



Orhangazi ve Yalova Fayları arasında kalan horst boyunca su bölüm hattının göçü: Aktif tektonik yönünden çıkarımlar

Migration drainage divide along the horst between Orhangazi and Yalova Faults: Implications for active tectonics

Savaş Topal^{a*}  Seray Çınar Yıldız^b  Süha Özden^c 

^a Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli, Türkiye.

^b Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 17100, Çanakkale, Türkiye.

^c Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, Türkiye.

ORCID: S.T. 0000-0001-7451-6606; S.Ç.Y. 0009-0005-7048-8456; S. Ö. 0000-0001-6321-0812

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 12.02.2025

Kabul/Accepted: 29.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Su bölümü hattının göçü
 Normalleştirilmiş diklik indeksi (ksn)
 Chi integrali (χ)
 Gilbert metrikleri
 Yalova Fayı

Keywords:

Drainage divide migration
 Normalized steepness index
 Chi integral
 Gilbert metrics
 Yalova Fault

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(S. Topal) savastopal@pau.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1638374



Atıf/Citation:

Topal, S., Yıldız, S. Ç., & Özden, S. (2025). Orhangazi ve Yalova Fayları arasında kalan horst boyunca su bölüm hattının göçü: Aktif tektonik yönünden çıkarımlar. *Türk Coğrafya Dergisi* (87), 67-77.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1638374>

ÖZ/ABSTRACT

Drenaj alanları ve su bölümlerinden oluşan drenaj sistemleri, jeolojik zaman boyunca erozyon, tektonik yükselme ve iklimsel süreçlerin etkisine maruz kalırlar. Su bölünmesi göçü, drenaj havzalarının miktarı, sediman akışı, akarsuyun gücü, bölgenin erozyon süreçleri ve canlıların genetik yapıları üzerinde değişikliklere neden olabilir. Doğal topoğrafyalarda su bölünmesi göçünü tahmin etmek için topoğrafik metrikler önerilmiştir. Normal fayların etkin olduğu çalışma alanında su bölünmesinin dinamik durumunu anlamak için bölünme kararlılığı araçları kullanılarak topoğrafik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Orhangazi ve Yalova fayları arasında kalan alandaki drenaj sistemlerinin durumunu ortaya çıkarmak için normalleştirilmiş diklik indeksi (ksn), chi integrali (χ) ve Gilbert metrikleri (eğim, rölyef ve yükseklik) gibi topoğrafik analizler kullanılmıştır. Komşu drenaj havzaları arasındaki ilişkiyi net olarak ortaya koymak için ana bölünme 3 segmente (D1, D2 ve D3) ayrılarak incelenmiştir. D1 segmenti için Gilbert metrikleri mevcut durumun stabil olduğunu, ancak χ verilerine göre gelecekte KD'ya göç edeceği belirlenmiştir. D2 segmenti için hesaplanan tüm analizler bu segmentin mevcut durumda ve gelecekte de KD'ya hareket edeceğini göstermiştir. D3 segmenti için yapılan analizler bu segmentin kuzeye hareket ettiği ve gelecekte de bu hareketine devam edeceği belirlenmiştir. Su bölümünün kuzeyini sınırlayan Yalova Fayı, su bölümü göçünü sağlayan birincil etmen olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu veriler Yalova Fayı'nın Orhangazi Fayı'na göre gelecekte daha fazla aktivite göstereceği ve su bölümünün kuzeye olan hareketini destekleyen en büyük güç olduğunu ortaya koymaktadır.

Drainage systems, consisting of drainage areas and drainage divides, are subject to the influence of erosion, tectonic uplift and climatic processes throughout geological time. Drainage divide migration can cause changes in the amount of drainage areas, sediment fluxes, the strength of the river, the erosion processes of the region and the genetic structure of living organisms. Topographic metrics have been proposed to estimate drainage divide migration in natural topographies. To understand the dynamic state of drainage divide in the study area where normal faults are active, a topographic analysis was performed using divide stability tools. Topographic analyses such as normalized steepness index (ksn), chi integral (χ) and Gilbert metrics (slope, relief and elevation) were used to reveal the status of drainage systems in the area between the Orhangazi and Yalova Faults. The main divide was divided into 3 segments (D1, D2 and D3) in order to clarify the relationship between neighboring drainage areas. For segment D1, Gilbert metrics indicate that the current situation is stable, but according to χ data, it will migrate to the NE in the future. All analyses calculated for the D2 segment showed that this segment is currently and will continue to move to the NE in the future. Analyses for the D3 segment show that this segment has moved northward and will continue to do so in the future. The Yalova Fault, which borders the north of the drainage divide, appears to be the primary driver of the divide migration. These data suggest that the Yalova Fault will show more activity in the future than the Orhangazi Fault and is the major force supporting the northward movement of the drainage divide.

Extended Abstract Introduction

Drainage divides are linear features that separate adjacent drainage basins and determine the direction of water flow. Their position is influenced by tectonics, lithology, and climate. While divide migration is primarily driven by differences in erosion rates (Willett et al., 2014), asymmetric uplift, variations in rock erodibility, and tectonic activity also play significant roles (Goren et al., 2014; He et al., 2019; Zhou et al., 2022). Divide migration impacts regional drainage, sediment transport, and river power, influencing erosion processes, ecosystems, and genetic structures (He et al., 2024). Conceptual models and numerical simulations suggest that divides tend to migrate toward areas with lower erosion rates (Forte & Whipple, 2018). This study investigates the migration of the main drainage divide within the horst between the Orhangazi and Yalova Faults. First, a slope analysis was conducted to assess the region's topographic characteristics. Second, stability criteria (Gilbert, 1877; Whipple et al., 2017) were applied to evaluate divide migration using geomorphic metrics. Given the region's uniform lithology and precipitation, tectonic activity is identified as the primary control on topographic evolution. Finally, an asymmetric uplift model was proposed, and the tectonic activity of the Orhangazi and Yalova Faults was examined in detail.

Data and Method

This study utilizes a 12,5 m resolution DEM to analyze the main drainage divide within the horst between the Orhangazi and Yalova Faults. The divide is divided into three segments (D1, D2, and D3) for comparative analysis. ksn, χ , and Gilbert metrics were calculated using MATLAB-based TopoToolbox (Schwanghart & Scherler, 2014) and DivideTools (Forte & Whipple, 2018). The normalized steepness index (ksn) provides insights into tectonic activity, lithology, and climate history from river profiles. χ -analysis, based on steady-state assumptions, helps infer relative uplift rates and divide migration direction (Willett et al., 2014). Previous studies suggest that divides migrate toward higher χ values and regions with lower ksn (Whipple et al., 2017; Zeng & Tan, 2023). While χ anomalies can be influenced by heterogeneous uplift and climate variability, Gilbert metrics (elevation, slope, and relief) offer additional constraints on divide stability (Gilbert, 1877; Whipple et al., 2017). To enhance reliability, both χ and Gilbert metrics were applied to assess divide migration. The base level was set at 300 m for consistency in all calculations (Willett et al., 2014; Forte & Whipple, 2018).

Results and Discussion

Channel steepness values are generally high on both sides of segments D1, D2, and D3. Drainage basins controlled by the Orhangazi Fault are narrower, with less-developed tributaries, resulting in high ksn values along the fault towards the main divide. In contrast, basins influenced by the Yalova Fault are wider, with more developed tributaries. Here, ksn values start low and increase with elevation. Since basin expansion affects ksn variations, the lower ksn values in Yalova Fault-controlled basins suggest potential divide migration toward this fault. This result aligns with Gilbert metrics analysis. The drainage divide segments developed on lithologically similar rocks. The longest

segment (D3) is 19 km, while the shortest (D2) is 5.8 km. Changes in Gilbert metrics and χ along the divide were analyzed using MATLAB-based TopoToolbox. χ values for D1 suggest northward migration, whereas Gilbert metrics indicate stability. Both χ and Gilbert metrics suggest northward migration in D2. In D3, results indicate potential southeastward migration. Differences in erosion and uplift rates on both sides of the divide drive its migration. A drainage divide typically migrates toward the side with a larger difference between regional uplift and erosion rates (Willett et al., 2014; Whipple et al., 2017). χ values provide insight into the future migration direction, while Gilbert metrics indicate the current stability of the divide (Forte & Whipple, 2018). Changes in drainage basin size and shape can distort χ and ksn values (Willett et al., 2014). As drainage areas expand, χ values increase while ksn values decrease (Whipple et al., 2017). A divide generally migrates toward the lower elevation, slope, and relief side (Zeng & Tan, 2023). However, lithology, rock uplift rates, or abrupt climate changes may cause χ to misrepresent migration direction, making ksn a more reliable indicator in such cases (Zeng & Tan, 2023). Migration tends to occur toward the side with lower ksn values (Whipple et al., 2017). In this study, higher ksn values were observed on the southwestern side of the divide. Since divides migrate toward lower ksn values, the main drainage divide is expected to shift northeastward, toward the Yalova Fault. This result aligns with Gilbert metrics and χ analyses (Figures 4, 5). For D1, Gilbert metrics indicate stability, but χ suggests future northward migration (Figure 5). In D2, both metrics confirm ongoing and future northward migration. For D3, both χ and Gilbert metrics indicate southeastward migration. No active fault is mapped on the southeastern slope of D3, suggesting that the Yalova Fault may extend southeastward and influence migration through uplift. The divide develops at the midpoint of natural uplift (Forte & Whipple, 2018). Dynamic migration analysis suggests uplift surpasses erosion along the northward-moving divide, implying that the Orhangazi Fault historically exhibited higher slip and uplift rates, driving southwestward migration. Similarly, the Yalova Fault is expected to exhibit higher future slip and uplift rates, leading to continued divide migration in its direction. This study examines the current and future migration of the drainage divide, bounded by the Yalova and Orhangazi faults, within a horst structure. Topographic analyses using ksn, χ , and Gilbert metrics were performed across three segments. A reference elevation of 300 m was used for Gilbert metrics. The area is seismically active due to North Anatolian Fault movements. The Orhangazi Fault exhibits higher ksn values, supporting migration toward the lower ksn side. While D1 appears stable, χ suggests future northeastward migration. Both metrics for D2 indicate ongoing and future northeastward migration. D3 analyses show northward migration. Overall, the main drainage divide is shifting toward the Yalova Fault, driven by asymmetric uplift. Since the Yalova Fault is expected to become more active than the Orhangazi Fault, future seismic hazard assessments should focus on this structure.

1.Giriş

Su bölümü hattı, su akış yönünü belirleyen, komşu drenaj havzalarını birbirinden ayıran ve genellikle oluşan yüksekliklerin ortasından geçen çizgisel bir yapıdır. Su bölümünün yeri bölgenin tektoniği, kaya yapısı ve iklimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Su bölümünün hareketi veya göçü, öncelikle drenaj alanı

boyunca erozyon hızlarındaki farklılıklar (Willet vd., 2014) tarafından belirlense de bölgede meydana gelebilecek asimetrik yükselme, kayaların aşınma oranındaki değişimler ve tektonik hareketler gibi diğer faktörler de etkili olabilmektedir (Goren vd., 2014, He vd., 2019, Zhou vd., 2022). Su bölümünün göçü, bölgesel drenaj havzalarını, sediman akışını ve akarsu gücünü değiştirir. Dolayısıyla tektonizma, erozyon ve ekoloji arasındaki ilişkide, bölgenin erozyon süreçlerinde ve canlıların genetik yapılarında da değişimler yaratabilir (He vd., 2024). Kavramsal modeller ve sayısal simülasyonlar, su bölümlerinin erozyondan etkilendiğini göstermiş ve göçün genellikle daha düşük erozyon hızlarına sahip tarafta gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Forte & Whipple, 2018). Su bölümünün göçü, jeolojik hareketler ve iklimsel bozulmalar hakkında değerli bilgiler taşır ve bu bilgiler kanal profil analizlerinden elde edilecek verilerle ortaya konabilir. Uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi sayesinde ksn, χ ve Gilbert metrikleri gibi çeşitli nicel jeomorfolojik teknikler ile topoğrafik analiz yöntemleri kullanılarak bölünme göçünün durumu belirlenebilmektedir (Whipple vd., 2017, Forte & Whipple, 2018). Ayrıca su bölümünün göçü fayların geçmiş ve gelecekteki hareketlerinin belirlenmesinde de kullanılabilir (Su vd., 2020).

Bu çalışmada, ilk olarak Orhangazi ve Yalova fayları arasında kalan horstun genel topoğrafik özelliklerini anlamak için diklik analizi yapılmıştır. İkinci olarak, ana su bölümünün göç durumu su bölümünün stabilite kriterlerine göre incelenmiştir (Gilbert, 1877, Whipple vd., 2017). Bu incelemede ana su bölümünün güncel ve gelecekteki hareketini araştırmak için jeomorfolojik teknikler kullanılmıştır. Bu alandaki yükselmeyi sağlayan birincil etkenler dağın GB'sını sırlayan Orhangazi ve KB'sını sınırlayan Yalova faylarıdır. İkincil etken olabilecek unsurlar ise dağın yüksekliğinin düşük, litolojisinin her iki yamaçta benzer kayalarla oluşması ve yağış miktarının tekdüze olmasıdır. Bu nedenle, her iki yamaçtaki drenaj havzalarını ayıran su bölümünün göçü için kontrol edici ikincil faktörler hariç tutulabilir ve tektonik etkinin bölgesel topoğrafya evrimi üzerindeki etkisi ve su bölümünün hareketini sağlayacak gücün kaynağı hakkında değerlendirmeler yapılabilir. Üçüncü olarak, jeomorfik analiz sonuçlarına dayanarak, asimetrik yükselme modeline uygun bir su bölümü göç modeli önerilmiştir. Son olarak, ana su bölümünün hareket etmesini sağlayan güç olan Orhangazi ve Yalova faylarının tektonik aktivitesi ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

2. Jeoloji ve Tektonizma

2.1 Çalışma Alanının Jeolojisi

Orhangazi ve Yalova fayları arasında kalan, horst yapısına sahip alanda gerçekleştirilen bu makalede, Paleotektonik dönemde gelişmiş İstanbul ve Sakarya zonlarına ait kaya toplulukları çalışma alanının Neojen öncesi temelini oluşturur (Şengör & Yılmaz, 1981; Okay, 1989; Okay & Görür, 1995; Yılmaz vd., 1995). İstanbul ve Sakarya zonları günümüzde KAF'ın yer aldığı ve Erken Eosen- Oligosen'de Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu oluşan kenet boyunca bir araya gelmişlerdir (Şengör & Yılmaz, 1981; Okay, 1989; Okay & Görür, 1995). İstanbul zonu Ordovisiyen-Alt Tersiyer yaşlı tortul kayalardan (Şekil 2; P₅: Paleozoyik Şistler), Sakarya zonu ise Jura-Kretase yaşlı tortul örtü ve metamorfik bir temelden (Şekil 1; Pa: Prekambriyen metamorfikler, Pm: Permiyen mermerler ile Pe: Permo-Triyas kırıntılılar ve karbonatlar) oluşur (Okay, 1989; Okay & Görür, 1995;

Yılmaz vd., 1995). Kretase stratigrafisi Armutlu Yarımadası'nda Akartuna (1968) tarafından Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar olarak tanımlanmıştır. Bargu & Sakıncı (1989/1990), 400-500 m kalınlığında, üzerinde 600 m kalınlığında Maastrichtiyen kireçtaşlarının yer aldığı tabanda Kampaniyen-Maastrichtiyen konglomera, kumtaşı ve silttaşı dizisini (Oluklu Formasyonu) ayırt etmiştir (Şekil 1; Sk: Üst Senoniyen Kırıntılılar ve karbonatlar). Armutlu Yarımadası'nın doğu kesiminde çok kalın bir Maastrichtiyen olistostrom serisi tanımlanmıştır (Erendil vd., 1991). Paleosen, Bargu & Sakıncı (1990) tarafından kireçtaşı ile temsil edildiği ifade edilirken, Akartuna (1968) ve Erendil vd. (1991) tarafından filiş dizisi olarak rapor edilmiştir. Akartuna (1968) ve Erendil vd. (1991)'e göre Paleosen filiş Eosen'e kadar devam eder ancak tüflü seviyeler içermektedir.

Armutlu Yarımadası'nın Eosen yaşlı Kızderbent Volkanitleri (Genç & Yılmaz, 1997) doğu-batı doğrultulu iki farklı kuşakta yüzeylenir. Bunlardan ilki Narlı-Kapaklı köylerinin kuzeyinden başlayıp KD yönünde Çınarcık-Teşvikiye köylerine kadar uzanır. İkinci kuşak ise batıda Yeniköy yakınlarından başlayarak yaklaşık olarak D-B yönünde uzanır (Şekil 1; En:Eosen Volkanitler) ve daha sonra Çakırlı, Keramet, Kızderbent, Mecidiye, Kırkharman, Fulacık, Tacirköy, Tahtalı, Selimiye ve Bahçecik köylerinin güneyine kadar uzanır. Mekece ve Armutlu Yarımadası'nın güney kenarında Derbent ve Aydın köyleri civarında dağınık yüzeylenmeler bulunmaktadır (Avşar & İşseven, 2009). Kızderbent Volkanitleri bazaltlardan riolitlere kadar geniş bir yelpazedeki volkanik kayalardan oluşmaktadır. Andezitik volkanitler ise sığ denizel sedimanter kayalarla bir volkanosedimanter seri oluşturmaktadır (Genç, 1993; Genç & Yılmaz, 1997).

Armutlu Yarımadası ve İzmit Körfezi civarında yüzeyleyen Neojen ve Kuvaterner yaşlı kayalar stratigrafik olarak çok evreli bir zamanı kapsamaktadır. Kayalara morfolojik açıdan bakıldığında Neojen yaşlı olanların genelde yüksek topoğrafyalarda yer aldığı, Kuvaterner yaşlı kayaların ise KAF boyunca gelişmiş depresyonlara yerleşmiş olduğu görülmektedir (Emre vd. 1998). Armutlu Yarımadası'ndaki Neojen tortullarının tabanını oluşturan Mudanya Formasyonu (Görmüş vd., 1997) Yalova-Yalakdere ve Mudanya-Nilüfer çayı yöresinde yüzeylenmekte olup, akarsu ve yelpaze deltası ortamlarında çökelmiştir. Bu birim; konglomera, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve kiltası araldanmasından oluşmaktadır. Neojen öncesi temel kaya toplulukları üzerinde açısız uyumsuzlukla gelen bu birimlerin kalınlığı 100-300 m arasında değişmektedir. Üstte ise acı su ve denizel karakterli, silttaşı, kiltası, karbonatlı kumtaşı, marn ve kireçtaşından oluşan, 400 m kalınlığa ulaşabilen birim Yalova Formasyonu ile geçişlidir. (Emre vd., 1998).

Orhangazi-Yalova karayolu boyunca yüzeyleyen Çamlık Formasyonu bol gastropodlu kiltası ve kireçtaşı araldanmasından oluşur ve Mudanya Formasyonu ile dereceli geçiş sunmaktadır. Çamlık Formasyonu'nda paleontolojik yaş bulgusu elde edilememiş olup, derin acı su ortamında oluşan alt seviyeleri Geç Miyosen yaşlı Mudanya Formasyonu ile geçişlidir (Görmüş vd., 1997). Emre vd. (1998) dokanak ilişkilerinden elde ettikleri yaşa göre, bu birimler Geç Miyosen-Erken Pliyosen aralığındadır (Şekil 2; Pk: Pliyosen Ayrılmamış karasal kırıntılar). Samanlıdağları kütlesi üzerindeki eski alüvyonlardan oluşan kırmızımsı, sarımsı ve kahverengi olan Samanlıdağ Formasyonu'nun litolojisi kum, silt ve seyrek çakıllı çamurtaşlarından oluşmaktadır. Ka-



Şekil 1. İnceleme alanının konumu ve jeolojik özellikleri (Emre vd., 2013; Gönençgil & Halis, 2021'den düzenlenerek alınmıştır).

Figure 1. Location and geological features of the study area (Modified from Emre vd., 2013; Gönençgil & Halis, 2021)

İnliği 30-40 m olup, Neojen öncesi temel kayaları üzerinde aşıl uyumsuzlukla yüzeylenen birim üzerinde herhangi bir kaya topluluğu gözlenmemektedir. Yalova Formasyonu üzerinde de gelişmiş olduğu gözlenenen ve Yalakdere yöresinde çökelmiş olan eski vadi formları Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır. Holosen yaşlı alüvyonal birikintileri özellikle Yalakdere'nin eski oluşumlardan koparıp getirdiği blok, çakıl ve kum boyutundaki elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 1; Qa: Ayrılmamış Kuvaterner) (Bargu & Sakıncı, 1990).

2.2 Çalışma Alanının Aktif Tektonik Özellikleri ve Depremselliği

Kuzey Anadolu Fayı, Avrasya ve Afrika-Arap levhaları arasındaki sınırın bir parçasını oluşturan bir faydır. Birbirine yakınlaşan Avrasya ve Arap levhaları arasına sıkışan Anadolu levhası, sağ yanal Kuzey Anadolu ve sol yanal Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru kuzey-güney uzanan Ege'ye doğru kaçır (McKenzie, 1972). Kuzey Anadolu Fayı, Geç Miyosen'de Doğu Anadolu'da oluşmaya başlamış ve batıya doğru uzanarak Pliyosen'de Marmara Bölgesi'ne ulaşmıştır (Barka, 1992; Şengör, 1979; Suzanne vd., 1990). Kuzey Anadolu Fayı, Marmara Bölgesi'nde 1400 km uzunluğundaki fay zonunun geri kalanında görülmeyen iki özellik göstermektedir. Marmara Denizi'nin bir bölümünü oluşturan, derin denizel doğrultu atımlı havzalar ile Kuzey Anadolu Fayı'nın batıya uzanan aktif koluyla belirgin bir ilişkisi olmayan KB ve GB yönelimli ana sağ yanal doğrultu atımlı fay zonları bulunmaktadır (Okay & Satır, 2000).

Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey ve güney kolları arasında kalan

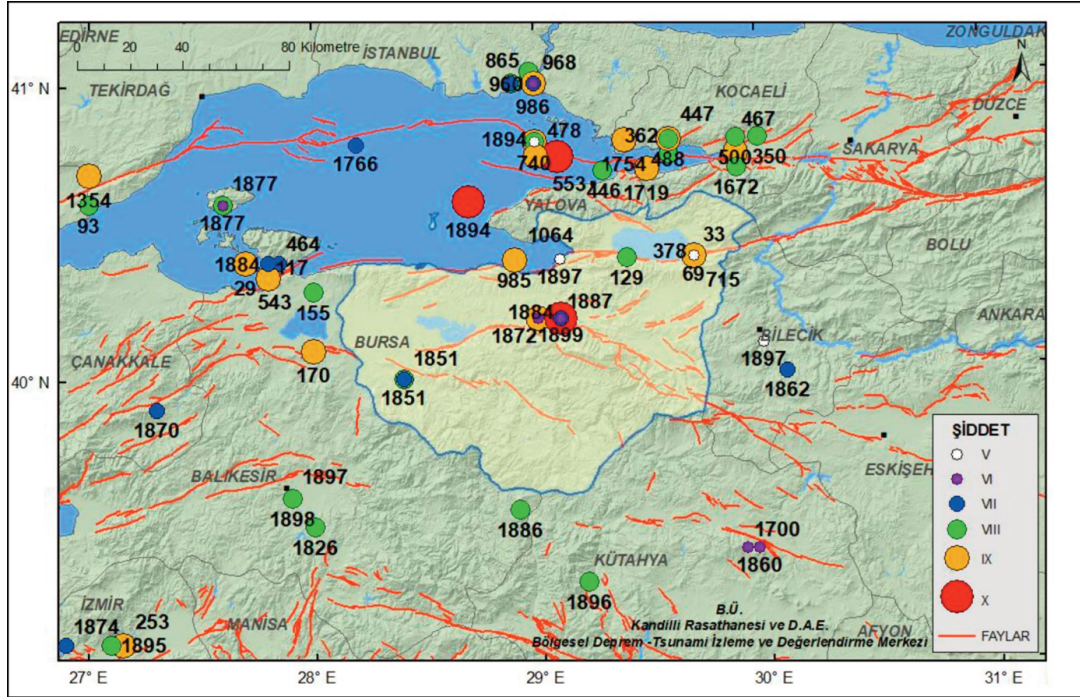
inceleme alanında karada gözlenen faylar ana faya göre açılı olarak gelişmişlerdir (Tchalenko, 1970; Tchalenko & Ambraseys, 1970; Wilcox vd., 1973; Bartlett vd., 1981). Sağ yanal makaslama rejimi altında gelişen DKD-BGB gidişli sağ yanal bileşeni olan verrev atımlı normal fayların (Yalakdere Fayı) yanı sıra Orhangazi ve Yalova fayları gibi KB-GD gidişli normal faylar da bulunmaktadır. Yalova ve İzmit ilçeleri arasında ana faya açılı ve sağ yönlü makaslama rejimi altında gelişmiş, benzer eğilimlere sahip küçük ölçekli normal faylar da bulunmaktadır. Genellikle Armutlu Yarımadası'nın batısında küçük ölçekli ve süreksiz olarak KKD-GGB yönlü sol yanal faylar da bulunmaktadır. (Eisenlohr, 1995).

Samanlı Dağları'nın orta kesiminde Dumanlı Tepe ve Çopur Tepe yükselimlerini kuzeydoğuda Yalova Fayı, güneybatıda Orhangazi Fayı sınırlamaktadır (Şekil 1). Yalova Fayı, Yalova yerleşim merkezinin güneyinde Kirazlı, Elmalık köylerinden geçerek, yaklaşık K700B doğrultulu olarak Tevfikiye, Aktoprak köylerine kadar uzanmaktadır. Karlık Dağı (Samandaş yükseliminin batı kesimi) kuzeyinde devam eden yer yer çatallanarak uzanan fay diri fay haritasında (Emre vd., 2013) yaklaşık 20 km uzunluğunda olup, normal fay olarak belirtilmiştir. Orhangazi Fayı, Yalova yerleşim merkezi güneybatısında yer alan Safran civarından başlayarak K600B doğrultulu olarak İzmit Gölü'ne kadar devam eder. Türkiye diri fay haritasında çatallı ve parçalı bir geometri sunan fay, 29 km uzunluğunda devam ederken, sağ yanal atım bileşeni olan verrev atımlı bir normal fay olarak tanımlanmıştır.

Tarihsel dönemde KAF boyunca meydana gelen 46 büyük depremin çoğunluğunun Marmara Bölgesi ve çevresinde yoğunlaştığı belirtilmiştir (Ambraseys & Finkel, 1995; Ambraseys, 2002). Bu veriler, deprem serisinin Orta KAF boyunca 967 ile 1050 yılları arasında, Batı KAF boyunca ise 1719 ile 1766 yılları arasında yaygınlaştığını göstermektedir. Bu seriler 1939-1999 deprem serisine benzer olduğu görülmektedir (Ambraseys, 1970, 2002; Ambraseys & Finkel, 1987, 1995). KAF, aynı zamanda 1509, 1668 ve 1939 depremleri gibi 330-600 km uzunluğa kadar yüzey kırılmalarına sahip çok büyük depremler de üretmiştir (Ambraseys, 1970; Ambraseys & Finkel, 1995). Özellikle güncel

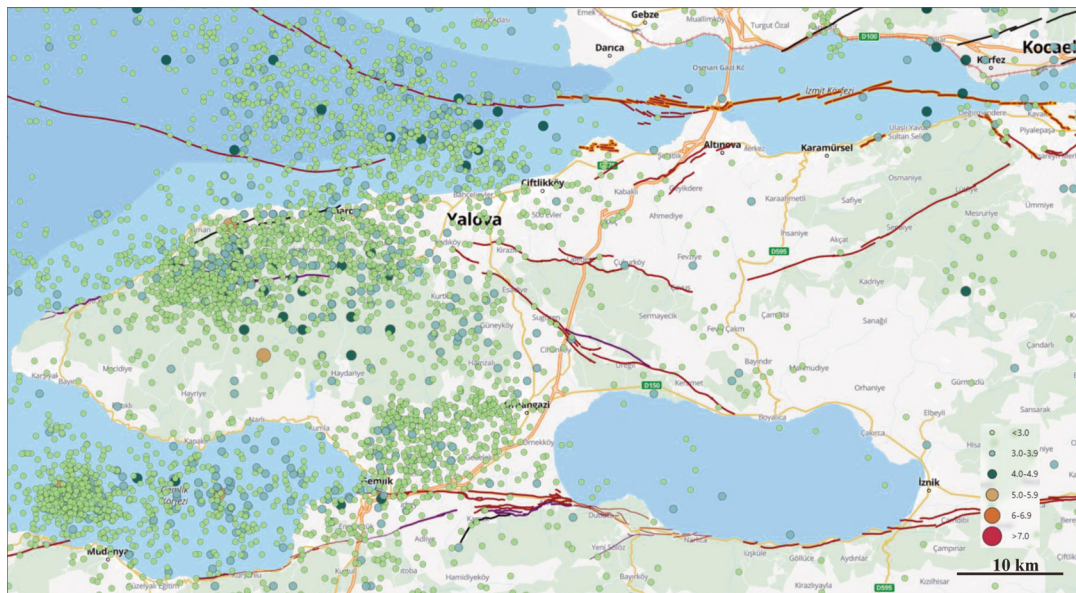
deprem serilerinin analizleri, KAF'ın Marmara Denizi kısmının gerilme birikimine maruz kaldığını göstermiştir (Gürbüz vd., 2000; Parsons vd., 2000) (Şekil 2).

Bu çalışmalar önümüzdeki 30 yıl içinde KAF boyunca büyük bir deprem olasılığının %50 olduğunu öne sürmektedir (Şengör vd., 2005; Parsons vd., 2000; Emre vd., 2018). Çalışma sahasını kapsayan alanda tarihsel dönemde önemli depremler olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bölgede aletsel dönemde Orhangazi ve Yalova fayları boyunca 5 büyüklüğüne kadar ulaşan depremler kaydedilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Çalışma sahası ve yakın çevresinin tarihsel dönem depremleri (BC 2100–AC 1900; Soysal vd., 1981; Emre vd., 2013, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, 2025).

Figure 2. Historical period earthquakes of the study area and its immediate surroundings (BC 2100–AC 1900; Soysal vd., 1981; Emre vd., 2013, Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, 2025).



Şekil 3. Çalışma sahası ve yakın civarında son 100 yılda (1900–Günümüz) meydana gelen depremlerin dağılımı (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2025).

Figure 3. Distribution of earthquakes that occurred in the study area and its immediate surroundings in the last 100 years (1900–Present) (Disaster of Emergency Management Presidency, 2025).

2. Amaç ve Yöntem

Bu çalışma 12,5 m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (DEM) verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (<https://www.earthdata.nasa.gov/>). Analizde, ana su bölümü hattı boyunca her iki yamaçtaki drenaj havzaları arasında net bir karşılaştırma yapabilmek için su bölümü 3 segmente ayrılmıştır (D1, D2 ve D3). D1 segmenti 5.9 km uzunluğa sahip ve en yüksek noktası 855 m yükseklikten geçmekte olup ana su bölümünün KB'sını, D2 segmenti 5.8 km uzunlukta, 814 m yüksekliğe sahip ve ana su bölümünün ortasını, D3 segmenti ise 8.9 km uzunlukta, geçtiği en yüksek nokta 720 m ve ana su bölümünün GD'sunu temsil etmektedir. Bu çalışmada ksn, χ ve Gilbert metrikleri hesaplamaları için Matlab tabanlı TopoToolbox (Schwanghart ve Scherler, 2014) ve Dividertools (Forte & Whipple, 2018) programları kullanılmıştır.

2.1 Normalleştirilmiş Diklik İndeksi (ksn)

Drenaj havzalarındaki nehir profillerinden bir bölgenin tektonik özellikleri, kaya litolojisi ve iklim geçmişi hakkında önemli veriler elde edilebilir (Kirby & Whipple, 2001; Kirby & Whipple, 2012). Nehir profillerinin analizi genellikle, erozyon oranları, kanal eğimi ve kanal kollarının bir güç kanunu fonksiyonu olan "akarsu gücü aşındırma modeli"ne dayanır. Akarsu gücü aşındırma modeli şu şekilde ifade edilebilir (Whipple & Tucker, 1999):

$$\frac{dz}{dt} = U - KA^m S^n \quad (1)$$

Burada, U: ana kaya yükselme oranı, A: havza alanı ve S: kanal eğimi, K kaya aşınımına, yağış oranına ve kanal geometrisine bağlı bir sabit, z kanaldaki bir noktanın yüksekliği, t zaman, m ve n ampirik sabitlerdir. Denklem 1, kararlı durumda kanal eğimi ve drenaj alanı arasında güç yasası ölçeklendirmesini içeren herhangi bir erozyon yasası için her zaman genel olarak kabul edilir (Willett vd., 2014). U ve K uzayda ve zamanda sabitse, Denklem 1'in kararlı durum çözümü şu şekilde ifade edilebilir (Perron & Royden, 2013):

$$z(x) = z_b + \left(\frac{U}{KA_0^m} \right)^{\frac{1}{n}} x \quad (2)$$

Burada z_b , $x = x_b$ de nehrin taban seviyesinin yüksekliğini temsil eder ve kanal ağındaki konumun integral bir fonksiyonu olan χ miktarı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\chi = \int_{x_b}^x \left(\frac{A_0}{A(x')} \right)^{\frac{m}{n}} dx' \quad (3)$$

Denklem 2, bağımlı değişken z 'nin dikey eksen olarak davranıldığı, χ ' in yatay eksen olduğu ve χ -plot olarak adlandırılan bir çizgi biçimine sahiptir (Perron & Royden, 2013). Ayrıca, boyutsuz eğim $(U/K)^{1/n}/A_0^{m/n}$ kanal dikliğini yani ksn ' yi ifade eder (Kirby & Whipple, 2012) ve A_0 genellikle 1 m^2 olarak kullanılmaktadır (Willett vd., 2014). Bu nedenle, χ -plot genellikle bölgesel göreceli ana kaya yükselme oranını elde etmek için kullanılır (Gallen & Wegmann, 2017; Wang vd., 2017). Ayrıca, bir ana su bölümü hattı boyunca χ farkı, su bölümünün varsayılan hareketini göstermek için de kullanılabilir; su bölümü, denge için daha büyük χ yönüne doğru göç eder (Willett vd., 2014; Willett vd., 2018). Bu çalışmada, elde edilen ksn değerleri için önceki araştırmalarda önerildiği gibi 0,45 referans içbükeyliği (Θ) kullanılmıştır (Kirby & Whipple, 2012; Wobus vd., 2006).

χ anomalilerinin bazı bölgelerde hızla değişen tektonizma ve iklim değişikliklerinde su bölümünün durumunu doğru bir şekilde göstermesi beklenmezken, ksn bölünme göçünü χ 'e göre daha iyi tahmin edebilir (Zeng & Tan, 2023) ve su bölümü ksn'nin daha düşük değerlere sahip olduğu tarafa doğru göç etme eğilimin olduğu ortaya konulmuştur (Whipple vd., 2017).

2.2 Gilbert Metrikleri ve χ

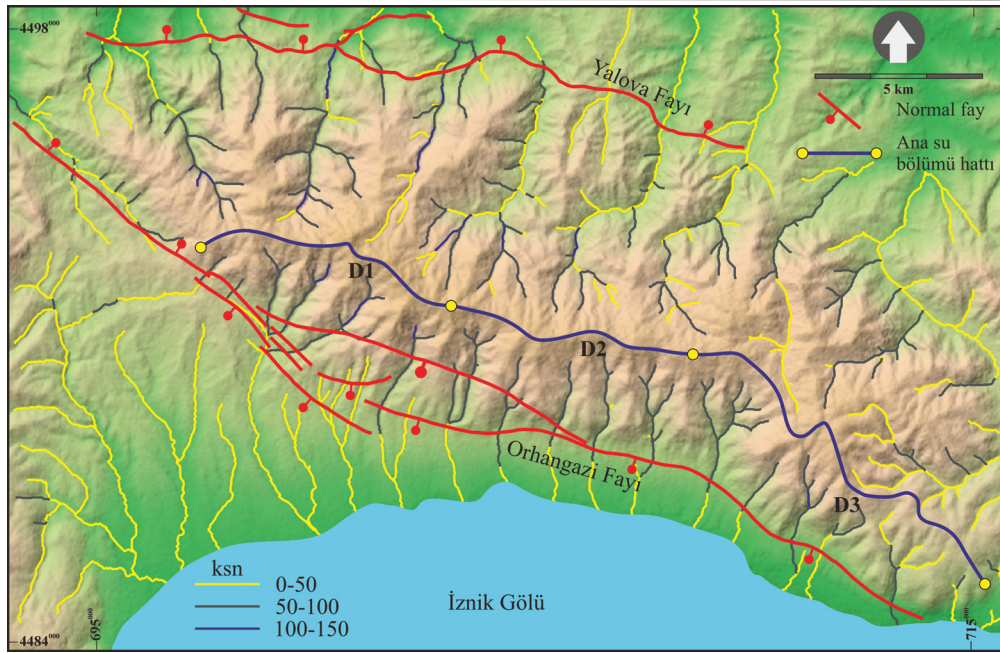
χ ' in su bölümünün göç yönünü yorumlamak için mükemmel bir metrik olduğu öne sürülmüştür (Willett vd., 2014). Bununla birlikte, bir su bölümü hattı boyunca χ anomalilerinin yorumlanması tipik olarak doğal sistemde yerine getirilmesi zor olan tek tip ana kaya yükselmesi, kaya dayanımı ve benzer iklim koşullarını varsayar (Whipple vd., 2017). Bu nedenle, χ anomalileri yanlış su bölümü göç yönünü gösterebilir (Forte & Whipple, 2018; Whipple vd., 2017). Bu durumu ortadan kaldırmak için, ilk olarak Gilbert (1877) tarafından önerilen Gilbert metrikleri, Whipple vd. (2017) tarafından geliştirilmiş ve hesaplamalarda kullanılabilir hale getirilmiştir. Önceki çalışmalar, Gilbert metrikleri (yükseklik, yamaç eğimi, yerel rölyef) ve su bölümü hattı boyunca χ ' deki farklılıkların, pratik uygulamalarda su bölümünün mevcut ve/veya potansiyel göç yönünü göstermek için birlikte kullanılabileceği öne sürmüştür (Forte & Whipple, 2018; Whipple vd., 2017). Bu nedenle, bu çalışmada Orhangazi ve Yalova fayları arasındaki horstun üzerinden geçen ana su bölümü hattının mevcut durumunu araştırmak için hem Gilbert metrikleri hem de χ metriği kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ana su bölümü, Forte & Whipple (2018) tarafından önerildiği gibi ayrıntılı analiz için 3 segmente (D1, D2 ve D3) ayrılmıştır. Her segmentin χ ve Gilbert metrik dağılımları, göç durumunu belirlemek için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Gilbert metriklerini hesaplamak için kullanılan tüm nehirlerin ortak bir taban seviyesinde sonlanması (Willett vd., 2014; Forte & Whipple, 2018) ve neredeyse tüm hesaplamaların nehir kanallarında belirlenmesi gerektiğinden, taban seviyesi her iki yamaçta da 300 m olarak alınmıştır.

3. Morfometrik Analizler

3.1 Normalleştirilmiş Diklik İndeksi (ksn)

Kanal diklikleri genelde D1, D2 ve D3 segmentlerinin her iki yamacında yüksek değerlere sahiptir (Şekil 4). Orhangazi Fayı'nın sınırladığı drenaj havzaları daha dar ve daha kısa olduğundan buradaki nehir kanallarında kollar çok fazla gelişmemiştir. Fay boyunca ana su bölümü hattına kadar elde edilen ksn değerleri yüksektir. Yalova Fayı tarafından sınırlanan drenaj havzalarında ise durum daha farklıdır. Fay ve ana su bölümü arasında gelişen drenaj havzaları diğer yamaca göre daha geniş ve daha fazla nehir kolları gelişmiştir. Havzaların büyümesi ve genişlemesi ksn değerlerindeki değişimleri etkilediğinden bu alandaki değerler kanal boyunca düşük değerlerden başlayarak, kanal yükseldikçe daha yüksek ksn değerleri vermektedir. Bu bölgede elde edilen ksn değerleri, Yalova Fayı'nın denetlediği drenaj havzalarında daha düşük olduğundan ksn'ye göre ana bölünmenin Yalova Fayı'na doğru göç edebileceği söylenebilir ve bu veri Gilbert metrikleri hesaplamalarında elde edilen göç yönü ile birbirlerini desteklemektedir.



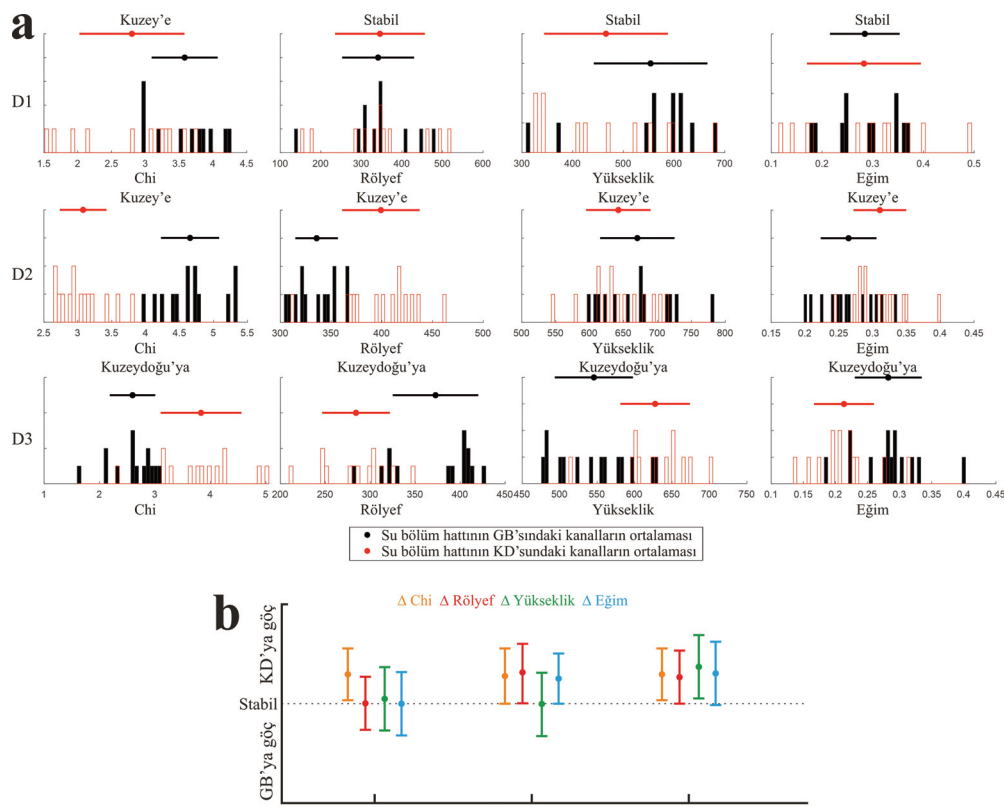
Şekil 4. Çalışma alanındaki ksn dağılımı ve ana su bölümü hattının konumu.

Figure 4. ksn distribution in the study area and location of the main drainage divide.

3.2 Gilbert Metrikleri ve χ

Su bölümü segmentleri, her iki yamaçta benzer aşınma özelliklerine sahip kayalar üzerinde gelişmiştir. En uzun su bölümü segmenti (D3) 19 km, en kısa segment ise (D2) 5.8 km uzunluğundadır (Şekil 2). Ana su bölümü boyunca Gilbert metrikleri ve χ 'deki değişimleri ve su bölümünün durumunu göstermek için Matlab tabanlı TopoToolbox (Schwanghart & Scherler, 2014) ve DivideTools (Forte & Whipple, 2018) programları kul-

lanılmıştır. D1 segmenti için elde edilen χ değerleri, bu segmentin kuzeye hareket edeceğini öngörürken, Gilbert metrikleri su bölümünün mevcut durumunun stabil olduğunu göstermektedir. Ana su bölümünün orta kesimlerini temsil eden D2 segmenti boyunca hesaplanan χ ve Gilbert metrikleri kuzeye göçü göstermektedir. Ana su bölümünün GD kısmında ise (D3 segmenti) hem χ hem de Gilbert metrikleri KD'ya doğru göçün olabileceğine dair veriler sunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. a) D1-D3 segmentleri için Gilbert metrikleri histogramları. Kırmızı dikdörtgen ile gösterilen histogramlar Orhangazi Fayı'nın sınırladığı, siyah dolgulu histogramlar ise Yalova Fayı'nın sınırladığı drenaj havzalarını temsil etmektedir. b) D1-D3 segmentleri için standartlaştırılmış delta grafikleri. Çubuklar belirsizlik olarak standart sapmayı göstermektedir. Gilbert metrikleri ve χ üzerindeki tüm hesaplamalarda 300 m taban seviyesi dikkate alınmıştır.

Figure 5. a) Gilbert metric histograms for segments D1-D3. Histograms with red rectangles represent drainage basins bounded by the Orhangazi Fault and histograms with black fill represent drainage basins bounded by the Yalova Fault. b) Standardized delta plots for segments D1-D3. Bars indicate standard deviation as uncertainty. All calculations on Gilbert metrics and χ are based on 300 m base level.

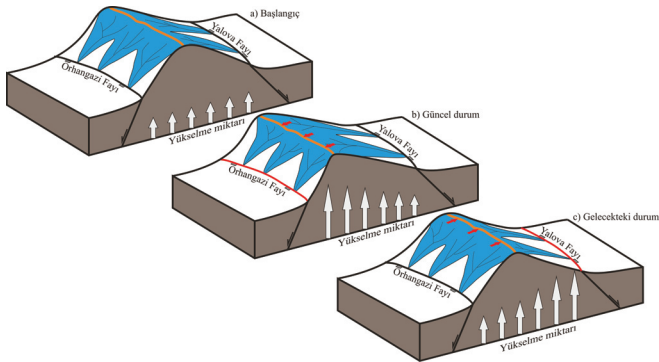
4. Tartışma ve Sonuç

Su bölümünün her iki yamacındaki erozyon ve yükselme oranları arasında farklılık ana su bölümü hattının hareket etmesini sağlayan güçlerin başında gelmektedir. Bölgesel yükselme ve erozyon oranları arasındaki değişimler dikkate alındığında, ana su bölümü daha büyük farkın olduğu tarafa doğru göç eder (Willett vd., 2014; Whipple vd., 2017). χ verileri bir su bölümünün gelecekteki durumu hakkında, Gilbert metrikleri ise güncel durumu hakkında bilgiler sağlar (Forte & Whipple, 2018). Drenaj havzasının boyutunda ve şeklindeki değişimler, bu alanda elde edilecek χ ve ksn verilerinde bozulmalara neden olabilir (Willett vd., 2014). Drenaj havzalarının büyümesi χ değerlerinde artışa yol açarken, alanın büyümesiyle ksn değerleri azalır (Whipple vd., 2017). Ana su bölümü hattı, yükseklik, eğim ve rölyefin daha düşük değerlere sahip olduğu tarafa doğru göç etme eğilimindedir (Zeng & Tan, 2023). Bir bölgeden elde edilen χ verileri, litolojik özellikler, kaya yükselme hızı veya iklimdeki ani değişimler olduğunda, bölünme göçü yönünde hatalı veriler gösterebilir. Böyle durumlarda ksn su bölümü göçünün yönünü tahmin etmede daha faydalı olabilir (Zeng & Tan, 2023). ksn'nin daha düşük değerlere sahip olduğu taraf, ana su bölümünün göç edeceği yön olarak belirlenmiştir (Whipple vd., 2017).

Bu çalışmada elde edilen ksn verileri, su bölümü hattının GB tarafında daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Su bölümünün ksn değerlerinin düşük olduğu tarafa göç edeceğinden yola çıkılarak, bu alandaki ana su bölümünün KD'ya, yani Yalova Fayı'na doğru hareket edeceği belirlenmiştir. Elde edilen bu veri, Gilbert metrikleri ve χ 'den elde edilen yönlerle karşılaştırıldığında birbirlerini desteklemektedir (Şekil 4, 5).

D1 segmenti için hesaplanan Gilbert metrikleri su bölümünün mevcut durumunun stabil olduğunu göstermektedir. Ancak aynı alanda hesaplanan χ değerleri ise gelecekte bu segment ile temsil edilen su bölümünün kuzeye doğru hareket edeceğini öngörmektedir (Şekil 5).

D2 segmenti için hesaplanan Gilbert metrikleri, bu alanın mevcut durumda kuzeye göç ettiğini, benzer şekilde hesaplanan χ değerleri de gelecekte bu alandaki göçün kuzeye devam edeceğini göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 6. Orhangazi ve Yalova fayları arasında kalan ve horst yapısına sahip yükseklikten geçen ana su bölümünün mevcut ve gelecekteki göç durumunu gösteren şematik diyagram. Fayların kırmızı rengi aktif olduğu döneme işaret etmektedir.

Figure 6. The main division between the Orhangazi and Yalova faults and passing through the height with a horst structure is present. and schematic diagram showing future migration status. The red color of the faults indicates the active period.

D3 segmenti için hem Gilbert metrikleri hem de χ değerleri bu alandaki göçün mevcut durumda KD'ya hareket ettiğini ve gelecekte de bu KD'ya hareketin devam edeceğine işaret etmektedir (Şekil 5). Bu segmentin KD yamacını sınırlayan bir fay Türkiye Diri Fay Haritası'nda gösterilmemiştir. Elde edilen veri, bu segmentin KD'ya hareketini sağlayacak güç olarak Yalova Fayı'nın gelecekte GD'ya doğru ilerleyebileceğini ve göç için gerekli yükselmede etkili olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Ana su bölümü hattı segmentleri için kaya aşındırılabilirliği ve iklim koşulları çok benzer durumdadır. Dolayısıyla bu alan erozyon modellerine yanıt olarak su bölümü göçü durumunu gösteren doğal bir örnek olarak incelenebilecek olanak sunmaktadır. Jeomorfik sonuçlara dayanarak, bu alandaki ana su bölümünün göçü, Orhangazi ve Yalova faylarına bağlı olarak erozyon ile asimetrik yükselme modeline uymaktadır (Forte & Whipple, 2018). Elde edilen verilerden çizilen asimetrik yükselme modeli ile ana su bölümünün gelecekteki konumu otaya konulmuştur (Şekil 6). Özellikle Ege Bölgesi'nde normal faylar tarafından denetlenen horstlar üzerinde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Topal, 2024; Topal & Irfan, 2025; Özpolat vd., 2025). Doğal bir yükselme sonucunda oluşan ana su bölümü hattının yükselmenin orta noktasında gelişeceği düşünülmektedir (Şekil 6a) (Forte & Whipple, 2018). Dinamik su bölümü göçü sürecine göre (Şekil 6), kuzeye doğru hareket eden ana su bölümü boyunca yükselmenin erozyonu açıkça geride bıraktığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, jeolojik geçmişinde, Orhangazi Fayı'nın daha yüksek kayma hızı ve yükselme oranlarına sahip olup, ana su bölümünün GB'ya hareket etmesini sağladığı anlaşılmaktadır (Şekil 6b). Benzer şekilde günümüzde ve gelecekte Yalova Fayı'nın daha yüksek kayma hızına ve yükselme oranlarına ulaşacağı düşünülmektedir. Gelecek dönemlerde Yalova Fayı'nın hareketi sonucu bölgede meydana gelecek asimetrik yükselme ile ana su bölümü hattı bu faya doğru hareket etme eğiliminde olacaktır (Şekil 6c).

Kuzeydoğusundan Yalova, güneybatısından Orhangazi fayları ile sınırlanan ve horst yapısına sahip olan çalışma alanında ana su bölümünün mevcut ve gelecekteki durumunu ortaya koymak için topografik analizler gerçekleştirilmiştir. 3 segmente ayrılarak gerçekleştirilen topografik analizlerde ksn, χ ve Gilbert metrikleri kullanılmıştır. Gilbert metrikleri belirlenirken ana su bölümünün her iki yamacında da aynı yükseklik değeri (300 m) alınmıştır. Bu bölge KAF'ın hareketine bağlı olarak deprensellik açısından aktif bir alandır. Ana su bölümünün her iki yamacında da benzer litoloji ve iklim koşulları hakimdir. ksn değerleri Orhangazi Fayı'nın sınırladığı alanda daha yüksektir. Su bölümü göçü ksn değerlerinin düşük olduğu tarafa doğru hareket edeceğinden, bu veriler Gilbert metrikleri ile uyumludur. D1 segmenti için mevcut durum stabil olsa da χ değerleri su bölümünün KD'ya hareket edeceğini öngörmektedir. D2 segmenti için elde edilen tüm veriler su bölümünün KD'ya hareket edeceğini göstermektedir. D3 segmenti için hesaplanan topografik analizler bu segmentin kuzeye hareket edeceğini ortaya koymuştur. Çalışma alanındaki ana su bölümü hattı genel olarak bakıldığında Yalova Fayı'na doğru hareket etmektedir. Bu hareketi sağlayacak en büyük güç Yalova Fayı'nın bölgede oluşturacağı asimetrik yükselmeyle gerçekleşecektir. Yalova Fayı gelecekteki aktivitesi Orhangazi fayına göre daha fazla olacağı öngörülmekte olup, bölgenin deprem riski açısından yapılacak çalışmalarda Yalova Fayı'nın daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır. *There is no conflict of interest/relationship with any person and/or institution within the scope of the research.*

Yazar Katkısı/Author contribution: Çalışmanın tasarımı S.T.; literatür araştırmasını S.T., S.Ç.Y. ve S.Ö.; saha çalışması ile veri temini ve derlemesini S.T., S.Ç.Y. ve S.Ö.; verilerin işlenmesi ve analizini S.T.; şekil, tablo ve yazılım hazırlığını S.T., S.Ç.Y. ve S.Ö.; bulguların yorumlanmasını S.T., S.Ç.Y. ve S.Ö.; makalenin yazımı, düzenlenmesi ve kontrolünü ise yine S.T., S.Ç.Y. ve S.Ö. gerçekleştirmiştir. *S.T. designed the study; S.T., S.Ç.Y., and S.Ö. conducted the literature review; S.T., S.Ç.Y., and S.Ö. carried out the fieldwork and collected/compiled the data; S.T. processed and analyzed the data; S.T., S.Ç.Y., and S.Ö. prepared the figures, tables, and software; S.T., S.Ç.Y., and S.Ö. interpreted the findings; and finally, S.T., S.Ç.Y., and S.Ö. wrote, edited, and revised the manuscript.*

Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval: Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Katkı Belirtme ve Teşekkür/Acknowledgements: Editör ve emeği geçen hakemlere teşekkür ederiz. Bu çalışma TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007 programı) 123G003 nolu "Türkiye Diri Faylarının Paleosismolojik Özelliklerinin Belirlenmesi" isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlamış olduğu maddi destek için TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı'na teşekkür ederiz. *We extend our gratitude to the editor and the reviewers for their valuable contributions. This study was carried out within the scope of the project titled "Determination of the Paleoseismological Characteristics of Active Faults in Türkiye," supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the Public Institutions Research and Development Projects Support Program (1007 Program), project number 123G003. We also thank the Directorate of Research Support Programs of TÜBİTAK for its financial support.*

Kaynakça

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (2025). T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *Deprem Dairesi Başkanlığı*. <https://deprem.afad.gov.tr>

Akartuna, M., (1968). The Geology of Armutlu Peninsula. *Istanbul University Science Faculty Monographs*, 20. 105 pp.

Ambraseys, N.N. (1970). Some characteristic features of the North Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 9, 143–165. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(70\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(70)90014-4)

Ambraseys, N.N. (2002). The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92:1–18. <https://doi.org/10.1785/0120000843>

Ambraseys, N.N., & Finkel C.F. (1987). Seismicity of Turkey and neighbouring regions, 1899-1915. *Ann. Geophys. 5B* (6):701–726.

Ambraseys, N.N., & Finkel, C.F. (1995). *The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review*. Eren Yayıncılık, İstanbul, 1500–1800.

Avşar, U., & İşseven, T. (2009). Regional clockwise rotation of the Armutlu Peninsula, Western Turkey, resolved from palaeomagnetic study of Eocene volcanics. *Tectonophysics*, 475(3-4), 415-422.

<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.05.021>

Bargu, S., & Sakıncı, M. (1990). Geology and structural features of the region between İzmit Bay and İzmit Lake. *Istanbul University Faculty of Engineering Journal of Earth Sciences*, 6 (1-2) 45-76.

Barka A.A. (1992). The North Anatolian fault. *Ann. Tecton.* 6(1), 74–195.

Bartlett W.L., Freidman M., & Logan J.M. (1981). Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure. Part IX: Wrench faults in limestone layers. *Tectonophysics*, 79:255-277. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90116-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90116-5)

Eisenlohr, T. (1995). *Die Thermalquellen der Armutlu-Halbinsel (NW-Türkei) und deren Beziehung zu Geologie und Tektonik*, Diss. ETH Zurich N r. 11340, 1 65p.

Emre, O., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Can, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>

Emre, O., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., & Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası*, Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi: 30, 89 s., Ankara.

Emre, O., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Kecer, M., & Ünay, E. (1998). Neogene-Quaternary evolution of the Eastern Marmara Region, Northwest Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 120, 119-145.

Erendil, M., Göncüoğlu, C. M., Tekeli, O., Aksay, A., Kusu, İ., Urgün, M. F., Tunay, G., & Temren, A. (1991). *Geology of the Armutlu Peninsula*. General Directorate of Mineral Research and Exploration Rapor No: 9165 (yayımlanmamış).

Forte, A. M., & Whipple, K. X. (2018). Criteria and tools for determining drainage divide stability. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 493, 102–117. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.026>

Gallen, S.F., & Wegmann, K.W. (2017). River profile response to normal fault growth and linkage: An example from the Hellenic forearc of south-central Crete, Greece. *Earth Surf. Dyn.*, 5, 161–186. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-161-2017>

Genç, S.C. (1993). *Geologic and petrologic investigation of the tectonic units located between İzmit and İnegöl*. (Publication No. 39150), PhD. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science, 521 p.

Genç, S.C., & Yılmaz, Y. (1997). An example of post-collisional magmatism in Northwestern Anatolia the Kızderbent volcanics. *Turk. J. Earth Sci.* 6, 33–42.

Gilbert, G. K. (1877). *Geology of the Henry mountains*. Government Printing Office. Washington, DC, USA.

Goren, L., Willett, S.D., Herman, F., & Braun, J. (2014). Coupled numerical-analytical approach to landscape evolution modeling. *Earth Surf. Process. Landf.* 39, 522–545. <https://doi.org/10.1002/esp.3514>

Gönençgil, B., & Halis, O. (2021). Samanlı Dağları'nın jeomorfolojik gelişimine ve uzun dönemli erozyon süreçlerine morfometrik yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78, 109-126. <https://doi.org/10.17211/tcd.1008678>

Görmüş, S., Şahbaz, A., Varol, B., Kazancı, N., Bayhan, E., Emre, O., & Özdoğan, M. (1997). *Stratigraphy and structural features of the Southern Marmara (Bursa-Karacabey) region. Neogene and Quaternary evolution of the Southern Marmara region*. TÜBİTAK YDABÇAG-426/G Project Report, 22-35.

- Gürbüz C., Aktar M., Eyidoğan H., Cisternas A., Haessler H., Barka A., Ergin M., Turkelli N., Polat O., Ucer B., Kuleli S., Barış S., Kaypak B., Bekler T., Zor E., Bicmen F., & Yoruk A., (2000). The seismotectonics of the Marmara Region (Turkey): Results from a microseismic experiment. *Tectonophysics*, 316, 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00253-X)
- He C., Rao G., Yang R., Hu J., Yao Q., & Yang C. J. (2019). Divide migration in response to asymmetric uplift: Insights from the Wula Shan horst, North China. *Geomorphology*, 339, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.024>
- He, C., Braun, J., Tang, H., Yuan, X., Acevedo-Trejos, E., Ott, R. F., & Stucky de Quay, G. (2024). Drainage divide migration and implications for climate and biodiversity. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00511-z>
- Kirby, E., & Whipple, K. (2001). Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, 29, 415–418.
- Kirby, E., & Whipple, K.X. (2012). Expression of active tectonics in erosional landscapes. *J. Struct. Geol.* 44, 54–75. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.009>
- Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü, (2025). Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 30, 109–185.
- Okay, A.I. (1989). *Tectonic Units and sutures in the Pontides, northern Turkey. Tectonic evolution of the Tethyan Region* (Ed: A.M.C. Şengör) Dordrecht /Boston / London. Kluwer Academic Publishers, 109–116.
- Okay, A.I., and Görür, N., (1995). Time and space relations in the formation of the West Black Sea and Thrace basins. *Symposium on the Geology of the Thrace Basin*, 30.5–3.6.1995, Lüleburgaz, Abstracts, p., 9–10.
- Okay, A.I., & Satır, M. (2000). Upper Cretaceous eclogite facies metamorphic rocks from the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 47–56.
- Özpolat, E., Yıldırım, C., Görüm, T., & Sarıkaya, M. A. (2025). Drainage divide migration on asymmetrically uplifted horsts, western Türkiye. *Tectonics*, 44, e2024TC008519. <https://doi.org/10.1029/2024TC008519>
- Parsons T., Toda S., Stein R., Barka A.A., & Dieterich J. (2000). Heightened odds of large earthquakes near Istanbul: an interaction-based probability calculation. *Science* 28:661–665.
- Perron, J.T., & Royden, L. (2013). An integral approach to bedrock river profile analysis. *Earth Surf. Process. Landf.*, 38, 570–576. <https://doi.org/10.1002/esp.3302>
- Schwanghart, W., & Scherler, D. (2014). TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. *Earth Surface Dynamics*, 2, 1–7. <https://doi.org/10.5194/esurf-2-1-2014>
- Soysal, H., Sipahioglu, S., Koak, D., & Altınok, Y. (1981). *Historical Earthquake Catalogue of Turkey and Surrounding Area (2100 B.C.-1900 A.D.)*. Technical Report, Tubitak, No. TBAG-341.
- Su, Q., Wang, X., Lu, H., & Xie, H. (2020). Dynamic divide migration as a response to asymmetric uplift: An example from the Zhongtiao Shan, North China. *Remote Sensing*, 12(24), 4188. <https://doi.org/10.3390/rs12244188>
- Suzanne, P., Lyberis, N., Chorowicz, J., Nurlu, M., Yurur, T., & Kasapoglu, E. (1990). La geometrie de la Faille Nord Anatolienne a partir d'images Landsat-MSS. *Bulletin de la Societe geologique de France*, 6(4), 589–599.
- Şengör A.M.C., & Yılmaz Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75:181–241.
- Şengör, A.M.C. (1979). The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. Lond.* 136, 269–282.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., LePichon, X., & Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: a new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 33, 37–112. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- Tchalenko, J. S. (1970). Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geological Society of America Bulletin*, 81(6), 1625–1640.
- Tchalenko, J. S., & Ambraseys, N. N. (1970). Structural analysis of the Dasht-e Bayaz (Iran) earthquake fractures. *Geological Society of America Bulletin*, 81(1), 41–60.
- Topal, S. (2024). Buldan Horstu boyunca ana drenaj bölünmesinin konumu ve göçünün tektonik aktivite ile ilişkisi (GB Türkiye). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14(4), 970–979. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1469171>
- Topal, S., & İrfan, M. (2025). Normal faulting and its role in the drainage divide migration in the Karıncalıdağ region, Mendere Massif, Western Türkiye. *J. Mt. Sci.* 22, 312–323. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-9132-8>
- Wang, Y., Zhang, H., Zheng, D., Yu, J., Pang, J., & Ma, Y. (2017). Coupling slope–area analysis, integral approach and statistic tests to steady-state bedrock river profile analysis. *Earth Surf. Dyn.*, 5, 145–160. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-145-2017>
- Whipple, K. X., Forte, A. M., DiBiase, R. A., Gasparini, N. M., & Ouimet, W. B. (2017). Timescales of landscape response to divide migration and drainage capture: Implications for the role of divide mobility in landscape evolution. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122 (1), 248–273. <https://doi.org/10.1002/2016JF003973>
- Whipple, K.X., & Tucker, G.E. (1999). Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 104, 17661–17674. <https://doi.org/10.1029/1999JB900120>
- Wilcox, R. E., Harding, T. T., Seely, D. R., 1973. Basic wrench tectonics. *Aapg Bulletin*, 57(1), 74–96.
- Willett, S.D., McCoy, S.W., & Beeson, H.W. (2018). Transience of the North American High Plains landscape and its impact on surface water. *Nature*, 561, 528–532. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0532-1>
- Willett, S.D., McCoy, S.W., Perron, J.T., Goren, L., & Chen, C.Y. (2014). Dynamic reorganization of river basins. *Science*, 343, 1248765. <https://doi.org/10.1126/science.1248765>
- Wobus, C., Whipple, K.X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., & Sheehan, D. (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 398, 55–74. [https://doi.org/10.1130/2006.2398\(04\)](https://doi.org/10.1130/2006.2398(04))
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M., & Yılmaz, K. (1995). Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia. *Tectonophysics*, 243(1-2), 155–171. <https://doi.org/10.1016/0040->

1951(94)00196-G

- Zeng, X., & Tan, X. (2023). Drainage divide migration in response to strike-slip faulting: An example from northern Longmen Shan, eastern Tibet. *Tectonophysics*, 848, 229720. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229720>
- Zhou, C., Tan, X., Liu, Y., & Shi, F. (2022). A cross-divide contrast index (C) for assessing controls on the main drainage divide stability of a mountain belt. *Geomorphology*, 398, 108071. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229720>