

Ölü Deniz Fay Zonu Yesemek Segmenti'nin Morfometrik Analiz Yöntemleriyle Araştırılması

Musa Balkaya*¹ 

*¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü,
KAHRAMANMARAŞ

(Alınış / Received: 27.03.2025, Kabul / Accepted: 16.04.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 30.04.2025)

Anahtar Kelimeler

Yesemek Segmenti,
Morfometrik analiz,
Drenaj havzası,
Morfotektonik

Öz: Ölü Deniz Fay Zonu'nun (ÖDFZ) Türkiye sınırları içerisindeki segmentlerinden biri olan Yesemek Segmenti, Karasu Havzası'nın doğu kenarını Sakçagöz ile Reyhanlı arasında sınırlayan sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Yaklaşık 110 km uzunluğundaki segment, 3 km genişliğindeki sola sıçramayla birbirinden ayrılan kuzey ve güney bölümlerinden oluşur. Bu çalışmada, Karasu Havzası'nın doğu kesimini kapsayacak şekilde Yesemek Segmenti'nin geçtiği bölgenin morfometrik analizlere dayalı morfotektonik özellikleri ve segmentin davranış biçiminin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Literatürde Karasu Havzası ve Yesemek Segmenti ile alakalı morfometrik analizlere dayalı herhangi bir morfotektonik çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu ilk morfometrik analizler kapsamında, Yesemek Segmenti ile ilişkili dağ önlerinde Dağönü Eğriselliği (S_{mf}); drenaj ağı ve havzaları üzerinde ise Vadi Tabanı Genişliğinin-Vadi Yüksekliğine Oranı (V_r), Asimetri faktörü (AF), Hipsometrik Eğri ve İntegral (HI) ve Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL) hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde Yesemek Segmenti'nin Geç Kuvaterner döneminde aktif olduğu, segmentin bölgenin tektonik evriminde ve morfolojik gelişiminde önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır.

Investigation of the Yesemek Segment of the Dead Sea Fault Zone Using Morphometric Analysis Methods

Keywords

Yesemek Segment,
Morphometric analysis,
Drainage basin,
Morphotectonics

Abstract: The Yesemek segment, one of the segments of the Dead Sea Fault Zone (DSFZ) within the borders of Turkey, is a left-lateral strike-slip fault that delimits the eastern edge of the Karasu basin between Sakçagöz and Reyhanlı. The segment is about 110 km long and consists of northern and southern sections separated by a 3 km wide left-slip step-over. The aim of this study is to reveal the morphotectonic characteristics based on morphometric analysis of the region through which the Yesemek segment passes, covering the eastern part of the Karasu basin, and the characteristics of the segment. No morphotectonic study based on morphometric analysis related to Karasu basin and Yesemek segment has been encountered in the literature. Within the scope of these first morphometric analyses, the mountain front sinuosity (S_{mf}) was calculated in the mountain fronts related to the Yesemek segment. Valley floor width-to-height ratio (V_r), basin asymmetry factor (AF), hypsometric curve and integral (HI), and stream gradient index (SL) were calculated on the drainage network and basins. As a result of the calculations, it was understood that the Yesemek segment was active during the Late Quaternary period and that the segment played an important role in the tectonic evolution and morphological development of the region.

*İlgili Yazar, email: musabalkaya@ksu.edu.tr

1. Giriş

Depremler, tarih boyunca insanoğlunun süregelen yaşamını ve yaşam ortamını etkileyen başlıca doğa olaylarından biri olmuştur. Bu doğa olayı, sosyal hayatı şiddetli derecede etkileyecek şekilde insanın yaşadığı çevrede meydana geldiği zaman olay olmaktan çıkıp doğal afete dönüşmektedir. Ülkemiz nüfusunun önemli bir bölümünü barındıran yerleşim yerleri büyük deprem üretme potansiyeline sahip diri fayların üzerinde veya yakınında konumlanmıştır. Çalışma konusu olarak seçilen bölgede, Afrika-Arabistan ve Avrasya levhalarının hareketleri sonucu oluşan Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gibi yüksek deprem potansiyeline sahip aktif deformasyon zonları bulunmaktadır. Bu deformasyon zonlarının morfolojik özelliklerinin iyi bir şekilde bilinmesi sayesinde fayların davranış biçimleri daha iyi anlaşılabilir.

Karasu Havzası'nın doğu kesimi, Kurt Dağları'nın batı kesimi ve bu iki jeomorfolojik yapı arasında bir nevi sınır olacak şekilde uzanan ÖDFZ Yesemek Segmenti'ni kapsayan bölge, bu çalışmanın inceleme alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Önceki çalışmalarda birçok kaynakta Doğu Hatay Fayı olarak geçen inceleme alanındaki bu fay [1-5] Duman ve Emre [6] tarafından ÖDFZ Yesemek Segmenti olarak adlandırılmış olup bazı güncel kaynaklarda da bu isimle kullanılmıştır [Örn. 7-9]. İnceleme alanı ve yakın çevresinde mevcut birçok aktif fay bulunduğundan herhangi bir karışıklığa mahal vermemek için bu çalışmada faylar isimlendirilirken Duman ve Emre [6] tarafından kullanılan isimlendirme baz alınmıştır (Şekil 1b).

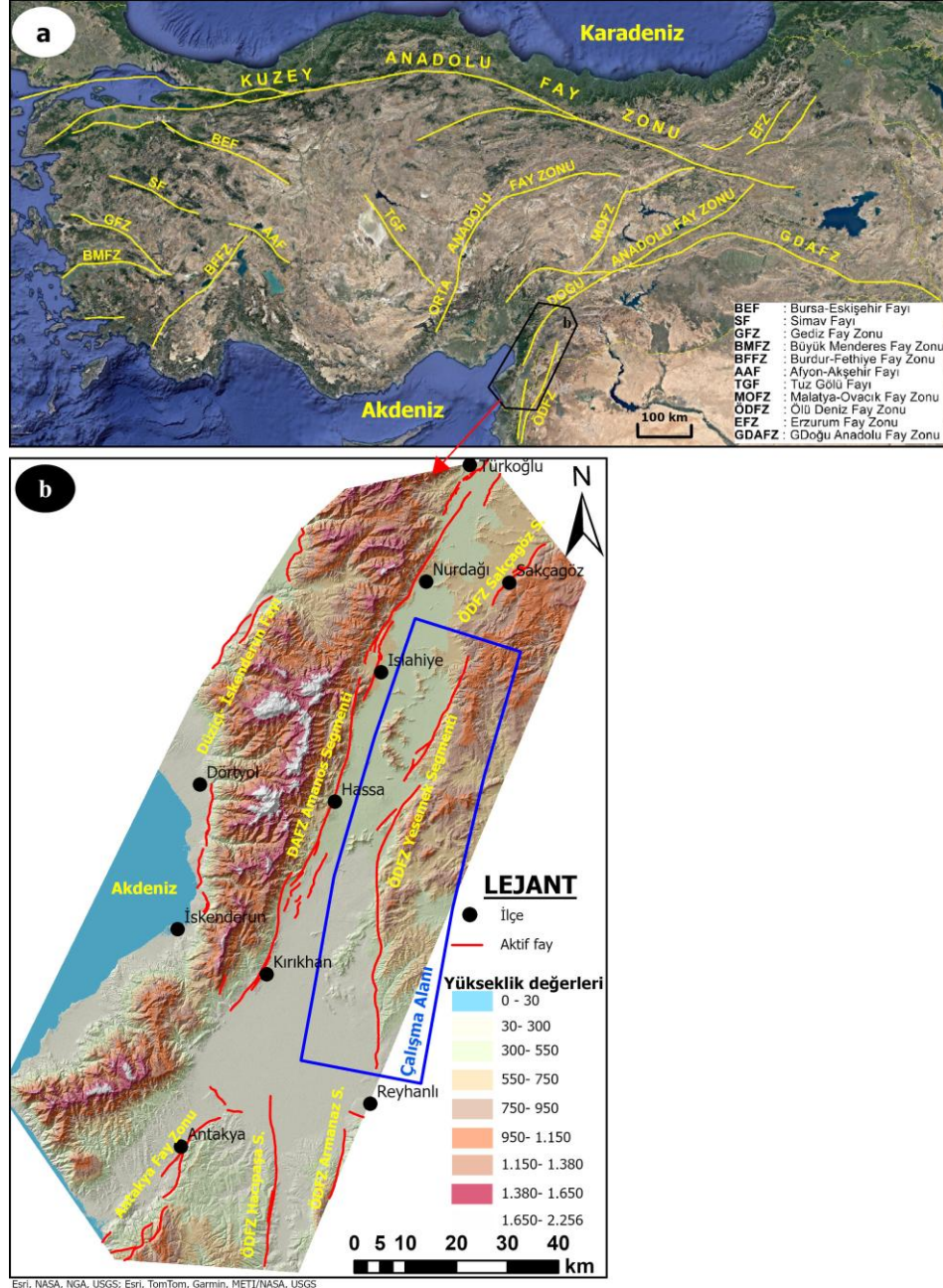
1.1. Yesemek segmenti ve yakın çevresinin tektonik özellikleri

Ölü Deniz Fay Zonu: Doğu Akdeniz bölgesinin önemli aktif tektonik yapılarından biri olan sol yanal ÖDFZ, güneyde Kızıldeniz'den kuzeyde Türkiye'nin güneyine kadar uzanmaktadır. Yaklaşık K-G doğrultulu bu fay zonu, Hula Havzası'nın güneyinde genellikle basit bir geometriye sahipken kuzeye doğru farklı kollara ayrılmaktadır. Fay zonunun yaşı ve toplam sol yanal atımı tartışmalıdır. Ancak, ÖDFZ ile ilişkili tektonik deformasyonun Kızıldeniz'deki deniz tabanının yayılmasıyla başladığı ve fay zonundaki toplam kaymanın jeolojik kanıtlara göre güney kesim için yaklaşık 110 km [Örn. 10, 11], kuzey kesim için 70-80 km [Örn. 12] olduğu kabul görmektedir. Önceden yapılan çalışmalar kapsamındaki jeolojik kanıtlar, kinematik modeller, GPS modelleri ve paleosismolojik araştırmalar ÖDFZ boyunca kayma hızının yılda 1 ile 10 mm arasında değiştiğini göstermiştir [10, 13, 12, 14, 15]. ÖDFZ kuzey kesimindeki kayma hızı da tartışılmaktadır. Arazi gözlemleri, yeraltı jeofizik verileri ve GPS verilerine dayanan önceki çalışmalarda, ÖDFZ'nin güney Türkiye'de birkaç fay koluna ayrıldığı ve kayma hızının bu kollar arasında bölündüğü öne sürülmektedir [16-21, 2, 14, 12, 1, 22, 4, 23].

Karasu Havzası: KKD-GGB doğrultulu Karasu Havzası 160 km uzunluğa, 12 km ile 35 km arasında değişen genişliklere sahip olup karmaşık morfolojik yapılar sergiler. Bu havza, Duman ve Emre [6] tarafından iki kıtasal levhayı ayıran sol yanal Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonlarının bağlantısıyla ilişkili bir açılma bendi olarak yorumlanmıştır. Aynı çalışmada Karasu Havzası kuzey, orta ve güney olmak üzere 3 morfolojik bölüme ayrılarak detaylandırılmıştır. Kuzey kesimi Aksu Nehri ile ilişkili Sağlık ve Narlı ovalarını kapsamaktadır. Sağlık ovası havzanın KB kısmını, Narlı Ovası ise KD kısmını oluşturmaktadır. Orta kısım, ortasında Kuvaterner yaşlı lavlarla sınırlanmış ofiyolitik kayalarla açığa çıkaran, dar, doğrusal, tepelik bir aralıktır. Amik Havzası'nı da kapsayan güney kesimi üç bölümün en büyüğüdür. Karasu Havzası'nın doğu kenarının kuzey kesimi, ÖDFZ'nin Narlı ve Sakçagöz segmentleri ile güney kesimi ise bu çalışmanın konusu olan Yesemek Segmenti ile sınırlanmaktadır. Havzanın batı kenarı ise DAFZ'nin Amanos Segmenti ile sınırlanmaktadır. Amanos Dağları'nın doğu kenarı boyunca yaklaşık K30°D doğrultulu olarak uzanan Amanos Segmenti, Duman ve Emre [6] tarafından üç bölüme (Nurdağı, Hassa ve Kırıkhan) ayrılmıştır. Amanos Segmenti yaklaşık 120 km uzunluğunda olup inceleme alanının batısında kalmaktadır.

ÖDFZ Yesemek Segmenti: ÖDFZ'nin Türkiye sınırları içerisindeki segmentlerinden biri olan Yesemek Segmenti, Karasu Havzası'nın doğu kenarını Sakçagöz (Nurdağı, Gaziantep) ile Reyhanlı (Hatay) arasında sınırlayan sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Yaklaşık 110 km uzunluğundaki segment, Duman ve Emre [6] tarafından 3 km genişliğindeki sola sıçramayla iki bölüme ayrılmıştır. 57 km uzunluğundaki güney bölümü boyunca Holosen akarsularının sistematik sol yanal ötelenmeleri, çizgisel bazalt çıkışları, sıcak su çıkışları ve volkanik koniler bulunmaktadır. Fay, Yalankoz'un (Şehitkâmil, Gaziantep) kuzeydoğusunda Kuvaterner yaşlı volkanitleri kesmektedir. K35°D gidişli 54 km uzunluğundaki kuzey kesim, drenaj ağları ile uzamış sırtları öteleyerek ofiyolitik bir araziden geçmektedir. Bu bölümün kuzey ucu engebeli bir arazide uzanmakta olup fay arazide takip etmek oldukça zordur. Bölümün geri kalan kısmında fay boyunca travertenler ve Holosen fay sarplıkları yaygındır [6]. Karabacak [24] ile Karabacak ve arkadaşları [22] tarafından yapılan çalışmalarda; Yesemek Segmenti'nin olduğu kesimde, Karasu Havzası doğu kenarının Türkiye-Suriye sınır bölgesindeki askeri yasaklı alanda kaldığı için yeteri kadar incelenemediği, yaklaşılabilen yerlerde uzaktan yapılan gözlemler neticesinde bu uzanım boyunca Karasu

Havzası doğu yamaçlarında herhangi bir diri faylanma belirtisi gözlenmediği belirtilmiştir. Ancak fayın aktif olduğuna dair bölgede yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan Duman ve Emre [6] tarafından yapılan çalışmada muhtelif yerlerde fay boyunca nehir kanallarında ve muhtemelen Son Buzul-Holosen döneminde gelişen alüvyon yelpazelerinde kümülatif 30-40 m ötelenmeler ölçüldüğü, özellikle Karakaya'nın (İslahiye, Gaziantep) yaklaşık 2 km kuzeyinde alüvyon içerisindeki bir dere yatağında 40 m sola ötelenme olduğu belirtilmiştir. Seyrek ve arkadaşları [23] tarafında yapılan çalışmada aynı noktada (Karakaya'nın kuzeyi) genç alüvyon yelpazesine oyulmuş olan küçük bir derenin Yesemek Segmenti tarafından 37 m sola ötelenildiği ve bunun fayın aktifliğine dair bir kanıt olduğu ileri sürülmüştür.



Şekil 1. a) Basitleştirilmiş aktif tektonik fay haritası üzerinde inceleme alanı ve yakın çevresinin konumu (Balkaya ve arkadaşlarından [25] değiştirilerek alınmıştır). b) Çalışma alanı ve yakın çevresini gösteren SYM. Aktif faylar Duman ve Emre'den [6] basitleştirilmiştir.

Yesemek Segmenti'nin kayma hızına ilişkin yapılan bazı çalışmalarda; Westaway [1] yılda yaklaşık 2,5 mm, Seyrek ve arkadaşları [4] yılda yaklaşık 2,7 mm kayma hızına işaret etmektedirler. Duman ve Emre [6] Geç Kuvaterner-Holosen dönemindeki ötelenmelere dayanarak 1,5-2 mm/yıllık bir kayma hızı önermektedir. Seyrek ve arkadaşları [23], Karakaya kuzeyindeki 37 m sol yanal ötelenmeye dayanarak Yesemek Segmenti'ndeki kısa bir zaman ölçeğinden (en geç Pleyistosen sonrası) türetilmiş sol yanal kayma oranına ilişkin en iyi tahminlerinin yılda yaklaşık 2,5 mm olduğunu belirtmişlerdir.

İnceleme alanı içerisinde (Amanos ve Yesemek segmentleri arasında) meydana geldiği düşünülen 13 Ağustos 1822 depreminin [26, 27] Amanos ve Yesemek segmentlerinden hangisi üzerinde meydana geldiği konusu tartışılmaktadır. Güncel bazı çalışmalarda depremin Amanos Segmenti'nden ziyade Yesemek Segmenti tarafından üretildiği belirtilmektedir [Örn. 6, 7, 9]. Duman ve Emre [6], 1822 tarihsel depreminin Yesemek Segmenti üzerinde meydana geldiğini ve büyüklüğünün de $M=7,5$ olabileceğini ileri sürmektedirler. Liang ve arkadaşları [9] tarafından yapılan çalışmada, 1822 depreminin, 2023'te kırılan Amanos Segmenti'nden ziyade Yesemek Segmenti'nde meydana geldiği ve Yesemek Segmenti'nde birikmiş stresin 1822 yılında serbest kaldığı varsayılmıştır. Buna dayanarak 2023 depremlerindeki kırılmanın ve artçı şoklarının Narlı Segmenti'nden güneye doğru uzamasının engellenmiş olabileceği ileri sürülmektedir [7, 9]. Bununla birlikte Wang ve arkadaşları [8] tarafından yapılan çalışmada, 2023 Kahramanmaraş depremlerinin Yesemek Segmenti dâhil yakın çevresindeki birçok fay üzerinde pozitif bir Coulomb stres etkisi ortaya çıkardığı ve bu bölgelerde artan sismik tehlikenin devam ettiği ileri sürülmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan, fay boyunca oluşmuş aktivitelerin yeryüzünde farklı jeomorfolojik izler bıraktığı anlaşılmaktadır [28]. Bu izlerin anlamlandırılmasında en çok kullanılan yöntemlerden biri morfometrik analizlerdir. Yapılan literatür taramaları neticesinde, Karasu Havzası'nın morfotektonik özellikleri ile alakalı sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. Ege [29] tarafından yapılan bu çalışmada, Karasu Havzası'nı de kapsayacak şekilde Antakya-Kahramanmaraş çöküntü alanının fay morfolojisinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Araştırmada, bu makale kapsamında yapılan morfometrik analizlerin hiçbirini kullanılmamıştır. Sonuç olarak, literatürde Karasu Havzası ve ÖDFZ Yesemek Segmenti ile alakalı morfometrik analizlere dayalı herhangi bir morfotektonik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada yapılan morfometrik analiz çalışmalarıyla, Karasu Havzası'nın doğu tarafını sınırlayan Yesemek Segmenti'nin Geç Kuvaterner aktivitesi, fayın bölgenin morfolojik gelişimindeki etkisi ve Kurt Dağları'nın yükselimi hakkında bilgi üretilerek literatüre önemli bir katkı sağlanmış olacaktır. Uzaktan algılamaya dayalı yapılan bu ilk morfometri temelli çalışma neticesinde, inceleme alanının jeomorfolojik evrimi ve bu evrim üzerinde tektonizmanın etkisi hakkında verilen bilgilerle özgün bir değer ortaya konulmuştur. Ayrıca Yesemek Segmenti'yle ilişkili dağönleri, vadiler ve drenaj ağları üzerinde farklı morfometrik yöntemlerle yapılan hesaplamalar neticesinde aktif fay-morfoloji ilişkisinin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Herhangi bir fay zonu ve yakın çevresinin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve morfometrik analizlerinin yapılabilmesi için, fay zonu ve yakın çevresini kapsayan 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik paftaların 10 m çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli'nin (SYM) oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte bazı uluslararası veri indirme platformlarından 12,5 m (Alos Palsar) veya 30 m (Landsat) çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri indirilerek de SYM oluşturulabilmektedir. Makale kapsamındaki morfometrik analiz çalışmaları, inceleme alanını kapsayacak şekilde 12,5 m çözünürlüğe sahip Alos Palsar verilerinden oluşturulan SYM verilerinin <https://search.asf.alaska.edu/#/> internet adresinden indirilmesi ile başlamıştır [30]. İndirilen bu veriler üzerinde ArcGIS Pro yazılımı yardımıyla çeşitli veri-işlem adımları izlenmiş, SYM'deki boşluklar enterpolasyon yapılarak (Tool-Fillsinks) doldurulmak suretiyle homojen bir veri elde edilmiştir. Ardından inceleme alanının gölgelendirme haritası (Hill-Shade) hazırlanmış olup Yesemek Segmenti ve yakın çevresindeki aktif faylar Duman ve Emre [6]'den basitleştirilerek alınmış ve haritaya eklenmiştir (Şekil 1b). Bundan sonra ArcGIS Pro yazılımı kapsamındaki ArcHydro Tools vasıtasıyla, SYM üzerinde bölgenin drenaj havzaları ve akarsu ağı belirlenmiş olup morfometrik analiz çalışmalarına altlık hazırlanmıştır.

Çalışma alanındaki dağ önlerinde Dağönü Eğriselliği (S_{mf}); drenaj ağı ve havzaları üzerinde ise Vadi Tabanı Genişliğinin-Vadi Yüksekliğine Oranı (V_f), Asimetri Faktörü (AF), Hipsometrik Eğri ve İntegral (HI), Akarsu Uzunluk - Gradyan İndisi (SL) gibi morfometrik indis hesaplamaları yapılarak bölgenin jeomorfolojik evrimi ve bu evrim üzerinde tektonizmanın etkisi hakkında bilgi edinilmiştir. Çalışma kapsamında ağırlıklı olarak ArcGIS Pro kullanılmış olup bu bilgisayar yazılımının sahip olduğu farklı algoritmalar vasıtasıyla hesaplanan morfometrik indislerin ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Dağönü eğriselliği (S_{mf})

Dağönü eğriselliği indisi, tektonik olarak aktif dağ önleri ile aktif olmayan dağ önlerini ayırt etmekte kullanılan etkili yöntemlerden biri olup $S_{mf} = L_{mf}/L_s$ eşitliği ile hesaplanmaktadır [28]. Burada, L_{mf} dağönü boyunca ani topografya değişimi ile oluşan çizgiselliğin toplam uzunluğu, L_s ise dağönünün düz bir çizgi boyunca uzunluğundan ibarettir (Şekil 2a). Bu indis dağönü boyunca meydana gelen tektonik aktivitenin oranını ölçmek için kullanılmaktadır [28]. Bull [31] tarafından yapılan çalışmada S_{mf} değerlerinin 1,4'ten küçük olması durumunda düşük, 1,4 ile 3 arasında olması durumunda ise orta derece olduğu ifade edilmiştir. Keller ve Pinter [28] tarafından yapılan çalışmada, düşük ve orta dereceli S_{mf} değerlerinin yüksek tektonik aktiviteye sahip dağ önlerinin bir göstergesi olduğu belirtilmiştir.

2.2. Vadi tabanı genişliğinin – vadi yüksekliğine oranı (V_f)

Bu indis, yüksek V_f değerlerine sahip U-şekilli (düz tabanlı) vadiler ile nispeten düşük V_f değerlerine sahip V-şekilli vadiler arasındaki farklılıkları gözler önüne seren bir jeomorfik indistir [28]. Bir bölgede meydana gelen tektonik yükselme hızının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan bir indis olan V_f , $V_f = 2 \cdot V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$ formülü ile hesaplanmaktadır [28]. Bu formüldeki V_{fw} vadi tabanının genişliğini, E_{ld} vadinin sol su bölümü çizgisi yükseklik değerini, E_{rd} vadinin sağ su bölümü çizgisi yükseklik değerini ve E_{sc} vadi tabanı kotunu göstermektedir (Şekil 2b). Birçok çalışma neticesinde elde edilen indislere göre V_f değerleri 3 sınıfa ayrılmaktadır [32-34]. Bu ve benzer çalışmalarda; V_f indisinin 0,5 ten düşük olması durumunda tektonik aktivitenin fazla olduğu (Sınıf 1), V_f indisinin 0,5 ile 1 arasında olması durumunda tektonik aktivitenin orta seviyede olduğu (Sınıf 2) ve V_f değerinin 1'den fazla olması durumunda tektonik aktivitenin düşük seviyede olduğu (Sınıf 3) belirtilmiştir.

2.3. Asimetri faktörü (AF)

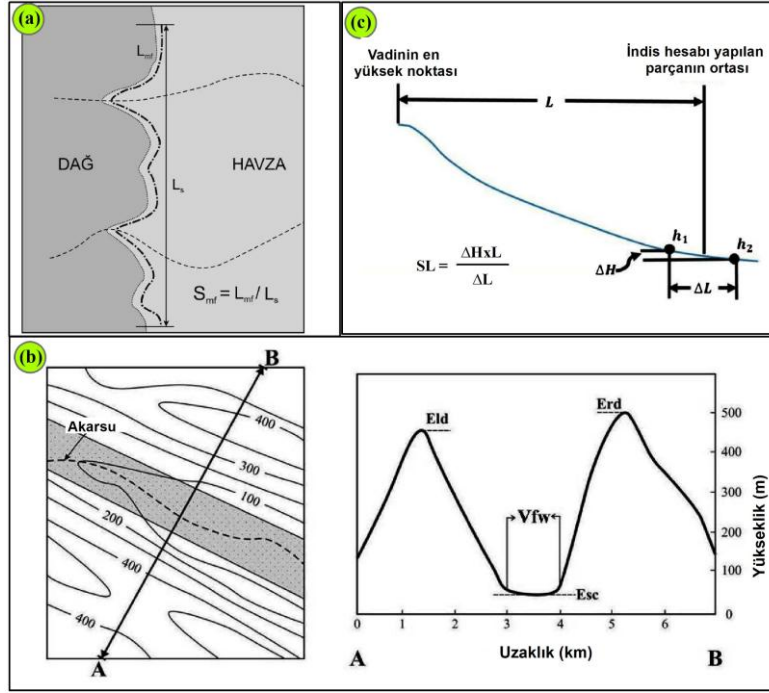
Drenaj havzalarında akışa dik bir doğrultu boyunca tektonik eğimlenme (tiltlenme) sınıfının belirlenmesi amacı ile uygulanan bir yöntem olup AF değeri $AF = 100 \cdot (A_r / A_t)$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada A_r , drenaj havzasının akış yönünde bakılırken ana derenin sağında kalan alanı, A_t ise drenaj havzasının toplam alanını temsil etmektedir [28]. AF değerinin 50 civarında olması, havzada herhangi bir eğimlenme olmadığı dolayısıyla havzayı etkileyen bir tektonizmanın bulunmadığını gösterir. Bu değer 50 den uzaklaşması havzanın asimetrik bir yapı kazandığını gösterir ve bu durum havzanın tektonik olarak aktif olduğu anlamına gelir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda [33, 35, 36, 34, 37] AF değerlerinin 50 den uzaklığına bağlı olarak 3 tektonik sınıf belirlenmiştir. Buna göre mutlak değer içinde AF indisinden 50 çıkardığımızda sonuç 15 ve üzeri ise bölgenin tektonik olarak Sınıf 1 (yüksek tektonik aktivite ve eğimlenme), sonuç 7-15 arasında ise Sınıf 2 (orta seviye tektonik aktivite ve eğimlenme), sonuç 7'den küçük ise Sınıf 3 (düşük derecede tektonik aktivite ve eğimlenme) olarak yorumlanabileceği belirtilmiştir.

2.4. Hipsometrik eğri ve integral (HI)

Hipsometrik eğri, bir bölgede bulunan drenaj alanından kot farklılıkları olan havzaların evrim süreci ve arazinin aşınımı hakkında bilgi vermektedir [38]. Bu hesaplamalar ile farklı büyüklüklerdeki drenaj havzaları birbirleri ile karşılaştırılabilmektedir. Dışbükey hipsometrik eğriler nispeten genç, zayıf erode olmuş (erozyona uğramış) alanlara işaret ederler. S-şekilli eğriler orta derecede erode olmuş bölgeleri, içbükey eğriler ise nispeten eski, yüksek derecede erozyona uğramış bölgeleri temsil ederler [28]. Havzanın yükseklik değerlerinin dağılımı ile hesaplanan hipsometrik integral, gerçek manada hipsometrik eğrinin altında kalan alanı tanımlamaktadır. HI değeri $HI = (h_{ort} - h_{min}) / (h_{mak} - h_{min})$ formülü ile bulunmaktadır. Burada, h_{ort} havzanın ana akış sisteminin ortalama yüksekliğini, h_{min} ve h_{mak} sırasıyla minimum ve maksimum yükseklikleri ifade etmektedir [28]. Bazı çalışmalarda hipsometrik integral değerlerinin; 0,5'ten büyük olduğu zaman ($HI > 0,5$) genç havzaları ifade ettiği, 0,3'ten küçük ($HI < 0,3$) olması durumunda havzanın yaşlı olduğuna işaret ettiği, 0,3 ile 0,5 arasında ($0,3 < HI < 0,5$) olmasının ise havzanın oluşumunu tamamladığına işaret ettiği belirtilmiştir [Örn. 39].

2.5. Akarsu uzunluk - gradyan indisi (SL)

Bu indis, akarsu vadilerinde akış kanalı boyunca muhtemel tektonik aktivite, kayaç direnci ve topografya arasındaki ilişkileri değerlendirmek için kullanılır. SL indisi, $SL = \Delta H \times L / \Delta L$ formülü ile (Şekil 2c) hesaplanmaktadır [40, 28]. Burada SL: akarsu uzunluk-gradyan indisini, ΔH : Kanal yüksekliğindeki değişimi, ΔL : Ölçülen kısmın kanal uzunluğu ve L: İndis hesabı yapılan kesimin orta noktasından vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafenin metre olarak değerini ifade etmektedir [39]. El Hamdouni ve arkadaşları [33] çalışması baz alınarak yapılan birçok çalışmada [Örn. 36, 41] SL indis değerleri sınıf 1 ($500 < SL$), sınıf 2 ($300 < SL < 500$) ve sınıf 3 ($SL < 300$) olarak 3 tektonik sınıfa ayrılmıştır. Benzer kaynaklarda SL hesaplamalarında alınan yükseklik aralıkları 100 ile 250 metre arasında değişkenlik göstermektedir [42, 37]. Bu çalışmada hesaplanan vadilerin uzunlukları 3250 ile 19830 metre arasında değişmekte olup nispeten kısa olan bu vadilerdeki SL ölçümü yükseklik aralıkları, ölçülen vadinin uzunluğuna bağlı olarak, 20-60 m arasında alınmıştır. Bu sebepten, büyük vadileri kapsayan çalışmalarda SL indisi tektonik sınıflandırması ile ilgili yukarıda verilen değerlerin yarısı alınarak bu çalışmanın SL değerleri sınıf 1 ($250 < SL$), sınıf 2 ($150 < SL < 250$) ve sınıf 3 ($SL < 150$) olmak zere 3 tektonik sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 2. Çalışma kapsamında kullanılan indislerden bazıları gösterir şekil [43].

(a): Dağönü eğriselliğinin hesaplanmasında kullanılan diyagram [28],

(b): V_f hesaplamalarında kullanılan parametreler [28],

(c): Akarsu uzunluk - gradyan indisinin hesaplanmasına dair çizim [40].

3. Morfometrik Analiz Bulguları

Morfometrik analizler, jeomorfolojik süreçlerin ve yeryüzü morfolojisinin gelişiminde etkili olan aktif tektoniğin araştırılmasında kullanılan en önemli yöntemlerdendir [28]. Morfometrik indisler yardımıyla yapılan bu analizler neticesinde elde edilen sayısal veriler, geniş çaplı alanların jeomorfolojik evriminin anlaşılmasında veya buradaki aktif fay segmentlerinden hangisinin daha aktif olduğunun belirlenmesinde kullanılabilir [28, 44-46, 43]. Bu çalışma kapsamında inceleme alanında bulunan drenaj ağı ve havzaları üzerinde dağönü eğriselliği, vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliğine oranı, asimetri faktörü, hipsometrik eğri ve integral ile akarsu uzunluk - gradyan indisleri morfometrik analizleri yapılmıştır. Bu bölümde Karasu Havzası doğu kenarında bulunan 17 alt havzanın analizlerinin yapılması neticesinde elde edilen veriler değerlendirilerek ulaşılan sonuçlar aktarılmış olup bu sonuçların Yesemek Segmenti ile ilişkisi irdelenmiştir.

3.1. Dağ önü eğriselliği (S_{mf})

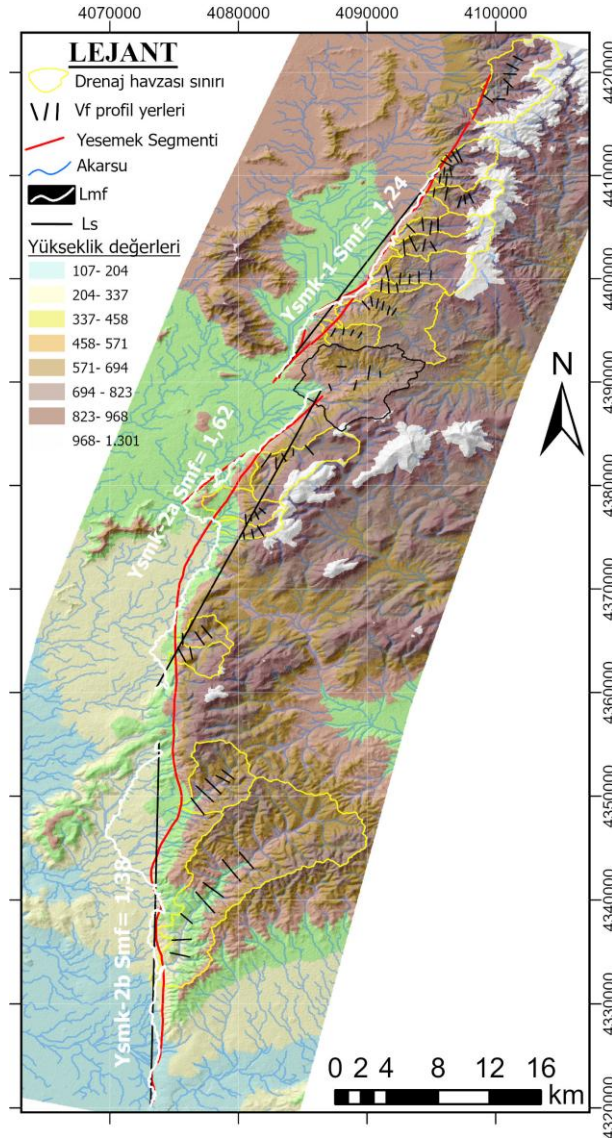
Aktif dağ önlerinde meydana gelen yükselmeler, doğal olarak erozyonel süreçlere karşı baskındır. Dolayısıyla nispeten düz dağ önlerinin olduğu kısımlarda hesaplanan S_{mf} değerleri düşük olur. Tektonik olarak nispeten az aktif dağ önlerinde ise erozyonel süreçler baskın olduğu için düzensiz ya da daha yüksek S_{mf} değerleri gözlenmiştir [28, 32]. İnceleme alanında biri Yesemek Segmenti kuzey bölümünde, ikisi güney bölümünde olmak üzere toplam 3 adet S_{mf} değeri hesaplanmıştır. Karasu Havzası doğu kenarı boyunca uzanan Yesemek Segmenti kuzey bölümünde (Ysmk-1) L_{mf} : 23516 m ve L_s : 18998 m olarak ölçülmüştür. Böylece burada S_{mf} 1,24 olarak hesaplanmıştır. Segmentin güney bölümünde iki ayrı S_{mf} değeri hesaplanmıştır. Yesemek Segmenti orta kesiminde (Ysmk-2a) L_{mf} : 41032 m, L_s : 25348 m ve S_{mf} : 1,62 olarak hesaplanmıştır. Segmentin güney bölümünün güney kesiminde ise (Ysmk-2b) L_{mf} : 39111 m, L_s : 28273 m olarak ölçülmüş olup S_{mf} : 1,38 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Yesemek Segmenti boyunca hesaplanan düşük (Ysmk-1 ve Ysmk-2b) ve orta dereceli (Ysmk-2a) S_{mf} değerleri, yüksek tektonik aktiviteye sahip dağ önlerinin bir göstergesi olup buradaki havza gelişiminde erozyonel olaylardan ziyade tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca S_{mf} değerlerine bakılarak fayın kuzey ve güney kesimlerindeki aktif tektonik etkinin orta kesime nazaran daha yüksek olduğu da söylenebilir.

3.2. Vadi tabanı genişliğinin - vadi yüksekliğine oranı (V_f)

Vadi tabanı genişliğinin - vadi yüksekliğine oranı, bir bölgede meydana gelen tektonik yükselme hızının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan indislerden biridir. Analizler sonucu ulaşılan düşük V_f değerleri "V" şekilli vadilere işaret eder ve bu da bölgede yükselme hızının yüksek olduğunu gösterir. Ulaşılan yüksek V_f değerleri ise

yükselme hızının az olduğunu dolayısıyla bölgede tektonizmanın erozyonal süreçlere göre daha az etkili olduğunu göstermektedir [28, 32].

Bu çalışma kapsamında, dağönleri ile ilişkili akarsu kanallarında V_f değerleri hesaplanarak segmentlerin göreceli aktiviteleri ve yükselme hızlarının tektonik sınıflara ayrılması amaç edinilmiştir. V_f değeri hesaplanırken, daha önce S_{mf} indis hesabı yapılmış dağ önlerinde, her bir vadi için dağ cephesinden başlanarak akış yönünde yaklaşık 350 metrede bir profil alınmıştır (Şekil 3). Bu çerçevede Yesemek Segmenti ile ilişkili 17 drenaj havzasında toplam 80 adet V_f değeri hesaplanmıştır. Her bir vadi için ölçülen V_f değerlerinin ortalaması alınarak 17 vadiden (drenaj havzası) ortalama V_f değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ve ilişkili oldukları S_{mf} değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Yesemek Segmenti kuzey bölümü ile ilişkili 9 vadiden elde edilen ortalama V_f değerlerinin 0,31 ile 1,48 arasında değiştiği ve bu bölüm boyunca hesaplanan V_f değerlerinin ortalamasının 0,60 olduğu görülmüştür. Bölümün güney ucundaki küçük bir vadi (D9) V_f değeri 1,48 olarak ölçülmüştür. Bu istisnai durum dışında Yesemek Segmenti kuzey bölümündeki V_f değerleri yüksek (sınıf 1) ve orta seviye (sınıf 2) tektonik aktiviteye işaret etmektedir. Segmentin güney bölümü ile ilişkili vadilerden elde edilen ortalama V_f değerleri 0,41 ile 1,28 arasında değişmektedir (Tablo 1). Güney bölümü boyunca 8 vadiye ölçülen V_f değerlerinin ortalaması 0,75 olarak tespit edilmiştir. Yesemek Segmenti güney bölümünün kuzey kesiminde ölçülen 1,28 ve 1,11 değerleri dışındaki tüm vadilerdeki V_f değerleri 1'den küçük olup yüksek (sınıf 1) ve orta seviye (sınıf 2) tektonik aktiviteye işaret etmektedir. Yesemek Segmenti boyunca dağönleri ile ilişkili akarsu kanallarında ölçülen V_f değerlerinin genel olarak segmentin orta kesiminde yüksek olduğu, kuzey ve güney kesimlerde düşük olduğu görülmüştür.

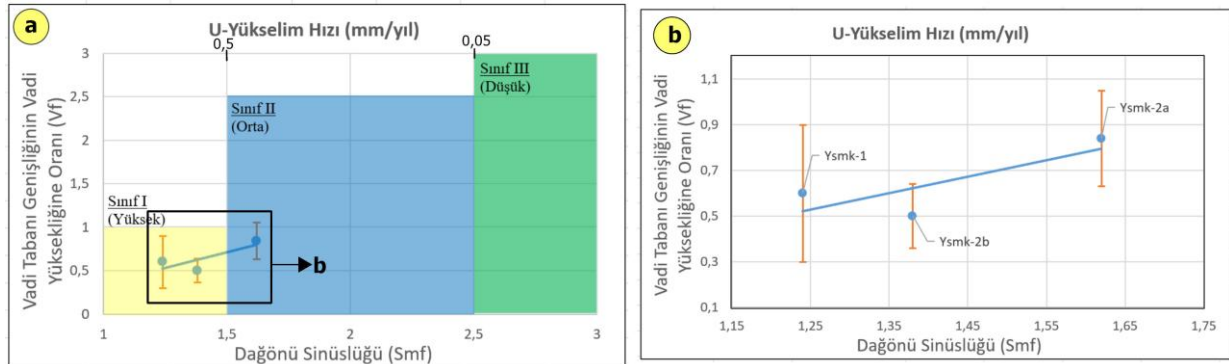


Şekil 3. İnceleme alanındaki dağ önlerinde hesaplanan S_{mf} değerleri ile bunlarla ilişkili vadilerden ölçülen V_f profillerinin SYM üzerindeki lokasyonları.

Tablo 1. Yesemek Segmentiyle ilişkili dağönlerinde hesaplanmış olan S_{mf} değerleri ile vadilerde hesaplanmış ortalama V_f değerleri.

Yesemek Segmenti kuzey bölümü				Yesemek Segmenti güney bölümü			
S_{mf} adı	S_{mf} değeri	Drenaj havzası	V_f ort.	S_{mf} adı	S_{mf} değeri	Drenaj havzası	V_f ort.
Ysmk-1	1,24	D1	0,62	Ysmk-2a	1,62	D10	1,28
		D2	0,31			D11	1,11
		D3	0,32			D12	0,70
		D4	0,40			D13	0,62
		D5	0,34			D14	0,78
		D6	0,52			D15	0,52
		D7	0,59	Ysmk-2b	1,40	D16	0,41
		D8	0,76			D17	0,59
		D9	1,48				

Yapılan bazı çalışmalarda V_f değerleri ile S_{mf} değerleri arasında bir orantı olduğu ve buna bağlı olarak fayların aktiflik derecelerinin belirlenebileceği iddia edilmiştir [47, 32]. Ayrıca S_{mf} ve V_f indislerinin beraber analiz edilmesi sonucu fay bloklarının yükselme hızı hakkında fikir edinilebileceği son yıllarda birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur [Örn. 48]. Bu bilgiler ışığında Yesemek Segmenti'yle ilişkili her bir vadinin ortalama V_f değeri ile aynı kesimin S_{mf} değerleri kıyaslandığında; Yesemek Segmenti kuzey ve güney kesimleri boyunca görülen yükselme ve aktiflik derecesinin, segmentin orta kesimine göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum V_f ve S_{mf} arasında oldukça iyi bir korelasyon olduğunu göstermektedir. İnceleme alanından elde edilen S_{mf} ve V_f değerlerinin birlikte analiz edilmesi sonucunda genel olarak Yesemek Segmenti kuzey ve güney kesimlerinin yüksek aktiviteye (Sınıf I) sahip olduğu ve yükselme hızının 0,5 mm/yıldan fazla olduğu, segmentin orta kesiminin (Ysmk-2a) ise orta derece aktiviteye (Sınıf II) sahip olduğu ve yükselme hızının yılda 0,5 ile 0,05 mm arasında olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4).



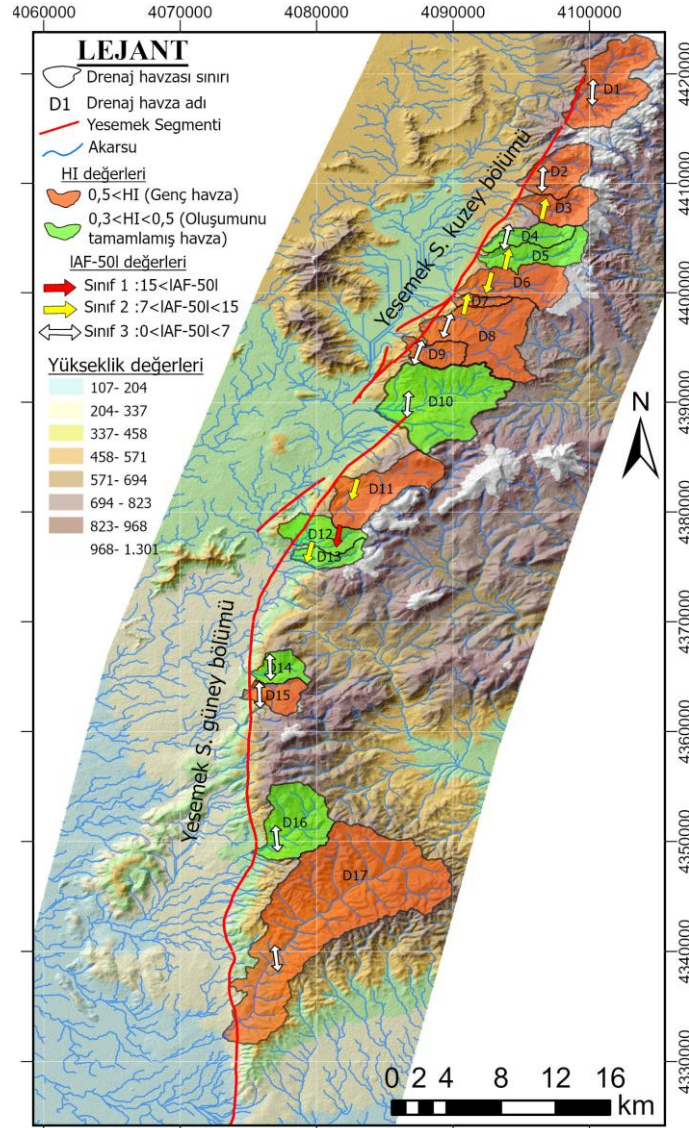
Şekil 4. (a): Rockwell ve arkadaşları [47] tarafından ileri sürülen yükselme oranlarını gösteren grafik.
(b): Dağönlerinde hesaplanan S_{mf} ile V_f değerleri arasındaki korelasyonu gösteren grafik.

3.3. Asimetri faktörü (AF)

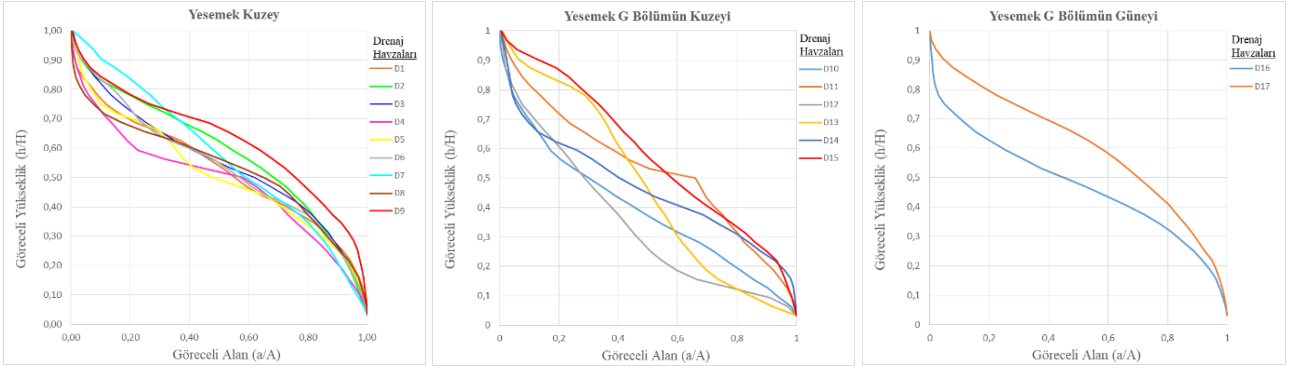
Yesemek Segmenti ile ilişkili 17 drenaj havzasında hesaplanan AF değerleri 39,44 ile 74,21 arasında değişmektedir. Materyal ve Metot kısmında bahsedilen 3 tektonik sınıf baz alınarak yapılan değerlendirmede; AF'nin 50'den farkının (AF-50) mutlak değeri 0-7 arasında değişen D1, D2, D4, D8, D9, D10, D14, D15, D16 ve D17 drenaj havzalarının simetrik oldukları ve düşük derecede tektonik aktivite ve eğimlenmeye (Sınıf 3) sahip oldukları anlaşılmıştır. Değerleri 7-15 arasında değişen D3, D5, D6, D7, D11 ve D13 drenaj havzalarının asimetrik oldukları ve orta seviye tektonik aktivite ve eğimlenmeye (Sınıf 2) sahip oldukları gözlenmiştir. AF değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. AF-50 mutlak değeri 24,21 olarak hesaplanan D12 drenaj havzasının asimetrik olduğu ve yüksek derecede eğimlenmeye (Sınıf 1) sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). Ancak D12 drenaj havzasının asimetrik olduğu ve yüksek derecede eğimlenmeye (Sınıf 1) sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). Ancak D12 drenaj havzasının asimetrik olduğu ve yüksek derecede eğimlenmeye (Sınıf 1) sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). Ancak D12 drenaj havzasının asimetrik olduğu ve yüksek derecede eğimlenmeye (Sınıf 1) sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).

3.4. Hipsometrik eğri ve integral (HI)

Yesemek Segmenti kuzey bölümünde 9, güney bölümünün kuzey kesiminde 6 ve güney bölümünün güney kesiminde 2 adet olmak üzere segmentle ilişkili toplam 17 drenaj havzasının hipsometrik eğri ve integral değerleri hesaplanmış olup değerler Tablo 2'de verilmiştir. Segmentin kuzey bölümü ile ilişkili drenaj havzalarında (D1-D9 nolu havzalar) hesaplanan hipsometrik integral değerleri 0,46 ile 0,60 arasında değişmekte olup en düşük hipsometrik integral değeri D4 nolu, en yüksek değer ise D9 nolu drenaj havzasında hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu bölümdeki havzalarda oluşturulan hipsometrik eğrilerin genel olarak dış bükey ve S şekilli olduğu ortaya çıkmıştır. Segmentin güney bölümünde hesaplanan hipsometrik integral değerleri 0,32 ile 0,57 arasında değişmekte olup buradaki hipsometrik eğri şekilleri farklılık göstermektedirler (Şekil 6). Hipsometrik eğrilere ve hipsometrik integral değerlerine bakılarak; Yesemek Segmenti kuzey bölümü ile ilişkili havzaların baskın olarak genç olduğu ve bunların gelişiminde ezozyonal süreçlere nazaran tektonizmanın daha fazla etkili olduğu, segmentin orta kesiminde nispeten daha olgun veya olgunlaşmaya başlamış havzaların bulunduğu söylenebilir. Segmentin güney ucundaki havzanın da genç olduğu, D17 nolu drenaj havzasında elde edilen net dış bükey hipsometrik eğri ve 0,57 hipsometrik integral değeri baz alınarak, söylenebilir (Şekil 6).



Şekil 5. Yesemek Segmenti ile ilişkili drenaj havzalarında hesaplanan AF ve hipsometrik integral değerlerinin SYM üzerinde birlikte gösterimi.



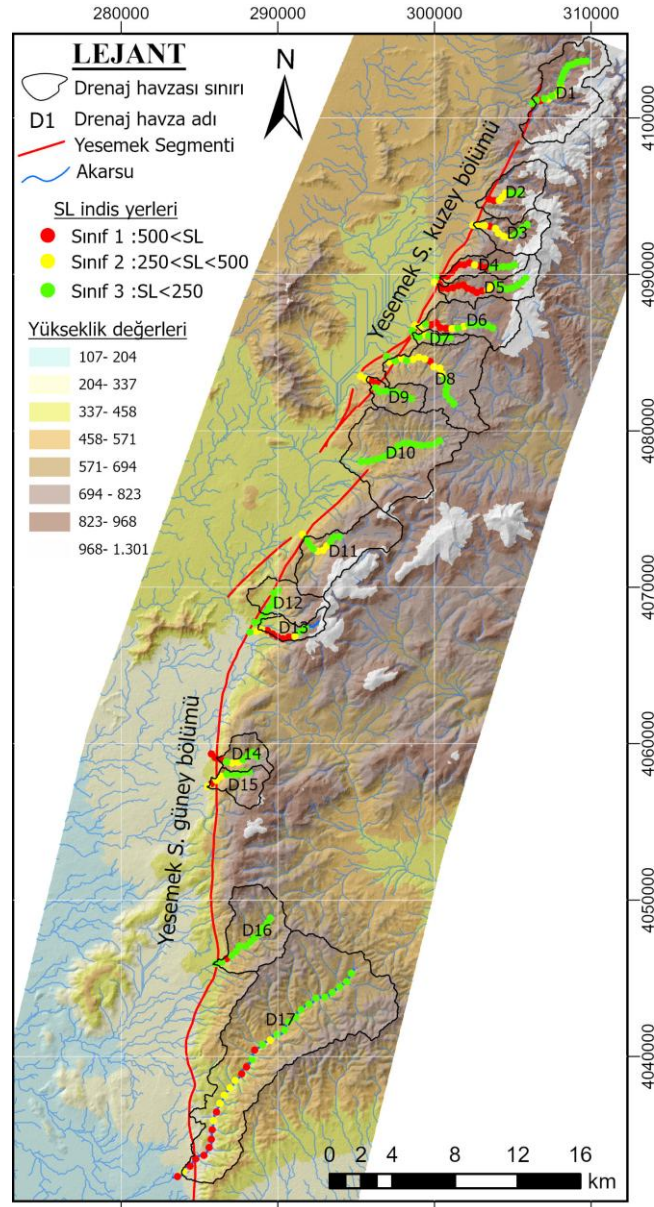
Şekil 6. Yesemek Segmenti ile ilişkili drenaj havzalarında hesaplanan hipsometrik eğri grafikleri.

Tablo 2. Yesemek segmenti ile ilişkili drenaj havzalarında hesaplanan AF ve HI değerleri.

	Drenaj havzası	AF	IAF-50I	HI		Drenaj havzası	AF	IAF-50I	HI
Yesemek Segmenti kuzey bölümü	D1	54,94	4,94	0,50	Yesemek Segmenti güney bölümü	D10	47,8	2,2	0,36
	D2	54,58	4,58	0,56		D11	59,21	9,21	0,50
	D3	40,83	9,17	0,52		D12	74,21	24,21	0,32
	D4	50,07	0,07	0,46		D13	62,96	12,96	0,44
	D5	42,85	7,15	0,48		D14	53,15	3,15	0,44
	D6	57,11	7,11	0,51		D15	53,48	3,48	0,55
	D7	39,44	10,56	0,54		D16	54,66	4,66	0,44
	D8	56,41	6,41	0,50		D17	51,93	1,93	0,57
	D9	51,54	1,54	0,6					

3.5. Akarsu uzunluk – gradyan indisi (SL)

Bu çalışma kapsamında Yesemek Segmenti kuzey bölümünde 9, güney bölümünde 8 olmak üzere 17 vadide toplam 238 SL indisi hesaplanmıştır. Ölçülen SL değerleri 9 ile 504 arasında değişmekte olup en yüksek değer Segmentin kuzey bölümündeki D5 drenaj havzasında görülmüştür (Şekil 7). Yesemek Segmenti boyunca ölçülen SL indisi profilleri incelendiğinde; D10 ve D12 vadilerinde SL değerlerinin düşük olduğu, değerlerde ani değişimlerin olmadığı ve dolayısıyla bu çalışmada baz alınan tektonik sınıflamada SL ölçümlerinin “sınıf 3” değer aralığında oldukları görülmüştür. D7, D8 ve D11 profilleri SL indisi değerlerinin fay segmenti yakın civarında “sınıf 2” tektonik sınıflandırma değer aralığında olduğu gözlenmiştir. Geri kalan 12 vadide SL ölçüm değerlerinin, özellikle fay segmentinin üzerinde veya yakın civarında “sınıf 1” tektonik sınıflandırma değer aralığında, yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 7). Bu veriler ışığında, inceleme alanında yapılan SL indisi analizleri neticesinde Yesemek Segmenti'nin bölgenin tektoniğinde aktif rol oynadığı söylenebilir.



Şekil 7. İnceleme alanındaki 17 drenaj havzasında ölçülen SL indilerinin SYM üzerindeki lokasyonları ve tektonik sınıfları.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında Yesemek Segmentiyle ilişkili dağönleri, vadiler ve drenaj ağları üzerinde çeşitli morfometrik yöntemlerle yapılan hesaplamalar neticesinde aktif fay-morfoloji ilişkisinin daha iyi anlaşılması amaç edinilmiştir. İnceleme alanındaki dağ önlerinde Yesemek Segmentiyle ilişkili 3 adet dağönü eğriselliği değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan düşük (1,24 ve 1,38) ve orta dereceli (1,62) S_{mf} değerleri, yüksek tektonik aktiviteye sahip dağ önlerinin bir göstergesi olup [28] buradaki havza gelişiminde erozyonal olaylardan ziyade tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında daha önce S_{mf} indis hesabı yapılmış dağ önleri ile ilişkili akarsu kanallarında 17 vadiden ortalama V_f değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan V_f değerleri 0,31 ile 1,48 arasında değişmektedir. Yesemek Segmenti ile ilişkili 14 vadiden elde edilen V_f değerleri 1'den küçük olup yüksek (sınıf 1) ve orta seviye (sınıf 2) tektonik aktiviteye işaret etmektedir. Segmentin orta kesimindeki vadilerden düşük tektonik aktiviteye (Sınıf 3) işaret eden 3 adet V_f değeri hesaplanmıştır. Yesemek Segmentiyle ilişkili her bir vadinin ortalama V_f değeri ile aynı kesimin S_{mf} değerleri kıyaslanarak, Yesemek Segmenti kuzey ve güney kesimleri boyunca görülen yükselme ve aktiflik derecesinin, segmentin orta kesimine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

İnceleme alanındaki 17 drenaj havzasında hesaplanan AF değerleri 39,44 ile 74,21 arasında değişmektedir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde 10 drenaj havzasının simetrik, 7 havzanın ise asimetrik olduğu ve asimetrik havzaların genel olarak orta seviye tektonik aktivite ve eğimlenmeye (Sınıf 2) sahip oldukları görülmüştür.

Yesemek Segmenti ile ilişkili 17 derenaj havzasında hipsometrik eğri ve integral değerleri hesaplanmıştır. Hipsometrik integral değerleri kuzey bölümde 0,46 ile 0,60 arasında değişmekte olup bu bölümdeki havzalarda oluşturulan hipsometrik eğrilerin genel olarak dış bükey ve S şekilli olduğu görülmüştür (Şekil 6). Güney bölümde 0,32 ile 0,57 arasında değişen hipsometrik integral değerleri elde edilmiş olup bu bölümdeki hipsometrik eğri şekilleri farklılık göstermektedir. Hipsometrik eğrilere ve hipsometrik integral değerlerine bakılarak, Yesemek Segmenti kuzey bölümü ile ilişkili havzaların baskın olarak genç olduğu ve bunların gelişiminde erozyonal süreçlere nazaran tektonizmanın daha fazla etkili olduğu, segmentin orta kesiminde nispeten daha olgun veya olgunlaşmaya başlamış havzaların bulunduğu söylenebilir (Tablo 2 ve Şekil 5).

Yesemek Segmenti'nin kestiği vadilerde 17 adet akarsu uzunluk – gradyan indisi profili oluşturulmuştur. Oluşturulan SL indis profilleri incelendiğinde, 12 vadinin SL ölçüm değerlerinin, özellikle fay segmentinin üzerinde veya yakın civarında “sınıf 1” tektonik sınıflandırma değer aralığında, yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 7). Bu veriler ışığında, inceleme alanında yapılan SL indisi analizleri neticesinde Yesemek Segmenti'nin bölgenin jeomorfolojik gelişiminde aktif rol oynadığı anlaşılmıştır.

İnceleme alanında yapılan bu ilk morfometrik analizlere dayalı morfotektonik çalışma neticesinde, Karasu havzasını batıdan sınırlayan Amanos Segmenti gibi havzanın doğusundaki Yesemek Segmenti'nin de morfolojiyi denetlediği, erozyonal süreçlerden ziyade tektonik kontrolün etkin olduğu belirlenmiştir.

Kaynakça

- [1] Westaway, R. (2004). Kinematic Consistency between the Dead Sea Fault Zone and The Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391, 203–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.07.014>
- [2] Yurtmen, S., Guillou, H., Westaway, R., Rowbotham, G., & Tatar, O. (2002). Rate of strike-slip motion on the Amanos Fault (Karasu Valley, southern Turkey) constrained by K–Ar dating and geochemical analysis of Quaternary basalts. *Tectonophysics*, 344(3–4), 207–246. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00265-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00265-7)
- [3] Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., Heimann, A., Koçbulut, F., (2004). Neotectonic de-formation in the transition zone between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone, Southern Turkey: a palaeomagnetic study of the Karasu Rift Volcanism. *Tectonophysics* 385, 17–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.005>
- [4] Seyrek, A., Demir, T., Pringle, M. S., Yurtmen, S., Westaway, R. W. C., Beck, A., & Rowbotham, G. (2007). Kinematics of the Amanos Fault, southern Turkey, from Ar/Ar dating of offset Pleistocene basalt flows: transpression between the African and Arabian plates. Geological Society, London, Special Publications, 290(1), 255–284. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP290.9>
- [5] Kavak, K. Ş., Tatar, O., Piper, J., Kocbulut, F., & Levent Mesci, B. (2009). Determination of neotectonic features of the Karasu Basin (SE Turkey) and their relationship with Quaternary volcanic activity using Landsat ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4507–4524. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160802578004>
- [6] Duman, T.Y. ve Emre, O., (2013). The East Anatolian fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *GeolSoc* 372:495–529. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP372.14>
- [7] Carena, S., Friedrich, A. M., Verdecchia, A., Kahle, B., Rieger, S., & Kübler, S. (2023). Identification of source faults of large earthquakes in the Turkey-Syria border region between 1000 CE and the present, and their relevance for the 2023 Mw 7.8 Pazarcık earthquake. *Tectonics*, 42(12), e2023TC007890. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023TC007890>
- [8] Wang, W., Liu, Y., Fan, X., Ma, C., & Shan, X. (2023). Coseismic deformation, fault slip distribution, and coulomb stress perturbation of the 2023 Türkiye-Syria Earthquake doublet based on SAR offset tracking. *Remote Sensing*, 15(23), 5443. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15235443>
- [9] Liang, P., Xu, Y., Zhou, X., Li, Y., Tian, Q., Zhang, H., ... & Li, J. (2025). Coseismic surface ruptures of MW7. 8 and MW7. 5 earthquakes occurred on February 6, 2023, and seismic hazard assessment of the East Anatolian Fault Zone, Southeastern Türkiye. *Science China Earth Sciences*, 68(2), 611–625. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11430-024-1457-7>
- [10] Garfunkel, Z., (1981). Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics. *Tectonophysics* 80, 81–108. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90143-8)

- [11] Quennell, A.M., (1984). The Western Arabia rift system. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.), Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. By Blackwell Sci. Publ., Oxford, London, p. 824.
- [12] Westaway, R., (2003). Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean updated. Turkish Journal of Earth Sciences 12, 5–46.
- [13] Gomez, F., Meghraoui, M., Darkal, A.N., Hijazi, F., Mouty, M. Suleiman, Y., Sbeinati, R. Darawcneh, R., ...R. Barazangi, M. (2003). Holocene faulting and earthquake recurrence along the Serghaya branch of the Dead Sea fault system in Syria and Lebanon. Geophysical Journal International 153, 1–17.
- [14] McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Sari, D.B., Tealeb, A., 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motion. Geophysical Journal International 155, 126–138.
- [15] Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... & Nadariya, M. (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: <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- [16] Muehlberger, R.W., Gordon, M.B. (1987). Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey, J.Structural Geol., 9, 899-903. DOI: [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90091-5](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90091-5)
- [17] Perinçek, D. ve Çemen, I., (1990). The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. Tectonophysics 172, 331–340. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90039-B](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90039-B)
- [18] Perinçek, D. ve Eren, A. G. (1990). Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fay Zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni. In Turkey 8th Petroleum Congress Proceedings (pp. 180-192).
- [19] Şaroğlu, F., Emre, O., Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. Annalae Tectonicae 6, 99–125.
- [20] Rojay, B., Heimann, A., Toprak, V., (2001). Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): the transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone. Geodin. Acta 14, 197–212. DOI: <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432444>
- [21] Adiyaman, Ö. ve Chorowicz, J. (2002). Late Cenozoic tectonics and volcanism in the northwestern corner of the Arabian plate: a consequence of the strike-slip Dead Sea fault zone and the lateral escape of Anatolia. Journal of Volcanology and geothermal Research, 117(3-4), 327-345. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(02\)00296-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(02)00296-2)
- [22] Karabacak, V., Altunel, E., Meghraoui, M. ve Akyüz, H.S., (2010). Field evidences from northern Dead Sea Fault Zone (South Turkey): new findings for the initiation age and slip rate. Tectonophysics 480, 172–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.10.001>
- [23] Seyrek, A., Demir, T., Westaway, R., Guillou, H., Scaillet, S., White, T. S., & Bridgland, D. R. (2014). The kinematics of central-southern Turkey and northwest Syria revisited. Tectonophysics, 618, 35-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.01.008>
- [24] Karabacak, V., (2007). Ölü Deniz Fay Zonu Kuzey Kesiminin Kuvaterner Aktivitesi. Doktora tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Natural and Applied Sciences Institute, p. 325.
- [25] Balkaya, M., Özden, S. ve Akyüz, H. S. (2021). Morphometric and Morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 7(3), 375-392. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>
- [26] Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z. (1967). Türkiye ve civarının deprem kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul, İTÜ, Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü yayınları.
- [27] Ambraseys, N.N. (1989). Temporary Seismic Quiescence: SE Turkey, Geophysical Journal International, 96, 311-331 s. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1989.tb04453.x>
- [28] Keller, E.A., Pinter, N., (2002). Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Edn.): New Jersey, PrenticeHall, 432 p.
- [29] Ege, I. (2011). Determination of fault morphology of Antakya-Kahramanmaraş depression area by using methods of Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 702-708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.188>
- [30] ASF, (2020). Alaska Satellite Facility Data Search User Manual, Retrieved from: <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- [31] Bull, W.B. (2008). Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology. *John Wiley and Sons*, Oxford, 315 s. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470692318>

- [32] 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](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00215-5)
- [33] El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- [34] Coşkun, B., Eren, Y., Demircioğlu, R., Aksoy, R. (2019). Fethiye Burdur Fay Zonu'nun Kuzeydoğu Kesiminin (Burdur-Güneybatı Anadolu) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(3), 221-246. DOI: <https://doi.org/10.25288/tjb.546135>
- [35] Selim, H., Tüysüz, O., Karakaş, A. ve Taş, K., (2013). Morphotectonic evidence from the southern branch of the North Anatolian Fault (NAF) and basins of the south Marmara sub-region, NW Turkey. *Quaternary international*, 292, 176-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.11.022>
- [36] Köle, M.M. (2016). Devrez Çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfometrik indisler ile araştırılması, *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 21-36. Retrieved from: <http://www.journals.istanbul.edu.tr/iucografya>.
- [37] Topal, S. (2019). Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 37-48. DOI: <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.409561>
- [38] Strahler, A.N., (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63: 1117-1142.
- [39] 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: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.06.006>
- [40] Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the US Geological Survey*, 1 (4), 421-429.
- [41] Saber, R., Isik, V., Caglayan, A. (2018). Assessment of relative tectonics activity along Aras Valley (NW Iran) using morphometric indices. *Paper presented at: The 36th national and the 3rd international geosciences congress*, Tehran, Iran.
- [42] Troiani, F., Galve, J. P., Piacentini, D., Della Seta, M., & Guerrero, J. (2014). Spatial analysis of stream length-gradient (SL) index for detecting hillslope processes: a case of the Gállego River headwaters (Central Pyrenees, Spain). *Geomorphology*, 214, 183-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.004>
- [43] Balkaya, M., Özden, S. ve Akyüz, H. S. (2021). Morphometric and Morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(3), 375-392. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>
- [44] Tarı, U. ve Tüysüz, O., (2011). İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği. *İTÜ Dergisi/d*, 7(1).
- [45] Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., (2012). Tectonic geomorphology of the Spildağı high ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173, 128-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.003>
- [46] Selçuk, A. S., Düzgün, M. (2017). Başkale Fay Zonu'nun Tektonik Jeomorfolojisi. *Maden Tetkik Ve Arama Dergisi*, (155), 33-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.19076/mta.53825>
- [47] Rockwell, T.K., Keller, E.A., & Johnson, D.L. (1984). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Andntura, California. *Tectonic Geomorphology*, 183-207.
- [48] Sançar, T. (2018). Yüksekova Havzası'nın (Güneydoğu Türkiye) Yükselim Hızı Tarihçesi'nin Araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61(2), 207-240. DOI: <https://doi.org/10.25288/tjb.439182>