

Mustafa ARIKAN

Dr. Öğr. Üyesi | Assist. Prof
Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ağrı-TÜRKİYE
Ağrı İbrahim Çeçen University, Faculty of Science and Letters, Department of Geography, Ağrı-TURKIYE
ORCID: 0000-0002-1929-629X
marikan@agri.edu.tr

Kenan DOĞAN

Yüksek Lisans Öğrencisi | Master's Student
Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Ağrı, TÜRKİYE
Ağrı İbrahim Çeçen University, Graduate Education Institute, Department of Geography, Ağrı- TURKIYE
ORCID: 0009-0002-9820-9517
kenan2001cg@gmail.com

Yukarı Munzur Havzası'nda (Tunceli) Ovacık Fay Zonu'nun Alt Havza Morfometrileri Üzerine Etkisi

Öz

Bu çalışma, Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun kuzeydoğu kesimini oluşturan Ovacık Fay Zonu'nun çevre akarsu havzaları üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Ovacık Fayı, Mercan Dağları ile Ovacık düzlüğü arasında, Erzincan'dan Arapgir'e kadar, yaklaşık 140 km boyunca uzanmaktadır. Fay zonu, gerisindeki dağ cephesi ile önündeki ova arasında belirgin bir topografik çizgisellik oluşturmaktadır. Bu çizgisellik, düşük sinüselliğe gösteren dağ cephesi morfolojisiyle dikkati çekmektedir. Fay boyunca görülen akarsu ötelenmeleri, bir hat boyunca sıralı dizilmiş birikinti konileri ve yelpazeleri, bu birikinti şekillerinde ötelenmeler, fay diklikleri ve bu fay diklikleri gerisinde yer alan drenaj kanallarında kadeh yapıları gibi jeomorfolojik oluşumlar, sahanın aktif tektonik süreçlerce şekillendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Ovacık Fayı ve ona paralel konumlanmış tali faylar topografyada çizgisellikler meydana getirerek sahadaki fay etkinliğini artırmıştır. Daha önceki araştırmalarda düşük hızda tektonik aktiviteyi işaret eden bulgulara rağmen, bu çalışmada El Hamdouni et al. (2008) tarafından geliştirilen Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT) kullanılmış ve bu yöntemin sınıflamasına göre çalışılan havzalarda yüksek ve çok yüksek tektonik aktiviteyi işaret eden 1,3-1,6 aralığında değişen indeks değerleri elde edilmiştir. Bu indeks tektonik etkilere duyarlı Hipsometrik İntegral (HI), Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi (SL), Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf), Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf), Havza Asimetrisi (AF) ve Havza Şekil İndeksi (Bs) analizlerinin birlikte eşit ağırlıklı olarak değerlendirilmesiyle hesaplanmaktadır. Çalışma bulguları, Ovacık Fay Zonu'nun sahadaki jeomorfolojik ve hidrografik unsurlar üzerindeki etkinliğinin sürekliliğine ve yüzey deformasyonu üzerindeki etkisinin belirgin olduğuna işaret etmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın yerel tektonik evrimin yüzey deformasyonu üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ovacık fayı, Morfometri, Rölatif tektonik aktivite indeksi, Jeomorfoloji.

The Effect of the Ovacık Fault Zone on Sub-Basin Morphometry in the Upper Munzur Basin (Tunceli)

Abstract

This study investigates the impact of the Ovacık Fault Zone, forming the northeastern segment of the Malatya-Ovacık Fault Zone, on the surrounding fluvial basins. Extending approximately 140 km from Erzincan to Arapgir, the Ovacık Fault lies between the Mercan Mountains and the Ovacık Plain, producing a distinct topographic lineation between the mountain front and the adjacent lowland. This linearity is marked by a mountain front with low sinuosity, indicative of tectonic control. Geomorphic features such as stream offsets, systematically aligned alluvial fans and cones, displaced depositional forms, fault scarps, and bowl-shaped drainage structures behind these scarps collectively suggest active tectonic processes shaping the landscape. Furthermore, the presence of secondary faults parallel to the Ovacık Fault has intensified fault-related lineaments in the region. Despite findings from previous studies indicating low-rate tectonic activity, the Relative Tectonic Activity Index (IRAT) developed by El Hamdouni et al. (2008) was employed in this study. According to the classification of this method, index values ranging between 1.3 and 1.6, indicating high to very high tectonic activity, were obtained for the studied basins. This index is calculated through the equal-weighted

combined evaluation of analyses sensitive to tectonic influences, including the Hypsometric Integral (HI), Stream Length–Gradient Index (SL), Valley Floor Width–to–Valley Height Ratio (Vf), Mountain Front Sinuosity (Smf), Basin Asymmetry (AF), and Basin Shape Index (Bs). The study findings indicate the continuity of the activity of the Ovacık Fault Zone on geomorphological and hydrographic elements in the study area and its pronounced influence on surface deformation. In this context, the study is considered to contribute to understanding the effects of local tectonic evolution on surface deformation.

Keywords: Ovacık fault, Morphometry, Relative tectonic activity index, Geomorphic.

1. Giriş

Aktif tektonik hareketler, zamanla yeryüzünde deformasyona bağlı tektonik yapıların ve yerçekillerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu hareketlere özellikle akarsu drenaj havzalarının tepkileri dikkat çekicidir. Akarsu havzalarında meydana gelen bu etkiyi anlamak ve nicel olarak değerlendirmek amacıyla morfometri çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle aktif fay zonları boyunca gelişen genç tektonik hareketler, akarsu havzalarının yönelimlerini, havza asimetrisini, vadilerin derinliğini, akarsu yatağının boyuna profilini ve topoğrafyanın genel yapısını doğrudan etkilemektedir.

Ovacık Fayı, Doğu Anadolu'nun önemli Neotektonik unsurlarından biri olup, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile Doğu Anadolu Fayı (DAF) arasında konumlanmakta ve Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ)'nin bir bölümünü oluşturmaktadır. MOFZ yaklaşık 240 km uzunluğunda KD-GB yönlü, sol yanal doğrultu atımlı aktif bir tektonik yapı olup, yaklaşık yıllık 1-2 mm kayma hızına sahiptir (Kaymakçı et al., 2006; Sançar et al., 2019).

MOFZ'nin kuzeyinde ülkemizin önemli tektonik yapılardan biri Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) yer alır. Yaklaşık 1500 km uzunluğunda olan bu fay, doğuda Karlıova'dan başlayıp batıda Saros Körfezi'ne kadar uzanmaktadır (Yavaşoğlu et al., 2010). KAFZ, sağ yanal doğrultu atımlı bir fay kuşağı olup, Karadeniz ve Anadolu plakaları arasındaki göreceli hareketi sağlamaktadır (Şengör, 1979). Öte yandan, Ovacık Fayı'nın güneydoğusunda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Türkiye'nin diğer önemli tektonik yapılarından biridir. DAFZ, sol yanal doğrultu atımlı bir fay sistemi olup, Karlıova'dan Antakya'ya kadar yaklaşık 580 km uzunluğunda, Arap ve Anadolu plakaları arasındaki yanal hareketi sağlamaktadır (Duman & Emre, 2013). MOFZ'nin tektonik etkinliğini doğrudan değerlendirmeye yönelik paleosismolojik, jeolojik ve bölgesel ölçekte jeodezik çalışmalar da mevcut olup, bu araştırmalar fay zonunun kayma hızı, deprem tekrar aralıkları ve yüzey deformasyon karakterine ilişkin önemli veriler sunmaktadır (Reilinger et al., 2006; Zabcı et al., 2017; 2023; Sançar et al., 2019; Acarel et al., 2019).

Böylesine önemli tektonik kuşaklar arasında yer alan Ovacık Fayı'nın görece aktivitesi bu çalışmada morfometrik indislerle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Fay zonundaki tektonik aktivitenin havza morfometrisine etkisi ve bu etkinin ifade ettiği görece tektonik aktivitenin düzeyi çalışmanın temel araştırma konularını oluşturmaktadır. Bu yaklaşımla ülkemizde ve dünyada çok sayıda çalışma yapılmıştır (Keller and Pinter, 1996; 2002; El Hamdouni et al., 2008; Selçuk and Düzgün, 2017; Topal, 2019; Zabcı, 2020; Gürgöze, 2020; Arıkan, 2020; Akyüz vd., 2021; Arıkan ve Ertek, 2021; Esen ve Tombul, 2022; Dikbaş, 2023; Darıcı ve Bayrakdar, 2024; Gürgöze ve Uzun, 2025).

Ovacık Fay Zonu ve yakın çevresinde de morfometrik yöntemleri kullanan çalışmalar mevcut olup, bu araştırmalarda fay zonu boyunca gelişen morfolojik ve hidrografik tepkiler farklı yaklaşımlarla değerlendirilmiştir (Yazıcı, 2018; Yazıcı et al., 2018). Yine Ovacık Fay Zonu ile aynı bölgesel tektonik sistem içerisinde bulunan Malatya Fayı ve çevresi özelinde Zabcı (2020) tarafından yapılan morfometri temelli bir araştırmada sahadaki doğrultu atımlı fayların yüzey deformasyonu üzerindeki etkileri nicel olarak ortaya konulmuştur. Söz konusu çalışmalar bölgenin morfotektonik özelliklerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır.

Bu çalışma, önceki araştırmalardan farklı olarak Ovacık Fay Zonu'nun yalnızca Yukarı Munzur Havzası'ndaki drenaj sistemlerini esas almakta; farklı morfometrik indislerin hem birlikte

hem de ayrı ayrı değerlendirilmesini öngören analitik bir çerçeve içerisinde tekil ve bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım, El Hamdouni et al., (2008) tarafından literatüre kazandırılan Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT)'dir. Bu yönüyle bu çalışma, Ovacık Fay Zonu'nun Yukarı Munzur Havzası'ndaki drenaj havzalarında tektonik etkinliğin morfolojiye yansımalarını IRAT yaklaşımı çerçevesinde analiz ederek elde edilen sonuçların önceki jeolojik, paleosismolojik ve bölgesel jeodezik çalışmalarla ne ölçüde benzerlik veya farklılık gösterdiği sorusuna yanıt aramaktadır.

1.1. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı Tunceli ilinin Ovacık ilçe merkezi ve çevresinde Ovacık Fayı'nın etkisinde olan akarsu havzalarını kapsamaktadır. Ovacık çevresi, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde yer alır. Saha tektonik ve morfolojik açıdan oldukça dinamik yapıya sahiptir. Bu alan, Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF) gibi önemli tektonik yapılarla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olup, aktif fay zonları ve karmaşık stratigrafik özellikler barındırmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2).

Önemli fay zonları arasında kalan ancak aletsel dönemde yıkıcı depremlerin görülmediği çalışma sahası ve çevresi Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD, 2019) tarafından yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası verilerine göre yüksek tehlikeye sahip yerler arasında olup, sahada öngörülen maksimum yer ivmesi (PGA) yaklaşık 0,400 g düzeyindedir.

Bölgenin morfolojisini büyük ölçüde KD-GB uzanışlı Mercan Dağları belirlemektedir. Çalışma alanında 3300 metrelere kadar yükselen bu dağların, doğuda Avcı Dağları'na yaklaştıkça, yükseltisi artar (3463 m). Dağların güney eteklerine inen akarsular gelişmiş bir drenaj ağı meydana getirerek bölgenin hidrolojik yapısını şekillendirmiştir. Bu akarsuların Ovacık düzlüğünde birleşmesi ile meydana gelen Munzur Çayı sahadaki ana akarsuyu oluşturmakta ve Ovacık düzlüğünde GB-KD istikametinde akarak Fırat Nehri'nin önemli kollarından birini oluşturmaktadır (Foto 1). Bu kesimde Ovacık düzlüğü D-B doğrultusunda geniş bir ova görünümü sunar. Sahanın litolojik özelliklerine bağlı olarak karstik süreçlerin de etkisiyle Munzur Dağları'nda lapy, dolin, mağara ve traverten gibi oluşumlar ve derin yarılmış kanyon vadiler gözlenmektedir.

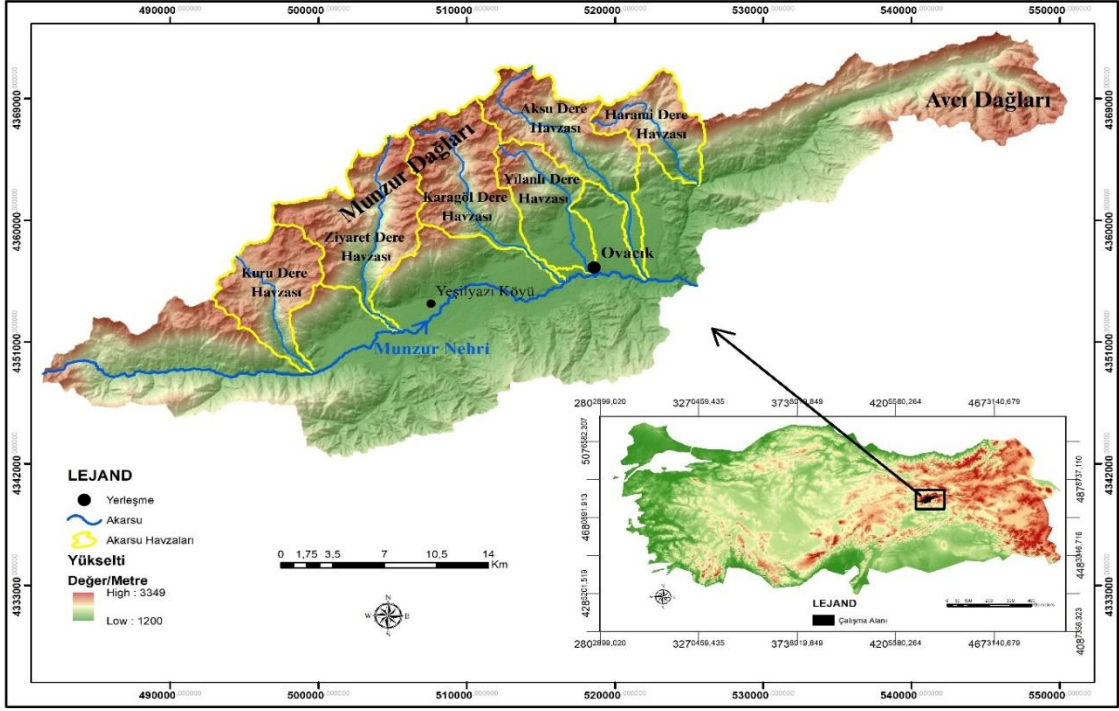
Foto 1

Ovacık Ovası, Ovacık D-B İstikametinde Boylayan Munzur Çayı, Ova Gerisinde Mercan Dağları ve Ovacık Fayı



Şekil 1

Ovacık Fayı Çevresindeki Akarsu Havzalarının Lokasyon Haritası



1.2. Çalışma Alanının Litolojik ve Tektonik Özellikleri

Çalışma alanında Paleozoik'ten Kuvaterner'e farklı yaş ve kökene ait litolojik birimler yüzeylenmektedir. Kuzeyde Mercan Dağları çevresinde en geniş alanı Mesozoyik kireçtaşları kaplar, doğu kesimlerinde yer yer Paleozoik peridotitik kayalar yüzeylenir. Ovacık Ovası ve Munzur Nehri boyunca Kuvaterner alüvyonlar ile dağ cephesinden ovaya geçişte yamaç molozları yaygındır. Güneyde Paleozoik'ten Miyosen'e değişen yaşlarda volkanik, volkanosedimanter ve karbonatlı kayalar izlenir. Ovacık Fayı batı ve orta kesimlerde çoğunlukla Kuvaterner birimleri keserken, doğuda Paleozoik peridotitler, Mesozoyik karbonatlar ile Kuvaterner alüvyon ve yamaç molozlarını kesmektedir (Tarhan, 2008a; 2008b; Foto 2).

Foto 2

Çalışma Alanında Başlıca Litolojiler: Mercan Dağları Mesozoyik Kireçtaşları (Sol), Munzur Çayı Kuvaterner Alüvyonları (Orta), Yamaç Molozları (Sağ)



Ovacık ve çevresindeki yüzey şekilleri büyük ölçüde tektonik hareketler tarafından belirlenmiştir. Fayların oluşturduğu fay diklikleri ve bunların önünde sıralanan birikinti koni ve yelpazeleri dikkat çeker. Ayrıca alüvyal birikintilerde ve akarsularda görülen ötelenmeler, topografyada faya bağlı çizgisel hatlar oluşturur. Özellikle ova ile dağlık alan geçişindeki düşük sinüziteli dağ cephesi ve yamaçlardaki küçük vadilerde gelişen kadeh yapıları, tektonik morfolojinin belirgin unsurlarındandır. Munzur, Pülümür ve diğer birçok akarsu, bu tektonik süreçlerin etkisiyle derin vadiler oluşturmuşlardır. Tüm bu göstergeler, Ovacık çevresinin aktif bir tektonik süreçlerle şekillendiğini, jeomorfolojik ve hidrografik özelliklerinin büyük ölçüde bu süreçlerin etkisiyle meydana geldiğini göstermektedir.

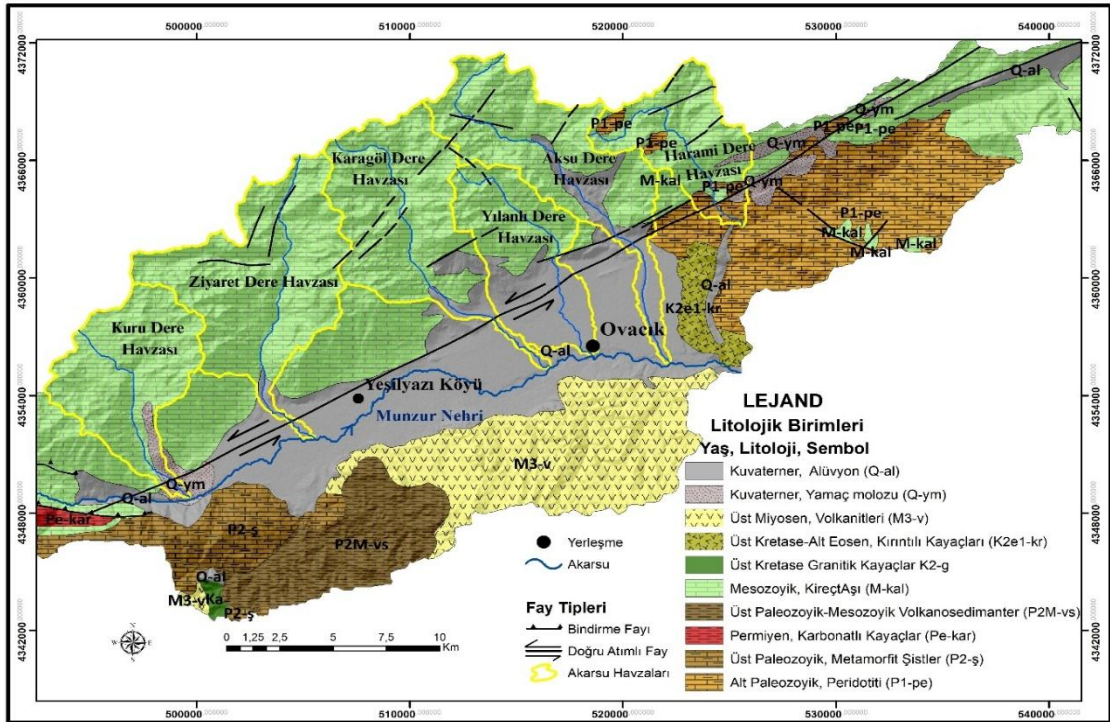
1.2.1. Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ)

Malatya–Ovacık Fay Zonu yaklaşık 240 km uzunluğunda, KD–GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı bir yapıdır (Westaway and Arger, 2001; Sevimli ve Ünlüoğlu, 2022). Bu zon, Erzincan yakınlarından başlayıp Arapgir–Malatya üzerinden Malatya Havzası tabanına uzanmakta ve Ovacık ile Malatya faylarını içermektedir (Acarel et al., 2019). Erzincan'dan sonra KAF'dan ayrılarak KD–GB doğrultusunda yaklaşık 140 km devam eder ve Arapgir yakınlarında güneye, Malatya'ya yönelir. Arapgir'den sonra yaklaşık 100 km K–G doğrultusunda ilerleyerek Doğanşehir yakınlarında DAF ile birleşir (Aksoy, 1996; Görür ve Zabcı, 2015; Uysal vd., 2025).

MOFZ, yaklaşık 5–3 My (geç Miyosen–Pliyosen) arasında aktif olmuş ve Anadolu–Arap levhaları arasında yaklaşık 29 km sol yönlü atım biriktirmiştir (Westaway and Arger, 2001). Bu dönemde doğrudan bir levha sınırı olarak çalışmıştır (Sançar et al., 2019). Yaklaşık 3 My önce MOFZ'nun görevini Doğu Anadolu Fay Zonu üstlenmiştir (Westaway et al., 2008). Tohma Çayı taraçasının sol yönlü ötelenmesi kozmojenik yaşlandırmayla analiz edilmiş, 1,4 My içinde yatay atım hızı 1,0–1,12 mm/y, aynı kesitte dikey yükselme oranı ortalama 96 ± 11 m/My olarak belirlenmiştir (Sançar et al., 2020). MOFZ tek bir fay sistemi değil, Ovacık ve Malatya fay zonları olarak tanımlanmıştır (Aksoy, 1996; Kaymakçı et al., 2006).

Şekil 2

Ovacık Fayı Çevresindeki Sabanın Litolojik ve Tektonik Unsurlar Haritası



Malatya Fayı'nda Sançar et al. (2019) tarafından yapılan paleosismolojik araştırmalara göre son büyük depremin MÖ 965 ile 549 arasında meydana geldiği belirlenmiş ve son 10 bin yılda dört paleo-deprem kanıtından 2275 ± 605 yıllık bir tekrarlamaya aralığı hesaplanmıştır. Son dönemlerde (2011–2019), Malatya Fayı altındaki sismik ağ analizleri; odak mekanizmaları ve gerilme yönelimleri MOFZ'nin hâlâ aktif bir tektonik yapı olduğunu göstermektedir (Sançar et al., 2019). Bu sismolojik ve paleosismolojik bulgular Malatya–Ovacık Fay Zonu'nun bölgesel tektonik çerçeve içerisindeki önemini ortaya koyan destekleyici veriler olarak değerlendirilebilir.

1.2.2. Ovacık Fayı

Ovacık Fayı, Erzincan çek-ayır havzasının doğusundan ayrılarak güneybatı yönünde Ovacık'a ve oradan Malatya Fayı'na kadar devam eder (Gülkan et al., 1993; Görür ve Zabcı, 2015). Fayın akarsu vadilerinde ve formasyon sınırlarında meydana getirdiği ötelenmeler, sol yönlü doğrultu atımlı bir sistem olduğunu gösterir (Aksoy, 1996; Foto 3; Foto 4). Fayın batı kesimde kırıklar birden fazla kola ayrılırken, doğuda tek kolla taşındığı, fayın batı kesimindeki Karasu Nehri'nde yaklaşık 14,5 km ötelenme yaptığı belirtilmektedir (Yazıcı, 2018). Ovacık Fay Zonu'nun akarsu vadilerinde maksimum sol yönlü ötelenmesi Kaymakçı et al., (2006) tarafından yaklaşık 20 km olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, bu segmentte tarihi dönemlerde (MÖ 50'den sonra) yüzey kırığı meydana geldiğine dair bulgular mevcuttur. Paleosismolojik incelemelere göre son 7.000 yıl içinde 3 ayrı deprem belgelenmiş ve ortalama tekrar periyodu 2.400 ± 765 yıl olarak hesaplanmıştır (Sançar et al., 2019; Acarel et al., 2019; Sançar, 2023).

Foto 3

Ovacık kuzeyinde Yılanlı Dere–Aksu Dere Arasındaki Fay Dikliği ve Ovaya Geçiş



Foto 4

Mercan Dağları Mesozoyik Kireçtaşları ile Yılanlı Dere Kuvaterner Alüvyal Yelpeze Çökelleri Sınırlında Meydana Gelen Sol Yönlü Ötelenmeler ve Ovacık Fayı



2. Veri ve Yöntem

Ovacık Fay Zonu'nun Yukarı Munzur Havzası'ndaki drenaj havzaları üzerinde görece tektonik etkinliğinin nicel olarak değerlendirilmesini amaçlayan bu çalışmada, tektonik aktiviteye duyarlı morfolojik indisler kullanılarak havza ölçeğinde tekil analizler yapılmış ve bunların birlikte değerlendirilmesine dayanan Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT) yaklaşımı uygulanmıştır.

Munzur Çayı'nın yukarı kesiminde Aksu Dere, Yılanlı Dere, Karagöl Dere, Ziyaret Dere, Harami Dere ve Kuru Dere olmak üzere 6 adet drenaj havzasının tektonik morfolojik analizleri yapılmış, havzaların sınırlarının tespitinde ve morfolojik analizlerde 12,5 metre çözünürlüklü ALOS PALSAR DEM verisi kullanılmıştır. Benzer mekânsal ölçeklerde yürütülen morfolojik çalışmalarda DEM verileri, 10 m çözünürlüklü (Gürgöze ve Uzun, 2025), 15 m çözünürlüklü (Zabcı, 2020), 12 m çözünürlüklü (Yazıcı, 2018) ve 30 m çözünürlüklü (Kılıç vd., 2022; Arıkan ve Ertek, 2021) olarak kullanıldığı görülmektedir. Drenaj havzası sınırları, 12,5 m çözünürlüklü ALOS PALSAR DEM verisi kullanılarak ArcGIS 10.8 yazılımının Hydrology araçları yardımıyla belirlenmiştir. Bu kapsamda akış yönü (Flow Direction) ve akış birikimi (Flow Accumulation) analizleri uygulanmış, uygun eşik alan değeri tanımlanarak havza delineasyonu (Watershed) gerçekleştirilmiş, elde edilen havza sınırları topografik haritalar ve mevcut akarsu ağı ile karşılaştırılarak manuel olarak kontrol edilmiştir.

Genel olarak havza morfolojileri üzerindeki etkisi bilindiğinden, zeminin litolojik ve tektonik özelliklerine ait haritalardan da yararlanılmıştır. Bu maksatla jeoloji haritasının yapımında MTA'nın 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritalarının J-42 ve J-43 paftalarından yararlanılmış, sahanın bölgesel ölçekte jeolojik ve tektonik özelliklerinin incelenmesinde ise Türkiye jeoloji haritalarının 1/500.000 ölçekli Erzurum Paftası kullanılmıştır.

Sahadaki tektonik aktivitenin değerlendirilmesi amacıyla Hipsometrik İntegral (HI), Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf), Havza Şekil İndeksi (Bs), Havza Asimetrisi (Af), Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf), Akarsu Uzunluk - Gradyan İndeksi (SL) ve Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT) uygulanmıştır. Elde edilen bulguların birlikte değerlendirilmesiyle havzaların görece

tektonik aktivite düzeyleri belirlenmiştir. Analizlerin hazırlanmasında Arc Map 10.8, ArcView 3.2 ve Microsoft Excel yazılımlarından faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar önceki araştırmalarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2.1. Hipsometrik İntegral ve Hipsometrik Eğri (HI-HE)

Belirli bir bölgedeki yükselti seviyelerinin dağılımını anlamak için hipsometrik eğri kullanılır. Bu eğri, yükselti ile alan arasındaki bağlantıyı gösterirken, hipsometrik integral ise eğri altında kalan alanın oransal değerini yansıtır (Strahler 1952; Selçuk and Düzgün 2017; Arıkan ve Ertek, 2021; Darıcı ve Bayraktar, 2024). Hipsometrik eğrinin dışbükeyliği havzada aşınımın ivme kazandığı (genleşme) bir evrede olduğunu ve dolayısıyla bölgede tektonik aktivitenin etkili olabileceğini işaret eder. Diğer yandan eğrinin içbükey formda olması aşınımın yavaşladığını ve tektonik aktivitenin havza gelişiminde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir (Taloor et al., 2018; Arıkan ve Ertek, 2021; Agrawal et al., 2022).

Hipsometrik İntegral değeri aşağıdaki 1 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$HI = \frac{H \text{ mean} - H \text{ min.}}{H \text{ max.} - H \text{ min.}} \quad (1)$$

Hipsometrik integral, bir havzanın topografik olgunluğunu, erozyon durumunu ve göreceli tektonik aktivitesini gösteren sayısal bir değerdir. HI değeri >0,5 olan alanlar 1. Sınıf aktif tektonik sahaları, 0,4 ile 0,5 arasındaki alanlar 2. Sınıf aktif tektonik sahaları ve HI değeri <0,4 olan alanlar 3. Sınıf (inaktif) sahaları işaret eder (El Hamdouni et al., 2008; Said et al., 2018; Arıkan 2020; Agrawal et al., 2022). Yüzeyin ilk hali 1 (bir) birim değerinde kabul edildiğinde, hipsometrik integral bu birimden günümüze kadar süregelen erozyon süreçleri sonucunda korunabilmiş olan topografik kalıntının oranını temsil eder.

Hipsometrik İntegral ve Hipsometrik Eğri, 12,5 m mekânsal çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR DEM verileri kullanılarak ArcMap 10.8 yazılımı ortamında oluşturulmuş; yükselti kademelerine dayalı analizler sonucunda hesaplanmıştır.

2.2. Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf)

Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf), dağ cephesinin gerçek uzunluğunun L_{mf} ; cephenin düz çizgi uzunluğuna L_s ; oranı olarak hesaplanır (El Hamdouni et al., 2008; Sol, 2017; Arıkan ve Ertek 2021). Düşük Smf değerleri yüksek düzeyde tektonik aktiviteye işaret ederken, yüksek değerler düşük tektonik aktiviteyi gösterir (Wells et al., 1988; El Hamdouni et al., 2008, Özkaymak and Sözbilir, 2012; Arıkan ve Ertek 2021).

$$Smf = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad (2)$$

Smf değerlerinin sınıflandırılmasında araştırmacılar tarafından çok farklı eşik değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada bunlardan El Hamdouni et al. (2008) tarafından yapılan sınıflandırma tercih edilmiştir. Buna göre: 1. Sınıf Smf; <1,1 (Yüksek Düzey Aktivite), 2. Sınıf Smf; 1,1-1,5 (Orta Düzey Aktivite), 3. Sınıf Smf; > 1,5 (Düşük Düzey Aktivite) şeklindedir.

2.3. Havza Şekil İndeksi (Bs)

Bs indeksi havzanın en geniş yerindeki uzaklığın, havzanın kaynaktan ağıza olan mesafesine oranını ifade eder. Genleşmiş ve aktif tektonik etkilere maruz kalan uzun havzalarda Bs değeri yüksekken, daha dairesel ve tektonik olarak hareketsiz havzalarda Bs değeri düşer (Bull and McFadden, 1977; Arıkan ve Ertek, 2021; Yerli vd., 2021).

Bs indeksi aşağıdaki 3 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$Bs = \frac{Bl}{Bw} \quad (3)$$

Bl; havzanın akış yönü boyunca uzanan en büyük doğrusal mesafesini, Bw; bu uzunluğa dik olan doğrultuda ölçülen en geniş uzunluğu ifade eder.

Bu çalışmada; El Hamdouni et al. (2008)'nin Havza Şekil İndeksinin (Bs) tektonik aktivite derecelerine göre yapmış olduğu sınıflandırmadaki eşik değerleri esas alınmıştır. Buna göre: 1. Sınıf; Bs > 4 (Yüksek Düzey Aktivite), 2. Sınıf; Bs = 3- 4 arası (Orta Düzey Aktivite), 3. Sınıf ; Bs < 3 (Düşük Düzey Aktivite) şeklindedir.

2.4.Havza Asimetrisi (Af)

Drenaj havzası asimetrisi (AF), bir ana nehrin akış yönüne göre sağ tarafındaki drenaj alanının toplam havza alanına oranı olarak hesaplanır. 50'den farklı AF değerleri, havzanın asimetrik olduğunu ve muhtemelen tektonik etkiye bağlı olarak belli bir yöne eğimlenmeye maruz kaldığını gösterir. 50' den büyük değerler sağa doğru, 50' den küçük değerler ise sola doğru bir eğimlenmeyi işaret eder (Salvany, 2004; Dar et al., 2013; Matos et al., 2016).

Havza asimetrisi (Af) aşağıdaki 4 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$Af = \frac{Ar}{At} \times 100 \quad (4)$$

Eşitlikte Ar; akarsu ana kolunun sağında kalan drenaj alanını, At; toplam drenaj havzasının alanını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, tektonik etkinlik derecelerinin sınıflandırılmasında El Hamdouni vd. (2008) Asimetri Faktörü (AF) eşik değerlerinden yararlanılmıştır. Buna göre: 1. Sınıf; [AF – 50] > 15 (Yüksek Düzey Aktivite), 2. Sınıf; [AF – 50] = 7 – 15 arası (Orta Düzey Aktivite), 3. Sınıf; [AF – 50] < 7 (Düşük Düzey Aktivite) şeklindedir.

2.5.Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)

Bull & McFadden (1977) tarafından geliştirilen bu indis aktif tektonizmanın vadi yamaçlarındaki etkisini ortaya koymak için vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranını esas alır. Bu analizde, her vadiye ait veriler dağ cephesine belirli bir mesafede yapılan ölçümlerden elde edilir (Keller and Pinter, 2002; Ege ve Duman, 2020; Arıkan ve Ertek, 2021). Vf indeksi hesaplamasında vadi enine profilleri, DEM verisi üzerinden vadi tabanının belirgin olduğu kesimlerde ve her havzada yukarı, orta ve aşağı çığırını temsil edecek şekilde seçilmiştir.

Bu indis aşağıdaki 5 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$Vf = \frac{2Vfw}{[(Eld-Esc)+(Erd-Esc]} \quad (5)$$

Vf indeks bileşenlerinden Vfw; vadi tabanının yatay genişliğini, Eld; sol vadi yamacının yüksekliğini, Erd; sağ vadi yamacının yüksekliğini, Esc; vadi tabanının deniz seviyesine göre mutlak yüksekliğini ifade etmektedir (Arıkan ve Ertek, 2021).

Bu çalışmada, El Hamdouni et al. (2008)'nin Vf indeksi eşik değerleri esas alınmıştır. Buna göre: 1. Sınıf; Vf < 0,5 (Yüksek Düzey Aktivite), 2. Sınıf; Vf = 0,5 – 1 (Orta Düzey Aktivite), 3. Sınıf; Vf > 1 (Düşük Düzey Aktivite) şeklindedir.

2.6.Akarsu Uzunluk - Gradyan İndeksi (SL)

Akarsu Uzunluk - Gradyan İndeksi (SL indeksi), akarsu kanalının boyuna profilindeki değişiklikleri ölçen önemli bir tektonik morfometri indisidir. Bu indis, akarsu boyuna profilindeki eğim ile akarsu uzunluğu arasındaki ilişkiyi inceleyerek, tektonik aktivite, litolojik değişimler ve erozyon süreçleri hakkında bilgi sağlar (Talukdar et al., 2019; Das, 2020).

SL indeksi aşağıdaki 6 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$SL \text{ indeksi} = \frac{Ah}{Al} \times L \quad (6)$$

AL; akarsu boyunca belirli bir segmentin uzunluğunu, AH; bu segmentteki noktaların yükselti farklarını, L ise bu segmentin akarsuyun kaynak noktası ile ağız noktası arasındaki mesafesini tanımlar (Topal, 2019; Arıkan ve Ertek, 2021).

SL indeksi hesaplamasında DEM verisinden üretilen 10 m eküdistanslı izohipsler ile akarsu yatağının kesişim noktaları esas alınarak değerlendirilmiş; bu noktalar arasındaki yükselti farkı ile akarsu uzunluğu ilişkisinden elde edilmiştir. Bu yaklaşım, akarsu boyuna profilindeki eğim kırılmalarının ve olası tektonik kontrolün hassas biçimde belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, aktivite düzeyleri Mahmood and Gloaguen (2012)'in SL İndeks eşik değerleri esas alınarak belirlenmiştir. Buna göre: 1. Sınıf; SL > 535 (Yüksek Düzey Aktivite), 2. Sınıf; SL= 370-534 (Orta Düzey Aktivite), 3. Sınıf; SL < 370 (Düşük Düzey Aktivite) şeklindedir.

2.7. Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT)

Jeomorfometrik parametrelerin tektonik aktivite ile ilişkisini değerlendirmede yararlanılan Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi, El Hamdouni et al. (2008) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Farklı morfometrik göstergelerden elde edilen tektonik aktivite değerlerinin ortalaması temel alınarak hesaplanan bu indeks, tektonizmanın rölatif etkinlik düzeylerini belirlemek amacıyla yeniden sınıflandırılmıştır. Tekil olarak bir morfometrik indisin tektonik aktiviteye duyarlılık performansının çalışma alanına, litolojiye ve jeomorfolojik koşullara bağlı olarak değişebilmesi nedeniyle indislerin farklı ağırlıklarla değerlendirilmesine yönelik tavsiye edilen bir ölçüt bulunmadığından indisler eşit ağırlıklı olarak değerlendirilmiştir. Rölatif Tektonik Aktivite Sınıflaması'nda kullanılan indisler; SL indeksi, Vf İndeksi, Hipsometrik İntegral, Smf Değeri, Bs Oranı ve Af Oranı' dır.

Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi aşağıdaki 7 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$IRAT = \frac{Bs+Af+Sl+Ht+Smf+Vf}{6} \quad (7)$$

Bu sınıflamaya göre; Görelî tektonik aktiviteyi ifade eden IRAT < 1,5 Çok Yüksek Düzeyde Aktivite, IRAT= 1,5–2,0 Yüksek Düzey Aktivite, IRAT= 2,0–2,5 Orta Düzey Aktivite IRAT > 2,5 Düşük Düzey Aktivite veya İnaktif şeklindedir (El Hamdouni et al., 2008).

3. Bulgular

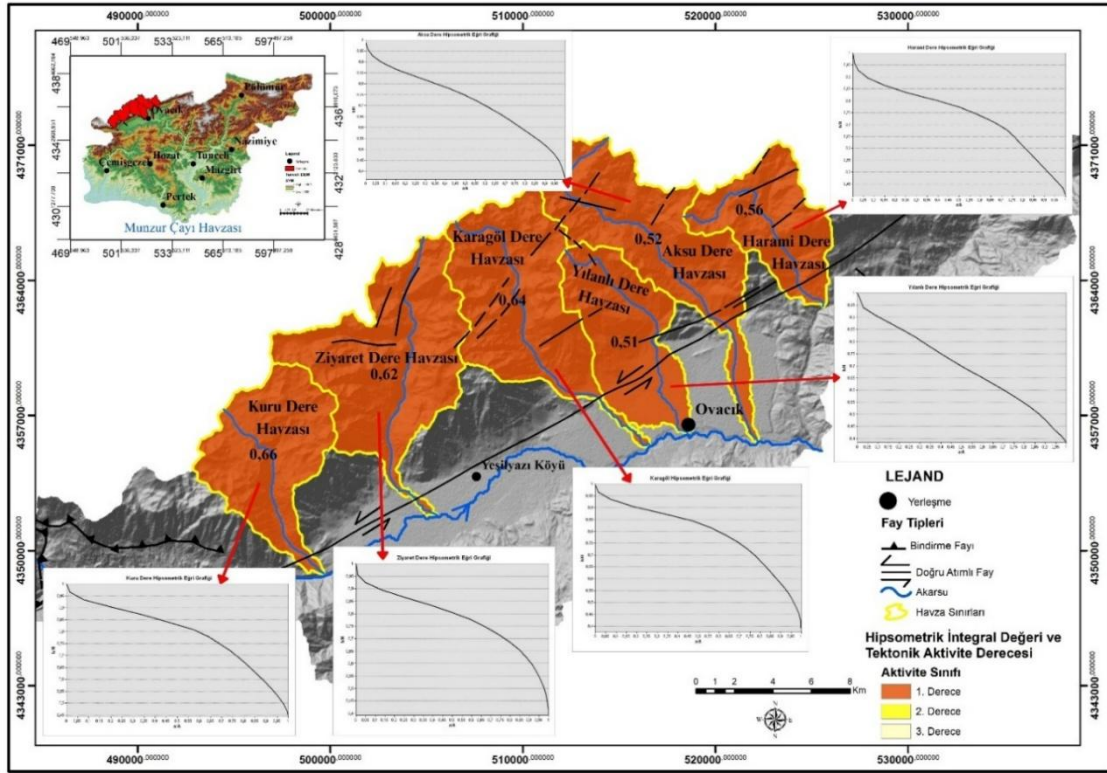
3.1. Hipsometrik İntegral ve Eğri (HI-HE)

Hipsometrik integral değerleri, bir havzanın topoğrafik gençlik düzeyi ve aşınım evresi hakkında bilgi veren dolaylı bir morfometrik göstergedir. Yüksek HI değerleri çoğu zaman tektonik gençleşme ile ilişkilendirilse de iklim koşulları, litolojik direnç ve uzun süreli erozyonal süreçler de bu değerleri etkileyebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında elde edilen yüksek HI değerleri, doğrudan tektonik aktivitenin kesin bir göstergesi olarak değerlendirilmekten ziyade, havzaların tektonik kontrol altında gençleşme eğiliminde olabileceğine işaret eden görelî bir morfometrik gösterge olarak yorumlanmıştır.

Ovacık Fayı'nın etkisinde gelişen çalışma alanımızdaki tüm havzalarda HI değeri 1. Derece (yüksek) çıkmıştır (Tablo 1). Çalışma alanındaki yüksek hipsometrik integral değerleri, bölgedeki havzalarda gençleşmenin ve dolayısıyla aktif tektoniğin etkisine işaret etmektedir. Hipsometrik eğrinin şekilsel özellikleri ise havzaların büyük çoğunluğunun henüz olgun aşamaya ulaşmadığını ve tektoniğe bağlı gençleşmenin devam ettiğini işaret etmektedir (Şekil 3). Bu bulgular, Ovacık Fayı'nın bölge morfometrisinde belirleyici bir faktör olabileceğini ortaya koymaktadır.

Şekil 3

Ovacık Fayı Çevresinde Akarsu Havzalarının HI ve HE Değerleri ile Tektonik Aktivite Dereceleri Haritası



Tablo 1

Ovacık Fayı çevresi akarsu havzalarında HI-HE ve tektonik aktivite dereceleri

Havza No	Havza Adı	HI	HE	Tektonik Aktivite Kategorisi
1	Kuru Dere	0,66	Dışbükey	1. Derece
2	Ziyaret Dere	0,62	Dışbükey	1. Derece
3	Karagöl Dere	0,64	Dışbükey	1. Derece
4	Yılanlı Dere	0,51	Dışbükey	1. Derece
5	Aksu Dere	0,52	Dışbükey	1. Derece
6	Harami Dere	0,56	Dışbükey	1. Derece

3.2. Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf)

Dağ cephesi sinüselliği, dağ-ova geçiş zonlarında tektonik kontrolün belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir indistir. Bununla birlikte Smf değerleri, litolojik birimlerin dayanımı, rölyef enerjisi ve uzun dönemli aşınım süreçlerinden de etkilenebilmektedir. Çalışma alanında litolojik açıdan görece homojen bir zemin yapısının hâkim olması, düşük sinüsellik değerlerinin büyük ölçüde tektonik kontrolle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu sonuçlar, tek başına doğrudan tektonik aktivitenin kanıtı olarak değil, tektoniğin dağ cephesi morfolojisi üzerindeki etkisini gösteren yardımcı bir gösterge olarak ele alınmıştır.

Çalışma alanında aktif fayların dağ cephesinin çizgiselliği üzerindeki rolünü belirlemek için, dağlık alan ile ova geçişinde Smf değerleri hesaplanmıştır. Her bir akarsu havzasının Rölatif Tektonik Aktivite İndeksinin hesaplanmasında da ayrıca bir parametre olan Smf'nin hesaplanmasında akarsu havzaları ile ova tabanı arasında geçiş sahaları tercih edilmiş ve ilgili olduğu

akarsu havzasının Dağ Cephesi Sinüselliği olarak değerlendirilmiştir. Bu havzalardan 4 havzada (Kuru Dere, Kara Göl, Yılanlı Dere, Harami Dere) sinüsellik değerinin 1,1 olması, bu bölgelerin yüksek tektonik aktivite etkisinde olduğuna işaret etmektedir.

İki havzada ise (Ziyaret Dere, Aksu Dere) sinüsellik değerinin 1,2 olması, bu bölgelerde tektonik aktivitenin orta düzeyde olduğunu işaret eder. Bu havzalarda tektonik etki az belirgin olsa da bu değerler görece olarak oldukça düşük Smf ve aynı zamanda yüksek aktivite düzeyi anlamına da gelir (Tablo 2; Şekil 4).

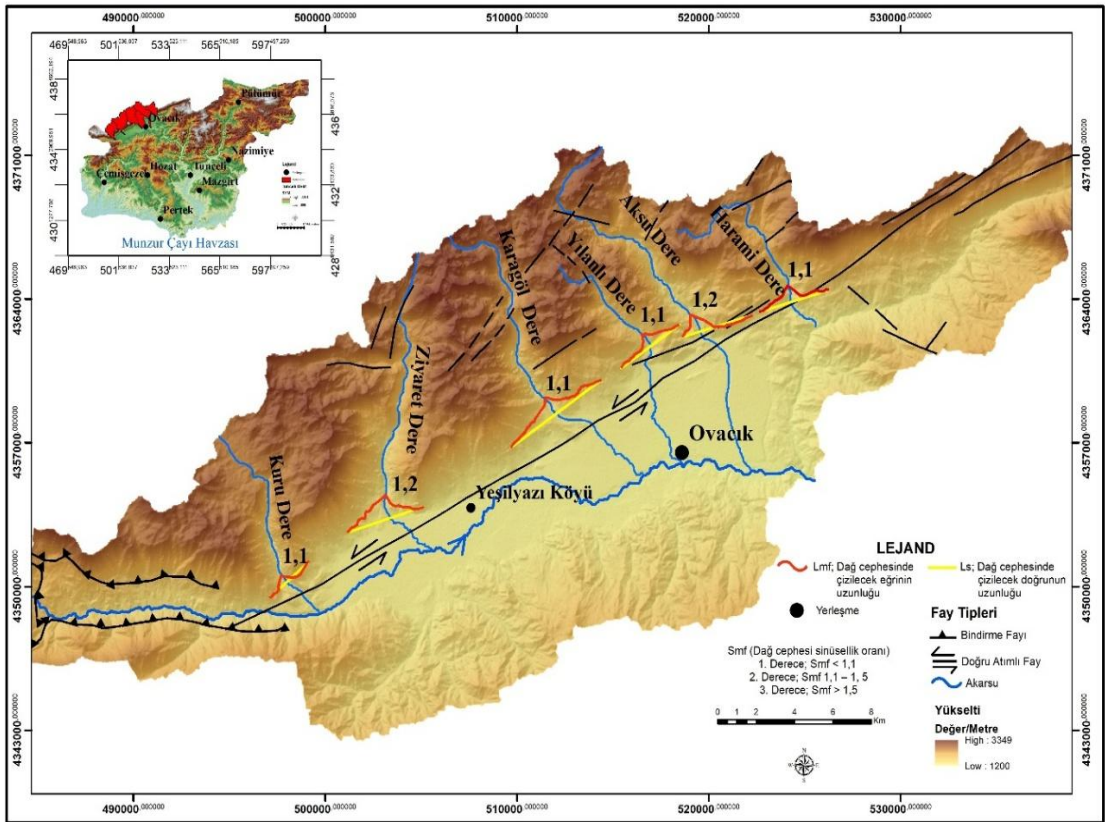
Tablo 2

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Dağ Cephesi Sinüsellik Oranları ve Tektonik Aktivite Dereceleri

Havza No	Havza Adı	Lmf (m)	Ls (m)	Sımf Oranı	Aktivite Derecesi	Tektonik Aktivite Kategorisi
1	Kuru Dere	3196,4	2728,2	1,1	Yüksek	1. Derece
2	Ziyaret Dere	5238,5	4174,9	1,2	Orta	2. Derece
3	Karagöl Dere	6411,0	5753,6	1,1	Yüksek	1. Derece
4	Yılanlı Dere	4257,3	3708,8	1,1	Yüksek	1. Derece
5	Aksu Dere	4802,1	3812,7	1,2	Orta	2. Derece
6	Harami Dere	4452,0	3797,5	1,1	Yüksek	1. Derece

Şekil 4

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Dağ Cephesi Sinüsellik Oranları ve Tektonik Aktivite Dereceleri Haritası

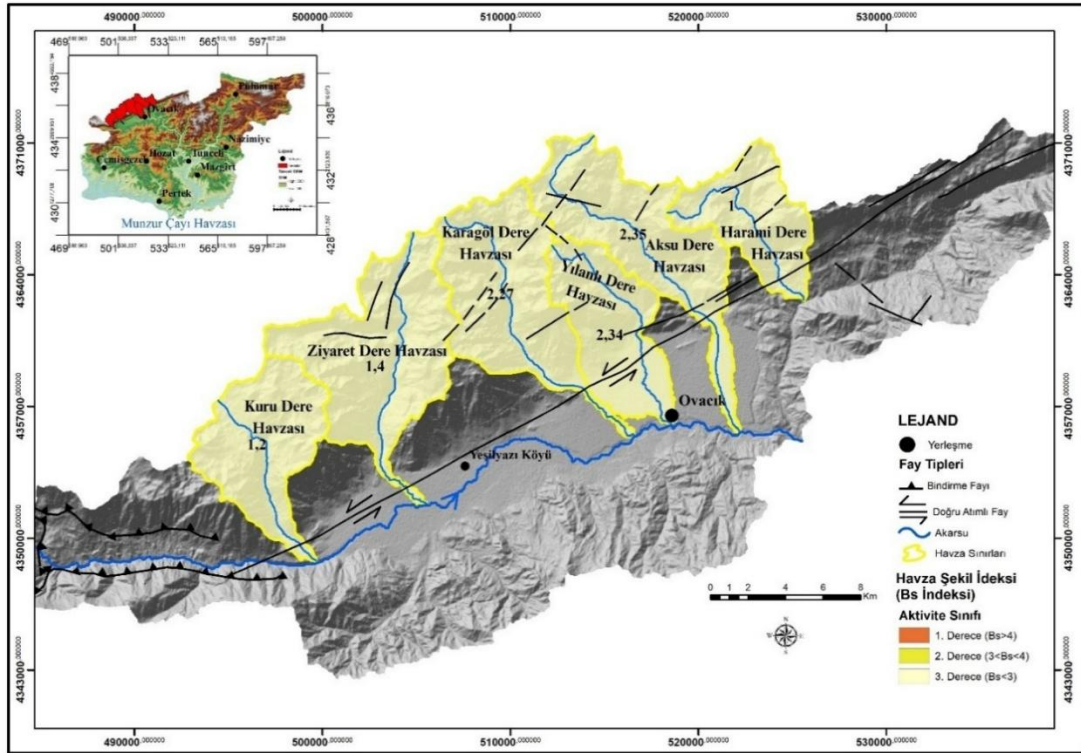


3.3. Havza Şekil İndeksi (Bs)

Bu indeks, havzanın şeklini, uzama oranını nicel olarak ifade etmek için kullanılır. Havza şekil indeksi genellikle form faktörü, uzama oranı ve dairesellik oranı gibi ifade edilir (Pant et al., 2020). Bu indis havzanın dairesellikten uzaklaşma düzeyini yansıtır ve tektonik aktivitenin etkilerini değerlendirmede yardımcı olur. Akarsuyun enerjisinin arttığı genç havzalarda, aşındırma gücü su bölümü hattına kadar ilerleyecek şekilde büyüyerek havzanın uzamasını sağlayacaktır. Ancak, enerjisi azalan akarsularda yan dere etkinliği öne çıkacak ve havza daireselleşme eğilimi gösterecektir (Arıkan ve Ertek, 2021; Yerli vd., 2021). Bununla birlikte bu indis (Bs), havzaların geometrik özelliklerini yansıtan morfolojik bir parametre olup tektonik etkinin yanı sıra litolojik özellikler, drenaj ağı gelişimi, iklim koşulları, topoğrafik eğimin dağılımı, drenaj kapmaları ve havzanın jeomorfolojik olgunluk düzeyi gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir. Bu nedenle Bs indeks tek başına doğrudan tektonik aktivitenin kesin bir göstergesi olarak değerlendirilmemeli, bunun yerine daha çok tektonik kontrolün görece etkisinin ortaya konulmasında diğer morfolojik indislerle birlikte ele alınması gereken tamamlayıcı bir ölçüt olarak kabul edilmelidir.

Şekil 5

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Havza Şekil İndeksi Oranları ve Tektonik Aktivite Dereceleri Haritası



Çalışma alanındaki havzaların tamamında Bs değeri düşük (3. Sınıf) çıkmıştır (Tablo 3; Şekil 5). Bu durum, Bs indeksine ilişkin mevcut sınıflandırma aralıklarının bazı jeomorfolojik ortamlarda tektonik etkinliği doğrudan yansıtmakta yetersiz kalabildiğini göstermektedir (Arıkan, 2020). Çalışma alanında Bs değerlerinin düşük çıkması, tektonik etkinliğin yokluğundan ziyade, aktif tektonizma altında gelişen drenaj kapmaları ve havzaların yana doğru genişlemesine bağlı geometrik yeniden düzenlenmenin bir sonucu olabilir. Dolayısıyla bu sahada Bs indeksinin uyumsuz sonuç vermesi, indisin kendisinden çok havza geometrisinin ve gelişim biçiminin metodolojik sınırlılık oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Bu sınırlılığı nedeniyle Bs sonuçları, tek başına yorumlanmamış, diğer morfolojik indislerle birlikte bütüncül bir çerçevede değerlendirilmiştir.

Tablo 3

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Şekil İndeksi Oranları ve Tektonik Aktivite Dereceleri

Havza No	Havza Adı	B1	Bw	Bs	Aktivite Derecesi	Tektonik Aktivite Kategorisi
1	Kuru Dere	9993	8308	1,2	Düşük	3. Derece
2	Ziyaret Dere	14393	10459	1,4	Düşük	3. Derece
3	Kara Göl	15286	6738	2,27	Düşük	3. Derece
4	Yılanlı Dere	11476	4913	2,34	Düşük	3. Derece
5	Aksu Dere	17485	7424	2,35	Düşük	3. Derece
6	Harami Dere	8645	6557	1,0	Düşük	3. Derece

3.4. Havza Asimetrisi (Af)

Kararlı zemin koşullarının hâkim olduğu bölgelerde, akarsular simetrik bir drenaj yapısı sergileyerek ana kolun her iki tarafındaki alanları eşit şekilde böler (AF=50). Ancak, tektonik kuvvetlerin etkisiyle topografyanın belirli bir yöne eğimlenmesi, drenaj sisteminde dengesizlik yaratır ve akarsu yatağının bu yöne kaymasına yol açabilir. Akarsu sistemleri, özellikle eğimlenme şeklindeki tektonik değişimlere karşı oldukça hassas tepkiler gösterir (Keller and Pinter, 2002; Arıkan ve Ertek, 2021; Esen ve Tonbul, 2022). Ayrıca, tektonik süreçler kapsamında, özellikle yatay düzlemde gerçekleşen blok rotasyonları, drenaj havzalarında asimetrik gelişimi etkileyen önemli dinamiklerden biri olarak kabul edilmektedir (Yıldırım 2008; Yıldırım ve Tüysüz 2009). Araştırmalar, litolojik yönden benzer özellikler taşıyan ve monoton eğim koşullarına sahip havzalarda, eğer akarsuyun erozyon kapasitesi blok rotasyonunun etkisinden yüksekse, ana akarsu yatağının rotasyon yönünün tersine doğru kaydığını ortaya koymaktadır (Tüysüz ve Erturaç, 2005; Arıkan ve Ertek, 2021).

Havza asimetrisi, drenaj ağının mekânsal dengesizliğini ortaya koyan ve sıklıkla tektonik eğimlenme ile ilişkilendirilen bir parametredir. Bununla birlikte asimetri değerleri, blok rotasyonları ve yükselim gibi farklı tektonik deformasyon süreçlerinin yanı sıra akarsu kapmaları, litolojik kontrol ve yerel topoğrafik koşullar gibi tektonizma dışı faktörlerden de etkilenebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında belirlenen asimetri değerleri, tektonik eğimlenmenin doğrudan kanıtı olarak değil, olası tektonik etkilerin drenaj sistemi üzerindeki yansımaları gösteren yardımcı bir morfometrik gösterge olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanındaki 3 havza 1. Derece aktivite sınıfındayken, 2 havza 2. Derece, 1 havza 3. Derece aktivite sınıfına sahiptir (Tablo 4). Sahada fayın havzalar üzerindeki etkisi belirgin olmakla birlikte, bu etki Yılanlı, Aksu, Harami Dere havzalarında görece daha yüksektir. Karagöl havzasında asimetri düşük düzeydedir. Kuru ve Ziyaret Dere ise orta düzeyde asimetriye sahiptir. Tiltlenme yönleri açısından değerlendirildiğinde; Kuru, Aksu ve Harami Dere sağ yönde (batıya), Ziyaret, Karagöl ve Yılanlı Dere ise sol yönde (doğuya) tiltlendiği görülmüştür (Şekil 6).

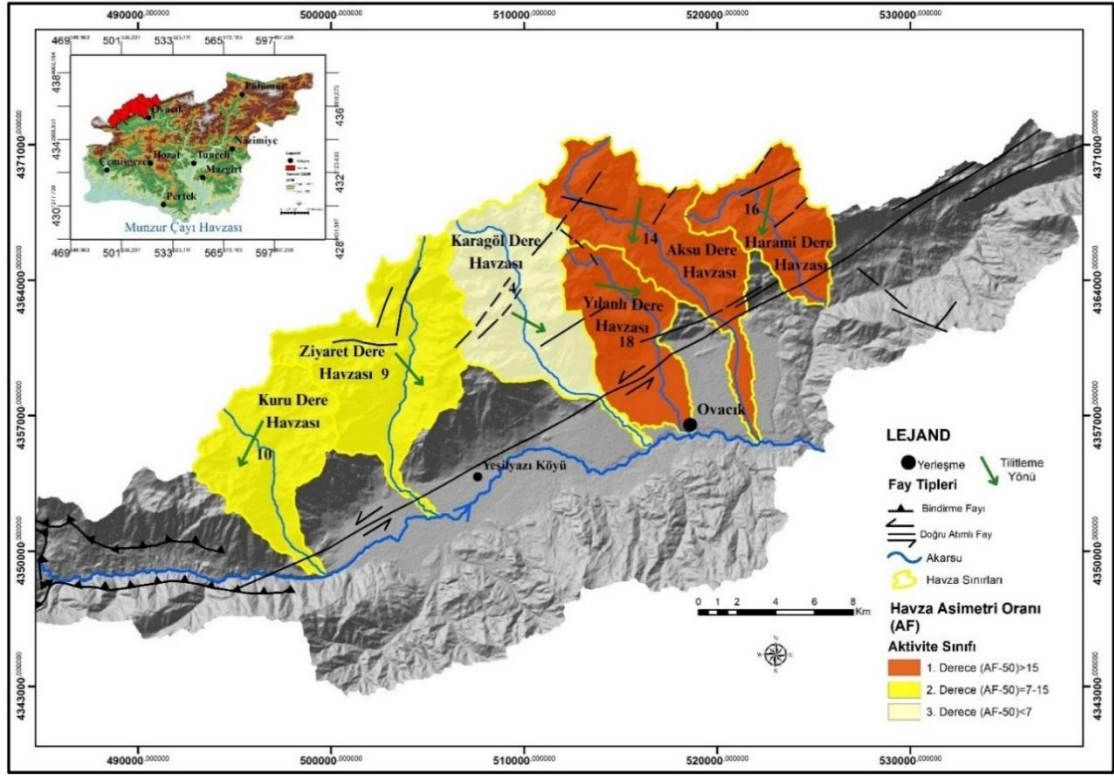
Tablo 4

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Havza Asimetrisi Oranı ve Tektonik Aktivite Dereceleri

Havza No	Havza Adı	Sağ Havza km ²	Toplam Havza Alanı km ²	AF Oranı	50-AF	Tiltlenme Yönü	Tektonik Aktivite Kategorisi
1	Kuru Dere	17,8	44,0	40	10	Sola	2. Derece
2	Ziyaret Dere	38,9	65,6	59	9	Sağa	2. Derece
3	Karagöl Dere	26,2	57,1	46	4	Sağa	3. Derece
4	Yılanlı Dere	27,2	40,0	68	18	Sağa	1. Derece
5	Aksu Dere	19,9	55,8	36	14	Sola	1. Derece
6	Harami Dere	11,2	32,5	34	16	Sola	1. Derece

Şekil 6

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Havza Asimetrisi Oranı ve Tektonik Aktivite Dereceleri Haritası



3.5. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)

Genç Kuvaterner tektoniği, vadi tabanı genişliği ile vadi yüksekliği oranı üzerinde doğrudan etkilidir. Tektonik hareketlerin artmasıyla taban seviyesi düşer ve aşındırma süreci hızlanarak vadi tabanının daralmasına neden olur. Böylece, düşük Vf değerleri aktif tektonizmanın varlığına işaret ederken, yüksek Vf değerleri tektonizma yönünden inaktif sahaları temsil eder (Bull, 2007; Ege ve Duman, 2020; Arıkan ve Ertek, 2021). Düşük Vf değerleri, derin V-şekilli vadileri ve yüksek tektonik aktiviteyi gösterirken, yüksek Vf değerleri geniş tabanlı U-şekilli vadileri ve daha düşük tektonik aktiviteyi işaret eder (Özkaymak and Sözbilir, 2012)

Vf indeksi, vadilerin geometrik özellikleri üzerinden tektonik gençleşmenin görece düzeyini değerlendirmeye olanak tanımakla birlikte akarsu debisi, iklim koşulları (buzullaşma), yamaç süreçleri ve litolojik direnç farklılıkları da vadi geometrisini etkileyebilmektedir. Bu çalışmada ölçümlerin litolojik açıdan benzer kesimlerden alınmış olması, Vf değerlerinin tektonik kontrolü yansıtmaya olasılığını artırmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlar, tek başına kesin tektonik kanıt olarak değil, vadilerin tektonik süreçlere verdiği morfolojik tepkiyi gösteren görece bir gösterge olarak ele alınmıştır.

Çalışma alanındaki 6 akarsu havzasının 3 mecrasında çizilen 18 profilin 16'sında tektonik aktivitenin yüksek olduğu, 2 profilin 1'inde inaktif (Kuru Dere 3), 1'inde orta derece (Yılanlı Dere 3) tektonik aktivite düzeyi tespit edilmiştir. Bu altı akarsu vadisi genel olarak derin, dar tabanlı ve dik yamaçlı vadiler şeklindedir. Bu durum, bölgenin aktif tektonizma tesirinde olduğuna işaret etmektedir. Özellikle aktif fayların akarsuların aşağı mecralarına yakın konumlandığı görülmektedir. Bu nedenle de genel olarak aşağı ve orta mecralarda daha düşük indis değerleri (Yüksek Tektonik Aktivite) dikkati çekmektedir (Tablo 5 ve Şekil 7).

Tablo 5

Ovacık Fayı Çevresi Akarsu Havzalarında Farklı Çığırdaki Vadilerden Vf İndeksi ve Tektonik Aktivite

Havza No	Havza Adı	Profil Adı	Vfw	Erd	Eld	Esc	Vf Değer	Aktivite Derecesi	Tektonik Aktivite Sınıfı
1	Kuru Dere	Kuru Dere 1	305	2700	2950	1940	0,3	Aktif	1.Derece
		Kuru Dere 2	48	2640	2600	2280	0,1	Aktif	
		Kuru Dere 3	300	2960	2720	2630	1,4	İnaktif	
2	Ziyaret Dere	Ziyaret Dere 1	241	2510	3100	1790	0,2	Aktif	1.Derece
		Ziyaret Dere 2	143	3340	2960	2290	0,2	Aktif	
		Ziyaret Dere 3	88	3330	2910	2640	0,2	Aktif	
3	Karagöl Dere	Karagöl Dere1	166	2200	2890	1750	0,2	Aktif	1. Derece
		Karagöl Dere2	124	3050	3120	2360	0,2	Aktif	
		Karagöl Dere3	142	3200	3080	2720	0,3	Aktif	
4	Yılanlı Dere	Yılanlı Dere 1	202	2170	2960	1960	0,3	Aktif	1.Derece
		Yılanlı Dere 2	176	2540	3000	2070	0,2	Aktif	
		Yılanlı Dere 3	75	2960	2920	2800	0,5	Orta derece	
5	Aksu Dere	Aksu Dere 1	182	2000	2890	1610	0,2	Aktif	1.Derece
		Aksu Dere 2	342	2890	2690	1800	0,3	Aktif	
		Aksu Dere 3	229	3120	3120	2650	0,4	Aktif	
6	Harami Dere	Harami Dere 1	48	1960	2200	1500	0,1	Aktif	1.Derece
		Harami Dere 2	190	3070	2600	2150	0,3	Aktif	
		Harami Dere 3	61	2650	3000	2600	0,3	Aktif	

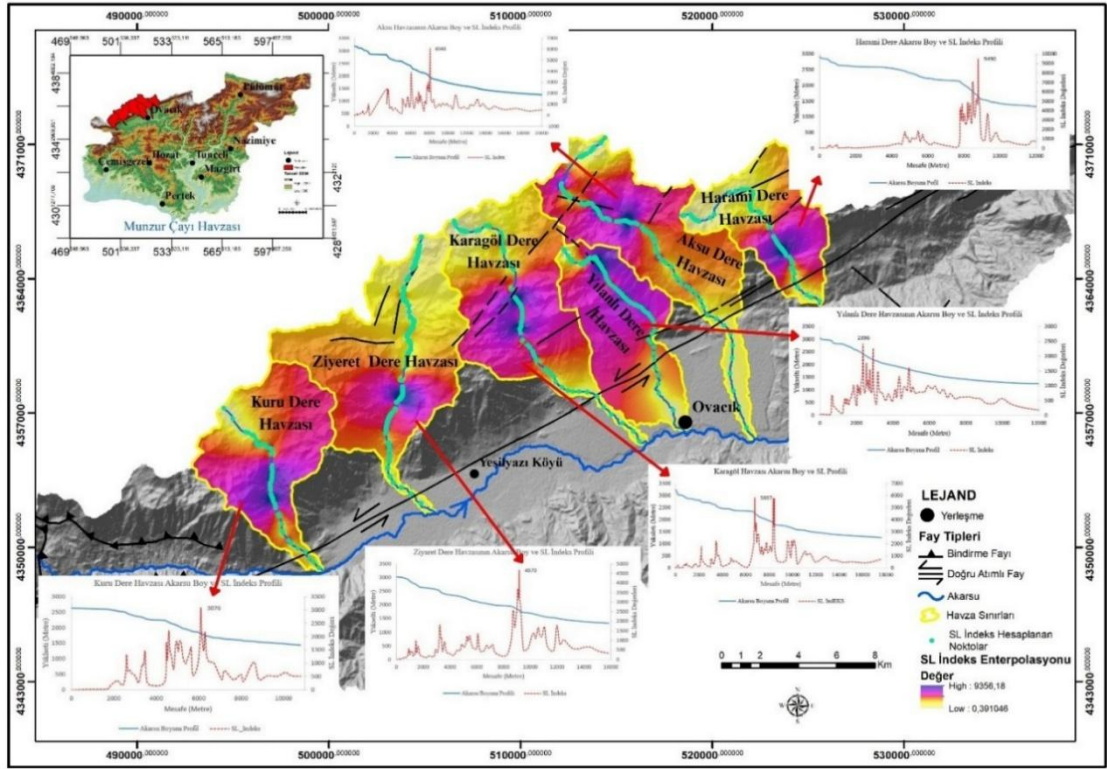
3.6. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi (SL)

SL indeksi, özellikle tektonik olarak aktif bölgelerde, tektonizmaya bağlı ani eğim değişikliklerini tespit etmekte etkilidir. Yüksek SL değerleri genellikle aktif tektonik deformasyonu veya aşınımaya dayanıklı kayaların varlığını gösterir. Bu indeks, yüksek frekanslı tektonik etkiler veya bölgesel yükselme gibi süreçlere akarsular tarafından verilen yerel tepkileri tespit etmekte başarılıdır (Troiani and Seta, 2008; Das, 2020). Bu nedenle indeks, bir akarsu boyuna profili üzerindeki eğim değişikliğinin belirlenmesinde çok kullanışlıdır (Hack, 1973; Keller and Pinter, 2002; Bull, 2007; Arıkan ve Ertek, 2021).

Akarsu yataklarındaki eğim değişiklikleri çoğunlukla litolojik unsurların çeşitliliği ve tektonik hareketlerle açıklanabilir. Daha az sıklıkla da olsa, bu değişiklikler birçok farklı nedene bağlı olabilir. Dolayısıyla Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi, akarsu boyuna profillerindeki ani eğim değişimlerine duyarlı bir morfometrik parametre olmakla birlikte yüksek SL değerleri, çoğu zaman tektonik deformasyon ile birlikte litolojik farklılıklar, dirençli kaya birimleri, heyelanlar, yerel taban seviyesi değişimleri veya akarsu yatağı üzerindeki beşerî yapılar ve düzenlemeler gibi faktörlerden de kaynaklanabilmektedir. Çalışma alanında akarsu havzalarının büyük ölçüde benzer litolojik özellikler göstermesi, yüksek SL değerlerinin tektonik etkiyle ilişkili olabileceğini desteklemektedir. Bununla birlikte bu indis, doğrudan tektonik aktivite kanıtı olarak değil, tektonik kontrolün olası etkilerini ortaya koyan duyarlı bir morfometrik gösterge olarak değerlendirilmelidir.

Şekil 8

Ovacık Fay Zonu Çevresi Akarsu Havzalarında SL İndeks Grafığı ve Enterpolasyonu Haritası



Çalışma alanında araştırılan 6 akarsu profilinin tamamında SL indeksi değeri çok yüksek çıkmıştır (Tablo 6). Fay zonu boyunca ana ve tali faylar tarafından kesilen akarsu kanalları üzerinde ani eğim değişimlerine rastlanılmaktadır. Birçok yerde SL İndeksi değerlerinin yüksek çıkmasının temel nedeni budur. Nitekim sahada litolojik yönden bu duruma neden olabilecek şartlar belirgin değildir. Akarsu havzaları hemen tümüyle Mesozoyik yaşlı kireçtaşları üzerinde olup litolojik farklılığa rastlanılmamaktadır (Şekil 2; Şekil 8).

Tablo 6

Ovacık Fay Zonu Çevresi Akarsu Havzalarında SL İndeksi ve Tektonik Aktivite Dereceleri

Havza No	Havza Adı	Maksimum SL Değeri	Ortalama SL Değeri	Aktivite Kategorisi
1	Kuru Dere	2965,36	903,42	1. Derece
2	Ziyaret Dere	4629,93	1043,88	1. Derece
3	Karagöl Dere	5622,95	1407,04	1. Derece
4	Yılanlı Dere	2170,78	694,43	1. Derece
5	Aksu Dere	5827,85	1135,75	1. Derece
6	Harami Dere	9356,18	1916,85	1. Derece

3.7. Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT)

Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi (IRAT), farklı morfometrik indislerin birlikte değerlendirilmesine dayanan bütüncül bir yaklaşımdır ve tektonik aktivitenin doğrudan veya mutlak ölçümü olmayıp morfometrik göstergelerin göreceli dağılımını yansıtmaktadır. Morfometrik indislerin litoloji, iklim ve flüvyal süreçler gibi tektonik dışı faktörlerden de etkilenebilmesi nedeniyle IRAT değerleri kesin tektonik aktivite kanıtı olarak değerlendirilmemelidir. Bununla birlikte çalışma alanında yüksek IRAT değerlerinin yaygın olması ve indeksi oluşturan bileşenlerin genel olarak benzer eğilimler göstermesi, tektonik kontrolün olası mekânsal etkisine ve sürekliliğine işaret

etmekte; ancak bu durum mutlak tektonik aktivite göstergesi değil, sahadaki deformasyonun yaygınlığını yansıtan göreceli bir değerlendirme olarak ele alınmıştır.

Çalışma alanındaki 6 havzanın 4'ünde "çok yüksek tektonik aktivite" seviyesine, 2'sinde ise "yüksek tektonik aktivite" seviyesine ulaşılmıştır (Tablo 7; Şekil 9). Çalışma alanındaki havzalarının tümünde çok yüksek ve yüksek tektonik aktivite etkilerinin görülmesi Ovacık Fayı'nın ve bu sahadaki tali fayların havza morfometrileri üzerindeki yansımaları olarak değerlendirilebilir.

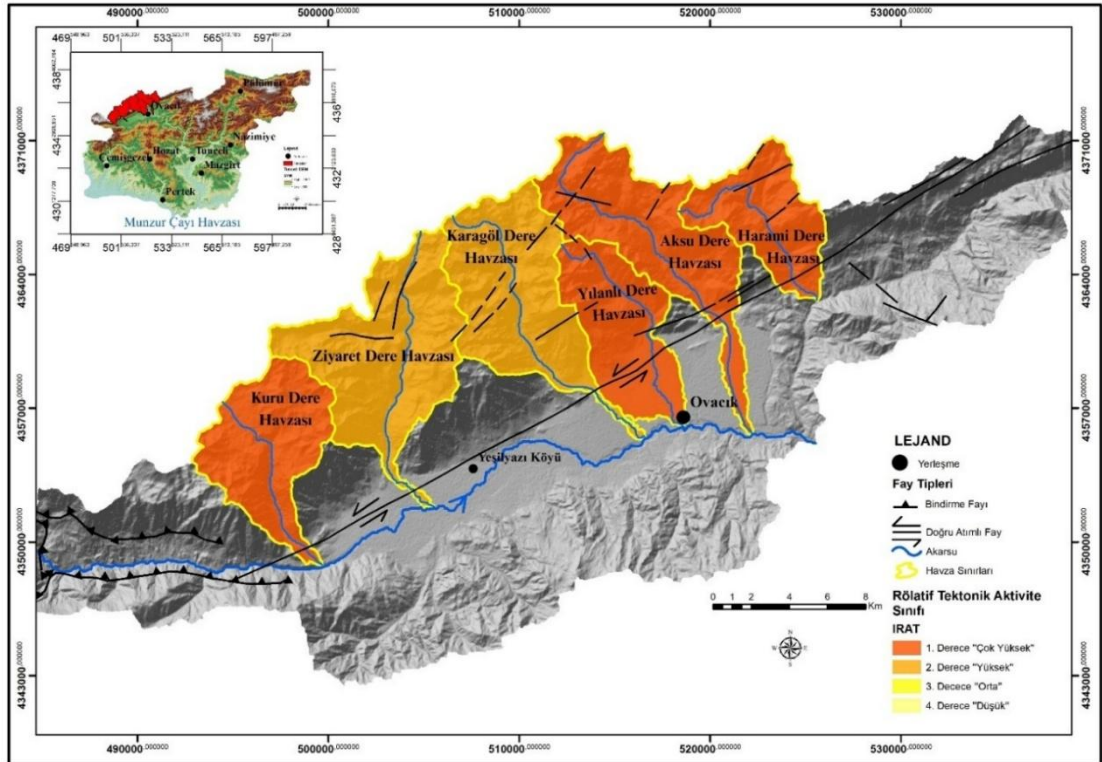
Tablo 7

Ovacık Fay Zonu Çevresindeki Akarsu Havzalarında Belirlenen Rölatif Tektonik Aktivite Dereceleri

Havza No	Havza Adı	BS	AF	SL	HI	SMF	VF	IAT Ort.	IRAT Sınıf	IRAT Kategori
1	Kuru Dere	3	2	1	1	1	1	1,5	1	Çok Yüksek Aktivite (1.Derece)
2	Ziyaret Dere	3	2	1	1	2	1	1,6	2	Yüksek Aktivite (2.Derece)
3	Kara Göl	3	3	1	1	1	1	1,6	2	Yüksek Aktivite (2.Derece)
4	Yılanlı Dere	3	1	1	1	1	1	1,3	1	Çok Yüksek Aktivite (1.Derece)
5	Aksu Dere	3	1	1	1	2	1	1,5	1	Çok Yüksek Aktivite (1.Derece)
6	Harami Dere	3	1	1	1	1	1	1,3	1	Çok Yüksek Aktivite (1.Derece)

Şekil 9

Ovacık Fay Zonu Çevresindeki Akarsu Havzalarının Rölatif Tektonik Aktivite Dereceleri Haritası.



Çalışma alanındaki havzalarda IRAT sonuçlarının benzer sınıflarda yoğunlaşması, tektonik etkinlik düzeyi ve litolojik özellikler açısından ortak koşulların egemen olduğunu işaret eder. Bu durum, yöntemsel açıdan tutarlı bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Ovacık Fay Zonu boyunca tektonik kontrolün ve litolojik zeminin havza ölçeğinde görece homojen bir yapı sunduğu anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak morfolojik tepkilerin de bu yapısal çerçevede geliştiği söylenebilir. Bununla birlikte yapısal ve litolojik açıdan yüksek derecede homojen sahalarda, IRAT ve bu çalışmada kullanılan diğer morfolojik indislerin havzalar arasındaki farklılıkları sınıf düzeyinde ayırt etme kapasitesinin sınırlılığını da temsil edebilir. Dolayısıyla burada farklılıkların ayırt edilmesinde literatürdeki sınıflandırmadan bağımsız olarak tekil indis değer aralıklarının, mekânsal örüntülerin ve farklı morfolojik parametrelerin birlikte değerlendirilmesi daha ayrıntılı karşılaştırmalara olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada elde edilen bulgular Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun bir kolu olan Ovacık Fayı'nın Mercan Dağları'nın güneyi ile Ovacık düzlüğü ve çevresinde jeomorfolojik ve hidrografik unsurlar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu varsayımını desteklemektedir. Ovacık düzlüğü ve gerisindeki dağlık alanda (Mercan Dağları) kurulan drenaj ağı ve akarsu havzalarının bu etkiye maruziyet dereceleri morfolojik indislerle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Drenaj Havzası Asimetrisi, Hipsometrik İntegral, Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı, Havza Şekil İndeksi, Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi, Dağ Cephesi Sinüselliği ve Rölatif Tektonik Aktivite İndeksi uygulanmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda bölgede, tektonik aktivitenin akarsu havzalarının şekillenmesi ve morfolojik göstergeleri üzerinde önemli etkiye sahip olabileceği anlaşılmıştır.

Çalışma alanındaki akarsu havzaları Mercan Dağları'ndan inerek Ovacık düzlüğünde Munzur Çayı'na bağlanmadan önce dağ cephesinin hemen önünde Ovacık Fayı tarafından kesilmektedir. Fayın geçtiği GB-KD yönlü hattın önünde ise Ovacık Ovası bu fayın hareketine bağlı olarak gelişmiş tektonik kökenli sedimanter bir havzadır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşan bu sahanın kuzeyinde, aynı zamanda çalışma alanını oluşturan dağlık alandaki akarsu havzalarının zemini litolojik bakımdan belirgin çeşitlilik sunmamaktadır. Bu alanda akarsu havzalarının aşağı mecralarındaki vadi tabanlarında biriken kuvaternere ait alüvyonlar ile sarp yamaçların eteklerinde biriken kuvaterner yamaç molozları dışında hemen tümüyle Mesozoyik yaşlı kireç taşlarından meydana gelmektedir. Ovacık Fayı ana kolun geçtiği hat boyunca litolojik açıdan homojenlik dikkati çeker. Bu hattın doğusunda dar bir alan hariç fay hemen tümüyle Kuvaterner alüvyonlar ve yamaç molozlarını kesmektedir. Sahanın litolojik açıdan homojenliği tektonik açıdan incelemeyi ve yorumlamayı kolaylaştıran bir unsur olmuştur. Dolayısıyla elde edilen morfolojik indislerin sonuçlarının litolojiden çok, tektonik kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen bulguları her bir indis özelinde değerlendirmek gerekirse; Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği olarak bilinen Vf indeks değerlerinin havzaların tümünde (ortalama) düşük değerler göstermesi 1. derece tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Benzer şekilde Dağ Cephesi Sinüselliği (Smf) değerinin fayın hemen gerisinde 1 yamaç hariç diğer tüm dağ yamaçlarında 1. derece tektonik aktiviteyi işaret eden düşük sinüsellik göstermesi de fayın sahadaki etkinliği açısından fikir vermektedir. Yine tüm akarsu havzalarında Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi'nin ortalama değerlerinin çok yüksek olması ve tüm havzaların Hipsometrik İntegralinin yüksek değerler göstermesi gençleşmeyi ve yüksek tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Asimetri Faktörü (AF), havzaların ortasından geçmesi beklenen ana akış kanalının belli bir yöne kayma oranını ifade eder. Bu kaymalar genellikle çalışma alanımızda olduğu gibi homojen litolojik zeminlerde tektonik kökenlidir. Bu indis KD yöndeki 3 havzada yüksek tektonik aktiviteyi işaret ederken GB'daki 3 havzada orta ve düşük aktivite düzeyini işaret etmektedir. Son olarak Havza Şekil İndeksi (Bs)'nde yüksek tektonik aktiviteyi işaret eden değerlere rastlanılmamıştır. Bu durumun tektonizma dışında

bazı nedenleri olmakla birlikte tektonizma ile ilişkili olan bir durumun da bu beklenmedik sonuçlar ortaya koyabileceği bilinmektedir. Nitekim Arıkan (2020), Arıkan ve Ertek (2021)'in Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerindeki bazı havzalarda yaptıkları çalışmalarda da benzer anomaliler görülmüştür. Bu durumu Arıkan (2020), tektonik olarak gençleşen havzalarda kapmalarla havzaların genişlemesiyle ilişkilendirmiştir.

Bu indislerin tamamının ortalama aktivite derecelerinden elde edilen Rölatif Tektonik Aktivite İndisine göre 4 akarsu havzasında 1.derece (çok yüksek) ve 2'sinde 2.derece (yüksek) tektonik aktivite düzeyleri elde edilmiştir.

Sahada geçmişte yapılan jeolojik, paleosismolojik ve bölgesel jeodezik araştırmalara bakıldığında; Karasu Nehri üzerindeki ötelenme değerleri esas alınarak yapılan çalışmalarda yaklaşık 2,6 mm/yıl kayma hızı hesaplanmıştır. (Zabcı et al., 2017; Yazıcı, 2018). Çalışma alanı içindeki Kuru Dere taraçlarında Zabcı et al., (2017; 2023) son 15 bin yıllık zaman dilimi için 1,5 mm/yıl kayma hızı hesaplamışlardır. Bu değerler hem KAF'nın Erzincan segmenti hem de DAF'nın Elâzığ segmenti ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Örneğin, KAF'nın Erzincan segmenti, jeolojik, jeodezik ve paleosismolojik verilere göre yılda yaklaşık 20–25 mm/yıl düzeyinde bir yatay atım hızına sahiptir (Reilinger et al., 2006). Elâzığ segmentinin kayma hızı ise 8–10 mm/yıl arasında değişmektedir (Duman and Emre, 2013). Sahada büyük depremlerin tekrar periyotlarının paleosismik araştırmalarla belirlendiği bazı çalışmalara göre Doğu Anadolu Fayı'nın geçtiği Hazar Gölü'nün dip tortularında 3800 yıl boyunca ortalama 190 yıllık bir tekrar aralığıyla paleo-deprem kaydı bulgusuna rastlanmıştır (Hubert-Ferrari et al., 2020). Yine Erzincan doğusunda KAF'nın Yedisu Segmenti üzerinde yapılan araştırmalarda (Barka et al., 1987; Okumura et al., 1994; Zabcı et al., 2017) yaklaşık 200–250 ila 100–125 yıllık bir deprem tekrar aralığı önerilmektedirler (Akbayram et al., 2022). Malatya-Ovacık Fay Zonu'nun bir bölümünü oluşturan Malatya Fayı üzerinde yapılan paleosismolojik araştırmalara göre ortalama deprem periyodu 2275 ± 605 yıl olup M 7.4 büyüklüğünde deprem üretebileceği belirtilmektedir (Sançar et al., 2019; Acael et al., 2019). Ayrıca, Malatya Fayı'nın Akçadağ Segmenti'nin yer yer Kuvaterner birimlerden geçtiği ve bu nedenle büyük depremler üretebileceğine dikkat çeken araştırmalar bulunmaktadır (Okuyucu ve Erdağ, 2017). Dolayısıyla, fayın Ovacık Segmenti'nin Karasu Nehri üzerindeki atım hızı ve paleosismik araştırmalardaki büyük deprem üretme periyodu açısından, KAF'nın Erzincan-Yedisu segmentleri ve DAF'nın Elâzığ segmentine göre daha düşük deprem üretme potansiyeli ve kayma hızına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada ise sahadaki akarsu havzalarına uygulanan morfometrik analizler neticesinde, Ovacık Fay Zonu boyunca görece tektonik aktivitenin etkin ve süreklilik arz eden bir karakter sergilediğini işaret etmektedir. Hipsometrik İntegral, Akarsu Uzunluk–Gradyan İndeksi ve Dağ Cephesi Sinüselliği gibi aktif tektoniğe karşı oldukça duyarlı indislerin tüm havzalarda yüksek ya da çok yüksek değerler göstermesi, sahadaki gençleşmenin ve deformasyonun devam ettiğine işaret etmektedir. Buna karşın, bu çalışma Ovacık Fayı'nın görece düşük kayma hızı ve çok uzun deprem tekrar periyotlarına dayalı olarak Ovacık Fay Zonu'nun KAFZ ve DAFZ'ye kıyasla daha düşük hareket potansiyeli sahip olduğunu belirten önceki jeolojik, paleosismolojik ve bölgesel jeodezik araştırmalardan ayrılmaktadır. Bu durum, düşük kayma hızına rağmen uzun süreli deformasyon birikiminin morfolojik kayıtlara yansımalarıyla ilişkili olabilir. Morfometrik bulgulardan Havza Şekil İndeksi (Bs) sonuçlarının diğerlerinden farklı olarak yüksek tektonik aktiviteyi yansıtmaması ise, tektonik olarak gençleşen havzalarda bazı nedenlerle (kapma gibi) indisin sınırlılığını gösteren önceki çalışmalarla uyumludur. Benzer şekilde bazı morfometrik parametrelerde tektonizma dışı süreçlerin etkisi de gözlenebilmektedir. Tektonik aktivitenin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir morfometrik gösterge olan Vadi Tabanı Genişliği–Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)'nin çalışma alanındaki havzaların büyük bölümünde, özellikle yukarı mecralarda belirlenen görece yüksek Vf değerleri klasik tektonik yorumlarla tam olarak örtüşmemektedir. Bu kesimlerde gözlenen geniş tabanlı vadi profilleri ve saha gözlemleri birlikte değerlendirildiğinde, geçmişte yaşanmış buzullaşma

süreçlerinin vadi morfolojisinin gelişiminde etkili olduğunu işaret etmektedir. Bu açıdan bakıldığında glasiyal süreçlerin etkisiyle şekillenen vadiler daha sonra flüvyal süreçlerle yeniden düzenlenmiş olsa da görece daha yaygın bir morfoloji sunmaktadır. Buna karşılık aşağı mecralarda belirlenen düşük Vf değerleri fay zonuna yakınlıkla uyumlu olup tektonik kontrolün daha belirgin olduğunu göstermektedir. Bu durum, çalışma alanında vadi morfolojisinin yalnızca tektonik süreçlerle değil, paleoklimatik etkilerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu nedenle Ovacık Fayı'nın tektonik karakterinin ve yüzey deformasyonunun yalnızca kayma hızı ve paleosismolojik verilerle değil, uzun süreli jeomorfolojik ve hidrografik tepkileri yansıtan morfometrik bulgular, paleoklimatik, litolojik ve uzun dönem jeomorfolojik süreçlerin birlikte değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymakta; bununla birlikte fay zonunun yüzey deformasyonu üzerindeki tesirinin, önceki çalışmalarda elde edilen düşük aktivite düzeyi ile uyumsuzdur.

Çalışma alanındaki havzalarda IRAT sonuçlarının büyük ölçüde benzer sınıflarda yoğunlaşması, tektonik etkinlik düzeyi ve litolojik özellikler açısından ortak koşulların egemen olabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, Ovacık Fay Zonu boyunca tektonik kontrolün görece süreklilik gösterdiğini ve litolojik, iklimsel ve jeomorfolojik koşulların tektonik etkinin morfolojik izlerinin korunmasına katkı sağlamış olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte yapısal ve litolojik açıdan görece homojen sahalarda morfometrik indislerin, özellikle sınıflandırma temelli yaklaşımlarda, havzalar arasındaki farklılıkları ayırt etme kapasitesinin sınırlı kalabileceğini göstermektedir. Bu nedenle sınıf temelli değerlendirmelerin yanı sıra indislerin sayısal değer aralıklarının, mekânsal dağılımlarının ve farklı morfometrik parametrelerin birlikte ele alınmasının daha ayrıntılı yorumlara olanak sağlayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak IRAT ve benzeri indeks yaklaşımlarının tektonik aktivitenin mutlak ölçümü olarak değil, sahadaki görece tektonik kontrolün mekânsal yayılımını ve morfolojik yansımalarını ortaya koyan tamamlayıcı göstergeler olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynakça

- Acarel, D., Cambaz, M. D., Turhan, F., Kömeç Mutlu, A., & Polat, R. (2019). Seismotectonics of Malatya Fault, eastern Turkey. *Open Geosciences*, 11(1), 1098–1111. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0085>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (2019). *Türkiye deprem tehlike haritası*. T.C. İçişleri Bakanlığı, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- Agrawal, N., Gupta, L., & Dixit, J. (2022). A geomorphometric assessment of active tectonics using SRTM DEM-based approach for Meghalaya, India. *All Earth*, 34(1), 39–54. <https://doi.org/10.1080/27669645.2022.2081112>
- Akbayram, K., Kıranşan, K., Varolgüneş, S., Büyükakpınar, P., Karasözen, E., & Bayık, Ç. (2022). Multidisciplinary analyses of the rupture characteristic of the June 14, 2020, Mw 5.9 Kaynarçınar (Karlıova, Bingöl) earthquake reveal N70E-striking active faults along the Yedisu Seismic Gap of the North Anatolian Fault Zone. *International Journal of Earth Sciences*, 111(8), 2607–2624. <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02256-4>
- Aksoy, E. (1996). Ovacık Fay Zonu'nun Arapgir Keban Baraj Gölü arasındaki kesiminde tektonik incelemeler. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 1–20.
- Arıkan, M. (2020). *Kızılırmak Havzası'nın Uğurludağ–Bayat–Kargı–Osmançık arasındaki kesiminin jeomorfolojisi (Çorum)* (Tez No. 636766) [Yayımlanmamış doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Arıkan, M., & Ertek, T. A. (2021). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Tosya-Kargı-Kâmil arasındaki kesiminde akarsu havzalarının rölatif tektonik aktivite düzeylerinin jeomorfolojik yöntemlerle belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 42, 211–228.

- Barka, A. A., Toksöz, M. N., Kadinsky-Cade, K., & Gülen, L. (1987). The segmentation, seismicity, and earthquake potential of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Bulletin of the Earth Sciences Application Research Center of Hacettepe University*, 14, 337–352.
- Bull, W. B. (2007). *Tectonic geomorphology of mountains: A new approach to paleoseismology*. Blackwell Publishing.
- Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. In D. O. Doehring (Ed.), *Geomorphology in arid regions* (pp. 115–138). NY: State University of New York at Binghamton.
- Çılğın, Z. (2020). 3D surface modeling of Late Pleistocene glaciers in the Munzur Mountains (Eastern Turkey) and its paleoclimatic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5).
- Dar, R. A., Chandra, R., & Romshoo, S. A. (2013). Morphotectonic and lithostratigraphic analysis of the Intermontane Karewa Basin in the Kashmir Himalayas, India. *Journal of Mountain Science*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2494-y>
- Darıcı, F., & Bayrakdar, C. (2024). Beydağları'nın jeomorfolojik özelliklerine morfometrik yaklaşım. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 13, 1–22. <https://doi.org/10.46453/jader.1458005>
- Das, S. (2020). The Koyna–Warna Shallow Earthquake Zone, India: Is there a geomorphic expression of active tectonics? *Journal of the Geological Society of India*, 96(3), 217–231. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1541-x>
- Dikbaş, A. (2023). Gökova Fay Zonu'nun morfometrik özellikleri ve aktif tektonik açısından önemi, Doğu Akdeniz. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(1), 28–47. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1087937>
- Duman, T. Y., & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: Geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*, 372, 495–529. <https://doi.org/10.1144/SP372.14>
- Ege, İ., & Duman, N. (2020). Maymun Dağı (Çardak-Denizli/Dazkırı-Afyonkarahisar)'nın morfotektonik özelliklerinin CBS ile belirlenmesi. *Turkish Studies - Social*, 15(1), 277–307. <http://doi.org/10.29228/TurkishStudies.39211>
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150–173. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Esen, F., & Tonbul, S. (2022). Elbistan havzası'nın genel morfotektonik dinamiklerinin jeomorfolojik indislerle analizi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24, 618–639. <https://doi.org/10.29029/busbed.1165548>
- Görür, N., & Zabcı, C. (2015). Elâzığ ve yakın çevresinin depremselliği: Diri faylar, aletsel ve tarihsel dönem depremleri. *Tarihden Günümüze Elâzığ Uluslararası Kongresi-I Bildiri Kitabı* (pp. 573–582). Atatürk Araştırma Merkezi Yayınları.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüccemen, M. S., Doyuran, V., & Başöz, N. (1993). *En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası* (Rapor No. METU/EERC 93-01). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi.
- Gürgöze, S. (2020). *Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kızılırmak ile Tersakan Çayı (Yeşilirmak) arasındaki kesiminin tektonik jeomorfolojisi* (Tez No. 656941) [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Gürgöze, S., & Uzun, A. (2025). Tektoniğin drenaj havzalarına etkisinin morfometrik indislerle incelenmesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kızılırmak ile Tersakan Çayı arası (Samsun). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 23(1), 151–178. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1613195>
- Hack, J. T. (1973). Stream profile analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 1(4), 421–429.
- Hubert-Ferrari, A., Lamair, L., Hage, S., Schmidt, S., Çağatay, M. N., & Avşar, U. (2020). A 3 800 yr paleoseismic record (Lake Hazar sediments, eastern Turkey): Implications for the East

- Anatolian Fault seismic cycle. *Earth and Planetary Science Letters*, 538, 116152. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116152>
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., & Ertepinar, P. (2006). 3D-architecture and neogene evolution of the Malatya Basin: Inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacık Fault Zones. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15(2), 123–154.
- Keller, E. A., & Pinter, N. (1996). *Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape*. Prentice Hall Publishers.
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape* (2nd ed.). Prentice Hall Publishers.
- Kılıç, B., Gülgen, F., Çelen, M., Öncel, S., Oruç, H. N., & Vural, S. (2022). Morphometric Analysis of Saz-Çayırova Drainage Basin using Geographic Information Systems and Different Digital Elevation Models. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(2), 177–186. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1079851>
- Mahmood, S. A., & Gloaguen, R. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers*, 3(4), 407–428. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.002>
- Motos, B., Perez-Peña, J. V., & Tomljenovic, B. (2016). Landscape response to recent tectonic deformation in the SW Pannonian Basin: Evidence from a DEM-based morphometric analysis of the Bilogora Mountain Area, NE Croatia. *Geomorphology*, 263, 132–155.
- Okumura, K., Yoshioka, T., Kuşçu, İ., Nakamura, T., & Suzuki, Y. (1994). Recent surface faulting on the North Anatolian Fault east of the Erzincan Basin, Turkey - A trenching survey. In *Summaries of Researches Using AMS* (pp. 32–48). Nagoya University.
- Okuyucu, S., & Erdağ, D. S. (2017). Geology and neotectonics of Akçadağ Ören (Malatya) section. In *Abstracts of the 70th Geological Congress of Turkey* (pp. 594–595). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- Özkaymak, Ç. (2015). Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. *Geodinamica Acta*, 27(2–3), 110–129. <https://doi.org/10.1080/09853111.2014.957504>
- Özkaymak, Ç., & Sözbilir, H. (2012). Tectonic geomorphology of the Spildağı High Ranges, western Anatolia, *Geomorphology*, 173–174, 128–140. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.003>
- Pant, N., Dubey, R. K., Mishra, S., Semwal, P., Rai, S. P., & Bhatt, A. (2020). Soil erosion and flood hazard zonation using morphometric and morphotectonic parameters in the upper Alaknanda River Basin. *Natural Hazards*, 103(3), 3263–3301. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04129-y>
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., et al. (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(B05411). <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Said, S., Shakeel, M., & Siddique, R. (2018). Morphometric analysis and sub-watershed prioritization of the Nagmati River Basin, Kutch Region, Gujarat using a GIS-based approach. *Journal of Water and Land Development*, 39(1), 131–139. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0068>
- Salvany, J. M. (2004). Tilted neotectonics of the Guadiamar Drainage Basin, Southwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(2), 145–160. <https://doi.org/10.1002/esp.1005>
- Sançar, T. (2023, 15 Mart). Malatya, Ovacık ve Nazimiye faylarına dikkat. *Nethaber*. <https://www.malatyanethaber.com.tr/malatya-ovacik-ve-nazimiye-faylarina-dikkat/45181/>

- Sançar, T., Zabcı, C., Akçar, N., Karabacak, V., Yeşilyurt, S., Yazıcı, M., Akyüz, H. S., Önal, A. Ö., Ivy-Ochs, S., Christl, 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). *Journal of Asian Earth Sciences*, 188, 104091. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104091>
- Sançar, T., Zabcı, C., Karabacak, V., Yazıcı, M., & Akyüz, H. S. (2019). Geometry and paleoseismology of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone), Eastern Turkey: Implications for intraplate deformation of the Anatolian Scholle. *Journal of Seismology*, 23(2), 319–349. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9808-z>
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In J. Ehlers, P. L. Gibbard, & P. D. Hughes (Eds.), *Quaternary glaciations – Extent and chronology: A closer look* (Developments in Quaternary Science, Vol. 15, pp. 393–403). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00030-1>
- Selçuk, A. S., & Düzgün, M. (2017). Tectonic geomorphology of Başkale Fault Zone. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 155, 33–47. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.315757>
- Sevimli, U. İ., & Ünlügenç, Ü. C. (2022). Malatya Ovacık Fay Zonu'nun Yazihan Segmenti'nin istatistiksel deprem risk analizi. *Geosound*, 56(1), 38–61.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, 1117–1142.
- Şengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society of London*, 136, 269–282. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0269>
- Taloor, A. K., Kotlia, B. S., Jasrotia, A. S., Kumar, A., Alam, A., Ali, S., Kouser, B., Garg, P. K., Kumar, R., Singh, A. K., Singh, B., & Jasrotia, R. (2018). Tectono-climatic influence on landscape changes in the Durung Drung Glacial Basin, Zaskar Himalaya, India: A geographic approach. *Quaternary International*, 507, 262–273. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.030>
- Talukdar, R., Pant, C. C., & Kothiyari, G. C. (2019). Assessment of neotectonic variability along the Great Himalayan Thrusts in the Kali River Basin, Central Kumaun Himalaya, India using geomorphic markers. *Journal of Geology*, 55(1), 821–844. <https://doi.org/10.1002/GJ.3452>
- Tarhan, N. (2008a). *Türkiye jeoloji haritaları J42 Paftası*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Tarhan, N. (2008b). *Türkiye jeoloji haritaları J43 Paftası*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Topal, S. (2019). Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 37–48. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.409561>
- Troiani, F., & Della Seta, M. (2008). Application of the stream length-gradient index in the morphotectonic analysis of small basins: A case study from Central Italy. *Geomorphology*, 102(1), 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.020>
- Tüysüz, O., & Erturaç, M. K. (2005). Kuzey Anadolu Fayının Devrez Çayı ile Soruk Çayı arasındaki kesiminin özellikleri ve fayın morfolojik gelişimindeki etkileri. In *Türkiye V. Kuaterner Sempozyumu (TURQUA-V) Bildiriler Kitabı* (pp. 26–40). İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.
- Uysal, A., Sunkar, M., & Avcı, V. (2025). Malatya ve çevresinde aletsel dönem (1900–2024) depremlerinin mekânsal analizleri. *Geomatik*, 10(2), 218–240. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1593289>
- Ünlügenç, H. S., Basmenji, M., Kırcan, E., Aksoy, M. E., Dikbaş, A., & Erturaç, M. K. (2021). Muğla Fayı, GB Türkiye: Morfolojik, jeomorfolojik ve paleosismolojik yeni bulgular. *Yerbilimleri*, 42(2), 232–260. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.868411>

- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B., & Wesling, J. R. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along the segmented convergent plate boundary on the Pacific margin of Costa Rica. *Geomorphology*, 1(3), 239–265. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(88)90016-5)
- Westaway, R., and Arger, J. (2001). Kinematics of the Malatya–Ovacık Fault Zone. *Geodinamica Acta*, 14(1–3), 103–131. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432438>
- Westaway, R., Demir, T., & Seyrek, A. (2008). Geometry of the Turkey–Arabia and Africa–Arabia plate boundaries in the latest Miocene to mid-Pliocene: The role of the Malatya–Ovacık Fault Zone in eastern Turkey. *eEarth*, 3, 27–35. <https://doi.org/10.5194/ee-3-27-2008>
- Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z., & Ergintav, S. (2011). Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geodynamics*, 51(5), 339-343. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.07.003>
- Yazıcı, M. (2018). *Long term deformation and earthquake history of the Ovacık fault (Eastern Turkey): Implications and contributions to the intra-plate deformation of Anatolia / Ovacık Fayı'nın uzun süreli deformasyonu ve deprem tarihçesi: Anadolu'nun levha-içi deformasyonuna etkisi ve katkısı* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yazıcı, M., Zabcı, C., Sançar, T., & Natalin, B. A. (2018). The role of intraplate strike-slip faults in shaping the surrounding morphology: The Ovacık Fault (eastern Turkey) as a case study. *Geomorphology*, 321, 129–145. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.08.022>
- Yerli, B., Softa, M., & Sözbilir, H. (2021). Gümüldür Fayı'nın morfometrik ve kinematik analizi ve Batı Anadolu'daki sismotektonik anlamı. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 64, 349–382. <https://doi.org/10.25288/tjb.846813>
- Yıldırım, C. (2008). *Almacık bloku ve yakın çevresinin morfotektoniği* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, C., & Tüysüz, O. (2009). Blok rotasyonuna fluviyal tepkinin nicel analizi: Almacık bloku örneği. *İTÜ Dergisi*, 8(3), 120–130.
- Zabcı, C. (2020). Malatya Fayı'nın morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 75, 107–118. <https://doi.org/10.17211/tcd.818850>
- Zabcı, C., Akyüz, H. S., & Sançar, T. (2017). Palaeoseismic history of the eastern part of the North Anatolian Fault (Erzincan, Turkey): Implications for the seismicity of the Yedisu seismic gap. *Journal of Seismology*, 21(6), 1407–1425. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9673-1>
- Zabcı, C., Sançar, T., Tikhomirov, D., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Friedrich, M. A., Yazıcı, M., & Akçar, N. (2017). Cosmogenic ³⁶Cl geochronology of offset terraces along the Ovacık Fault (Malatya–Ovacık Fault Zone, Eastern Turkey): Implications for the intra-plate deformation of the Anatolian block. *The International Conference on Astronomy and Geophysics*, 330–334.
- Zabcı, C., Sançar, T., Tikhomirov, D., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Friedrich, M. A., Yazıcı, M., & Akçar, N. (2017). Cosmogenic ³⁶Cl geochronology of offset terraces along the Ovacık Fault (Malatya–Ovacık Fault Zone, Eastern Turkey): Implications for the intraplate deformation of the Anatolian block. *The International Conference on Astronomy & Geophysics in Mongolia*, 330–334.
- Zabcı, C., Sançar, T., Tikhomirov, D., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Friedrich, A. M., Yazıcı, M., & Akçar, N. (2023). Internal deformation of continental blocks within converging plates: Insights from the Ovacık Fault (Anatolia, Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 351–379. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1849>