu Segmenti, Taşkapı Segmenti, Yanıkçukur Segmenti ve Dibeikli Segmenti'dir (Şekil 7). Çubuklu Segmenti (ÇS), Çelebibağ Mahallesi'nin (Erciş) 4 km batısından başlayıp Koçköprü Köyü'nün kuzeyine kadar uzanmaktadır (Şekil 7). Yaklaşık 20 km uzunluğunda olup Çubuklu Köyü'nün güneyine kadar K15°D doğrultusunda uzanırken, bu noktadan itibaren K20°D yönüne dönmektedir. Uzanımı boyunca Miyosen yaşlı kırıntılı çökeller ile Pliyosen yaşlı volkanikler ve Pliyosen-Pleyistosen yaşlı kırıntılı çökeller (eski göl ve akarsu çökelleri) arasında dokanak oluşturmaktadır (Şekil 3A). Bu alanda yer alan eski göl ve akarsu çökellerinin yoğun bir deformasyona uğradığı görülmektedir (Şekil 3A). Çubuklu Segmenti, arazide ve hava fotoğraflarında morfolojik olarak takip edilebilmektedir. Segment, Hasanabdal Köyü civarındaki yol yarmasında akarsu ve eski göl çökellerini kesmiş ve ötelemiştir. (Şekil 8A). İstifin en alt seviyesini oluşturan akarsu çökelleri, orta yuvarlaklaşmış kireçtaşı ve bazalt çakıllarından oluşmaktadır. Birimin en üst düzeyini taşkın ovası çökellerini içeren siltli bir seviye temsil etmektedir. Bu seviyenin üzerinde gelen göl çökelleri ise laminalı bir yapı gösteren kum ve killerden oluşmaktadır. Yarmanın en üst kesiminde yüzeyleyen yamaç molozu çökelleri, köşeli bazalt-andezit parçaları içeren, tutturulmamış kaba malzemeden oluşmuştur. Birim sınırında Çubuklu segmentine ait fay izi net olarak gözlenmektedir (Şekil 8B). Fay aynası üzerinde fay çizikleri net olarak görülmekte olup fayın doğrultusu ve eğimi (K10°D-85°KB/25°GB) ile atım miktarı (100 cm), ölçülebilmektedir (Şekil 8B; Çizelge 1). Çubuklu segmenti normal bileşenli sol yanallı doğrultu atımlı fay karakterinde olup, birim sınırlarında sürüme kıvrımı görülmektedir (Şekil 8).

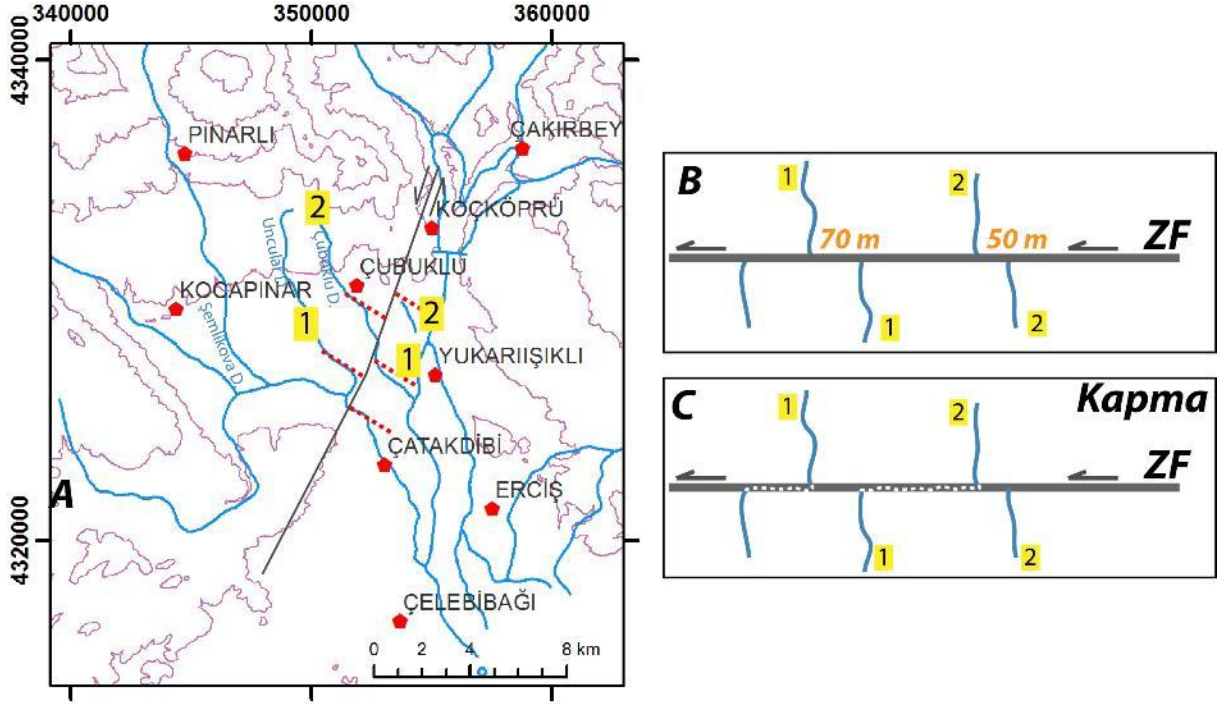
Çizelge 1. Zilan Fayı boyunca ölçülen fay düzlemi verileri

Segment Adı	Doğrultu	Eğim	Sapma açısı
Çubuklu	K10°D	85°KB	25°GB
Taşkapı	K50°D	73°KB	05°GB
Yanıkçukur (1)	D-B	20K	70°K
Yanıkçukur (2)	K20°B	80°GB	55°KB



Şekil 8. A. Çubuklu Segmenti'nin arazideki görünümü, B. fay düzlemi ve meydana gelen düşey ötelenme C. fay düzleminin yakından görünümü.

Çubuklu Köyü'nün güneybatısında yer alan iki dere kanalında 50-70 m arasında değişen ötelenmeler görülmektedir (Şekil 9A). Çubuklu Deresi'nin, sol yanal harekete bağlı olarak yaklaşık 50 m ve Uncular Deresi'nde de yaklaşık olarak 70 m ötelendiği görülmektedir (Şekil 9B). Çobanlı Deresi'nin fay izini takip ederek ötelendiği ve kendi yatağını terk ederek Uncular Deresi'nin yatağını kullandığı görülmektedir (Şekil 9C). Aynı şekilde Uncular Deresi de Şenlikova Deresi tarafından kapılmaktadır.



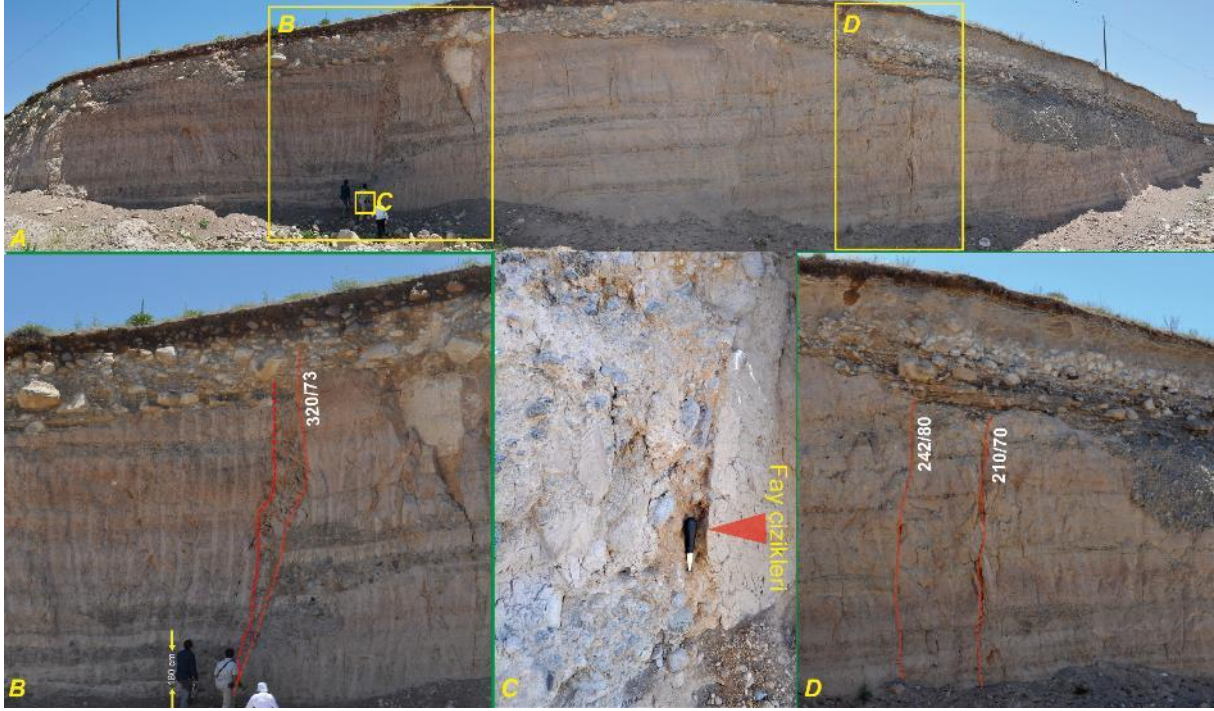
Şekil 9. A. Çubuklu Segmenti kuzeydoğusunda yer alan ötelenmeler, B. sol yanal yer değiştirmeye bağlı gelişen dere ötelenmeleri, C. derelerde meydana gelen kapma olayları.

Çubuklu Segmenti, Koçköprü Köyü'nün kuzeydoğusunda sağa doğru sıçrama yaparak Taşkapı Segmenti olarak devam etmektedir (Şekil 7). İki segment arasındaki bu sağ yanal sıçramaya bağlı olarak bölgede lokal bir sıkışma meydana gelmektedir. Bu sıkışmanın sonucunda, sıçramanın olduğu kesimde yersel bir yükselme söz konusu olmuştur. Bu durum Çakırbey Köyünün batısında Zilan vadisinin önünde bir set şeklinde göze çarpmaktadır (Şekil 7). Bu bölgede volkanizmanın farklı ürünlerinin yoğun olarak gözlenmekte olup özellikle andezitler ve andezitleri kesen dayklar ile karakteristiktir (Şekil 10A). Ayrıca birimlerin yoğun bir deformasyona uğradığı ve farklı doğrultudaki faylar tarafından kesilip ötelendiği görülmektedir (Şekil 10B-C).



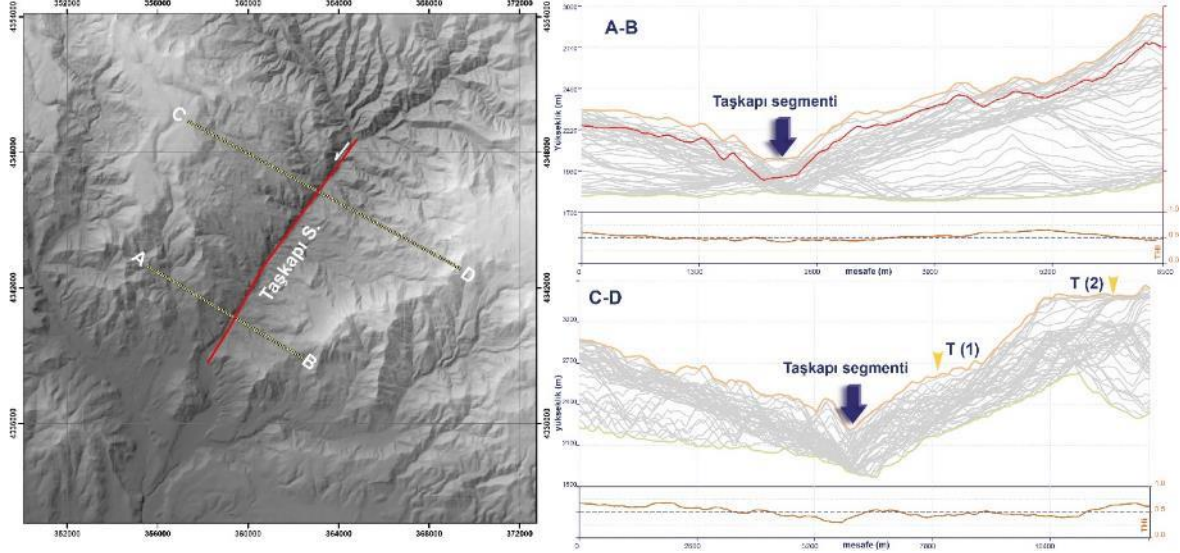
Şekil 10. A. Taşkapı Segmenti civarında yüzeyleyen volkanik birimler ve birimleri kesen dayklar ile volkanik birimler içinde gelişen B. Normal, C. Ters faylanmalar.

K40°D doğrultusunda uzanan Taşkapı Segmenti yaklaşık 9.5 km uzunluğundadır (Şekil 7). Güneyde Çakırbey köyünden başlamakta ve kuzeyde Taşkapı köyüne kadar Zilan Vadisi boyunca devam etmektedir. Bu segment boyunca 5 farklı noktada sıcak su çıkışı yer almaktadır. Vadi boyunca kuzeydoğuya doğru gelindiğinde kalın bir akarsu istifi yüzeylenmektedir. Doğancı Köyü yakınlarındaki yol yarmasında kumlu, siltli ve killi akarsu çökelleri görülmektedir (Şekil 11A). Bu çökelleri güncel toprak seviyesi örtmektedir. Akarsu çökelleri içerisindeki çakıllı, kumlu kanal dolguları net olarak izlenmekte ve meydana gelen ötelenme ile fayın atım miktarı (180 cm) net olarak ölçülmektedir (Şekil 11B). Fayın doğrultusu K50°D olup yaklaşık 73° ile KB'ya doğru eğimli sol yanal doğrultu atım karakterindedir (Şekil 11B). Faylanmanın oluşturduğu deformasyon alanında yapılan kinematik analiz çalışmalarında 5°GB yönünde sapma açısı ölçülmüştür (Şekil 11C). Ancak yarmada gelişen ikincil faylanmalar sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterinde olup sırasıyla 5°G ve 45°K sapma açıları ölçülmüştür (Şekil 11D).



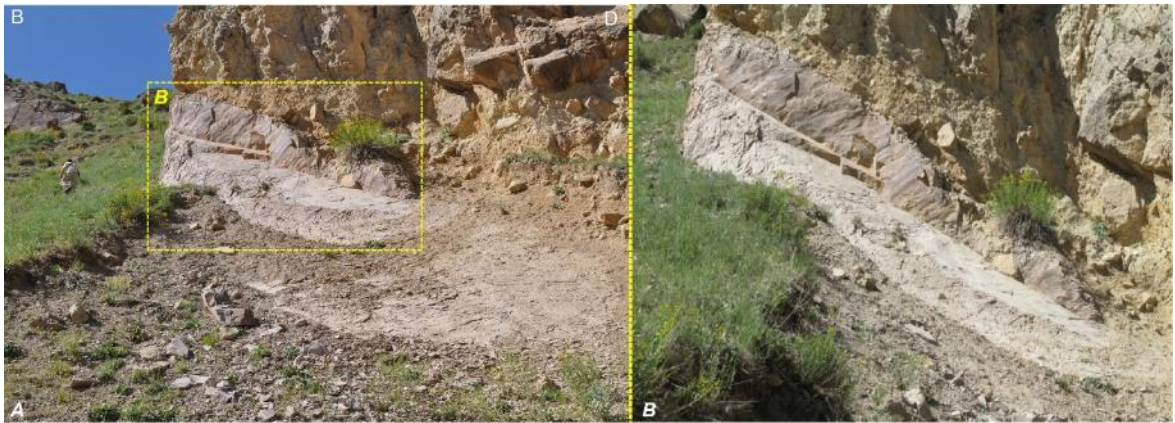
Şekil 11. A. Taşkapı segmentinin Doğancılar köyü güneyindeki görünümü, B. akarsu çökellerinin kesip-ötendiği deformasyon zonu, C. fay düzlemi, D. yarmanın güneyinde yer alan ikincil faylanmalar.

Bölge yoğun drenaj sistemi içerisinde, özellikle çalışma alanının orta kesimleri, derin vadilerle aşınmış ve parçalanmıştır (Şekil 12). Çalışma alanının güneydoğu kesiminde vadiler genel olarak K-G yönünde akmakta ve “U” şekilli vadiler meydana gelmektedir. Ancak alanın orta kesimlerinde daha derine kazılmış vadiler yani “V” şekilli vadiler bulunmaktadır (Şekil 12). Bu vadilerin genç vadiler olduğu ve bölgedeki yükselim/aşınım hızının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, vadilerin eski taraça seviyeleri ile güncel taban seviyesi arasında bazı kesimlerinde 70 m’lik kot farkı bulunmaktadır (Şekil 5A,12). Bölgedeki aşınmayı kontrol eden bu vadilerin Doluca ve Taşkapı civarlarında yamaç eğim açılarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın ortaya net konulması için Taşkapı Segmentine dik olacak şekilde iki ayrı yerden enine profil alınmıştır (Swath profilleri- Şekil 12). Segmentin güney ve kuzey kesimini temsil edecek şekilde alınan profillerden A-B profilinde görüleceği gibi yamaç eğimleri birbiri ile aynı olmamakla birlikte, doğu kesimde yer alan kısımda iki farklı yükseklikte taraça basamağı görülebilmektedir (Şekil 12, A-B, C-D profili). C-D profili Taşkapı Segmenti’nin kuzey kesimlerinden alınmış olup bu alandaki vadiler baskın olarak “V” şeklindedir. Ancak vadi yatağının bulunduğu alandaki batı yamacın (C) eğiminin doğu yamacına (D) göre daha dik olduğu görülür (Şekil 12). Bununla birlikte yine doğu kesimde iki farklı akarsu taraça basamağının varlığı burada daha net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 12. A. Taşkapağı Segmenti'ne dik olarak alınan enine profiller (Swath profilleri).

Zilan deformasyon alanının kuzey kesimlerinin deformasyonu Yanıkçukur ve Dibekli segmentleri tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 7). Yanıkçukur Segmenti, bu alanın güneyinde yer almaktadır ve yaklaşık olarak 6.5 km uzunluğundadır. K25°D doğrultusunda uzanan segment boyunca sıcak su ve buhar çıkışları yer almaktadır. Aynı zamanda bu alandaki vadi morfolojisi incelendiğinde Taşkapağı ve Çubuklu segmentlerinin aksine batı yamaçlarının daha yüksek eğime sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7). Batı yamaçlarında mermerler üzerinde gelişmiş traverten oluşumları mevcuttur (Şekil 7, 13A). Traverten oluşumlarının yoğun gözenekli bir yapıda oldukları görülmektedir. Yanıkçukur segmentinin kuzeydoğu kesimlerinde travertenler ile mermerler arasında gelişmiş farklı fay düzlemleri üzerinde fay çizikleri gelişmiştir (Şekil 13B). Şekil 13B'de görüldüğü üzere mermerler üzerinde gelişmiş iki farklı doğrultudaki fay düzlemleri görülmektedir. Bu düzlemlerden 1 nolu fay düzlemi yaklaşık D-B doğrultulu olup 20° ile kuzeye doğru eğimlidir. 2 nolu fay düzlemi ise K20°B doğrultulu olup 80° ile güneye doğru eğimlidir ve 1 nolu fay düzlemini kesmektedir. Her iki fay düzlemi üzerinde fay çizikleri ve fay kertikleri net bir şekilde görülmektedir (Şekil 13B). En kuzeyde yer alan Dibekli Segmenti Mollakara ve Göğebakan köyleri arasında 12 km uzunluğundadır. Sıcak su çıkışlarının en yoğun olduğu bölgelerden biri durumundadır.



Şekil 13. A. Mermerler üzerine gelişen traverten oluşumları, B. Fay düzlemi.

4. Tartışma ve Sonuç

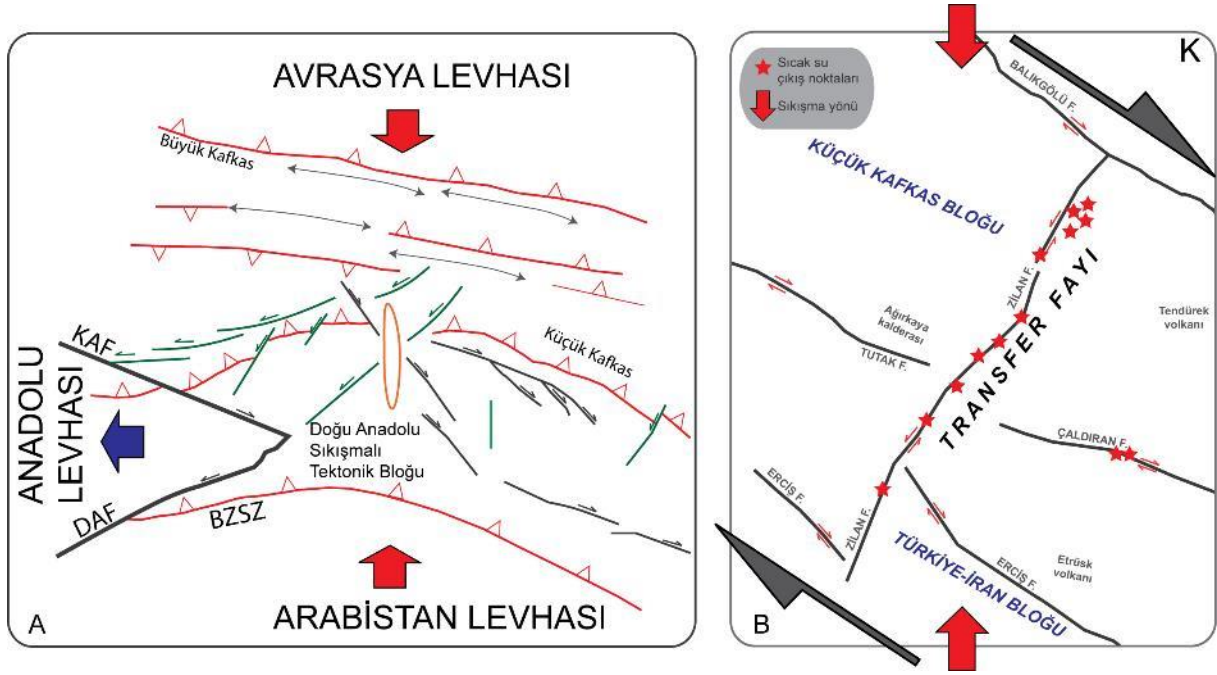
Zilan jeotermal alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki sıkışmalı tektonik rejime bağlı olarak gelişen KB-GD gidişli, sağ yanal doğrultu atımlı fayların (Erciş, Çaldıran, Balık Gölü Fay Zonu) oluşturduğu bir makaslama zonu içerisinde yer almaktadır. Bu makaslama zonu içerisinde Van

Gölü'nün kuzeyinden başlayıp, KD'da Diyadin'e (Ağrı) kadar uzanan sol yanal doğrultu atımlı Zilan Fayı tanımlanmıştır. Tanımlanan fay üzerinde birden fazla ekonomik açıdan öneme sahip termal su kaynağı bulunmaktadır.

Bu çalışma ile yapısal özellikleri tanımlanan ve ilk defa isimlendirilen Zilan Fayı, KD-GB gidişli ve sol yanal doğrultu atım karakterlidir. Arazi çalışmaları ve hava fotoğrafları üzerinden yapılan incelemeler sonucunda Zilan Fayı'nın dört farklı segmentten oluştuğu belirlenmiştir. Bu segmentler, güneyden kuzeye doğru Çubuklu Segmenti, Taşkapı Segmenti, Yanıkçukur Segmenti ve Dibekli Segmenti olarak isimlendirilmiştir. Uzanımı boyunca akarsu ötelenmeleri, traverten çıkışları, farklı taraça seviyeleri, derine kazınmış vadiler, çizgisel sıcak su çıkışları ve traverten oluşumları ile karakteristik morfolojik yapılar sunmaktadır. Çubuklu ve Taşkapı segmentleri boyunca bölgeyi etkileyen tektonizmanın neden olduğu morfolojik yapılar söz konusudur. 50-70 m arasında değişen sol yanal dere ötelenmeleri ile akarsu-eski göl çökelleri ve volkanik birimlerin yoğun deformasyona ve ötelenmeye uğraması bunlara verilebilecek birkaç örnektir. Ayrıca, Zilan Vadisinin akarsu taraça seviyelerinde meydana gelen değişimler (+40), bölgedeki ani yükselmenin ve yükselime bağlı olarak derine kazınmanın göstergesidir.

Doğu Anadolu Sıkışmalı Tektonik Bloğu (DASTB) için yapılan modellerde, bloğun şekillenmesinde üç ana faktörün rol aldığı ve bunların KB-KD doğrultulu sağ - sol yanal faylar, K-G ve KKB gidişli açılma çatlakları ile Pliyo-Kuvaterner volkanların olduğu belirtilmiştir (Şekil 14A) (Koçyiğit ve ark., 2001; Allen ve ark., 2011). DASTB için yapılan hem modellerde hem de diri fay haritalarında bölgede KB doğrultulu sağ yanal fayların varlığı dikkat çekmektedir. KD doğrultu sol yanal fayların sağ yanal faylar ve bindime fayları kadar baskın olmadığı ve genel olarak bindirme fayları arasında gelişen transfer fay olarak nitelendirildiği görülmektedir. Çalışma alanının da içinde yer aldığı Küçük Kafkas bloğunda genel olarak güneyden kuzeye doğru Erciş (1945 Erciş Depremi) ile Çaldıran fayları (1976 Çaldıran depremi) ve Balık Gölü Fay Zonu olup bunlar KB doğrultu sağ yanal faylardır. Bu sağ yanal makaslamanın önemli bileşenlerinden biri de sol yanal Zilan Fayı'dır. Zilan Fayı boyunca termal suların KD-GB doğrultusunda Erciş ilçesinden Diyadin'e kadar uzanan Zilan-Ilıca vadisi boyunca yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla birlikte çizgisel olarak net takip edilebilen bu süreksizlik boyunca travertenlerin oluşumlarına devam etmesi de Zilan Fayı'nın alanın deformasyonunda etkin olduğunun belirteci durumundadır. Zilan Fayı muhtemelen bölgedeki etkin tektonik süreksizliklerden biridir. Fay güneybatı kesimlerinde Erciş Fayı tarafından kesilip ötelenmektedir.

Van Gölü Havzası'nın kuzey kesimleri baskın olarak sağ yanal doğrultu atımlı fayların (örneğin Erciş, Çaldıran, Tutak fayları) kontrolü altındadır. Sağ yönlü makaslama ile sonuçlanan bir gerilme rejimi kontrolünde gelişen makaslama evrimi içerisinde önce birincil antitetik ve sentetik makaslama (R ve R'), deformasyonun ileri aşamalarında ise ana yer değiştirme zonu (Y) ile ona eşlik eden ikincil antitetik ve sentetik makaslama (P ve X) gelişmektedir (Dresen, 1991). İkincil olarak gelişen X makaslama sol yanal doğrultu atımlı faydır. Van gölü kuzeyindeki sağ yanal makaslama zonunun bir parçası olarak ifade edilen Zilan deformasyon alanını kontrol eden antitetik ve sentetik faylar bulunmaktadır. Zilan Fayı bu deformasyon alanı içerisinde tanımlanan sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Bu durumda Zilan Fayı'nın makaslama zonu içerisine yer alan ikincil antitetik (X) bir faylanma olduğu görülmektedir (Şekil 14). Doğu Anadolu Bölgesi'nde K-G sıkışma sonucu oluşan ve volkanizmayı kontrol eden KKB-KKD arasında değişen doğrultulara sahip açılma çatlakları da yer almaktadır. Zilan Fayı'nın sonradan deformasyona uğramış bir açılma çatlaklığı olması ihtimalide göz önüne alınmıştır. Ancak, vadi boyunca yapılan çalışmalarda farklı fay düzlemlerinin bulunması ve bu fay düzlemleri üzerindeki farklı sapma açıları, Zilan Fayı'nın değişen tektonik rejim ile birlikte yeniden aktive olmuş bir fay olabileceğini (farklı yönlerde gelişmiş fay çizikleri) tanısını daha baskın hale getirmiştir. Bununla birlikte Zilan Vadisinin vadi tabanındaki sıcak su kaynaklarının diğer alandaki sıcak su kaynaklarına göre daha sıcak oluşu bu fayın daha derin uzanımlı bir fay olduğunun kanıtı niteliğindedir. Yine bu sıcak su çıkışlarından en iyi bilinenlerinden olan 65 °C sıcaklığa sahip Hasanabdal Kaynağı ile sıcaklığı 50-70 °C arasında değişen Taşkapı Kaynağı, deformasyonun yoğun olarak gözlemlendiği yerlerde bulunmaktadır.



Şekil 14. A. Doğu Anadolu platosu ve Kafkasya'nın neotektonik ana hatlarını gösteren model (Koçyiğit ve ark., 2001), B. Sağ yanal makaslama zonu içerisinde gelişen Zilan Fayı'nın tektonik modeli.

Sonuç olarak bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesi'nde jeotermal potansiyele sahip alanlardan biri olan Zilan Jeotermal Alanı'nın bulunduğu deformasyon alanı içerisindeki önemli yapısal unsurlardan birinin, KD-GB uzanımlı Zilan Fayı olduğunu ve bölgedeki sağ yanal makaslama boyunca sol yanal fayların da içsel deformasyonda etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi FAP-2019-7859 nolu projeden sağlanan ödenek yardımıyla tamamlanmıştır. Yazar, arazi çalışmalarında verdikleri desteklerden dolayı M. Korhan ERTURAÇ, Harun AYDIN, Özgür KARAOĞLU ve Pınar GUTSUZ'a, bilimsel değerlendirmelerinden dolayı Bora UZEL'e teşekkür eder.

Kaynakça

- Allen M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H., & Jones, S. J. (2011). Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia—Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International*, 184(2), 555-574. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., & Tekin, Z. (2005). *Jeotermal Kaynaklar Envanteri*. MTA Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201, Ankara, 849s.
- Aksoy, E. (1988). *Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği*. (Doktora tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, Türkiye.
- Ateş, S., Mutlu, G., Özerk, O. C., Çiçek, I., Gülmez, F. A., Üstün, A. B., & Aksoy, A. (2007). Van province urbanization areas earth science data. *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, 10961, 1-45.
- Ateş, Ö., & Özden, S. (2021). Jeotermal sistemlerdeki aktif tektonik kaynaklı bazı hidrojeokimyasal değişiklikler: Muğla Bölgesi örneği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 8, 1-14. doi: 10.38065/euroasiaorg.425
- Aydın, H., Mutlu, H., & Kazancı, A. (2013, Mayıs). *Çaldıran (Van) jeotermal sahasının hidrojeokimyasal özellikleri*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir, Türkiye.

- Aydın, H., Karakuş, H., & Mutlu, H. (2020). Hydrogeochemistry of geothermal waters in eastern Turkey: Geochemical and isotopic constraints on water-rock interaction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 390, 106708. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2019.106708
- Baba, A., Yiğitbaş, E., & Ertekin, C. (2010, Nisan). *Hydrogeochemistry of geothermal resources of eastern part of turkey: a case study, varto region*. World Geothermal Congress, Bali, Indonesia.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia – A young collision zone. *Geological Society Special Publication*, 1(36), 342-363. doi:10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01
- Djamour, Y., Andrnant, P., Nankali, H. R., & Tavakoli, F. (2011). NW Iran-Eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 27-34. doi: 10.1016/j.epsl.2011.04.029
- Dresen, G. (1991). Stress distribution and the orientation of Riedel shears. *Tectonophysics*, 188, 239-247. doi:10.3906/yer-0910-27
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Olgun, Ş., & Elmacı, H. (2012). *1:250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritaları serisi, Van (NJ38-5) Paftası, Seri No:52*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J., Natsu, K., & Tokel, S. (1990). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkaniklerine ilişkin yeni Jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110, 143-164.
- Ertürk, İ. (2002). Van-Erciş-Taşkapa (Şorköy) ZG-2 ve ZG-3 sıcak su sondajları kuyu bitirme raporu: Maden Tetkik ve Arama Derleme Raporu, No:10589, 27s.
- Faulds, J. E., Bouchot, V., Moeck, I., & Oguz, K. (2009). Structural controls on geothermal systems in western Turkey: A preliminary report. *Geothermal Resources Council Transactions*, 33, 375-382.
- Faulds, J., Coolbaugh, M., Bouchot, V., Moek, I., & Oguz, K. (2010, Nisan). *Characterizing structural controls of geothermal reservoirs in the Great Basin, USA, and Western Turkey: developing successful exploration strategies in extended terranes*. World Geothermal Congress, Bali, Indonesia.
- Faulds, J. E., Coolbaugh, M. F., Hinz, N. H., Cashman, P. H., Kratt, C., Dering, G., Edwards, J., Mayhew, B., & McLachlan, H. (2011). Assessment of favorable structural settings of geothermal systems in the Great Basin, western USA: *Geothermal Resources Council Transactions*, 35, 777-784.
- Faulds, J. E., & Hinz, N. H. (2015, Nisan). *Favorable tectonic and structural settings of geothermal systems in the Great Basin region, western USA, Proxies for discovering blind geothermal systems*. World Geothermal Congress, Melbourne, Australia.
- Fırat Ersoy, A. & Çalik Sönmez, S. (2014). Hydrogeochemical and isotopic characteristics of the Ilica geothermal system (Erzurum, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 72, 4451–4462. doi.org/10.1007/s12665-014-3345-z
- Görür, N., Çağatay, M., Zabcı, C., Sakınç, M., Akkök, R., Hande, Ş., & Örcen, S. (2015). The late quaternary tectono-stratigraphic evolution of the Lake Van, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 1-46. doi: 10.19111/bmre.75031
- Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1987, Nisan). *Doğu Anadolu'da Kuvaterner Volkanizması ve Jeotermal Enerji Açısından Önemi*. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 371–383.
- Hacıoğlu, Ö., Başokur, A. T., Diner, Ç., Meqbel, N., Arslan, H. İ., & Oğuz, K. (2020). The effect of active extensional tectonics on the structural controls and heat transport mechanism in the Menderes massif geothermal province: Inferred from three-dimensional electrical resistivity structure of the Kurşunlu geothermal field (Gediz Graben, western Anatolia). *Geothermics*, 85, 101-118. doi: 10.1016/j.geothermics.2019.07.006
- Temizel, E. H., & Gültekin, F. (2018). Hydrochemical, isotopic, and reservoir characterization of the Pasinler (Erzurum) geothermal field, eastern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 3. doi:10.1007/s12517-017-3349-6
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., & Villari, L. (1976). Evolution of volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian Plates (Lake

- Van, Eastern Turkey). *Journal Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103–112. doi:10.1016/0377-0273(76)90001-9
- Karamandereci, İ. H., Can, A. R., Coşkun, B., Güner, A., Çağlar, F., Polat, Z., Tarakçıoğlu, H., & Yıldırım, T. (1984). *Zilan deresi (Van- Erciş) Jeolojisi ve Jeotermal enerji olanakları*. M. T. A. Raporu, No: 7793, Ankara.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkoglu, M., Köse, O., & Froger, J. F. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal Earth Sciences*, 14, 123-143.
- Keskin, M., Lebedev, V., Sharkov, E., Oyan, V., & Ünal, E. (2010). *A new look at the collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey: Volcanic history of the Northern-Van neovolcanic province*. EGU General Assembly Conference, Vienna, Austria.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195. doi:10.1080/0985311.2001.11432443
- Lebedev, V., Sharkov, E., Keskin, M., & Oyan, V. (2010). Geochronology of Late Cenozoic volcanism in the area of Van Lake, Turkey: An example of development dynamics for magmatic processes, *Doklady. Earth Sciences*, 432, 1031-1037. doi:10.1134/S1028334X1008009X
- Moeck, I. S. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867-882. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.032
- MTA. (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynak Envanteri*, Maden Tetkik Arama Raporu, Rapor No: 3372, Ankara.
- MTA. (2019). Türkiye jeotermal enerji potansiyeli ve arama çalışmaları. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, Erişim tarihi: 21.12.2020.
- Mutlu, H., & Aydın, H. (2010). *Diyadin (Ağrı) jeotermal sahasının hidrojeokimyasal etüt raporu* JEOMAR Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş., 56 s.
- Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D. R., Aydın, H., & Halldórsson S. A. (2012). Spatial variations in gas and stable isotope compositions of thermal fluids around Lake Van: implications for crust–mantle dynamics in eastern Turkey. *Chemical Geology*, 3, 18. doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.01.026
- Mutlu, H., Aydın, H., & Kazancı, A. (2013, Nisan). *Diyadin Ağrı jeotermal sahasına yönelik jeokimyasal ve izotopik bulgular*. 11. Ulusal Tesistat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir, Türkiye.
- Okay, A. I., Zattin, M., & Cavazza, W. (2010). Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geology*, 38, 35-38. doi:10.1130/G30234.1
- Okuldaş, C., & Üner, S. (2013, Nisan). *Alaköy Fayı'nın Jeomorfolojik Özellikleri*. 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Oyan, V. (2011). *Vocanostratigraphy, petrology and magmatic evolution of the etrusk volcano and surrounding areas (North of Lake Van, Turkey)*. (Doktora Tezi) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V. A., Chugaev, A. V., & Sharkov, E. V. (2016). Magmatic evolution of the early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian collision zone, Turkey. *Lithos*, 256, 88-108. doi: 10.1016/j.lithos.2016.03.017
- Ölmez, E., & Güner, A. (1989). *Van-Erciş-Zilan Gradyan Sondajı (ZG-1) kuyu bitirme raporu: Maden Tetkik ve Arama Derleme Raporu*, Rapor No: 8724, 10 s., Ankara.
- Özdemir, Y., Blundy, J., & Güleç, N. (2011). The importance of fractional crystallization and magma mixing in controlling chemical differentiation at Süphan stratovolcano, eastern Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 573-597. doi:10.1007/s00410-011-0613-8
- Özdemir, Y., & Güleç, N. (2014). Geological and geochemical evolution of the Quaternary Süphan Stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere–asthenosphere interaction in post-collisional volcanism. *Journal of Petrology*, 55, 37-62. doi:10.1093/petrology/egt060
- Pasvanoğlu, S. (2014). Geochemistry of thermal waters in Eastern Anatolia: a case study of Diyadin (Ağrı) and Erciş-Zilan (Van). In A. Baba, J. Bundschuh, D. Chandrasekharam (Eds.), *Geothermal systems and energy resources: Turkey and Greece*. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN:9781138001091

- Pasvanoğlu, S. (2020). Geochemistry and conceptual model of thermal waters from Erciş – Zilan Valley, Eastern Turkey. *Geothermics*, 86, 101803. doi:10.1016/j.geothermics.2020.101803
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., & Mitchell, J. G. (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229. doi:10.1016/0377-0273(90)90018-B
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., & Stepanyan, R. (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), B05411. doi:10.1029/2005JB004051
- Sağlam-Selçuk, A., Erturaç, M. K., & Nomade S. (2016). Geology of the Caldiran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behavior. *Tectonophysics*, 680, 155-173. doi: 10.1016/j.tecto.2016.05.019
- Sağlam Selçuk, A., & Kul, A. Ö. (2021). Long-term slip rate estimation for Erciş Fault in East Anatolian Compressive Tectonic Block from geologic and geomorphologic field evidence. *Geological Journal*, 56, 5290-5310. doi:10.1002/gj.4237
- Siler, D. L., Faulds, J. E., & Hinz, N. H. (2015, Nisan). *Regional and local geothermal potential evaluation: examples from the Great Basin, USA, Iceland and East Africa*. World Geothermal Congress, Melbourne, Australia.
- Şaroğlu, F. (1985) *Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi*. (Doktora tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şaroğlu, F., & Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tektik ve Arama Dergisi*, 107, 73-94.
- Şener, M. F. (2018). Akhüyük (Konya) jeotermal alanındaki hidrotermal akışkan dolaşımı ve traverten oluşum mekanizması, Orta Anadolu, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61, 193-206.
- Şengör, A. M. C., & Kidd, W. S. F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376. doi:10.1016/0040-191(79)90184-7
- Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. doi:10.1016/0040-1951(81)90275-4
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In K. T. Biddle & N. Christie-Blick (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation* (pp. 227-264). SEPM Society for Sedimentary.
- Şengör, A. M. C., Özeren M. S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A. D., & Kayan, İ. (2008). Eastern Turkish high plateau as a small Turkic - type orogen: Implications for post - collisional crust-forming processes in Turkic - type orogens. *Earth- Science Reviews*, 90, 1-48. doi: 10.1016/j.earscirev.2008.05.002
- Uzelli, T., Şener M. F., Dölek, İ., Baba, A., Sözbilir, H., & Dirik, R. (2021). Structural controls and hydrogeochemical properties of geothermal fields in the Varto region, East Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 1076-1095.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., & Üner, T. (2010). Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri*, 31(1), 53-66.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., & Güner, Y. (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199. doi:10.1016/0040-1951(87)90256-3