



Tektoniğin Drenaj Havzalarına Etkisinin Morfometrik İndislerle İncelenmesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kızılırmak ile Tersakan Çayı Arası, Samsun

Investigation of the effect of tectonics on drainage basins with morphometric indices, North Anatolian Fault Zone between Kızılırmak and Tersakan Stream, Samsun

Serkan Gürgöze^a, Ali Uzun^b

Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:

10.33688/aucbd.1613195

Makale Geçmişi:

Geliş: 04.01.2025

Kabul: 16.04.2025

Anahtar Kelimeler:

Morfometrik indis

Göreceli tektonik aktivite

Kızılırmak

Kuzey Anadolu Fay Zonu

Samsun

Öz

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Türkiye'nin en önemli Neotektonik yapılarından biridir. Bu çalışmada KAFZ'nin Kızılırmak ile Tersakan Çayı arasındaki bölümü incelenmiştir. Çalışma Coğrafi Bilgi Sistemleri ve saha gözlemleriyle gerçekleştirilmiştir. Tektoniğin drenaja etkisini sayısal olarak analiz edebilmek için 8 drenaj havzasına Hipsometrik eğri-hipsometrik integral (HI:0,33-0,59), Dağ önü sinüslülük indisi (Smf:1,21-1,75), Vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliği oranı (Vf:0,15-1,85), Akarsu uzunluk- gradyan indisi (SL:269,55-1159,25), Havza şekli indisi (Bs:1,32-5,51) ve Asimetri faktörü (AF:33,21-81,9) gibi morfometrik indisler uygulanmıştır. Göreceli Tektonik Aktivite (IAT) sınıflamasına göre 8 drenaj havzasının 3'ü (Sorum, İstavloz çayları ve Ovacık Deresi) çok yüksek tektonik aktivite sınıfında, 2'si (Ulu Çay ve Zeytin Deresi) yüksek tektonik aktivite sınıfında, 3'ü ise (Göl, Susuz çayları ve Çorak Dere) orta derece tektonik aktivite sınıfına girmektedir. Bu sonuçlara göre KAFZ tarafından denetlenen drenaj havzalarında tektonik aktivitenin yüksek olduğu, KAFZ'den uzaklaştıkça tektonik aktivite derecesinin azaldığı belirlenmiştir.

Article Info

Research Article

DOI:

10.33688/aucbd.1613195

Article History:

Received: 04.01.2025

Accepted: 16.04.2025

Keywords:

Morphometric index ,

Relative tectonic activity

Kızılırmak

North Anatolian Fault

Zone

Samsun

Abstract

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) is one of the most important Neotectonic structures of Türkiye. In this study, the section of the NAFZ between Kızılırmak and Tersakan Stream was examined. The study was conducted with Geographic Information Systems and field observations. In order to numerically analyse the effect of tectonics on drainage, 8 drainage basins were analysed using the hypsometric curve-hypsometric integral (HI:0,33-0,59), mountain front sinuosity (Smf: 1,21-1,75), Valley floor width- to-height ratio (Vf:0,15-1,85), Stream length gradient index (SL:269,55-1159,25), Basin shape (Bs:1,32-5,51) and Asymmetry factor (AF:33,21-81,9). According to the Relative Tectonic Activity (IAT) classification, 3 of the 8 drainage basins (Sorum, İstavloz streams and Ovacık Creek) are in very high tectonic activity class, 2 (Ulu Stream and Zeytin Creek) are in high tectonic activity class and 3 (Göl, Susuz streams and Çorak Creek) are in medium tectonic activity class. According to these results, it was determined that tectonic activity was high in the drainage basins controlled by the NAFZ, and the degree of tectonic activity decreases as one moves away from the NAFZ.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: serkangurgoze@gmail.com

^a Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-3025-2327>

^b Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3854-2780>

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) corresponds to one of the most significant neotectonic structures in Türkiye (Bozkurt and Koçyiğit, 1996; Bozkurt, 2001; Doğan, 2010). The activity of the fault commenced approximately 11 million years ago as a result of the northward movement of the Arabian Plate (Şengör and Zabcı, 2019). This tectonic motion triggered the westward displacement of the Anatolian Plate, leading to the formation of the right-lateral strike-slip North Anatolian Fault (NAF) along the boundary between the Anatolian and Eurasian Plates, and the left-lateral strike-slip East Anatolian Fault (EAF) along the boundary between the Anatolian and Arabian Plates (Reilinger et al., 2006). The NAFZ extends over a length of approximately 1200 km and consists of numerous parallel and sub-parallel fault segments, with a width ranging from a few hundred meters to 120 km (Barka, 1985; 1992; Barka et al., 2000; Barth, 2013; Bozkurt and Koçyiğit, 1996; Dirik, 1994; Erturaç, 2009; Şengör, 1979; Şengör et al., 1982; Şengör et al., 2005; Yıldırım et al., 2011).

Tectonic geomorphological studies can quantitatively determine the developmental stages of landforms and the degree of activity of the tectonic structures that control these stages (Agrawal et al., 2022; Keller, 1986; Özkaymak and Sözbilir, 2012; Tepe and Sözbilir, 2017). Several morphometric indices can be used together to assess the degree of tectonic activity in a region (Keller and Pinter 2002). Morphometric indices such as the Hypsometric Curve and Hypsometric Integral (HI), Valley Floor Width to Valley Height Ratio (Vf), Mountain-Front Sinuosity Index (Smf), Stream Length-Gradient Index (SL), Basin Shape Index (Bs), and Asymmetry Factor (AF) are among the most frequently used tools in tectonic geomorphology studies. Morphometric index analyses are widely used in Turkey as well as all over the world (Arıkan and Ertek, 2021; Arıkan, 2020; Arıkan et al, 2023; Avci and Sunkar, 2023; Gürbüz and Güner, 2008; Gürgöze, 2020; Kale, 2016; Kıranşan, 2022; Özşahin, 2015; Sağlam Selçuk and Düzgün, 2017; Tepe and Sözbilir, 2017; Topal, 2024; Tüysüz and Erturaç, 2005; Uysal, 2024; Yıldırım, 2014). The aim of this study is to reveal the effect of tectonics on the drainage basins in the section between Kızılırmak and Tersakan Stream corresponding to the middle part of the KAFZ by morphometric indices.

2. Methodology

This study was conducted based on both field observations and office-based analyses. For base data, 1/25000 scale topographic maps and 1/25000 and 1/100000 scale geological maps were used. ArcGIS 10.2, Adobe Photoshop CC, RockWork17, and Google Earth Pro software were employed for the digitization of the maps used in the study and for conducting morphometric analyses. Morphometry refers to the quantitative expression of landforms (Keller and Pinter, 2002). Morphometric indices are widely used for identifying regions affected by tectonic deformation (Eynoddin et al., 2017). Geomorphologists often utilize morphometric indices to compare landforms in different regions or to quantitatively assess the degree of tectonic activity within a particular area (Keller and Pinter, 2002). In order to apply morphometric index analyses within the study area, the Hydrology tool of ArcGIS 10.2 software was utilized to delineate a total of eight drainage basins: Soruk Stream, Ulu Stream, Istavloz Stream, Göl Stream, Susuz Stream, Zeytin Creek, Ovacık Creek, and Çorak Creek. To quantitatively

evaluate the influence of tectonic and lithological features on these drainage basins, morphometric indices commonly used in geomorphological studies, such as HI, Vf, Smf, SL, Bs, and AF, were applied. Finally, the results of all the applied indices were reclassified to determine the Relative Tectonic Activity (IAT) values and to produce a tectonic activity map for the study area.

3. Result

NAFZ is among the most significant tectonic structures of the Eastern Mediterranean Region, owing to its distinctive morphological characteristics and its potential to generate destructive earthquakes (Emre et al., 2018). The study area corresponds to the middle segment of the NAFZ, characterized by a northward convex curvature, which includes a 280 km long surface rupture generated by the 1943 (Ms 7.4) earthquake (Emre et al., 2018). Within the study area, the NAFZ is divided into three main segments from west to east: Kamil, Köprübaşı, and Havza (Emre et al., 2018). Among the eight drainage basins identified in the study area, the highest Hypsometric Integral (HI) value was calculated for the Ovacık Creek basin (0.59), whereas the lowest values were observed in the Ulu and Göl Stream basins (0.33). According to the classification proposed by El Hamdouni et al. (2008), the Soruk and Istavloz streams, as well as the Zeytin and Ovacık creek basins, exhibit high tectonic activity, while the Ulu and Göl stream basins reflect low tectonic activity. Regarding the hypsometric curve morphology, four basins display convex shapes, two basins are concave, and two basins exhibit S-shaped curves.

Based on the Mountain-Front Sinuosity (Smf) index values, six drainage basins indicate high tectonic activity, whereas two basins show moderate levels of tectonic activity. Specifically, low Smf values ranging between 1.22 and 1.44 were measured in the Zeytin Creek, Soruk, Ulu, and Istavloz streams, which are controlled by the Kamil, Köprübaşı, and Havza segments, as well as in the Ovacık Creek and Göl Stream basins controlled by the Sofular Fault. These low Smf values suggest that these fault segments are highly active in the study area. A total of 24 transverse valley profiles were extracted from the eight drainage basins to calculate the Valley Floor Width to Valley Height Ratio (Vf). The highest average Vf value was calculated for the Göl Stream basin (1.85), while the lowest was determined for the Ovacık Creek basin (0.15). According to tectonic activity threshold values, four basins are classified as active (Class 1), three basins as moderately active (Class 2), and one basin as low activity (Class 3). Drainage basins controlled by the Kamil, Köprübaşı, and Havza segments exhibit low Vf values, indicating V-shaped valleys formed in response to active uplift. According to Smf and average Vf values, the uplift rate in the basins controlled by the Kamil, Köprübaşı, and Havza segments in the southern part of the study area exceeds 0.5 mm/year, while the uplift rate decreases towards the north.

SL values were calculated at 20-meter intervals along the main channels of the eight drainage basins. The highest average SL value was determined in the Istavloz Stream basin (1159.25), while the lowest was observed in the Çorak Creek basin (269.55). According to the classification by El Hamdouni et al. (2008), three basins are classified as Class 1 (high tectonic activity), two basins as Class 2 (moderate activity), and three basins as Class 3 (low activity). The increase in SL values along the longitudinal profiles of streams was found to be predominantly associated with tectonic and lithological

factors. The Basin Shape (Bs) values calculated for the eight drainage basins range between 1.32 and 5.51. According to the classification based on Bs values, one basin is categorized as active (Class 1), two basins as moderate (Class 2), and five basins as low tectonic activity (Class 3). The highest Bs value was recorded in the Soruk Stream basin, which is controlled by the Kamil segment, indicating an elongated basin morphology. The highest Asymmetry Factor (AF) value was calculated for the Istavloz Stream basin (81.9), while the lowest was observed in the Ovacık Creek basin (33.21). The direction of tilting is westward in six basins and eastward in two basins. It was determined that block riation, tectonic and lithological factors have an effect on the asymmetry and tilt directions of the drainage basins in the study area.

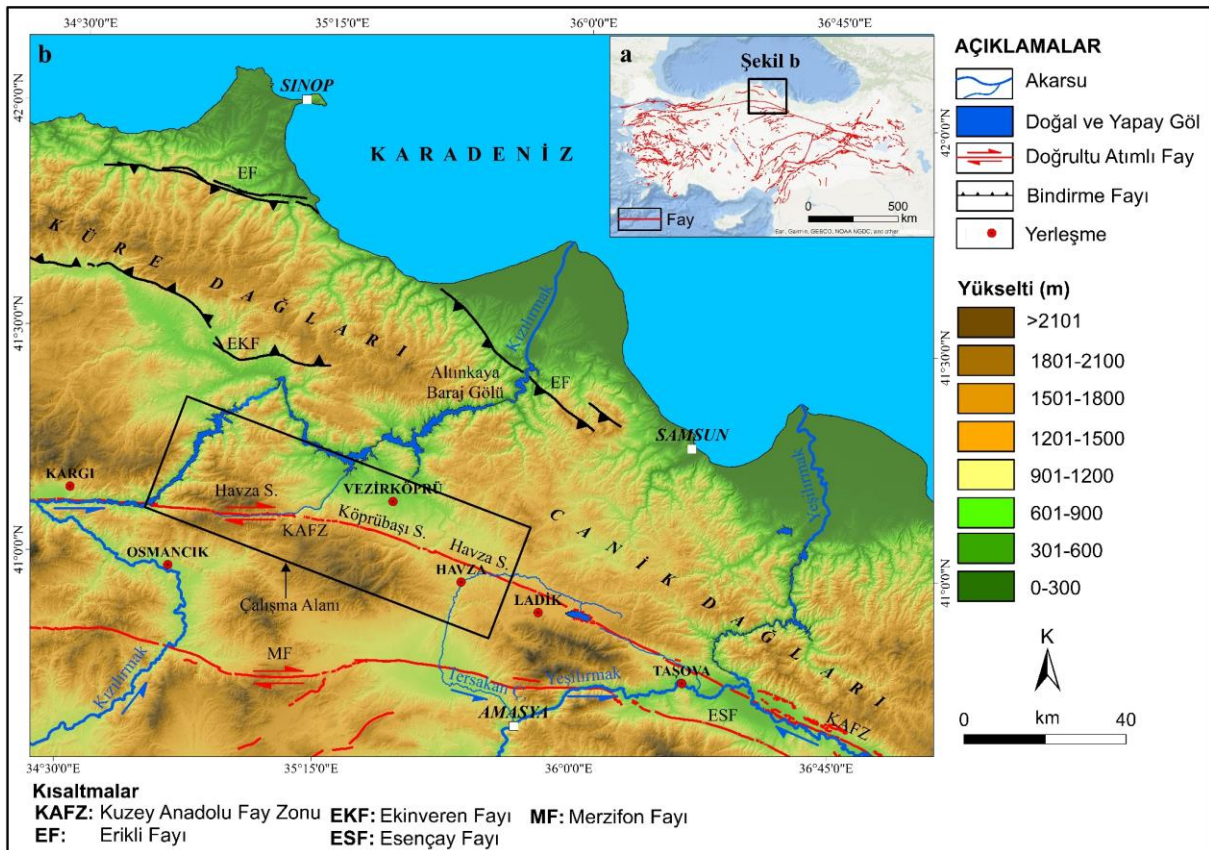
The Relative Tectonic Activity (IAT) values of the drainage basins within the study area range between 1.16 and 2.16. According to the IAT classification, three basins (Soruk Stream, Istavloz Stream, and Ovacık Creek) fall into the very high tectonic activity class, two basins (Ulu Stream and Zeytin Creek) fall into the high activity class, and three basins (Göl Stream, Susuz Stream, and Çorak Creek) fall into the moderate activity class. The IAT classification, derived from the average of morphometric index parameters, indicates that the drainage basins controlled by the Kamil, Köprübaşı, and Havza segments of the NAFZ in the southern part of the study area exhibit higher tectonic activity, whereas the degree of tectonic activity decreases progressively towards the northern part of the region.

4. Conclusions

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ), which represents one of the most significant tectonic structures in the Eastern Mediterranean Region, is characterized as a right-lateral strike-slip fault. The segment of the NAFZ within the study area is divided from west to east into three main segments: Kamil, Köprübaşı, and Havza (Emre et al., 2018). In this study, the impact of tectonic activity on drainage basins within the middle segment of the NAFZ, particularly the section between the Kızılırmak River and the Tersakan Stream, was investigated using morphometric analyses. In this context, morphometric index analyses commonly used in tectonic geomorphology studies, including the HI, Vf, Smf, SL, Bs, and AF, were applied to a total of eight drainage basins: Soruk Stream, Ulu Stream, Istavloz Stream, Göl Stream, Susuz Stream, Zeytin Creek, Ovacık Creek, and Çorak Creek. According to the Relative Tectonic Activity (IAT) classification, three of the eight drainage basins fall into the very high tectonic activity class, two basins into the high activity class, and three basins into the moderate activity class. The results of the IAT classification indicate that the drainage basins controlled by the Kamil, Köprübaşı, and Havza segments exhibit high levels of tectonic activity, whereas the degree of tectonic activity decreases progressively with increasing distance from the main fault segment

1. Giriş

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Türkiye'nin en önemli Neotektonik yapılarından biridir (Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Bozkurt, 2001; Doğan, 2010). Arap levhasının kuzeye doğru hareketiyle yaklaşık 11 milyon yıl önce başlamıştır (Şengör ve Zabcı, 2019). Bu hareket Anadolu levhasını batıya doğru harekete geçirmiş, Anadolu ile Avrasya levhaları sınırında sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Anadolu ile Arap levhaları sınırında ise sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı (DAF) oluşmuştur (Reilinger vd., 2006). Çok sayıda paralel ve yarı-paralel faydan oluşan KAFZ doğuda Karlıova'dan batıda Saros Körfezi'ne kadar yaklaşık 1200 km uzunluğa ve birkaç 100 m ile 120 km arasında değişen genişliğe sahiptir (Barka, 1985; 1992; Barka vd., 2000; Barth, 2013; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Dirik, 1994; Erturaç, 2009; Şengör, 1979; Şengör vd., 1982; Şengör vd., 2005; Yıldırım vd., 2011). KAFZ Karlıova-Havza arasında yaklaşık KB-GD, Tosya batısında ise KD-GB yönünde uzanır. Ortadaki Havza-Tosya arasında ise dış bükey bir kavis yapar. Bu çalışmada KAFZ'nin orta bölümünde ve Kızılırmak ile Tersakan Çayı arasındaki kesimi araştırma sahası olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı 41°19'21"K ve 40°50'55"K enlemleri ile 34°45'11"D ve 34°58'39"D boylamaları arasında yer alır. Çalışma alanının uzunluğu doğu-batı yönünde yaklaşık 95 km'dir.



Şekil 1. a) Türkiye'deki aktif fayları ve çalışma alanının konumunu gösteren harita (Kırmızı çizgiler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden alınan fayları göstermektedir (Emre vd., 2018)). **b)** Çalışma alanının sınırını ve yakın çevresini gösteren harita

Tektonik jeomorfoloji, jeomorfik süreçler ile tektonik hareketler arasındaki etkileşimi ve bunların sonucunda ortaya çıkan yer şekillerini inceler (Burbank ve Anderson, 2012; Mayer, 1986;

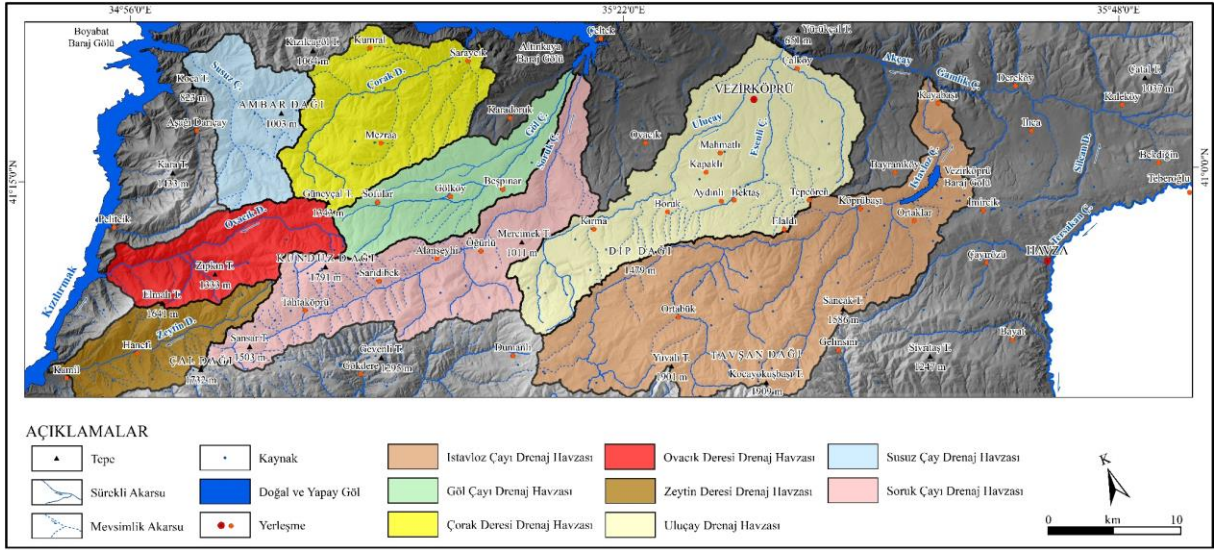
Özkaymak, 2012). Bu incelemeler sırasında yeryüzü şekillerinin gelişim evreleri ve bu evreleri denetleyen tektonik yapıların aktiflik dereceleri sayısal olarak belirlenebilir (Agrawal vd., 2022; Keller, 1986; Özkaymak ve Sözbilir, 2012; Tepe ve Sözbilir, 2017). Tektonik aktiviteyi vurgulamak ve bir bölgedeki tektonik aktivite derecesini değerlendirmek için birkaç morfometrik indis birlikte kullanılabilir (Keller ve Pinter, 2002). Hipsometrik eğri, hipsometrik integral (HI), Vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliğine oranı (Vf), Dağ önü sinüslük indisi (Smf), Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), Havza şekil indisi (Bs) ve Asimetri faktörü (AF) gibi morfometrik indisler tektonik jeomorfoloji çalışmalarında sıklıkla tercih edilen indislerdir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de morfometrik indis analizleri yaygınlıkla kullanılmaktadır (Arıkan ve Ertek, 2021; Arıkan, 2020; Arıkan vd., 2023; Avci ve Sunkar, 2023; Gürbüz ve Güner, 2008; Gürgöze, 2020; Kale, 2016; Kıranşan, 2022; Özşahin, 2015; Sağlam Selçuk ve Düzgün, 2017; Tepe ve Sözbilir, 2017; Topal, 2024; Tüysüz ve Erturaç, 2005; Uysal, 2024; Yıldırım, 2014). Bu analizlerle drenaj havzalarının evrimi ve bu evrimin üzerine yapısal ve litolojik özelliklerin etkisini hızlı ve tutarlı bir şekilde belirlemek mümkündür (Bozdoğan ve Canpolat, 2023). KAFZ'nin batı ve doğu kesimini konu olan bazı morfometrik çalışmalar bulunmaktadır (Erturaç, 2009; Gürbüz ve Şaroğlu, 2017; Köle, 2016; Sarp, 2012). Ancak KAFZ'nin orta kesimini konu olan morfometrik çalışmalar sınırlıdır (Arıkan, 2020; Arıkan ve Ertek, 2021; Tüysüz ve Erturaç, 2005). Bu çalışmanın amacı da KAFZ'nin orta bölümüne karşılık gelen Kızılırmak ile Tersakan Çayı arasındaki kesiminde tektoniğin drenaj havzalarına etkisini morfometrik indislerle ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada arazi gözlemleri ve ofis çalışmaları birlikte kullanılmıştır. Altlık veriler olarak Harita Genel Müdürlüğü'nün (HGM) sahaya ait 1/25000 ölçekli topoğrafya haritaları ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait 1/25000 ve 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılmıştır. Bu paftalar Adobe Photoshop CC programı ile düzenlenmiş ardından ArcGIS 10.2 programında Universal Transverse Mercator (UTM) Projeksiyon sistemine göre koordinatlanmıştır. Arazi çalışmaları ile çalışma alanının oluşum ve gelişiminde etki eden yapısal özellikler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Arazi gözlemlerinde tespit edilen muhtemel faylar jeoloji haritasına eklenmiştir. Çalışmadaki haritaların sayısallaştırılmasında ve morfometrik analizlerde ArcGIS 10.2, Adobe Photoshop CC, RockWork17 ve Google Earth Pro programlarından yararlanılmıştır.

Morfometri, yer şekillerinin sayısal (kantitatif) olarak ifadesidir (Keller ve Pinter, 2002). Morfometrik indisler, tektonik deformasyon geçiren sahaları tanımlamada yaygınlıkla kullanılır (Eynoddin vd., 2017). Jeomorfologlar farklı bölgelerdeki yer şekillerini kıyaslamak ya da bir sahanın tektonik aktivitesini sayısal olarak ortaya koymak için morfometrik indisler kullanabilir (Keller ve Pinter, 2002). Ayrıca tektonik aktivitenin drenaj sistemleri üzerinde etkileri de jeomorfolojik modeller ve morfometrik yaklaşımlarla ortaya konabilir (Işık vd., 2015). Bununla birlikte morfometrik indis analizleri fayların aktif olup olmadığı ya da fay segmentlerinden hangisinin daha aktif olduğu ile ilgili çıkarımlarda bulunabilmek için kullanılabilir (Agrawal vd., 2022; Akgün, 2024; Arıkan ve Ertek, 2021; Avci ve Sunkar, 2023; Özşahin, 2015; Sağlam Selçuk ve Düzgün, 2017; Uysal, 2024; Topal, 2024; Yıldırım, 2014).

Çalışma alanında morfometrik indis analizlerinin uygulanabilmesi için öncelikle drenaj havzalarına ihtiyaç vardır. Bu kapsamda ArcGIS 10.2 programı yardımıyla 1/25000 ölçekli sayısal izohipsler kullanılarak araştırma sahasının 10 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) görüntüsü üretilmiştir. Ardından bu SYM üzerinden ArcGIS programındaki Hydrology aracı kullanılarak drenaj havzaları oluşturulmuştur. Böylece Soruk Çayı, Ulu Çay, Istavloz Çayı, Göl Çay, Susuz Çay ile Zeytin Deresi, Ovacık Deresi ve Çorak Dere olmak üzere toplamda 8 drenaj havzası belirlenmiştir. Araştırma sahasındaki drenaj havzalarına tektonik ve litolojik özelliklerin etkisini sayısal olarak ortaya koyabilmek için bu havzalara jeomorfoloji çalışmalarında sıklıkla kullanılan HI, Vf, Smf, SL, Bs ve AF gibi morfometrik indisler uygulanmıştır (Çizelge 1; Şekil 2). Son olarak, kullanılan tüm indis sonuçları yeniden sınıflandırılarak çalışma sahasının Göreceli Tektonik Aktivite (IAT) değerleri ve haritası elde edilmiştir.



Şekil 2. Çalışma sahasında morfometrik indis uygulanan drenaj havzaları

Çizelge 1. Çalışma sahasında seçilen drenaj havzalarına uygulanan indisler.

İndis	Formül	Açıklama	Kaynak
Hipsometrik Integral (HI)	$HI = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$	Hmean. ortalama yükselti, Hmin. minimum yükselti, Hmax. maksimum yükselti .	Strahler (1952)
Hipsometrik eğri (He)	$y = h/H \quad x = a/A$	h: Değerlendirilen yükseklik (m). H: Havzanın en yüksek noktası (m). a: Alınan yükseklik üzerindeki gerçek alan (m ²). A: Havzanın toplam gerçek alanı (m ²)	Strahler (1952)
Dağ önu sinüslülük indisi (Smf)	$Smf = Lmf / Ls$	Lmf: Dağ cephesi uzunluğu, Ls: Dağ cephesinin düz bir hat olarak uzunluğu.	Bull (1977) Bull ve McFadden (1977)
Vadi tabanı genişliği Vadi yüksekliği oranı (Vf)	$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$	Vfw: Vadi tabanının genişliği, Eld: Vadinin sol tarafındaki kesimin yüksekliği, Erd: Vadinin sağ tarafındaki kesimin yüksekliği, Esc: Vadi tabanı yüksekliği.	Bull ve McFadden (1977) Keller ve Pinter (2002)
Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL)	$SL = (\Delta H / \Delta L) * L$	ΔH : Akarsu kanalının yükseklik değişimi (Maksimum Yükseklik/Minimum Yükseklik), ΔL : Akarsu kanal parçasının uzunluğu. L: İndis hesaplama noktasından vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafenin metre olarak değeri.	Hack (1973)

Drenaj havzası şekli (Bs)	$Bs = \frac{Bl}{Bw}$	Bl: Havza uzunluğu, Bw: Havza genişliği.	Bull ve McFadden (1977)
Asimetri faktörü (AF)	$AF = 100 * (Ar / At)$	Ar: Akarsuyun menbasından mansabına bakarken, drenaj havzasının sağ tarafındaki alanı, At: Havzanın toplam alanı.	Hare ve Gardner (1985) Keller ve Pinter (2002)
Göreceli Tektonik Aktivite Sınıflaması	$IAT = S / n$	IAT: Göreceli Tektonik Aktivite Sınıflaması S: İndis sonuçlarının toplamı n: İndislerin sayısı	El Hamdouni vd. (2008)

Hipsometrik Eğri-Hipsometrik İntegral (Hi): Hipsometrik eğri yüksekliğin drenaj havzası içindeki dağılımını ifade eder. Bu eğri toplam havza yüksekliği oranı (h/H = rölatif yükseklik) ve toplam çalışma alanı oranının (a/A =rölatif alan) birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmektedir (Strahler, 1952). Dışbükey hipsometrik eğriler nispeten genç, az aşınmış alanları, 'S' şekilli eğriler orta derecede aşınmış bölgeleri, içbükey eğriler ise nispeten yaşlı ve fazla aşınmış sahaları ifade eder (Giaconia vd., 2012). Hipsometrik integral (Hi), hipsometrik eğrinin altında kalan alanı temsil etmektedir (Strahler, 1952). Hi, 0'a yaklaştıkça yüksek derecede aşınmış havzaları, 1'e yaklaştıkça daha az aşınmış havzaları göstermekte olup bu iki indis litolojik ve tektonik faktörler tarafından kontrol edilmektedir (Giaconia vd., 2012). Yüksek Hi değerleri genç bir topoğrafyayı ve tektonik olarak aktif alanları, düşük Hi değerleri ise olgun bir topoğrafyayı ve tektonik olarak pasif alanları karakterize etmektedir (Bekaroğlu, 2013). Bu çalışma kapsamında El Hamdouni vd. (2008)'nin hipsometrik integral değeri (Hi) tektonik aktivite derecelerine göre $Hi > 0.50$ yüksek tektonik aktivite (Sınıf 1, dışbükey eğri), $0.4 < Hi < 0.5$ orta derecede tektonik aktivite (Sınıf 2, 'S' şekilli eğri), $Hi < 0.4$ düşük tektonik aktivite (Sınıf 3, iç bükey eğri) olarak sınıflandırılmıştır.

Dağ Önü Sinüslülük İndisi (Smf): Dağ önü sinüslülük indisi (Smf), tektonik olarak aktif ve pasif dağ önlerini ayırt etmek için kullanılan bir yöntemdir (Keller ve Pinter, 2002). Bu indis, bir dağ önünü aşındırmaya çalışan akarsu erozyon süreçleri ile düz bir dağ cephesi oluşturma çabası gösteren tektonik kuvvetler arasındaki dengeyi temsil eder (Mosavi ve Arian, 2015). Smf değerlerinin sınıflandırılmasında farklı eşik değerler kullanılmaktadır (Bull, 2007; El Hamdouni vd., 2008; Silva vd., 2003). Bu çalışmada Bull (2007) tarafından belirlenen eşik değerler tercih edilmiştir. Buna göre, Smf değeri 1 - 1,5 arasında olan dağ önleri aktif (yükselme egemen), 1,5 - 3 arasında olanlar orta derecede aktif, 3 - 10 arasında olanlar ise inaktif kabul edilmektedir. Smf değerlerinin düşüklüğü aktif yükselme sürecine işaret ederken, yüksek Smf değerleri tektonik aktivitenin azaldığını ve aşınmanın baskın hale geldiğini göstermektedir (Burbank ve Anderson, 2012; Keller ve Pinter, 2002; Wells vd., 1988).

Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı İndisi (Vf): Bir sahada meydana gelen tektonik yükselme hızının belirlenmesinde en fazla tercih edilen indislerden biri, Vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliğine oranı indisidir (Sağlam Selçuk ve Düzgün, 2017). Vf değerlerinin yüksekliği düşük yükselme oranını ve dolayısıyla yamaç işlenmesini gösterirken, düşük Vf değerleri tektonik yükselmeye paralel olarak kuvvetle kazılan vadileri ifade etmektedir (Öztürk ve Erginal, 2008). Vf değerinin 1'den küçük olması aktif yükselmeye cevap olarak yatağını derine kazın V şekilli akarsu vadilerini, Vf değerinin 1'den büyük olması ise tektonik durgunluğa bağlı olarak daha çok yanal erozyon ile oluşmuş geniş tabanlı U şekilli vadileri göstermektedir (Silva vd., 2003). Vf oranının tektonik aktivite derecesi El Hamdouni vd. (2008)'nin eşik değerleri dikkate alınarak $Vf \leq 0,5$ (aktif), $Vf = 0,5 < Vf < 1$ (orta derece aktivite) ve $Vf \geq 1$ (düşük) olmak üzere 3 grupta incelenmiştir.

Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL): Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), akarsu gücü ile sıkı bir şekilde ilişkili olduğundan, akarsu erozyonunun yoğun olduğu alanlardaki anomalilerin varlığını vurgulamak için yaygın olarak kullanılan bir indistir (Topal ve Softa, 2023). Bu indis akarsu vadisi boyunca olası tektonik aktivite, kaya direnci ve topoğrafya arasındaki ilişkileri sayısal olarak değerlendirebilmek amacıyla kullanılabilir (Keller ve Pinter, 2002). SL değerlerinin yüksekliği dirençli kayaların varlığını veya tektonik aktiviteyi, SL değerlerinin düşüklüğü ise daha az dirençli kayaları veya düşük tektonik aktiviteyi ifade etmektedir (Keller ve Pinter, 2002). Çalışmada SL İndis değerlerinin tektonik aktivite derecelerine göre sınıflandırılmasında El Hamdouni vd. (2008) tarafından belirlenen eşik değerler kullanılmıştır. Bu değerler 1) $SL \geq 500$ (yüksek), 2) $500 > SL > 300$ (orta), 3) $SL \leq 300$ (düşük)'dür.

Havza şekil indisi (Bs): Bir drenaj havzasının uzunluğunun maksimum havza genişliğine oranı olarak ifade edilir (El Hamdouni vd., 2008). Tektonik olarak aktif olan genç drenaj havzalarında havza şekli genellikle uzundur ve Bs indis değeri yüksek, tektonik bakımdan aktif olmayan drenaj havzalarında ise havza şekli daireseldir ve Bs değeri ise düşüktür (Bull ve McFadden, 1977). Bu çalışmada, Bs İndis değerlerinin tektonik aktivite derecelerine göre sınıflandırılmasında El Hamdouni vd. (2008) tarafından belirlenen eşik değerler kullanılmıştır. Bu değerler sırasıyla 1) $Bs > 4$ (yüksek), 2) $3 < Bs < 4$ (orta), 3) $Bs < 3$ (düşük) şeklindedir.

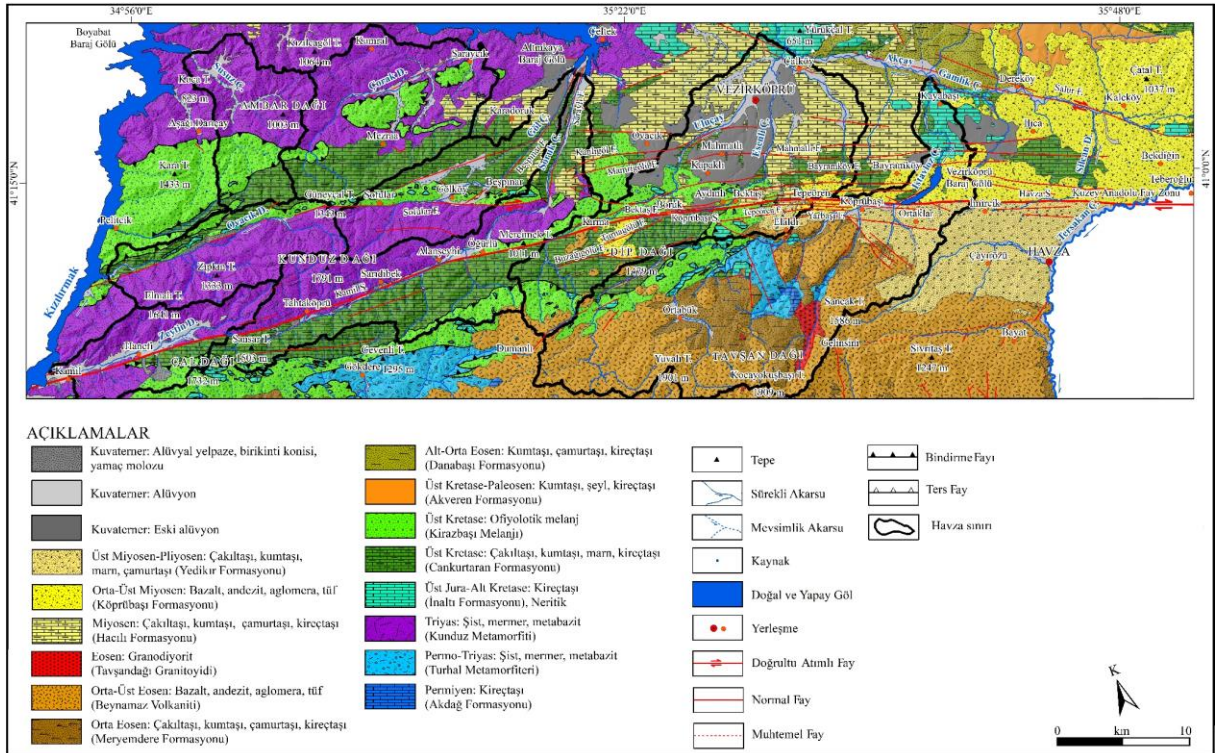
Asimetri Faktörü (AF): Drenaj havzalarının tektonik faaliyetler kontrolünde gelişip gelişmediğinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir (El Hamdouni vd., 2008; Gürbüz ve Şaroğlu, 2017). AF, bir akarsu havzasında kaynaktan ağız kısmına bakınca ana akarsuyun sağ tarafında kalan alanın havzanın toplam alanına oranını (%) ifade etmektedir (Hare ve Gardner, 1985). AF değerlerinin 50'den düşük olması akarsuyun akış yönünde sağa doğru bir titlenmeyi gösterirken, AF değerlerinin 50'den yüksek olması ise havzanın akış yönüne göre sola doğru titlendiğini ifade eder (Keller ve Pinter, 2002). Diğer koşullar (yerçekilleri, litoloji, iklim, bitki örtüsü vd.) sabit kabul edildiğinde birçok akarsu havzası için AF indis değeri genel olarak 50'ye eşittir (Bekaroğlu, 2013). Havzaların Af indis değerinin 50'nin üstünde veya altında olması, tektonik aktivite farklılığından veya aşınmaya karşı farklı dirence sahip litolojik birimlerden oluşmasından kaynaklanabilir (El Hamdouni vd., 2008).

Göreceli Tektonik Aktivite Sınıflaması (IAT): Bir sahanın morfometrik olarak analizinde birden fazla indisin kullanılması daha güvenilir sonuçlara ulaşılması bakımında önemlidir (Bekaroğlu, 2013). Drenaj havzaları üzerinde aktif tektoniğin etkisini ortaya koymaya yarayan IAT sınıflaması El Hamdouni vd. (2008) tarafından geliştirilmiştir. Bu sınıflama Hipsometrik eğri, hipsometrik integral (Hi), Vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliği oranı (Vf), Dağ önü sinüslük indisi (Smf), Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), Havza şekil indisi (Bs) ve Asimetri faktörü (AF) olmak üzere 6 farklı morfometrik indislerden elde edilen tektonik aktivite derecelerinin ortalamalarının yeniden sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Bu sınıflandırmada tektonik aktivitesi 1) Çok yüksek ($1,0 < IAT < 1,5$), 2) Yüksek ($1,5 < IAT < 2$), 3) Orta ($2 < IAT < 2,5$) ve 4) Düşük ($2,5 < IAT$) olmak üzere 4 sınıf belirlenmiştir (El Hamdouni vd., 2008). Böylece çalışma sahasında hangi drenaj havzalarında tektonik aktivitenin yüksek olduğu ortaya konulmuştur.

3. Bulgular

3.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Çalışma sahasında Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar olan zaman aralığında meydana gelmiş magmatik, metamorfik ve tortul kayaç birimleri görülmektedir. Sahadaki en yaşlı formasyonu Paleozoik dönemine ait kireçtaşları, en genç formasyonu ise Kuvaterner alüvyonları meydana getirmektedir (Şekil 3). Dirik (1993a), araştırma sahası ve yakın çevresinde mostra veren birimleri, temel ve örtü kaya birimleri olmak üzere iki grupta incelemiştir. Bu temel kaya birimleri Miyosen öncesinde meydana gelmiş farklı fasiyeslerden oluşmaktadır. Bu birimler kuzey Neo-Tetis'in kapanması sırasında meydana gelen kuzeye dalımlı yitim zonunun yığılma prizmasının tektonik birimleridir (Dirik, 1993a). Örtü kaya birimleri de temel kaya birimlerini açılal uyumsuzlukla örten ve Miyosen dönemi sonrasında meydana gelmiş havza dolgularıdır (Dirik, 1993a; 1994). Kuvaterner formasyonları ise tüm bu birimleri diskordans olarak örtmektedir (Dirik, 1991).



Şekil 3. Çalışma sahasının jeoloji haritası (MTA 1/25000 ölçekli jeoloji paftaları ile Dirik (1991, 1993a); Herece ve Akay (2003); Uğuz ve Sevin (2009a, 2009b)'den yararlanılarak çizilmiştir)

Çalışma sahasında Paleozoik'e ait şist ve mermerler parçalar halinde görülür. Ayrıca yörede geniş alanlar halinde Triyas'a ait şist ve mermerler ile Üst Kretase'ye ait flišler ve ofiyolitler de yüzeylenir (Foto 1). Bunlardan Triyas'a ait metamorfikler Kunduz ve Ambar dağlarının bulunduğu alanda yayılış gösterir. Sahada Eosen formasyonları sedimanter ve volkanik kayaçlardan oluşur. Alt-Orta Eosen arazileri kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşlarından, Orta-Üst Eosen arazileri ise bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden meydana gelir. Bu formasyonlar sahanın güneyinde Tavşan Dağı ve çevresinde görülür. Sahada Miyosen-Pliyosen arazilerine de rastlanır. Bu formasyonlar Havza ve Vezirköprü

havzalarında yayılım göstermekte ve çakıltası, kumtaşı, marn, kireçtaşı ile bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır (Foto 2). Sahanın en genç birimlerini ise Kuvaterner'e ait alüvyonlar, yamaç molozları ve alüvyal fanlar oluşturur. Güncel alüvyal dolgular Tersakan Çayı, İstavloz Çayı, Ulu Çay, Soruk Çayı ve Zeytin Deresi gibi akarsuların vadi tabanlarında, alüvyal yelpazeler ise özellikle Soruk Çayı vadisi boyunca görülmektedir. Bunlar Kunduz Dağı'ndan kaynaklarını alan derelerin taşıdıkları farklı boyuttaki çakıl ve kumların eğim azaldığı yerlerde biriktirilmesiyle meydana gelmiştir.

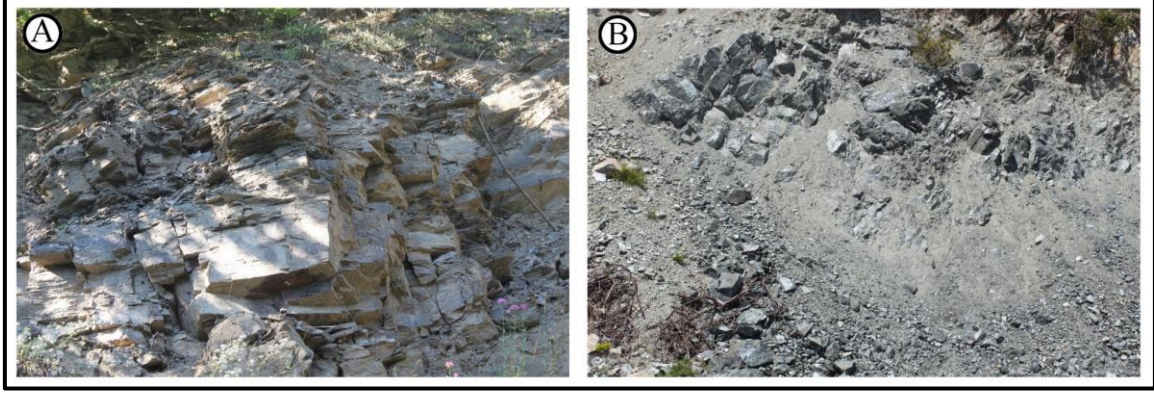


Foto 1. (A) Triyas'a ait şistlerden bir görünüm. Alanşehi yerleşmesinin kuzeydoğusu. (B) Üst Kretase'ye ait ofiyolitler. Ortabük yerleşmesi kuzeydoğusu, kuzeye bakış

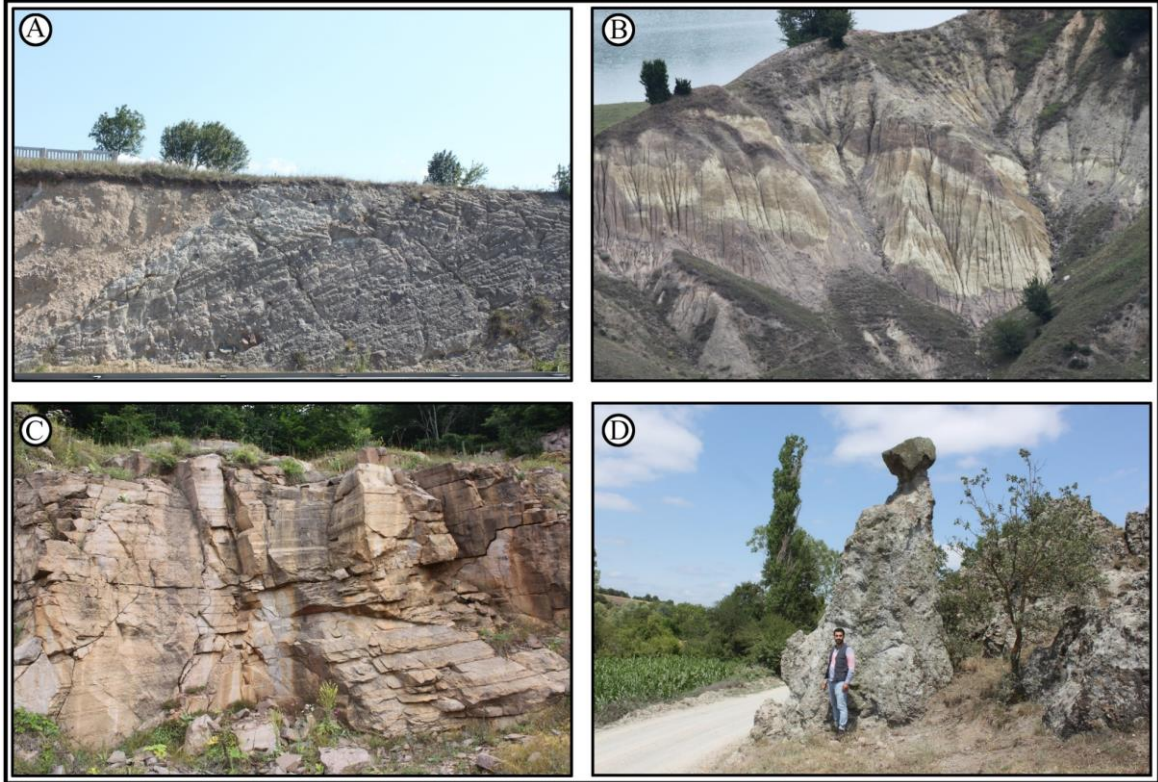
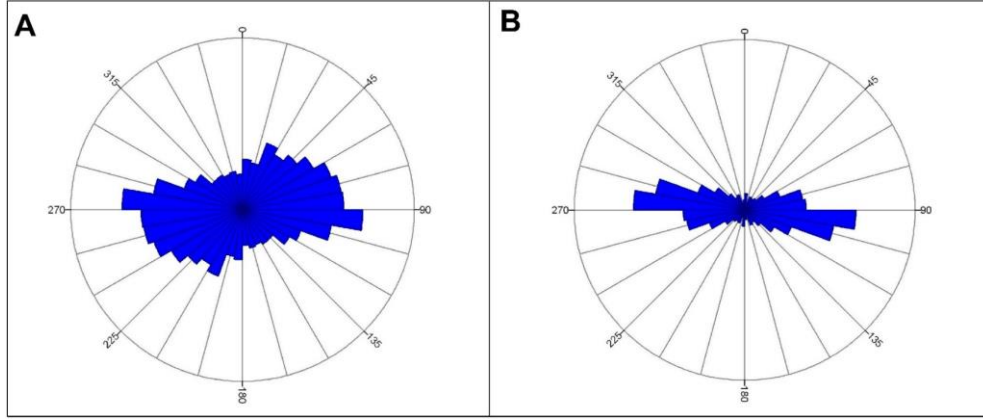


Foto 2. Miyosen dönemine ait (A) Aglomeralar, Bekdiğin yerleşmesi doğusu, güneye bakış. (B) Tüfler, Ortaklar yerleşmesi kuzeyi, kuzeye bakış. (C) Andezitler, Çataltepe kuzeyi, kuzeye bakış. (D) Peribacası, Bekdiğin yerleşmesi kuzeyi, batıya bakış

Faylar morfolojide zayıflık zonları oluşturdukları için akarsuların oluşum ve gelişmesinde önemli rol oynarlar. Çalışma sahasında meydana gelen tektonik hareketler drenaj sistemlerini etkiler ve akarsuların faylar tarafından denetlenmesini sağlar. Nitekim sahadaki akarsuların ve fayların gül diyagramları incelendiğinde genel olarak akarsuların fayların doğrultusuyla uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 5; Foto 3).



Şekil 5. (a) Çalışma sahasındaki akarsuların gül diyagramı. (b) Çalışma sahasındaki fayların doğrultularını gösteren gül diyagramı



Foto 3. KAFZ'nin Kamil Segmenti tarafından denetlenen Soruk Çayı vadisi. Öğürlü yerleşmesi kuzeyi, batıya bakış

3.2. Morfometrik İndis Analizleri

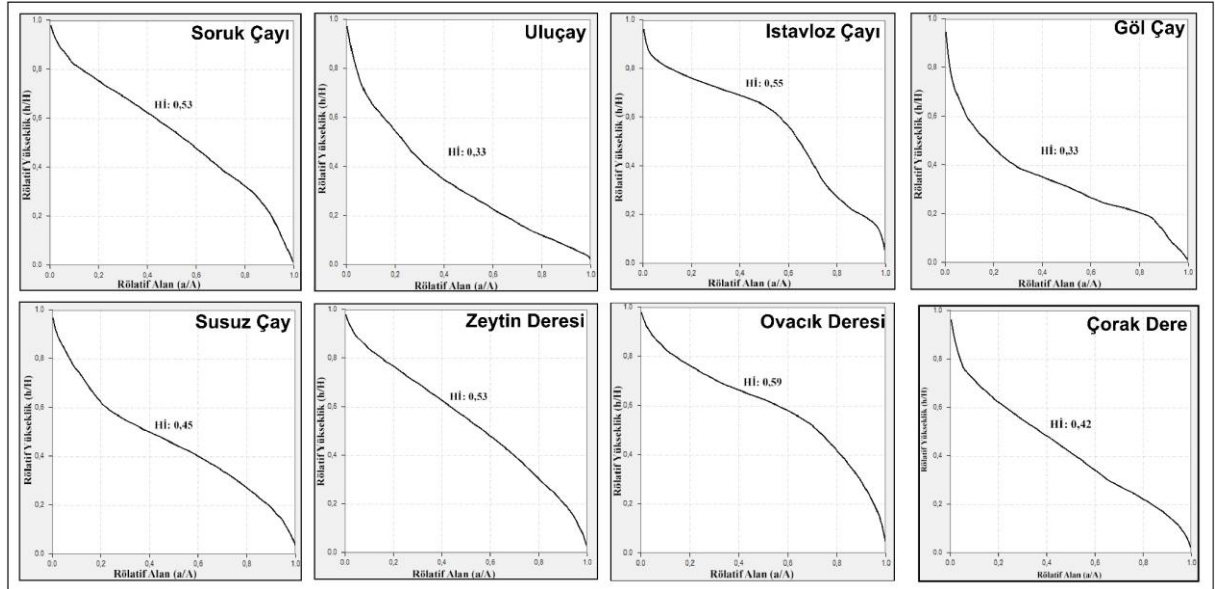
3.2.1. Hipsometrik Eğri-Hipsometrik Integral (HI)

Çalışma sahasındaki 8 drenaj havzası için hipsometrik integral (Hi) değeri hesaplanmıştır (Çizelge 2). Sahadaki en yüksek Hi değeri 0,59 ile Ovacık Deresi'nde, en düşük Hi değeri ise 0,33 ile Ulu ve Göl çay havzalarında bulunmuştur. Ayrıca El Hamdouni vd. (2008)'nin sınıflandırmasına göre

Soruk ve Istavloz çayları ile Zeytin ve Ovacık dereleri havzalarında tektonik aktivite yüksek, Ulu ve Göl çay havzalarında ise tektonik aktivite düşüktür. Çalışma sahasındaki 4 havza dışbükey, 2 havza içbükey, 2 havza ise 'S' şekilli hipsometrik eğriye sahiptir (Şekil 6). Dışbükey eğriye sahip havzalar aşınımın gençlik evresine, 'S' şekilli havza gençlik evresinden olgunluk evresine geçişe, içbükey havzalar ise aşınımın yaşlılık evresine karşılık gelmektedir. Nitekim Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentleri tarafından denetlenen drenaj havzalarında Hi değerleri yüksek çıkmaktadır. Ancak Istavloz Çayı ile Ulu Çay komşu iki havza olmasına ve genel olarak Köprübaşı segmenti tarafından kontrol edilmelerine rağmen Istavloz Çayı'nın Hi değeri 0,55, Ulu Çay'ın ise Hi değeri 0,33 olarak hesaplanmıştır. Bu durumun ortaya çıkmasında muhtemelen Ulu Çay drenaj havzasının büyük kısmının bir çöküntü havzasına karşılık gelen Vezirköprü Havzası'nda yer almasından ve kolay aşınabilir litolojik birimler içermesinden dolayıdır.

Çizelge 2. Çalışma sahasındaki havzaların hipsometrik eğri ve HI değerleri.

Havza Adı	Hipsometrik Integral (HI)	Hipsometrik Eğri Şekli	Sınıf No
Soruk Çayı	0,53	Dışbükey	1
Ulu Çay	0,33	İçbükey	3
Istavloz Çayı	0,55	Dışbükey	1
Göl Çay	0,33	İçbükey	3
Susuz Çay	0,45	'S' şekilli	2
Zeytin Deresi	0,53	Dışbükey	1
Ovacık Deresi	0,59	Dışbükey	1
Çorak Dere	0,42	'S' şekilli	2



Şekil 6. Çalışma sahasındaki akarsu havzalarının hipsometrik eğrileri ve hipsometrik integral değerleri (Akarsu havzalarının hipsometrik eğrileri Pérez-Peña vd. (2009) tarafından geliştirilen CalHypso ekletisi kullanılarak üretilmiştir)

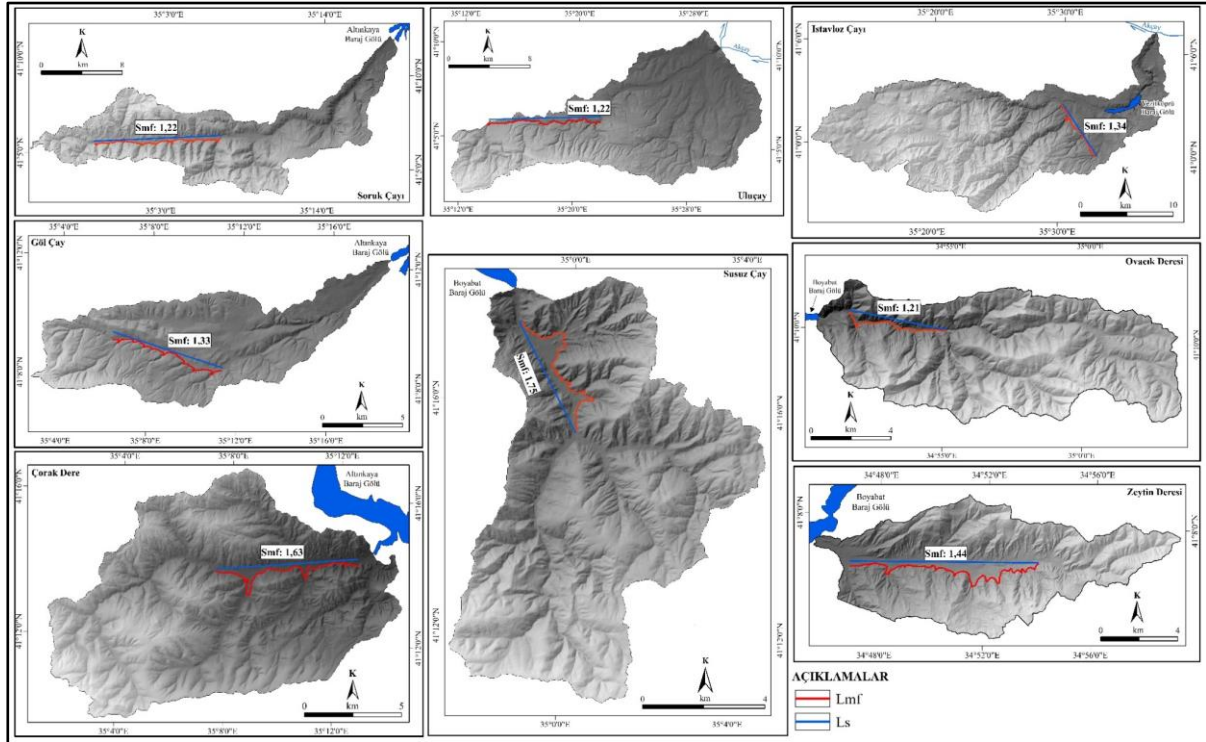
3.2.2. Dağ Önü Sinüslülük İndisi (S_{mf})

Çalışma alanında 8 akarsu havzası için Dağ önü sinüslülük indisi (S_{mf}) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 7). Buna göre 6 akarsu havzasında yüksek tektonik aktiviteye, 2 akarsu havzasında ise orta

düzeyde tektonik aktiviteye işaret eden Smf değerleri ölçülmüştür (Çizelge 3). Smf değerlerine ayrıntılı olarak bakıldığında Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentlerinin denetlediği Zeytin Deresi, Soruk, Ulu ve Istavloz çayları havzaları ile (1,22-1,44 aralığında) Sofular fayının denetlediği Ovacık Deresi ile Göl Çayı havzalarında düşük Smf değerleri ölçülmüştür. Bu değerler bu segmentlerin sahada daha aktif olduğunu gösterir. Sahanın kuzeyinde yer alan Çorak ve Susuz dereleri havzasında ise daha yüksek Smf değerleri (1,63-1,75) bulunmuştur. Bu değerler de bu havzaları denetleyen fayların sahanın güneyindeki segmentlere oranla daha az aktiviteye sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 3. Çalışma sahası için hesaplanan Smf değerleri.

Havza Adı	Lmf (m)	Ls (m)	Smf Değeri	IAT
Soruk Çayı	15387,89	12555,65	1,22	Yüksek
Ulu Çay	13709,39	11172,58	1,22	Yüksek
Istavloz Çayı	8928,06	6625,66	1,34	Yüksek
Göl Çay	9504,30	7135,03	1,33	Yüksek
Susuz Çay	7098,60	4054,91	1,75	Orta
Zeytin Deresi	14079,54	9763,02	1,44	Yüksek
Ovacık Deresi	6040,49	4960,08	1,21	Yüksek
Çorak Dere	12051,63	7358,47	1,63	Orta



Şekil 7. Çalışma sahasındaki akarsu havzalarında Smf ölçümü yapılan yerler ve değerleri

3.2.3. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı İndisi (Vf)

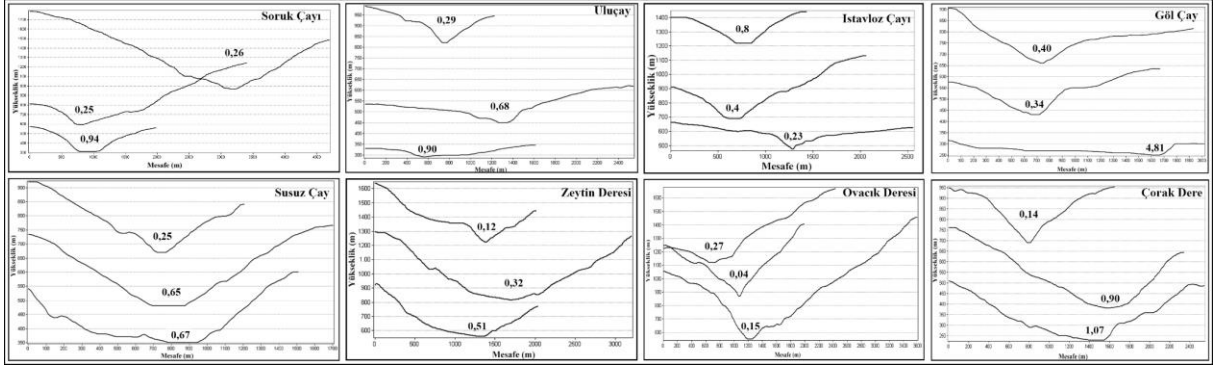
Çalışma sahasında 8 drenaj havzasında 24 tane enine vadi profilleri çıkarılmıştır. Bu profiller akarsuların yukarı, orta ve aşağı çığırlarında seçilmiş ve Vf değerleri hesaplanmıştır (Şekil 8). Ardından her bir havzanın Vf değerlerinin ortalaması alınmış ve tektonik aktivite derecesi belirlenmiştir. Analiz

sonucuna göre Vf indis ortalaması en yüksek havza Göl Çayı (1,85), en düşük olan ise Ovacık Deresi (0,15)'dir. Analiz edilen havzalar Hamdouni vd. (2008)'nin belirlenen tektonik aktivite eşik değerlerine göre 4 havza aktif (1.Sınıf), 3 havza orta (2. Sınıf), 1 havza (3. Sınıf) ise düşük tektonik aktivite sınıfında yer alır (Çizelge 4). Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentlerinin denetlediği drenaj havzaları düşük Vf değerleri sunmaktadır. Bu havzalar aktif yükselmeye cevap olarak yatağını derine kazan V şekilli akarsu vadileridir. Sahanın kuzeyinde yer alan Susuz Çay ve Çorak Dereleri ise daha yüksek Vf değerleri sunar. Bu durum sahanın güneyindeki ana segmentlerin denetlediği drenaj havzalarında tektonik aktivitenin yüksek olduğunu, kuzeye doğru gidildikçe ikincil faylar tarafından denetlenen havzalarda ise tektonik aktivitenin azaldığına işaret eder. Ancak bu kısımda dikkati çeken durum Sofular fayı tarafından kontrol edilen Ovacık Deresi'nde ortalama Vf değeri 0,15 (IAT: yüksek) çıkarken, Göl Çayı'nda ortalama Vf değeri 1,85 (IAT: Düşük) çıkmıştır. Göl Çayı'nın ana kolu üzerinde çıkarılan enine vadi profillerinde hesaplanan Vf değerleri aşağı çığırından yukarı çığına doğru sırasıyla 4,81, 0,34 ve 0,40'dır. Özellikle havzanın aşağı çığırında kolay aşınabilir litolojik birimlerden Kuvaterner dönemine ait alüvyonlar yayılımı gösterir. Dolayısıyla havzanın aşağı çığı geniş tabanlı bir vadi özelliği göstermekte ve Vf değeri 4,81 çıkmaktadır. Bu durum havzanın Vf değerinin ortalamasını yükselterek tektonik aktivite derecesinin düşük çıkmasına neden olmuştur.

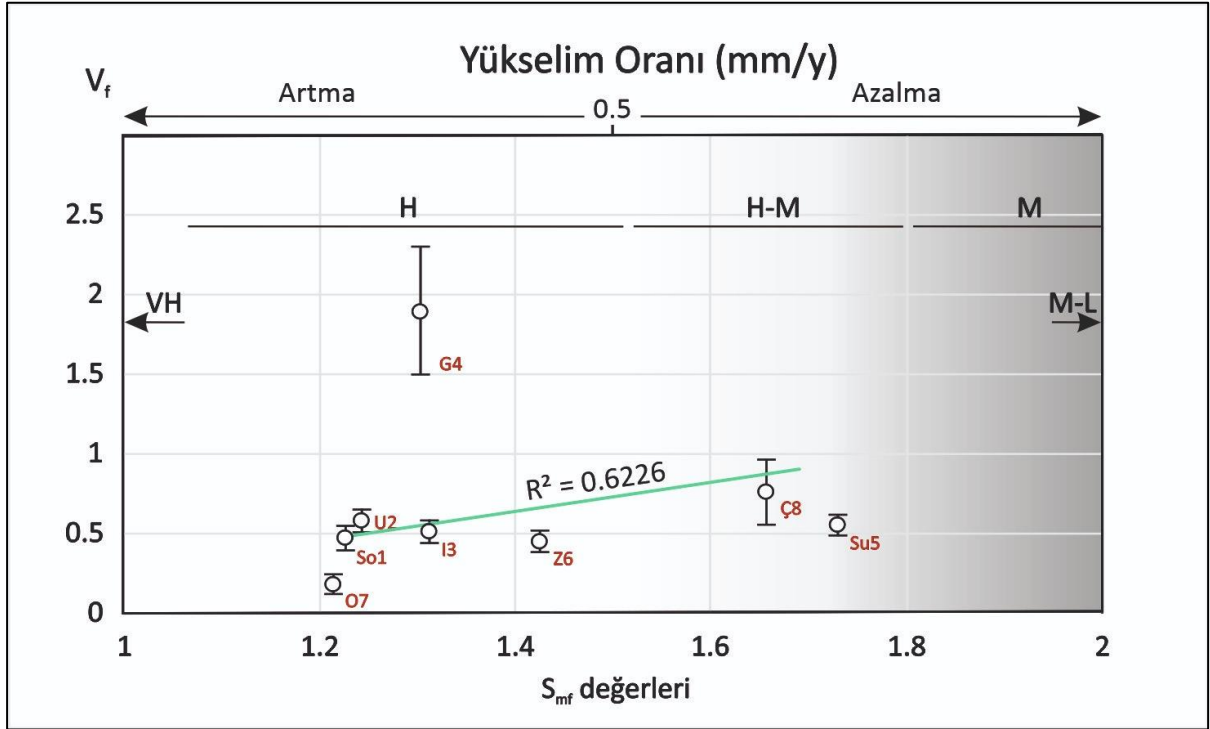
Son yıllarda yapılan çalışmalarda Smf ve Vf indislerinin birbiriyle bağlantılı olduğu ve rölatif tektonik aktivitenin yorumlanmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir (Bull, 2007; Rockwell vd., 1984; Silva vd., 2003). Çalışma sahasındaki her bir havza için hesaplanan Smf ve ortalama Vf değerleri kıyaslandığında $R^2 = 0.6226$ değerine göre olumlu bir korelasyon olduğunu söylenebilir. Yapılan sınıflama sonucunda Zeytin Deresi, Soruk, Ulu ve Istavloz çayları havzalarını denetleyen Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentleri ile Ovacık Deresi havzasını denetleyen Sofular fayının yüksek aktiviteye sahip faylar olduğu belirlenmiştir. Sahanın kuzeyindeki Susuz Çay ve Çorak Dere ise daha yüksek Smf ve Vf değerleri sunarak diğer havzalara oranla daha düşük tektonik aktiveye sahip faylar tarafından denetlenir. Bu değerlerle ilişkili olarak sahanın güneyindeki Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentlerinin denetlediği havzalarda yükselme hızının 0.5 mm/yıl'dan fazla olduğu, sahanın kuzeyine doğru gidildikçe yükselme hızının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 9).

Çizelge 4. Çalışma sahası için hesaplanan Smf, ortalama Vf değerleri ve IAT sınıfları.

Havza Adı	Smf	IAT	Vf Ortalama	Sınıf No	IAT
Soruk Çayı	1,22	Yüksek	0,48	1	Yüksek
Ulu Çay	1,22	Yüksek	0,62	2	Orta
Istavloz Çayı	1,34	Yüksek	0,47	1	Yüksek
Göl Çay	1,33	Yüksek	1,85	3	Düşük
Susuz Çay	1,75	Orta	0,52	2	Orta
Zeytin Deresi	1,44	Yüksek	0,31	1	Yüksek
Ovacık Deresi	1,21	Yüksek	0,15	1	Yüksek
Çorak Dere	1,63	Orta	0,70	2	Orta



Şekil 8. Çalışma sahasındaki akarsu havzalarının enine vadi profilleri ve V_f değerleri



Şekil 9. Her bir havza için hesaplanan S_{mf} ve V_f değerlerinin grafiği. Üstteki sayı, Rockwell vd. (1984)'den elde edilen yükselme oranlarını U (mm / y) göstermektedir. VH: Çok Yüksek, H: Yüksek, H-M: Yüksek ila Orta, M: Orta, M-L: Orta ila Düşük.

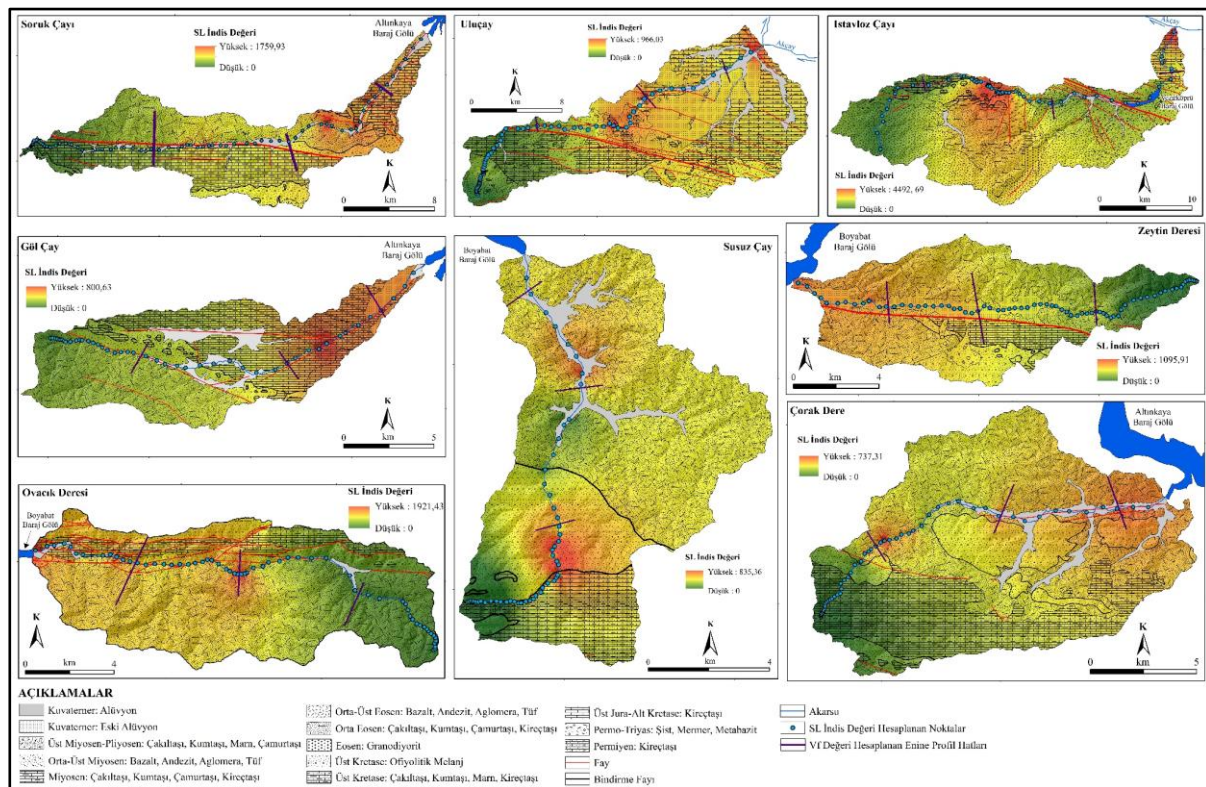
3.2.4. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL)

Çalışma sahasında 8 drenaj alanındaki her bir ana kol için 20 m aralıklarla SL değerleri hesaplanmıştır (Şekil 10). Ardından elde edilen SL değerleri Inverse Distance Weighted (IDW) yöntemiyle enterpole yapılmış ve her bir drenaj havzası için SL dağılışı haritası üretilmiştir. Analiz edilen havzalarda SL indis ortalaması en yüksek İstavroz Çayı'nda (1159,25), en düşük ise Çorak Dere'de (269,55) ölçülmüştür. El Hamdouni vd. (2008) sınıflamasına göre sahadaki 3 havza 1.sınıf (yüksek tektonik aktivite), 2 havza 2.sınıf (orta derece tektonik aktivite) ve 3 havza 3.sınıfta (düşük tektonik aktivite) bulunmaktadır (Çizelge 5). SL indis değerleri tektonik ve litolojik faktörlere bağlı olarak artmakta ve azalmaktadır (Softa vd., 2018). Bu nedenle sahadaki SL değerlerinin tektonik ve/veya

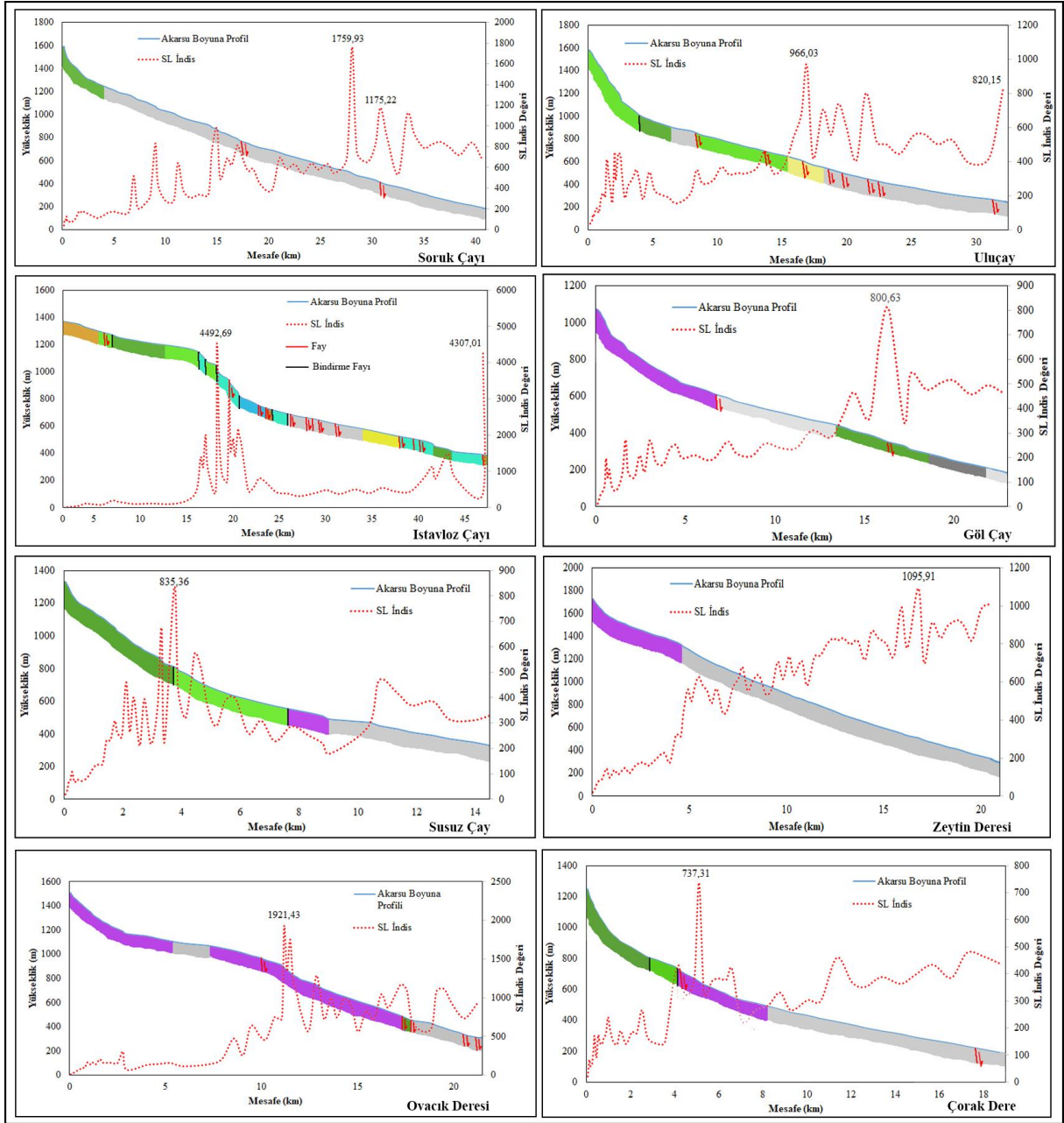
litolojik faktörler etkisi altında meydana geldiğini ortaya koymak amacıyla akarsuların boyuna profilleri jeolojik verilerle değerlendirilmiştir (Şekil 11). Drenaj havzalarının SL indis grafikleri incelendiğinde formasyon sınırları ile fayların bulunduğu kesimlerde SL değerleri aniden yükseldiği görülmektedir. Örneğin Köprübaşı ve Havza segmentlerinin denetlediği Istavloz Çayı havzasında maksimum SL indis değeri 4492,69 olarak elde edilmiştir. Diğer bir SL indis artışı ise akarsuyun aşağı çıkışında 4307,01 olarak bulunmuştur. Bunlardan birincisi litolojik farklılıktan kaynaklanmakta olup bu kesimde Istavloz Çayı daha az dirençli Üst Kretase ofiyolitlerinden daha dirençli Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı dokanağından geçer. Bu dokanak aynı zamanda faylıdır. İkincisi yüksek değer ise dirençli Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarıyla daha az dirençli Kuvaterner'e ait alüvyonların dokanağında bulunmuş olup aynı zamanda bu kesimdeki faylanmaya nedeniyle SL indis değeri yüksek çıkmıştır. Ayrıca Köprübaşı segmentinin denetlediği Ulu Çay'ın SL grafiği incelendiğinde kolay aşınabilir Miyosen'e ait çakıltı, kumtaşı ve çamurtaşı ile Kuvaterner alüvyonları içerisinde özellikle fayların bulunduğu kesimlerde SL değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu kesimde Köprübaşı segmenti birbirine paralel ikincil faylarla geniş bir alana yayılmaktadır. İkincil faylar hem yanal hem de eğim atıma sahip verrev fay özelliğindedir. Bu fayların etkisiyle Ulu Çay'ın boyuna profilinde eğim kırıklıklarının oluşmasına ve SL değerlerinin bu kesimlerde artmasına neden olmuştur. Sonuç olarak akarsuların boyuna profillerindeki SL değerlerindeki artışın genel olarak tektonik ve litolojik kökenli olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının SL analiz değerleri.

Havza Adı	Maksimum SL Değeri	Ortalama SL Değeri	Sınıf No	IAT
Soruk Çayı	1759,93	487,50	2	Orta
Ulu Çay	966,03	364,38	2	Orta
Istavloz Çayı	4492,69	1159,25	1	Yüksek
Göl Çay	800,63	272,01	3	Düşük
Susuz Çay	835,36	288,02	3	Düşük
Zeytin Deresi	1095,91	544,66	1	Yüksek
Ovacık Deresi	1921,43	598,66	1	Yüksek
Çorak Dere	737,31	269,55	3	Düşük



Şekil 10. Çalışma sahasındaki akarsu havzalarının SL değerleri dağılışı haritası ve Vf profil hatları



Şekil 11. Çalışma sahasındaki ana akarsuların boyuna ve SL indis profilleri (Açıklamalar için Şekil 3 ve Şekil 9'a bakınız)

3.2.5. Havza Şekil İndisi (B_s)

Çalışmada 8 drenaj havzası için hesaplanan B_s değerleri 1,32 ile 5,51 arasında değişmektedir (Çizelge 6). B_s değeri en yüksek Soruk Çayı Havzası'nda (5,51), en düşük ise Çorak Dere Havzası'nda (1,32) hesaplanmıştır. Çalışma sahasında B_s değerlerine göre yapılan sınıflandırmada 1 havza aktif (1.Sınıf), 2 havza orta (2. Sınıf), 5 havza (3. Sınıf) ise düşük tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır. En yüksek B_s değerine sahip Soruk Çayı Havzası Kamil segmenti tarafından denetlenmekte olup uzun havza karakterine sahiptir.

Çizelge 6. Çalışma sahasındaki havzaların Bs değerleri.

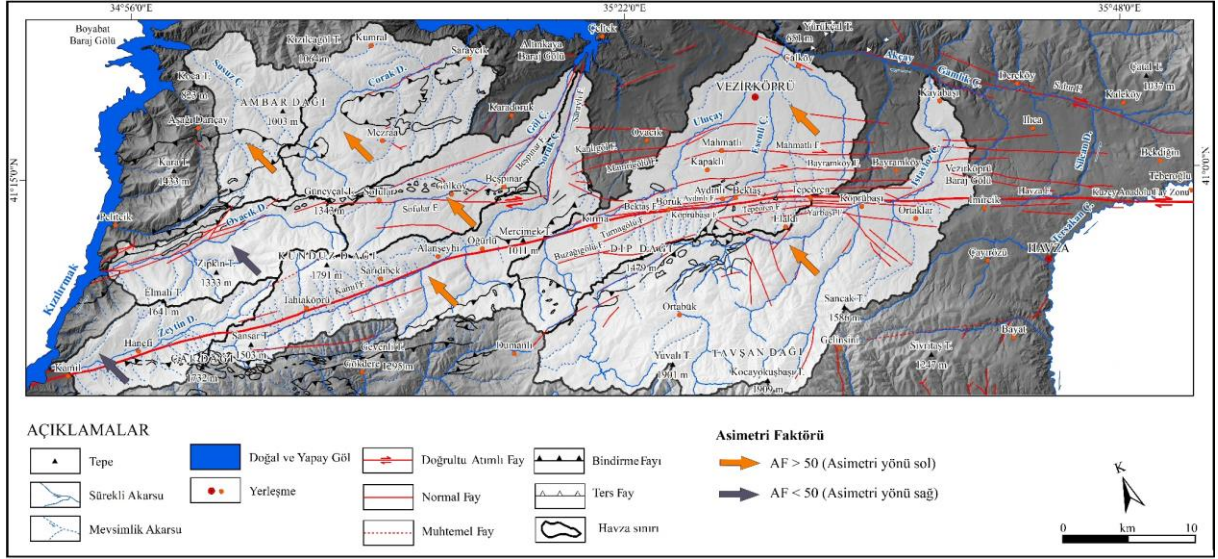
Havza Adı	Bl (km)	Bw (km)	Bs	Sınıf No	IAT
Soruk Çayı	40,602	7,358	5,51	1	Yüksek
Ulu çay	30,03	13,963	2,15	3	Düşük
Istavloz Çayı	42,63	12,85	3,31	2	Orta
Göl Çay	23,485	7,2	3,26	2	Orta
Susuz Çay	12,763	8,31	1,53	3	Düşük
Zeytin Deresi	19,02	7,13	2,66	3	Düşük
Ovacık Deresi	18,865	7,486	2,52	3	Düşük
Çorak Dere	17,673	13,375	1,32	3	Düşük

3.2.6. Asimetri Faktörü (AF)

Çalışmada AF indis değerlerinin tektonik aktivite derecelerine göre sınıflandırılmasında El Hamdouni vd. (2008) yaptıkları eşik değerler kullanılmıştır. Bu değerler 1) $AF-50 \geq 15$ (yüksek), 2) $AF-50 = 7-15$ (orta), 3) $AF \leq 7$ (düşük)'tür. Çalışma sahasında en yüksek AF değeri Istavloz Çayı Havzasında (81,9), en düşük ise Ovacık Deresi Havzasında (33,21) hesaplanmıştır (Çizelge 7). 6 havzada eğimlenme (tiltlenme) yönü sol, 2 havzada ise sağ yönlüdür (Şekil 12). Tektonik ve litolojik özelliklerin havza asimetrisine neden olduğu bilinmekle birlikte zeminde belli bir yönde meydana gelen yanal yer değiştirme hareketinin de (blok rotasyonu) havza asimetrisine neden olduğu ifade edilmektedir (Yıldırım ve Tüysüz 2009). Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının tiltlenme yönleri dikkate alındığında Soruk, Ulu, Istavloz, Göl ve Susuz çayları ile Çorak Dere'deki tiltlenmenin blok hareket yönüyle aynı olması açısından dikkat çekicidir. Nitekim elde edilen AF indis sonuçlarına göre bu havzalar batıya doğru eğimlenmişlerdir. Bununla birlikte en yüksek AF değerleri iki komşu havza olan Istavloz (AF: 81,9) ve Ulu (AF: 79,61) çay havzalarında bulunmuştur. Bu kesimde Köprübaşı ve Havza segmentlerinin kuzeye doğru yay biçiminde bükülen bir geometriye sahip olması ve verrev fayların etkisiyle sahanın yükselmesi havzaların batıya eğimlenmesine neden olduğu anlaşılmaktadır. Zeytin ve Ovacık deresi havzalarında ise tiltlenme yönü blok hareketinin tersi yönündedir (doğuya). Bu durumun ortaya çıkmasında drenaj havzalarını sınırlayan verrev atımlı faylar boyunca sahanın yükselimi nedeniyle havzaların doğuya eğimlendiği söylenebilir. Ancak sahadaki drenaj havzaları litolojik bakımından da farklılıklar arz eder. Dolayısıyla drenaj havzalarının asimetrisinde ve tiltlenme yönlerinde birden fazla etkinin varlığı görülmektedir.

Çizelge 7. Çalışma sahasındaki havzaların AF değerleri.

Havza Adı	Sağ Havza Alanı (km ²)	Toplam Alan (km ²)	AF	AF-50	AF Sınıf	Asimetri Yönü
Soruk Çayı	116,99	191,47	61,10	11,1	2	Sol
Ulu Çay	197,14	247,63	79,61	29,61	1	Sol
Istavloz Çayı	274,31	334,92	81,9	31,9	1	Sol
Göl Çay	51,71	97,1	53,25	3,25	3	Sol
Susuz Çay	61,50	81,03	75,9	25,9	1	Sol
Zeytin Deresi	35,17	75,55	46,55	-3,45	3	Sağ
Ovacık Deresi	30,31	91,27	33,21	-16,79	1	Sağ
Çorak Dere	96,64	144,72	66,78	16,78	1	Sol



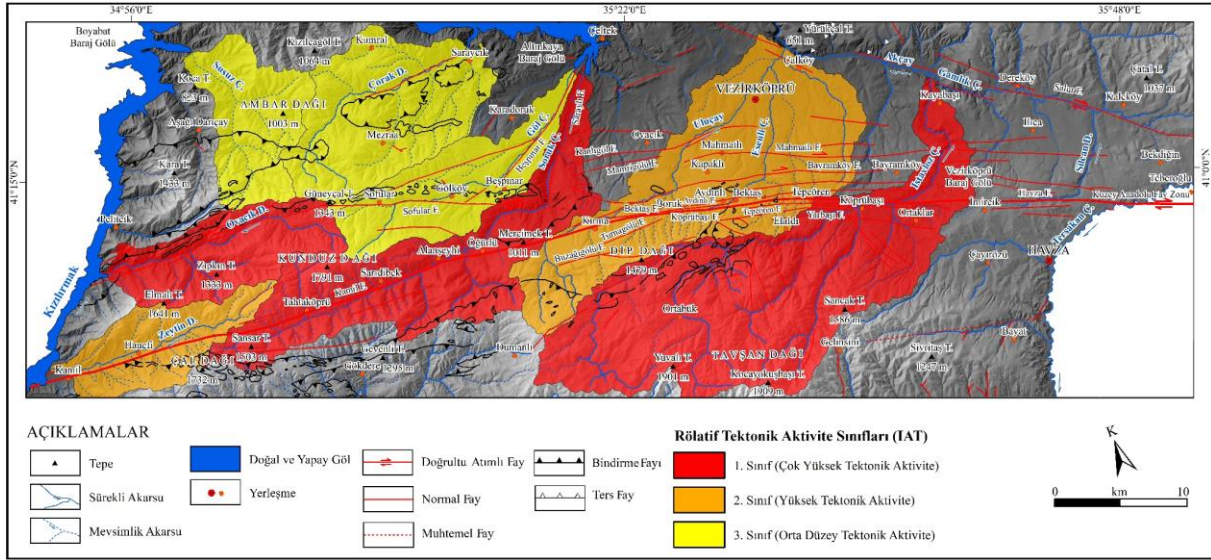
Şekil 12. Çalışma sahasındaki akarsu havzalarının havza asimetrisi (AF) haritası

3.2.7. Göreceli Tektonik Aktivite Sınıflaması (IAT) Analizi

Yapılan analizlere göre çalışma sahasındaki havzaların IAT değerleri 1,16 ile 2,16 arasında değişmektedir. Çalışma sahasında IAT sınıflaması incelenen 8 drenaj havzasının 3 tanesi (Soruk Çayı, Istavloz Çayı ve Ovacık Deresi) çok yüksek tektonik aktivite sınıfında, 2 tanesi (Ulu Çay ve Zeytin Deresi) yüksek tektonik aktivite sınıfında, 3 tanesi de (Göl Çay, Susuz Çay ve Çorak Dere) orta düzey tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır (Çizelge 8). IAT sonucuna göre sahada düşük tektonik aktivite sınıfında yer alan bir havza bulunmamaktadır. Morfometrik indis parametrelerinin ortalamasının alınması ile elde edilen IAT sınıflaması sonuçlarına göre çalışma sahasında KAFZ'nin Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentleri tarafından denetlenen drenaj havzalarında tektonik aktivitenin yüksek olduğu, sahanın kuzeyine doğru gidildikçe tektonik aktivite derecesinin azaldığı anlaşılmıştır (Şekil 13).

Çizelge 8. Çalışma sahasındaki havzaların Göreceli Tektonik Aktivite (IAT) sınıfları ve değerleri

Havza Adı	HI	Smf	Vf	SL	Bs	AF	IAT (Ortalama)	IAT Sınıf	Tektonik Aktivite Derecesi
Soruk Çayı	1	1	1	2	1	2	1,33	1	Çok Yüksek
Ulu Çay	3	1	2	2	3	1	2	2	Yüksek
Istavloz Çayı	1	1	1	1	2	1	1,16	1	Çok Yüksek
Göl Çay	3	1	3	3	2	3	2,5	3	Orta
Susuz Çay	2	2	2	3	3	1	2,16	3	Orta
Zeytin Deresi	1	1	1	1	3	3	1,66	2	Yüksek
Ovacık Deresi	1	1	1	1	3	1	1,33	1	Çok Yüksek
Çorak Dere	2	2	2	3	3	1	2,16	3	Orta



Şekil 13. Çalışma sahasındaki havzaların Göreceli Tektonik Aktivite Sınıflarının (IAT) dağılışı haritası

4. Sonuç ve Öneriler

Avrasya ve Anadolu levhalarını birbirinden ayıran KAFZ, sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin önemli tektonik yapılarından biri olan KAFZ doğu, orta ve batı olmak üzere üç bölümden oluşur. KAFZ'nin araştırma sahası içerisindeki bölümü batıdan doğuya doğru Kamil, Köprübaşı ve Havza olmak üzere 3 segmente ayrılmıştır (Emre vd., 2018). Bu çalışmada, KAFZ'nin orta bölümüne karşılık gelen Kızılırmak ile Tersakan Çayı arasındaki kesiminde tektoniğin drenaj havzalarına olan etkisi morfometrik analizler kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda Soruk Çayı, Ulu Çay, Istavloz Çayı, Göl Çay, Susuz Çay ile Zeytin Deresi, Ovacık Deresi ve Çorak Dere olmak üzere toplamda 8 drenaj havzasına tektonik jeomorfoloji çalışmalarında sıklıkla kullanılan HI, Vf, Smf, SL, Bs ve AF gibi morfometrik indis analizleri uygulanmıştır. Ardından bu morfometrik indislerin ortalaması alınarak yapılan yeniden sınıflandırma ile çalışma alanındaki drenaj havzalarının IAT dağılışı haritası üretilmiştir.

Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının hipsometrik eğrileri incelendiğinde 4 havza dışbükey, 2 havza içbükey, 2 havza ise 'S' şekilli hipsometrik eğriye sahiptir. Dışbükey eğriye sahip havzalar aşınımın gençlik evresine, 'S' şekilli havza gençlik evresinden olgunluk evresine geçişe, içbükey havzalar ise aşınımın yaşlılık evresine karşılık gelir. Havzaların Hi değerleri 0,33 ile 0,59 arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak araştırma sahasında Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentleri tarafından denetlenen drenaj havzalarında Hi değerleri yüksek çıkmaktadır. Havzaların Smf değerleri 1,21 ile 1,75 arasında değişmektedir. Smf değerlerine göre 6 drenaj havzasında tektonik aktivite yüksek, 2 drenaj havzasında ise tektonik aktivite düzeyi ortadır.

Drenaj havzalarının ortalama Vf değerleri 0,15 ile 1,85 arasında değişir. Vf değerlerine göre 4 havza yüksek, 3 havza orta, 1 havza düşük tektonik aktivite sınıfında yer alır. Yüksek tektonik aktivite sınıfında yer alan havzalar aktif yükselmeye cevap olarak yatağını derine kazın V şekilli akarsu vadileridir. Smf ve ortalama Vf değerleri birlikte değerlendirildiğinde Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentlerinin denetlediği havzalarda yükselme hızının 0.5 mm/yıl'dan fazla olduğu, sahanın kuzeyine

doğru gidildikçe yükselme hızının azaldığı belirlenmiştir. Hubert Ferrari vd. (2021), çalışma sahasının hemen doğusunda Zeytin Deresi'nin Kızılırmak'a birleştiği kesimde akarsu teraslarından elde ettikleri bölgesel yükselme hızı 1,00 mm/yıldır. Bununla birlikte KAF'nın kuzeyindeki Kızılırmak'ın önemli bir kolu olan Gökırmak Vadisi'nde ise yükselme hızı 0,28 mm/yıl olarak tespit edilmiştir (Yıldırım vd., 2013). Dolayısıyla KAF'nın ana kolunun denetlediği kesimlerde bölgesel yükselme hızının fazla, kuzeye doğru gidildikçe yükselme hızının azaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum çalışma sahasındaki drenaj havzaları kullanılarak elde edilen yükselme hızıyla uyumludur.

Çalışma sahasında 8 drenaj alanındaki her bir ana kol için SL değerleri hesaplanmıştır. Analiz edilen havzalarda maksimum SL indis değerleri 737,31 ile 4492,69, SL indis ortalamaları 269,55 ile 1159 arasında değişmektedir. Tektonik aktivite derecesine göre sahadaki 3 havza yüksek, 2 havza orta derece ve 3 havza ise düşük tektonik aktivite sınıfında bulunmaktadır. Akarsuların boyuna profillerindeki SL indisinin artışı daha çok tektonik ve litolojik kökenli olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sahasındaki havzaların Bs değerleri 1,32 ile 5,51 arasında değişir. Bs değerlerine göre Istavloz, Ulu, Göl, Soruk çayları ile Ovacık ve Zeytin dereleri tektonik aktivitenin yüksek olduğu uzamış havza özelliğine sahipken, Susuz Çayı ile Çorak Dere ise tektonik etkinliğin düşük olduğu dairesel havza özelliğine sahiptir.

Havzaların AF indis değerleri 33,21 ile 81,9 arasında değişir. 6 drenaj havzasında eğimlenme (tiltlenme) yönü sol, 2 havzada ise sağ yönlüdür. Analiz sonuçlarına göre çalışma sahasındaki drenaj havzalarının asimetrisinde ve tiltlenme yönlerinde blok ratasyonu, tektonik ve litolojik faktörlerin etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sahasında IAT sınıflamasına göre 8 drenaj havzasının 3'ü çok yüksek, 2'si yüksek, 3'ü orta düzey tektonik aktivite sınıfında yer alır. Sahada düşük tektonik aktivite sınıfı bulunmamaktadır. Morfometrik indislerin ortalamasının alınması ile elde edilen IAT sınıflaması sonuçlarına göre Kamil, Köprübaşı ve Havza segmentleri tarafından denetlenen drenaj havzalarında tektonik aktivitenin yüksek olduğu, ana fay segmentlerinden uzaklaşıldıkça tektonik aktivite derecesinin azaldığı belirlenmiştir.

Çalışma sahası tektonik olarak aktif bir bölge olup deprem açısından tehlike düzeyi oldukça yüksektir. Aletsel ve tarihsel dönemlerde meydana gelen depremler bu tehlikeyi açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Nitekim 1943'teki Tosya merkezli depremde birçok can ve mal kaybının yaşanması bu duruma örnektir. Çalışma sahasındaki faylar üzerinde çok sayıda yerleşme bulunmaktadır. Bu durum ileriki yıllarda oluşabilecek depremlerde can ve mal kayıplarına yol açabilme riskini arttırmaktadır. Bu nedenle yeni yerleşim yerlerinin seçiminde sahanın zemin ve tektonik özellikleri göz önüne alınmalıdır. Elverişsiz zeminler üzerinde yapılaşmaya izin verilmemeli ve mevcut yapılar incelenerek sağlamlaştırma çalışmaları yapılmalıdır. Yerel halk, çeşitli kurum ve kuruluşlarla deprem hakkında bilinçlendirilmelidir.

Notlar

1. Bu çalışma birinci yazar tarafından hazırlanan doktora tezinin bir bölümünden üretilmiştir.

Referanslar

- Akgün, E. (2024). Kinematic and morphometric evidence for recent reactivation of the Kale-Yeşilyurt fault zone within the East Anatolian Fault System. *Journal of Mountain Science*, 21 (12). doi:10.1007/s11629-024-9251-2
- Agrawal, N., Gupta, L., Dixit, J. (2022). Geospatial assessment of active tectonics using SRTM DEM-based morphometric approach for Meghalaya, India. *All Earth*, 34 (1), 39-54. doi:10.1080/27669645.2022.2081112
- Arıkan, M. (2020). *Kızılırmak Havzası'nın Uğurludağ-Bayat-Kargı-Osmancık arasındaki kesiminin jeomorfolojisi (Çorum)*. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Arıkan, M., Ertek, T. A. (2021). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Tosya-Kargı- Kamil arasındaki kesiminde akarsu havzalarının rölatif tektonik aktivite düzeylerinin jeomorfometrik yöntemlerle belirlenmesi. *Journal of Geography*, (42), 211-228. doi:10.26650/JGEOG2021-854016
- Arıkan, M., Erkal, T., Ertek T. A. (2023). Relief morphometry of the North Anatolian Fault Zone and Kızılırmak Basin (Çorum) in the South. *Eastern Geographical Review*, 28 (49), 8-27. doi:10.5152/EGJ.2023.220405
- Avci, V., Sunkar, M. (2023). Jeomorfik indislerle Varto Havzası'nı (Muş) denetleyen fayların göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (4), 1046-1072. doi:10.17714/gumusfenbil.1288478.
- Barka, A. (1985). Kuzey Anadolu Fay Zonundaki bazı Neojen-Kuvaterner havzaların jeolojisi ve tektonik evrimi. *Ketin Sempozyumu Kitabı*. 209-227.
- Barka, A., Akyüz, H., S, Cohen, H., Watchorn, F. (2000). Tectonic evolution of the Niksar and Tasova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block. *Tectonophysics*, 322 (3), 243-264. doi:10.1016/S0040-1951(00)00099-8
- Barth, N. C. (2013). *A tectono-geomorphic study of the Alpine Fault, New Zealand*. University of Otago.
- Bekaroğlu, E. (2013). Jeomorfolojide temel araştırma yöntemleri. İçinde Arı, Y., Kaya, İ., (Ed.) *On ikinci Bölüm, Coğrafya Araştırma Yöntemleri*, 343-367.
- Bozdoğan, M., Canpolat, E. (2023). Morfotektonik özelliklerin jeomorfik analizlerle incelenmesi: Delibekirli (Hatay/Kırıkhan) Havzası örneği / Investigation of morphotectonic features in drainage basins by geomorphic analysis: The example of Delibekirli (Hatay/Kırıkhan) Basin, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches*, (11), 22-51. doi:10.46453/jader.1207265
- Bozkurt, E., Koçyiğit, A. (1996). The Kazova basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 265 (3-4), 239-254. doi:10.1016/S0040-1951(96)00045-5
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica acta*, 14 (1-3), 3-30. doi:10.1080/09853111.2001.11432432
- Bull, W. B., McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, Geomorphology in Arid Regions. In *Doehring, D.O. (Ed.), Proceedings of the Eight Annual Geomorphology Symposium*. 115-138. doi:10.4324/9780429299230-5
- Bull, W. B. (2007). *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9780470692318
- Burbank, D. W., Anderson, R. S. (2012). *Tectonic Geomorphology*: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781444345063
- Dirik, K. (1991). *Tectonostratigraphy of the Vezirköprü area (Samsun-Turkey)*. Ph. D. Thesis. Middle East Technical University, Geological Engineering, Ankara.
- Dirik, K. (1993a). *Vezirköprü havzasının jeolojisi ve tektonik evrimi*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Araş. Fonu Projesi, Proje No: AFB-88-03-09-05.
- Dirik, K. (1993b). Geological history of the northward arched segment of the North Anatolian Transform Fault Zone. *Geological Journal*, 28, 251-266. doi:10.1002/gj.3350280305
- Dirik, K. (1994). Kuzey Anadolu Transform Fay Zonunun Beşpınar-Havza kesimindeki neotektonik özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*. 116.
- Doğan, B. (2010). *Kuzey Anadolu fay sistemi güney kolunun Geyve-Gemlik arasındaki kesiminin morfotektonik, tectonostratigrafik ve paleosismolojik evrimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.

- El-Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150–173. doi:10.1016/j.geomorph.2007.08.004
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16 (8), 3229-3275. doi:10.1007/s10518-016-0041-2
- Erturaç, M. K. (2009). *Amasya ve çevresinin morfolotektonik evrimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Eynoddin, E. H., Solgi, A., Pourkermani, M., Matkan, A., Arian, M. (2017). Assessment of relative active tectonics in the Bozghoush basin (SW of Caspian Sea). *Open Journal of Marine Science*, 7 (02). doi:10.4236/ojms.2017.72016
- Hubert-Ferrari, A., Drab, L., Van Der Woerd, J., Benedetti, L., Van Campenhout, J. (2021). Cosmogenic data about offset uplifted river terraces and erosion rates: Implication regarding the Central North Anatolian Fault and the Central Pontides. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3 (1), 129–157. doi:10.1007/s42990-021-00057-6
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J., Azañón, J., Pérez-Peña, J. (2012). Geomorphic analysis of the Sierra Cabrera, an active pop-up in the constrictional domain of conjugate strike-slip faults: The Palomares and Polopos fault zones (eastern Betics, SE Spain). *Tectonophysics*, 580, 27-42. doi:10.1016/j.tecto.2012.08.028
- Gürbüz, A., Güler, Ö. F. (2008). Tectonic geomorphology of the North Anatolian fault zone in the lake Sapanca Basin (eastern Marmara Region, Turkey). *Geosciences Journal*, 12, 215-225. doi:10.1007/s12303-008-0022-9
- Gürbüz, A., Şaroğlu, F. (2017). Karlıova havzasının tektonik jeomorfolojisi. *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Gürgöze, S. (2020). *Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kızılırmak ile Tersakan Çayı (Yeşilirmak) arasındaki kesiminin tektonik jeomorfolojisi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Samsun. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the US Geological Survey*, 1 (4), 421–429.
- Hare, P. W., Gardner, T. W. (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In Morisawa, M., Hack, J.T., (Eds.), *Tectonic Geomorphology.: Proceedings of the 15 Annual Binghamton Geomorphology Symposium* September 1984. Boston: Allen & Unwin, 75-104.
- Herece, E., Akay, E. (2003). *Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Atlası*. MTA Özel Yayın Serisi-2, Ankara.
- Işık, V., Seyitoğlu, G., Çağlayan, A., Herece, E., Mutlu H. (2015). *Doğrultu atımlı ana fay zonlarının yapısal analizi ve yaşlandırılması: Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonunda çalışmalar*. TÜBİTAK Sonuç Raporu, Proje No: 111Y227, Ankara.
- Kale, M. M. (2016). Devrez Çayı Vadisi'nin tektonik özelliklerinin morfometrik indisler ile araştırılması. *Coğrafya Dergisi. Journal of Geography*, 33, 21–23.
- Keller, E. A. (1986). Investigation of active tectonics: Use of surficial earth process. In Wallace (Ed.), *Active Tectonics*, Studies in Geophysics, National Academy Press, Washington, DC, . 136– 147.
- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Second Edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River
- Kırışan K. (2022). Kuzey anadolu fay zone (KAFZ) üzerinde yer alan yedisu havzası (Bingöl) ve çevresinde aktif tektonizmanın jeomorfolojik verilerle belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13 (3), 1213-1238.
- Mayer, L. (1986). Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. *Active tectonics*.125-135.
- Mosavi, E., Arian, M. (2015) Neotectonics of Kashaf Rud River, NE Iran by Modified index of active tectonics (MIAT). *International Journal of Geosciences*, 6, 776-794. doi:10.4236/ijg.2015.67063
- Özkaymak, Ç. (2012). *Manisa Havzası'nın aktif tektoniği ve depremselliği, Batı Anadolu, Türkiye*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H. (2012). Tectonic geomorphology of the Spiladağ High Ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173–174, 128-140. doi:10.1016/j.geomorph.2012.06.003
- Özşahin, E. (2015). Ganos Dağı ve yakın çevresinin tektonik jeomorfolojisi (Tekirdağ). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar*

Dergisi, 8, 37. doi:10.17719/jisr.20153710612

- Öztürk, B., Erginal, A. E. (2008). Bayramdere havzasında (Biga Yarımadası, Çanakkale) havza gelişiminin morfometrik analizler ve jeomorfik indislerle incelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 50.
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Azor, A. (2009). CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences*, 35 (6), 1214-1223. doi:10.1016/j.cageo.2008.06.006
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa- Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111 (B5). doi:10.1029/2005JB004051
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Johnson, D. L. (1984). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In Morisawa, M. (Ed.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA. 183-207.
- Sağlam Selçuk, A., Düzgün, M. (2017). Başkale Fay Zonu'nun tektonik jeomorfolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 155, 33-47. doi:10.19076/mta.53825
- Sarp, G. (2012). *Identification of morphometric properties of basins located on western part of NAFZ*. Unpublished Ph.D. thesis. Middle East Technical University.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardají, T. (2003). Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50, 203-225. doi:10.1016/S0169-555X(02)00215-5
- Softa, M., Emre, T., Sözbilir, H., Spencer, J.O.G., Turan, M. (2018). Geomorphic evidence for active tectonic deformation in the coastal part of Eastern Black Sea, Eastern Pontides, Turkey. *Geodinamica Acta*, 30:1, 249-264. doi:10.1080/09853111.2018.1494776
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1142. doi:10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2
- Şengör, A. (1979). The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, 136 (3), 269-282. doi:10.1144/gsjgs.136.3.0269
- Şengör, A., Zabcı, C. (2019). The North Anatolian Fault and the North Anatolian shear zone. *Landscapes and Landforms of Turkey*, 481-494. doi:10.1007/978-3-030-03515-0_27
- Şengör, A., Burke, K., Dewey, J. F. (1982). Tectonics of the North Anatolian transform fault *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction*, 3-22. doi:10.1007/978-3-663-14015-3_1
- Şengör, A., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: A new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37-112. doi:10.1146/annurev.earth.32.101802.120415
- Tepe, Ç., Sözbilir, H. (2017). Tectonic geomorphology of the Kemalpaşa Basin and surrounding horsts, southwestern part of the Gediz Graben, Western Anatolia, *Geodinamica Acta*, 29 (1), 70-90, doi:10.1080/09853111.2017.1317191
- Topal S., Softa, M. (2023). Geomorphic signature of active tectonics in Simav Graben: An evaluation of indicator relative tectonic activity of Simav Fault and its seismotectonic implications for Western Anatolia. *Journal of Earth System Science*, 132 (95) doi: 10.1007/s12040-023-02110-4
- Topal, S. (2024). Geomorphological responses of rivers to active tectonics along the Karahayıt Fault, Western Türkiye. *Journal of Mountain Science*, 21(5). doi:10.1007/s11629-024-8649-1
- Tüysüz, O., Erturaç, M. K. (2005). Kuzey Anadolu Fayının Devrez çayı ile Soruk çayı arasındaki kesiminin özellikleri ve fayın morfolojik gelişimdeki etkileri. *Türkiye Kuvatıner Sempozyumu*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Uğuz, M. F., Sevin, M. (2009a). *1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:115 Sinop F-33 Paftası*. MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Uğuz, M. F., Sevin, M. (2009b). *1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:116 Sinop F-34 Paftası*. MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Uysal, A. (2024). *Erzincan Ovası ve çevresinin morfotektonik özellikleri ve deprem analizi*. Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Elazığ. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Wells, S., Bullard, T., Menges, C., Drake, P., Karas, P., Kelson, K., Ritter, J.B., Wesling, J. (1988). Regional variations in

- tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, 1 (3), 239-265. doi:10.1016/0169-555X(88)90016-5
- Yıldırım, C., Tüysüz, O. (2009). Blok rotasyonuna fluvial tepkinin nicel analizi: Almacık bloku örneği. *İTÜ Dergisi*, 8 (3), 120- 130.
- Yıldırım, C., Schildgen, T., Echtler, H., Melnick, D., Strecker, M., Bookhagen, B., Çiner, A., Niederman, S., Merchel, S., Martschini, M., Steier, P., Strecker, M.R. (2013). Tectonic implications of fluvial incision and pediment deformation at the northern margin of the Central Anatolian Plateau based on multiple cosmogenic nuclides. *Tectonics*, 32, 1–14. doi: org/10.1002/tect.20066
- Yıldırım, C. (2014). Relative tectonic activity assessment of the Tuz Gölü fault zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 630, 183-192. doi:10.1016/j.tecto.2014.05.023
- Yıldırım, C., Schildgen, T. F., Echtler, H., Melnick, D., Strecker, M. R. (2011). Late Neogene and active orogenic uplift in the Central Pontides associated with the North Anatolian Fault: Implications for the northern margin of the Central Anatolian Plateau, Turkey. *Tectonics*, 30 (5). doi:10.1029/2010TC002756