

Gökova Fay Zonu'nun Morfometrik Özellikleri ve Aktif Tektonik Açısından Önemi, Doğu Akdeniz

Aynur Dikbaş^{1*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 15.03.2022
Kabul: 26.08.2022
Yayın: 05.03.2023

Araştırma Makalesi

Öz – Gökova Fay Zonu, güneybatı Anadolu'da Gökova Körfezi kuzey kıyıları boyunca, Gökova grabeninin kuzey kenarını sınırlayan aktif bir fay zonudur. Bu fay zonu, doğuda Ula ilçesinden (Muğla) batıda Kos adası güneyine kadar hem kara hem deniz alanında izlenen, güneye eğimli normal fay segmentlerinden oluşur. Gökova Fay Zonu'nun morfoloji üzerindeki etkileri hem arazi gözlemleri hem de oluşturulan sayısal yükseklik modeli temel alınarak gerçekleştirilen nitel ve nicel çalışmalar ile araştırılmıştır. Sayısal yükseklik modelinden drenaj, bakı ve yüzey eğim haritaları üretilmiş ve morfometrik indisler (hipsometrik eğri ve integral, vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı, dağ önu eğriliği) hesaplanmıştır. Topoğrafik kesitler ve bakı haritası, özellikle doğu kesimde yer alan segmentlerin morfolojide süreklilik gösteren basamaklar oluşturduğunu ve bu basamakların kuzeye doğru, fay hareket yönü tersine eğimlendiğini işaret etmektedir. Mevcut drenaj ağı, litolojiden bağımsız olarak, segmentler boyunca fay doğrultusuna hem paralel hem de dik olarak gelişmiştir. Taban blok üzerinde yer alan 5 havza için hesaplanan hipsometrik integral değerleri 0.37-0.67 arasında değişir. Hipsometrik integral değerleri ve oluşturulan hipsometrik eğriler, havzaların ağırlıklı olarak genç evrede olduğunu gösterir. Taban blok üzerinde hesaplanan vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı değerleri 0.12-0.78 arasındadır. Bu değerler, vadilerin V-şekilli olduğunu ve tektonik yükselmeye derine kazma meyili ile cevap verdiklerini işaret etmektedir. Gökova Fay Zonu'nun doğu ve batı kesimlerinde hesaplanan dağ önu eğriliği değerleri 1.00-1.24 arasında değişir ve dağ önlerinin gelişiminde baskın kuvvetlerin tektonik kökenli olduğunu gösterir. Gökova Fay Zonu üzerinde gerçekleştirilen kalitatif ve kantitatif morfolojik çalışmalara göre, bölgenin şekillenmesinde tektonik süreçler erozyonal süreçlere göre daha baskın rol oynamıştır.

Anahtar Kelimeler – Aktif tektonik, Gökova fay zonu, Gökova Körfezi, morfometri, normal fay

Morphometric Features of the Gökova Fault Zone and its' importance in Active Tectonics, Eastern Mediterranean

¹Division of Geological Engineering, Faculty of Engineering, İstanbul University-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

Article History

Received: 15.03.2022
Accepted: 26.08.2022
Published: 05.03.2023

Research Article

Abstract – The Gökova Fault Zone is composed of south-dipping active normal fault segments that border the northern edge of Gökova graben in the Gulf of Gökova between Ula (Muğla) and Kos island. The effects of the Gökova Fault Zone on the morphology were investigated by qualitative and quantitative studies based on the derived digital elevation model and field observations. Drainage, aspect and surface slope maps were prepared and morphometric indices (hypometric curve and integral, ratio of valley floor width to valley height, mountain front sinuosity) were calculated. According to the derived maps, the eastern segments of the fault zone form steps that express continuity in morphology and are tilted to the north in the opposite direction of fault normal slip. The drainage network mostly developed parallel or perpendicular to the fault strike, regardless of the lithology. The hypometric integral values range between 0.37-0.67, and the hypometric curves for the basins settled on the footwall indicate that the basins are mostly in young and moderate stages. The calculated values of the ratio of valley floor width to valley height range between 0.12-0.78 which indicates that the valleys are V-shaped and respond to tectonic uplift by rapid incision. The calculated mountain front sinuosity values range between 1.00-1.24 and express that the dominant forces in the development of the mountain front are of tectonic origin. According to the qualitative and quantitative morphological studies performed on the Gökova Fault Zone, the tectonic processes in the region is dominant rather than the erosional processes.

Keywords – Active tectonics, Gökova Fault zone, Gulf of Gökova, morphometry, normal fault

¹ aynur.dikbas@iuc.edu.tr

*Sorumlu Yazar

1. Giriş

Gökova Grabeni, Batı Anadolu'da Ege Açılma Sistemine bağlı gelişmiş olan doğu-batı gidişli horst ve grabenlerin en güneyinde yer alır. Gökova Körfezi boyunca izlenen graben, kuzey kenarında doğu-batı gidişli normal fay segmentlerinden oluşan aktif bir fay zonu ile sınırlanır (Şekil 1). Bu fay zonu Şaroğlu, Emre ve Boray (1987) tarafından Ula-Ören Fay Zonu olarak adlanmış, MTA tarafından güncellenen Türkiye Diri Fay haritasında (Duman, Emre, Özalp ve Elmacı, 2011) ise Gökova Fay Zonu (GFZ) adı kullanılmıştır. Gökova Fay Zonu birbirine paralel, güneye eğimli normal faylardan oluşur ve batı Toros Napları ile Ofiyolitleri içerisinde yer alır (Ersoy, 1990; 1991).

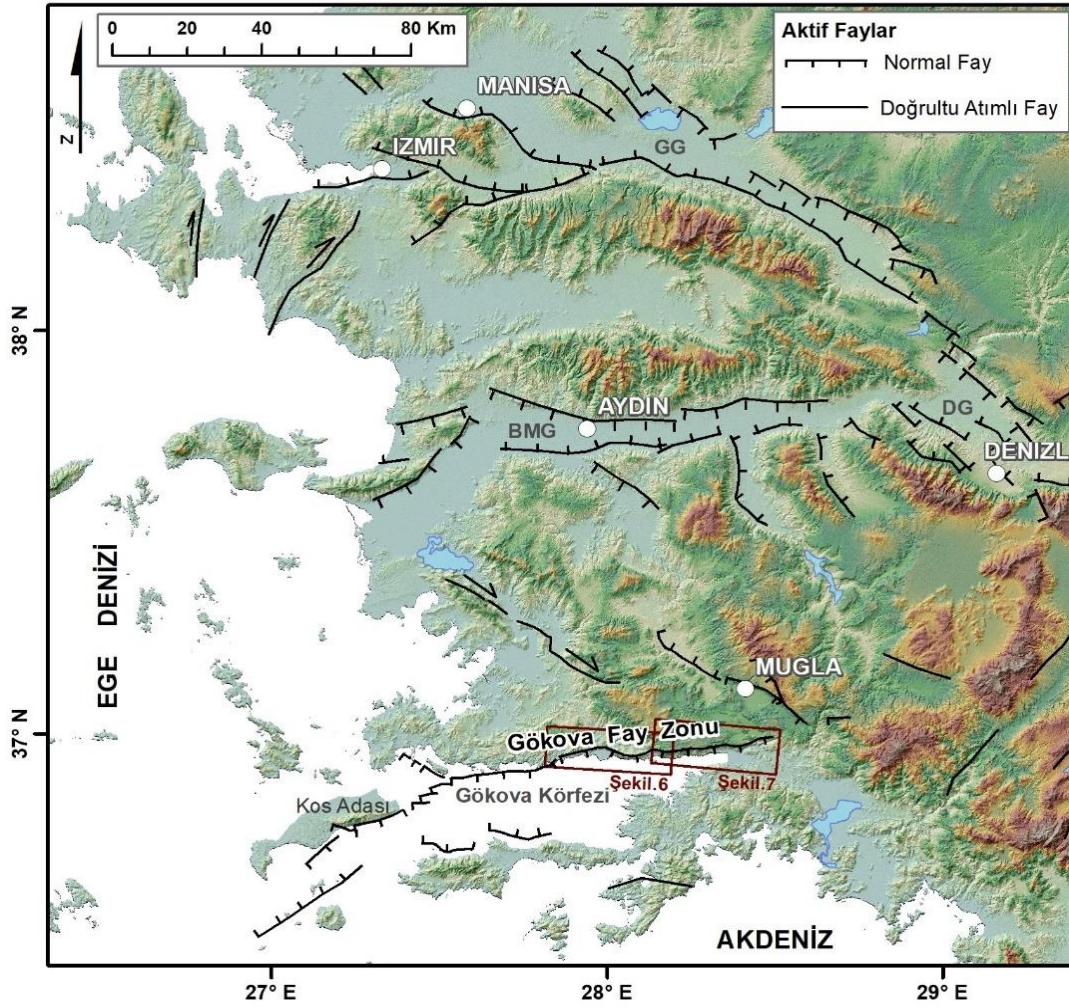
Gökova Körfezi içerisinde yapılmış olan çok disiplinli çalışmalar, Gökova Grabeni'nin kuzeyinde ve güneyinde önemli faylar ile sınırlandığını göstermektedir. Sieberg (1932), Gökova Körfezi'ni kuzeyden ve güneyden sınırlayan iki normal fay öne sürerek bu yapıyı "Kos Grabeni" olarak adlandırmıştır. Bu tektonik yapı Görür vd. (1995) tarafından "rift", Yılmaz vd. (2000) tarafından "graben" olarak adlandırılmıştır. Kurt, Demirbağ ve Kuşçu (1999) Gökova Körfezi içerisinde yaptığı çok kanallı sismik yansıma çalışması sonucunda körfez güneyinde Datça Yarımadası'nın kuzey kenarını sınırlayacak şekilde kuzeye eğimli bir listrik fay haritalamış ve bu fayı Datça Fayı olarak adlandırmıştır. Daha kuzeyde izlenen güneye eğimli normal fayların ise Datça Fayı'nın antitetik fayları olduğu yorumunu yapmışlardır. Çağlar ve Duvarcı (2001) Gökova Körfezi doğusunda, kara alanında yaptığı jeoelektrik çalışmalar sonucunda grabenin bu kesimdeki devamının asimetrik formda olduğunu öne sürmüşlerdir. Yazarlar körfeze doğru temelin derinleştiğini belirlemiş ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel kalınlığını 140-150 m olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmaya göre grabenin güneyini sınırlayan fay listrik karakterdedir. Uluğ vd. (2005) sismik yansıma profilleri ve deniz tabanı morfolojisine dayanarak, Ören köyü batısından Datça yarımadası kuzeybatı kesimlerine kadar kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanan sol yanallı bir fay zonu tanımlamış ve bu zonu Gökova Transfer Zonu olarak adlandırılmıştır. İşcan, Tur ve Gökaşan (2013) sismik yansıma ve çok ışınli batimetri verisine dayanarak bu fay zonunun sıkışma bileşeni de bulunduğunu belirtmiştir. Tur, Yaltırak, Elitez ve Sarıkavak (2015) sismik yansıma kesitleri, çok ışınli batimetri verisi ve güncel GPS ölçmelerine dayanarak, Gökova Grabeni'ni Nisyros-Karpathos grabeninin doğu uzantısı olarak değerlendirmişler ve bu yapıyı Helen yayına bağlı yay-ardı havza içerisinde gelişen S şekilli bir graben olarak tanımlamışlardır. Grabenin açılmasının batı kesimde Pliyosen'de başladığını ve doğuya doğru gençleştiğini ileri sürmüşlerdir. Erken Pliyosen'den itibaren, Gökova-Nisyros-Karpathos grabeninin pozisyonunda, Gökova Körfezi'nin doğu kesiminde yer alan bir referans noktasına göre $\sim 6^\circ$ saat yönünün tersine bir dönüş meydana geldiğini hesaplamışlardır.

Batı Anadolu'da izlenen grabenleri sınırlayan fayların hareketleri bölgede yoğun bir sismik aktivite oluşturur ve bu bölgede sıklıkla hasar yapıcı depremler gözlenir (AFAD, 2022; KOERI, 2018; ISC, 2022; EMSC, 2022). Tarihsel dönemler boyunca da bu faylardan kaynaklanan pek çok hasar verici depremin meydana geldiği bilinmektedir (örn: Ergin, Güçlü ve Uz, 1967; Soysal, Sipahioğlu, Kolçak ve Altınok, 1981; Ambraseys ve Finkel, 1991; Guidoboni, Comastri ve Triana, 1994; Ambraseys ve Jackson 1998; Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009; Dikbaş, Akyüz, Basmenji ve Kırcan 2022; Mozafari et al., 2022). Aletsel dönem verilerine göre özellikle Gökova Körfezi civarında yoğun bir aktivite mevcuttur (AFAD, 2022; KOERI, 2018; ISC, 2022; EMSC, 2022) bu nedenle özellikle sismolojik anlamda her dönem araştırmacıların (örn: Taymaz, Jackson ve McKenzie, 1991; Eyidoğan, Akıncı, Gündoğdu, Polat ve Kaypak, 1996; Rontogianni, Konstantinou, Evangelidis ve Melis, 2011; Kalafat ve Horasan, 2012) ilgisini çeken bir bölgedir. Gökova Körfezi civarında yürütülen sismotektonik araştırmalar, bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümlerinin baskın olarak normal faylanma olduğunu işaret eder (örn: Jackson, King ve Vita-Finzi, 1982; Papazachos, Kiratzi, Hatzidimitriou ve Rocca, 1984; McKenzie, 1972; Taymaz, Tan ve Yolsal, 2004; Yolsal-Çevikbilen, Taymaz ve Helvacı, 2014; KOERI, 2018).

Aktif fay zonlarının daha iyi anlaşılmasında; sismolojik, jeolojik, sismotektonik çalışmalara ek olarak başvuru olan diğer bir yöntem de morfometri çalışmalarıdır. Morfometri, morfolojik rölyefin nicel olarak ifadesidir (Keller ve Pinter, 2002). Aktif tektonik araştırmalarda yürütülen morfometri çalışmaları, tektonik aktivitenin bölgedeki morfolojinin şekillenmesindeki etkilerini nicel olarak hesaplamaya imkan sağlar (ör: Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002; El-Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. ve Keller, E.A., 2008; Pérez-Peña, J. V., Azor, A., Azañon, J. M. ve Keller, E. A. 2010; Burbank ve Anderson, 2001; Saber, R., Çağlayan, A. ve Işık, V. 2018; Saber, R., Işık, V. ve Çağlayan, A. 2020). Günümüzde sayısal yükseklik veri setlerine (SRTM, ASTER, sayısal yükseklik eğrileri vb.) ulaşabilmekteki kolaylıkla beraber birçok araştırmacı morfometrik indis hesaplamalarını da çalışmalarına dahil etmeye başlamıştır. Morfometrik indis çalışmaları ile bir bölgedeki tektonik aktivitenin sınıflandırılması ve karşılaştırılması mümkün olmaktadır (ör:

El Hamdouni vd., 2008; Burbank ve Anderson, 2001; Saber vd., 2018; Saber vd., 2020; Keller ve Pinter, 2002; Sağlam Selçuk, 2016).

Bu çalışmada, GFZ'nun karada izlenen kesiminin morfolojik özellikleri ve GFZ üzerinde gerçekleştirilen morfometri çalışmalarının sonuçları sunulmaktadır. Morfolojik çalışmalarda, fay zonu boyunca fay morfolojisini yansıtan yapılar arazi gözlemleri ve sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılarak araştırılmıştır. Fay zonu ve civarını içerecek şekilde yüzey eğimi ve bakı haritası oluşturulmuş, drenaj geometrisi türetilmiş ve tektonik aktivite ile ilişkisi yorumlanmıştır. Kullanılan morfometrik indisler ise Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral (HI), Vadi Tabanı Genişliğinin Vadi Yüksekliğine Oranı (V_f) ve Dağ Önü Eğriliği (S_{mf})'dir.



Şekil 1. Batı Anadolu'nun sadeleştirilmiş aktif tektonik haritası ve GFZ'nun konumu; Hancock ve Barka (1987); Kurt vd. (1999); Bozkurt (2003); Emre vd. (2013; 2018); Akyüz vd. (2018) ve Dikbaş vd. (2022)'den sadeleştirilmiştir. GG: Gediz Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DG: Denizli Grabeni.

2. Materyal ve Yöntem

GFZ'nun morfoloji üzerindeki etkisini tanımlayabilmek için 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik eğrileri ve ASTER yükseklik verisi kullanılarak zon boyunca SYM oluşturulmuştur. Bu model temel alınarak morfolojik analizler ve morfometrik indis hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler aşağıda tanımlanmış ve aktif tektonik çalışmalarda kullanımları kısaca açıklanmıştır.

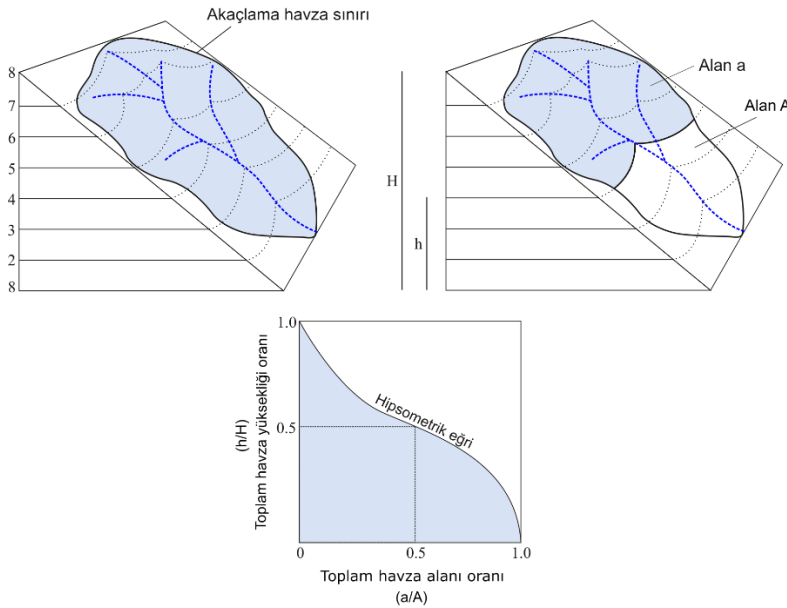
2.1. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral (HI)

Hipsometrik eğri, topoğrafik bir alanın Yükseklik/Alan (H/A) oranının tanımlanmasını yapar (Strahler, 1952). Eğri, toplam havza yüksekliğinin (H/h görece yüksekliği) oranını toplam havza alanı (a/A görece alanı) oranına göre çizerek oluşturulur (Şekil 2). Toplam yükseklik (H) havzadaki rölyeftir. Havzanın (A) toplam yüzey alanı, her bir bitişik kontur çizgisi arasındaki alanların toplamıdır. Alan (a), belirli bir yükseklik çizgisinden (h) yukarıda havza içindeki yüzey alanıdır. Hipsometrik eğri iç bükey ise erozyon döngüsündeki (Davis,

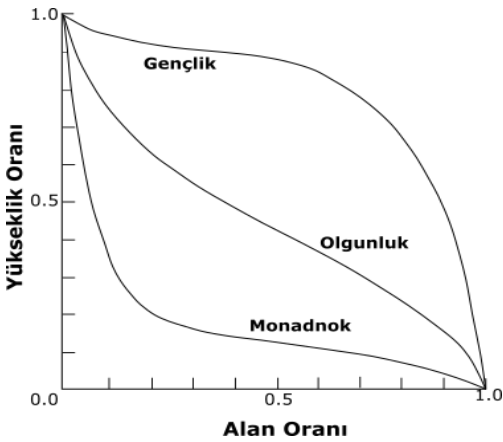
1989; Strahler 1952; Ohmori, 1993) yaşlı evreyi, dış bükey ise genç evreyi işaret eder (Şekil 3). Eğrinin “S” şekilli olması ise morfolojinin erozyon döngüsünün olgunluk evresinde olduğunu gösterir. Elde edilen eğrinin rakamsal tanımlaması için ise Hipsometrik İntegral (HI) değeri hesaplanır (Şekil 2, Tablo 1). Bu hesaplama için aşağıdaki denklem (Denklem 2.1) kullanılır.

$$HI = \frac{\text{Ortalama yükseklik} - \text{minimum yükseklik}}{\text{Maksimum yükseklik} - \text{minimum yükseklik}} \quad (2.1)$$

HI hipsometrik eğri altında kalan alandır ve 0 ila 1 arasında bir değer alır (Şekil 2 ve 3). Hipsometrik eğri dış bükeye yaklaştıkça HI değeri yükselir, eğri içbükeye yaklaştıkça HI değeri düşer. HI değerinin 1'e yaklaşması, alandaki erozyonun nispeten düşük olduğunu veya tektonik kuvvetlerin etkisinin erozyonal süreçlere nazaran daha yüksek olduğunu ifade eder. HI değeri 0'a yaklaşması, erozyonun etkisinin daha yüksek olduğunu ve çalışma alanının morfolojik olarak yaşlı evrede olduğunu ifade eder (Şekil 3, Tablo 1) (Strahler, 1952; Ohmori, 1993; Keller ve Pinter, 1996).



Şekil 2. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral hesaplamasını gösteren şematik havza modeli, Strahler (1952) ile Keller ve Pinter (1996)'dan değiştirilmiştir.



Şekil 3. Hipsometrik eğrinin temsil ettiği morfolojinin erozyon döngüsündeki konumu, Ohmori (1993)'den değiştirilmiştir.

Tablo 1

HI değerinin erozyon döngüsündeki temsil edebileceği dönem (Strahler, 1952).

Hipsometrik İntegral	Erozyon Döngüsü
$0 > HI > 0.35$	Yaşlı
$0.35 > HI > 0.6$	Denge (Olgunluk)
$0.6 > HI > 1$	Genç

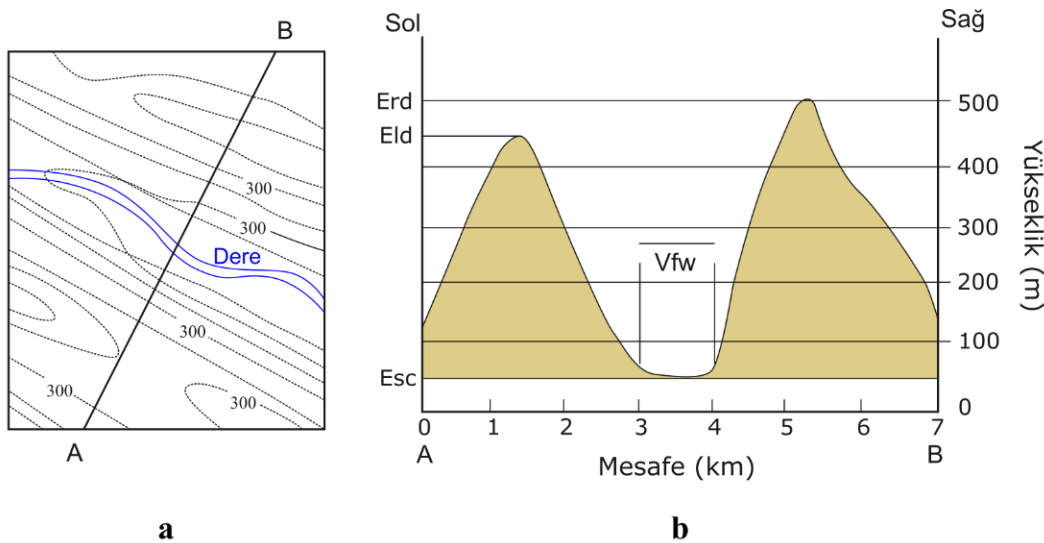
2.2. Vadi Tabanı Genişliğinin Vadi Yüksekliğine Oranı (V_f)

V_f indisi geniş tabanlı vadiler ile dar tabanlı (V-şekilli) vadileri ayırt etmekte katkı sağlar. Geniş tabanlı vadilerde yüksek V_f değerleri hesaplanırken, dar tabanlı vadilerde düşük V_f değerleri görülür. V_f değerinin yüksek olması düşük tektonik yükselmeyi işaret eder. V_f değerinin düşük olması ise tektonik yükselmeyi ve buna paralel olarak nehir tarafından derin kazılan vadileri gösterir (Keller ve Pinter, 1996).

V_f indisi değerini hesaplamak için aşağıdaki denklem (Denklem 2.2) kullanılır (Bull 1977; Bull, 1978).

$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})] \quad (2.2)$$

Burada; V_f , vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranını; V_{fw} , vadi tabanı genişliğini; E_{ld} , akış yönüne göre vadinin sol tarafında kalan su bölümünün topoğrafik yükseklik değerini; E_{rd} , akış yönüne göre vadinin sağ tarafında kalan su bölümünün topoğrafik yükseklik değerini; E_{sc} , vadi tabanının topoğrafik yükseklik değerini ifade eder (Şekil 4).



Şekil 4. V_f indisi hesaplaması için yapılması gereken ölçümlerin a) harita ve b) en kesit üzerinde şematik gösterimi, Keller ve Pinter (1996)'dan değiştirilmiştir.

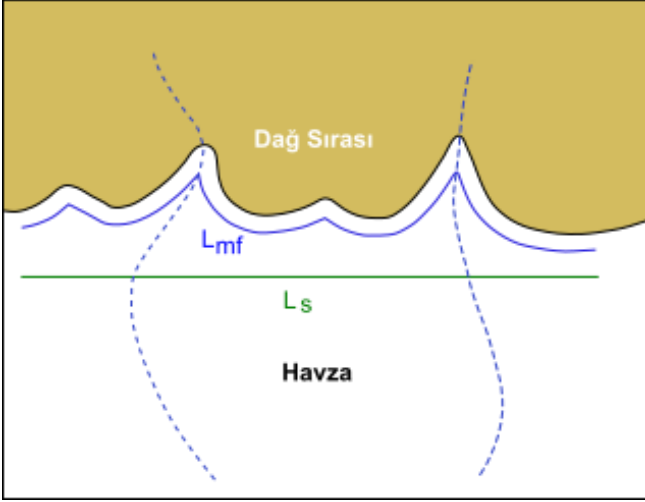
2.3. Dağ Önü Eğriliği (S_{mf})

Dağ Önü Eğriliği (S_{mf}) indeksi (Bull, 1977; 1978), dağ önünü girintili çıkıntılı bir sınır olarak şekillendirmeye meyilli erozyonal kuvvetler ile dağ önünü düz bir sınır olarak şekillendirmeye meyilli tektonik kuvvetler arasındaki dengiyi yansıtır. Aktif tektonik hareketlere maruz kalan dağ önleri göreceli olarak daha düzdür ve daha düşük S_{mf} değerleri sunarlar. Tektonik yükselme hızında bir düşüş ya da sona erme meydana gelirse erozyonal süreçler dağ önü sınır çizgisinde eğrilikler meydana getirir ve bu durumda daha yüksek S_{mf} değerleri hesaplanır (Keller ve Pinter, 1996). S_{mf} değerini hesaplamak için aşağıdaki denklem (Denklem 2.3) kullanılır:

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s$$

(2.3)

Burada S_{mf} , dağ önü eğriliğini; L_{mf} , dağ önü boyunca ölçülen sınır uzunluğunu; L_s ise dağ önü boyunca ölçülen düz mesafeyi ifade eder (Şekil 5). Tektonik kuvvetlerin etkisi arttıkça S_{mf} değeri 1'e yaklaşır.



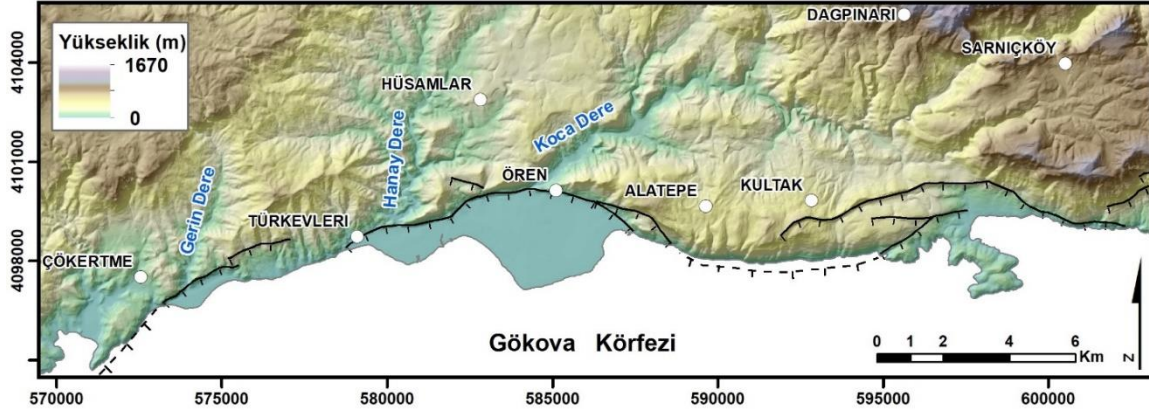
Şekil 5. Dağ önü eğriliği indisi hesaplama parametreleri, Keller ve Pinter (1996)'dan değiştirilerek.

3. Gökova Fay Zonu

3.1. Segmentasyon

Gökova Körfezi, Ege Açılma Sistemi içerisinde gelişmiş olan aktif bir graben yapısı ile şekillendirilmiştir. Körfezin kuzey kesimi sınırlayan GFZ, kıyı yakın alanı boyunca, güneye eğimli normal fay parçalarından oluşur. Karada, doğuda Ula ilçesinin güneydoğusundan başlayan fay zonu batıda Çökertme köyüne kadar ortalama $K75^{\circ}$ - 80° D doğrultusu ile yaklaşık 60 km boyunca takip edilir (Şekil 1, 6 ve 7). Bu bölgeden batıya doğru deniz içine giren zon, Kos adasının güneyine kadar devam eder. Emre vd. (2018) Gökova Fay Zonu'nun, karada uzanan kesimini 4 ayrı bölümde değerlendirmiş, doğrultularının $K60^{\circ}$ D ve $K80^{\circ}$ B arasında değiştiğini, eğim değerlerinin ise 55° - 65° arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Yazarlar, odak derinliğine dayalı sismojenik kalınlığının 13 km, literatüre dayalı sismojenik kalınlığının ise 14 km olduğunu belirtmişler ve beklenen olası deprem büyüklüklerinin (Mw) 6.0-6.6 arasında olabileceğini değerlendirmişlerdir.

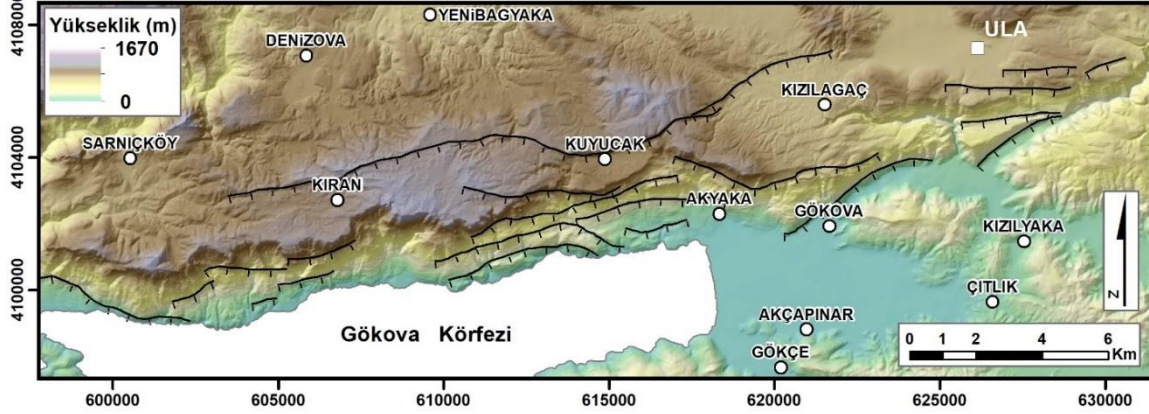
Çökertme ve Sarnıkköy arasında fay geometrisinin daha basit olduğu gözlenirken daha doğuya doğru kompleks ve basamaklı bir fay paterni görülür (Şekil 6 ve 7). Çökertme ve Alatepe köyleri arasında GFZ'na ait segmentler, güneyde dayanımlı litolojilerin oluşturduğu dağlık alan ile dere önlerinde gelişmiş olan fan-delta çökelleri arasında tektonik bir sınır oluşturur (Şekil 6). Çökertme köyü doğusundaki Gerin Dere önünde fan-delta çökelleri gelişmiştir. Bu çökeller ile güneydeki Mesozoyik kayalar arasındaki sınır GFZ'nun karada izlenebilen en batı segmentleri tarafından oluşturulur. Daha doğuda Türkevleri civarında Hanay Dere önünde dalga kontrollü bir delta gelişmiştir. Delta çökellerinin güney sınırında izlenen normal fay düzlemleri $K60^{\circ}$ - 70° D doğrultuda uzanır. Düzlemler yaklaşık 55° - 62° derecelik açılar ile güneydoğuya eğimlidir. Bu kesimde fay düzlemleri üzerinde yapılan gözlemlerde fayın kinematik davranışına dair bilgi veren oluklanma (korugasyon), fay çizikleri ve tarak yapıları izlenmiştir. Bu yapılar ve fay düzlemi arasındaki ilişki, fay düzlemi üzerinde normal bileşene sol-yanal hareketin de eşlik ettiğini göstermektedir (Şekil 8a ve 8b). Ören köyü batısından körfeze ulaşan Koca Dere önünde, dağ önünü sınırlayan faya hemen hemen dik konumda bir fan-delta gelişmiştir. Fay, Koca Dere ile kesişiminin batısında yer yer yamaç molozu ile örtülmüştür ve morfolojide bıraktığı iz oldukça düz bir çizgidir. Neredeyse doğu-batı uzanımlı izlenen fay düzleminin eğimi güneye doğru 70° - 75° derece civarındadır. Ören doğusunda çoğunlukla yamaç molozu ile örtülen fay düzlemleri yer yer çok belirgin mostralara verir. Fay düzlemi doğrultusu $K65^{\circ}$ - 75° B, eğimi ise 65° - 75° güneybatı yönündedir. M.Ö. 2.yy'a ait Keramos (Tırpan, 1989) antik kentinin de merkezi olan bu bölge koruma altındadır. Fay düzlemi Keramos halkı tarafından yapılan birçok kral mezarı için uygun bir duvar oluşturmuştur (Şekil 8a). İyi korunmuş bu düzlemlerde yapılan gözlemlerde fay breşi, kayma çizikleri, tarak yapıları ve oluklanmalar (korugasyonlar) gözlemlenmiştir (Şekil 8a ve 8b). Kinematik göstergelere göre, Ören köyü doğusunda normal faylanma bileşenine sağ-yanal bileşen de eşlik etmiştir (Dikbaş vd., 2022).



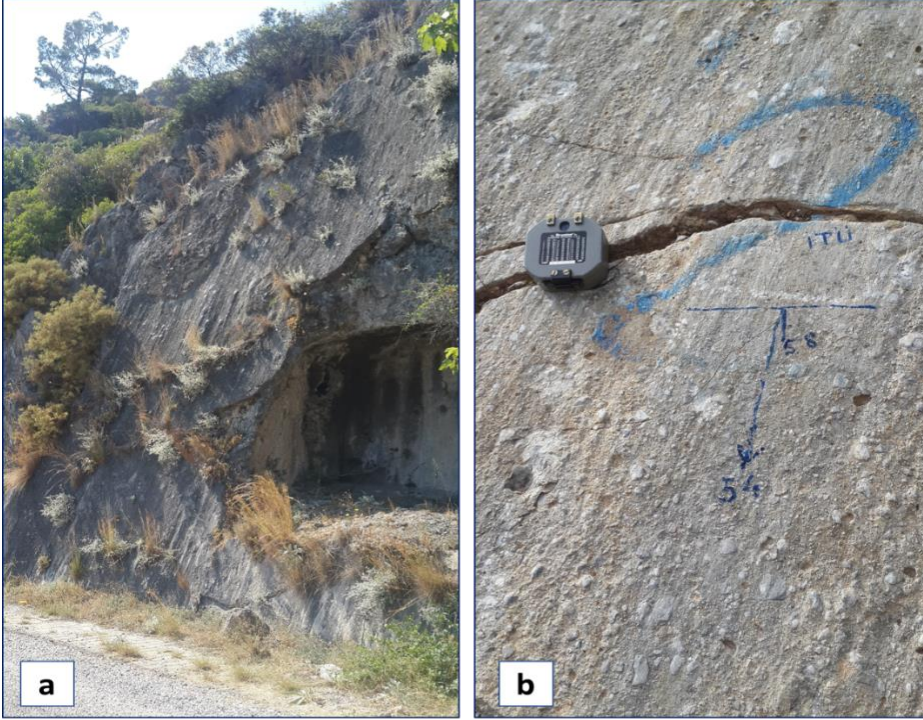
Şekil 6. Çökertme ve Sarnıkköy arasında haritalanan normal fay segmentleri, Dikbaşı vd. (2022)'den değiştirilerek. Konum için Şekil.1'e bakınız.

Kultak ve Kıran köyleri arasında, fay düzlemi kıyıya az çok paralel uzanır ve eğimi genel olarak 75° - 80° civarında güneye doğrudur (Şekil 6 ve 7). Bu kesimde hem saf normal faylanma hem de sağ-yanal bileşenin eşlik ettiği normal faylanma verileri gözlemlenmiştir.

Akyaka köyü doğusu ve batısında gözlemlenen fay düzlemleri genel olarak $K70^{\circ}D$ doğrultusunda uzanır ve eğimleri düşüğe yakındır (Şekil 7). Bu bölgede, kuzeyden güneye doğru farklı normal fay segmentlerinin sıralanarak topoğrafya üzerinde geliştirdiği basamaklar çok belirgindir.



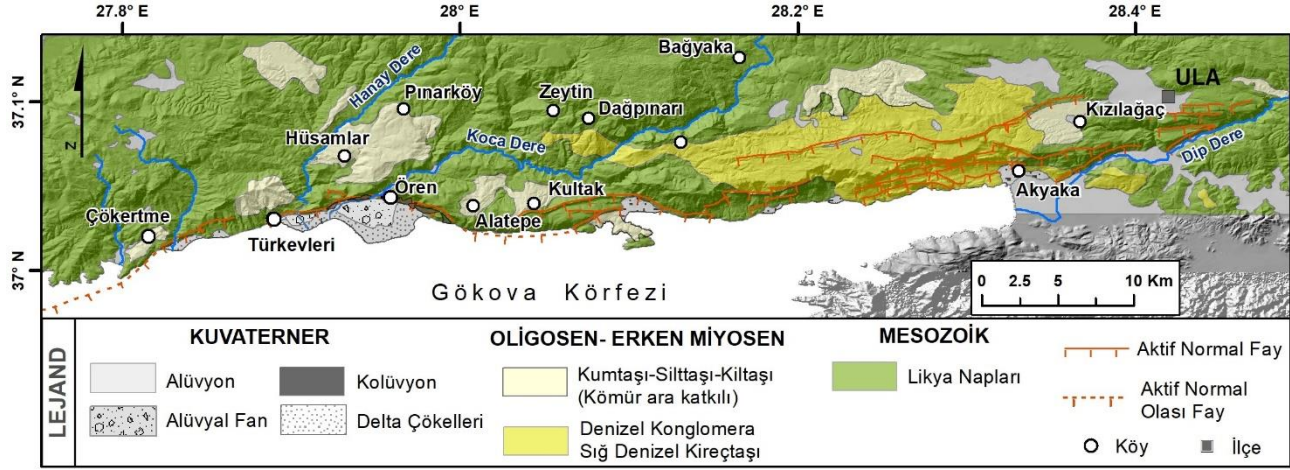
Şekil 7. Sarnıkköy ve Ula arasında haritalanan normal fay segmentleri, Dikbaşı vd. (2022)'den değiştirilerek. Konum için Şekil.1'e bakınız.



Şekil 8. Ören Fayı fay düzlemi üzerinde **a)** M.Ö. 2 yy'da bölgede yerleşmiş olan Keramos halkı tarafından yapılan kral mezarı ve **b)** düzlem üzerinde gözlenen fay breşi ve kayma çizikleri (bakış KD'ya).

3.2. Jeoloji

GFZ kara alanında Gökova Körfezi kuzey kenarı boyunca Akyaka-Çökertme arasında izlenir. Bu alanda jeolojik temel Likya Napları'na (Ersoy, 1990) ait Mesozoyik yaşlı zayıf metamorfik sedimanter kayalar ile temsil edilir. Mermer, dolomit ve şist litolojileri Gökova Körfezi kuzeyinde yaygın olarak gözlenen Likya Napları'na ait temel kayalardır (Şekil 9). Temel üzerinde Oligo-Miyosen yaşlı karasal ve denizel ortamda çökelmiş olan Kale-Tavas Havzası istifi yer alır (Gürer, Sanğu, Özburan, Gürbüz ve Sarıca-Filoreau, 2013). Ören-Kultak çevresinde, Likya naplarına ait Mesozoyik kireçtaşlarının üzerine, birbiriyle yanal-düşey geçişli olan Oligosen-Erken Miyosen karasal ve denizel tortullar gelmektedir (Görür vd., 1994; 1995; Sezgül-Kayseri ve Akgün, 2010). Alt Miyosen çökelleri batıda, Zeytin ve Dağpınarı köyleri güney kesimlerinden doğuda Akyaka köyü doğu kesimlerine kadar mostra verir. Alt Miyosen üzerinde uyumsuzlukla Orta-Üst Miyosen çökelleri yer alır. Gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve gölsel kireçtaşı ile temsil edilen bu seviyeler arasında kömür merccekleri de yer alır (Atalay, 1980; Hakyemez ve Örçen, 1982; Kaya, Tuna ve Geraads, 2001; Gürer ve Yılmaz, 2002; Gürer vd., 2013). Batıda Çökertme ve Türkevleri kuzey kesimlerinde bu birimlere ait mostralara izlenir. Daha doğuda Hüsamlar ve Pınarköy civarında geniş bir yayılım gösterir. Alatepe ve Kultak köyleri arasında bu birimler Likya Napları üzerinde bir örtü oluştururlar. Daha doğuda ise Bağyaka ve Kızılağaç köyleri civarında mostralara izlenir. Likya Napları ve Miyosen çökelleri Kuvaterner yaşlı birimlerle açısız uyumsuzluk ile örtülürler. Kuvaterner dönemi alüvyon, alüvyal fan, yamaç molozu ve delta çökelleri ile temsil edilir (Gürer vd., 2013; Gül vd., 2017; Dikbaş vd., 2022). Hem yüksek alanlardaki düzlüklerde hem de Akyaka güneyinde kıyı alanındaki düzlük alanda ve dere boylarında alüvyon çökelleri yer alır. Yamaç molozu çökelleri ise kıyı boyunca dağ önlerinde haritalanmıştır. Ören köyünden denize dökülen Koca Dere ağzında ve Türkevleri köyünden denize dökülen Hanay Dere ağzında ise fan-delta çökelleri gelişmiştir (Dikbaş vd., 2022).



Şekil 9. GFZ civarının Ersoy (1990), Görür vd. (1995), Akbaş vd. (2011), Emre vd. (2013), Tur vd. (2015) ve Akyüz vd. (2018)'den sadeleştirilmiş jeoloji haritası; Dikbaş vd. (2022)'den değiştirilerek alınmıştır.

3.3. Morfolojik Özellikler

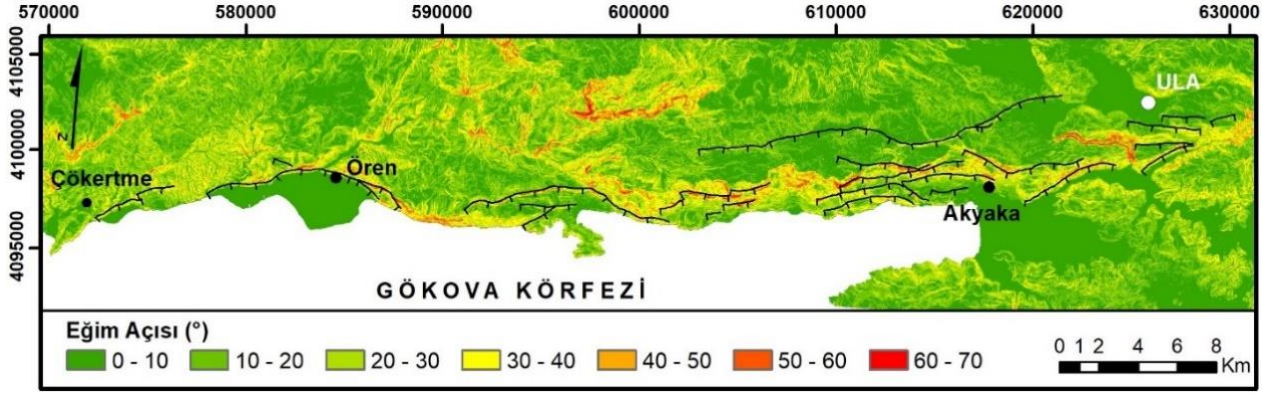
Gökova Körfezi kuzey kıyıları tektonik kıyı özelliğindedir (Erinç, 1996). Doğuda Ula ile batıda Çökertme arasında kalan kıyı çizgisi ardında dik falezlerde farklı segmentler tarafından oluşturulan basamaklı bir morfoloji izlenir. Bu basamaklı yapı normal faylanmanın güncel topoğrafya üzerindeki etkilerini açıkça sunar. Arazi çalışmalarında yapılan gözlemlerde faylanmanın neden olduğu topoğrafik eğim kırıklıkları net olarak takip edilmiştir.

GFZ boyunca 1/25000 ölçekli eşyüksele eğrileri kullanılarak bölgenin SYM oluşturulmuştur. Bu modele göre fay boyunca topoğrafik yükseklik değerleri deniz seviyesinden başlayıp kısa mesafede, hızlıca yaklaşık 1040 m'ye kadar yükselir (Şekil 6 ve 7). Kultak-Ula arasında GFZ, kuzeydeki yüksek alan ile güneyde neredeyse deniz seviyesinde olan yüzeyler arasında bir sınır oluşturur. Batıda, Çökertme-Kultak köyleri arasında Hanay Dere ve Koca Dere'nin aşındırması ile yüksek alanlar nispeten parçalanmış ve alçaltılmıştır. Her iki dere boyunca taşınan malzemeler Ören köyü civarında depolanmış ve burada birleşik bir fan-delta şekillenmiştir (Şekil 6 ve 9) (Dikbaş vd., 2022).

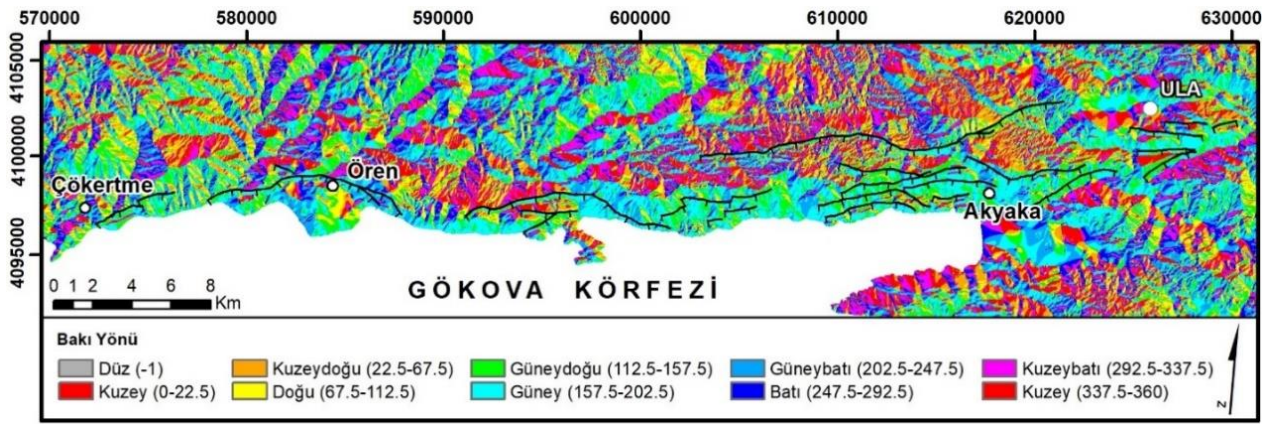
Gökova Körfezi kuzeyinde yüzey eğim açıları 0° ila 70° derece arasında değişir (Şekil 10). Yüksek eğimli yüzeyler çoğunlukla normal faylanma nedeniyle gelişmiştir. Özellikle, normal fayların hemen hemen birbirine paralel olarak haritalandığı kıyı boyunca yüzey eğiminin sıklıkla yükseldiği gözlenir. Bunun dışında, kuzeyde vadi yamacını temsil eden eğimi yüksek yüzeyler izlenir. Ören Fan-Deltası ve Akyaka düzlüğü eğimi en düşük (0° - 10°) olan, neredeyse yataya yakın yüzeylerdir.

Fay zonu boyunca oluşturulan bakı haritasında zonun kuzeyinde yüzeylerin güney-güneydoğu yönüne baktıkları görülür (Şekil 11). Fay zonu kuzeyinde ise yüzeyler genel olarak kuzey-kuzeybatı yönüne bakmaktadır. Bu harita taban blokta fay üzerindeki hareketin tersi yönünde bir eğimlenme (geriye tiltlenme) göstermektedir. Bu tiltlenme fay zonuna dik alınan topoğrafik kesitlerde de izlenmektedir (Şekil 12 ve 13)

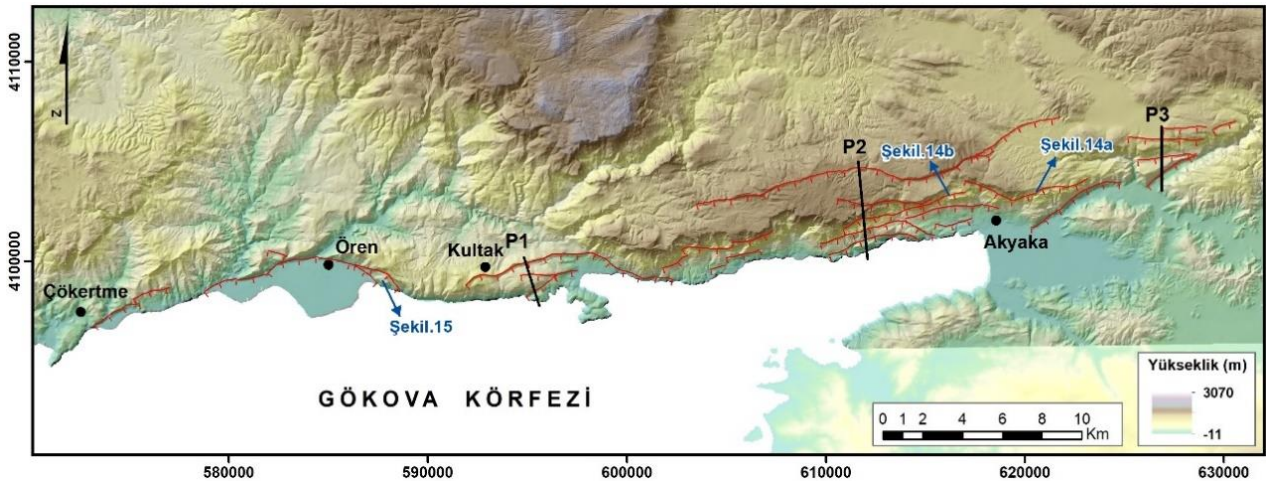
GFZ boyunca normal fay segmentlerinin oluşturduğu basamaklı morfolojiyi araştırmak amacıyla, batıdan doğuya doğru fay zonunu örnekleyecek şekilde yaklaşık kuzey-güney konumlu 3 adet topoğrafik kesit güzergahı seçilmiştir (Şekil 12 ve 13). Normal faylanmaya bağlı gelişen basamaklı morfoloji hemen hemen tüm profillerde izlenmektedir. Bu basamaklar üzerinde sıklıkla, düşen blokta faya paralel gelişen drenaj nedeniyle "V" ya da "U" şekilli dere yatakları topoğrafik profillerde görülmektedir (Şekil 13). Fay düzlemleri nedeniyle morfolojide gelişmiş basamaklar arazi çalışmalarında da takip edilebilmiştir (Şekil 14a, 14b ve 15).



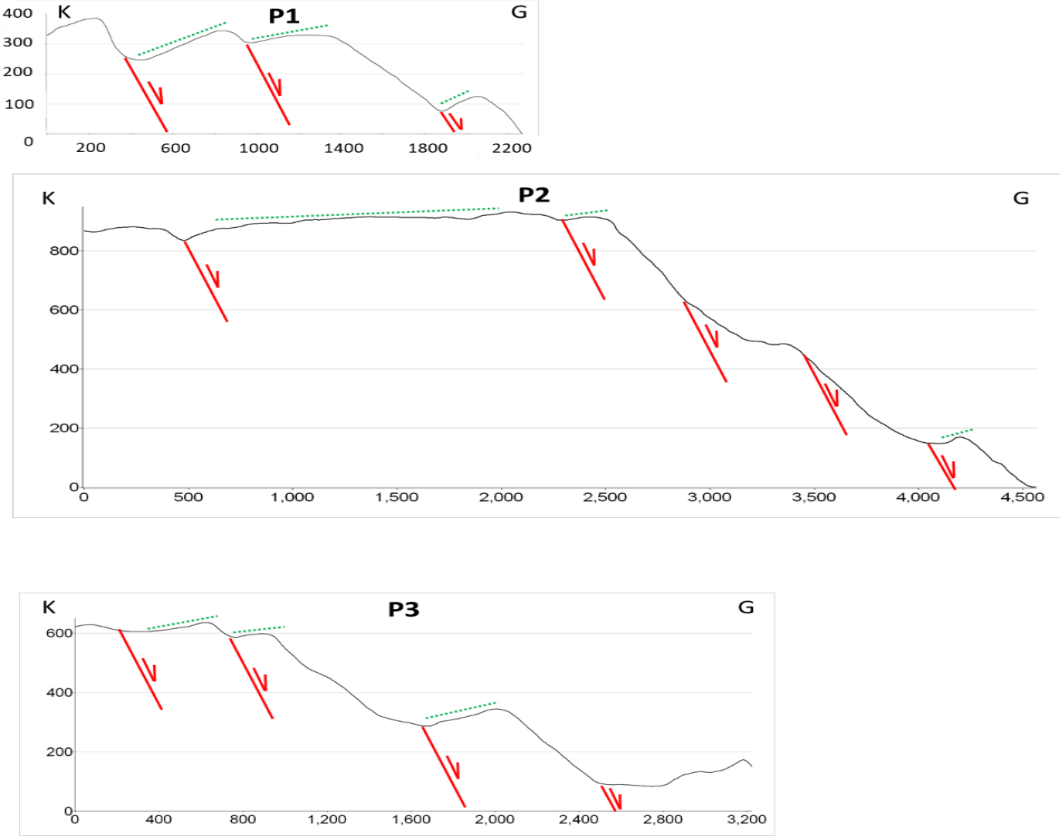
Şekil 10. Gökova Körfezi kuzeyinde GFZ boyunca üretilen topoğrafik yüzey eğim haritası.



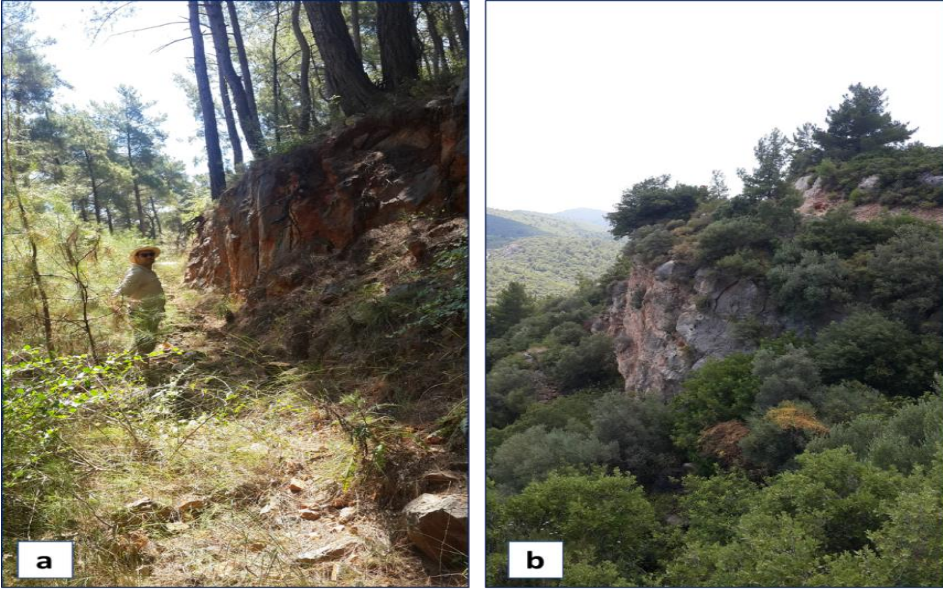
Şekil 11. Gökova Körfezi kuzeyinde GFZ boyunca üretilen bakı haritası.



Şekil 12. GFZ üzerinde alınan topoğrafik kesit güzergâhları. Siyah çizgiler topoğrafik profil güzergahlarını ve numaralarını göstermektedir.



Şekil 13. GFZ boyunca SYM'den elde edilen topoğrafik profiller ve haritalanan faylarla ilişkisi. Noktalı yeşil çizgiler tiltlenen yüzeyleri temsil eder. Topoğrafik profil lokasyonları için Şekil 12'ye bakınız. Düşey ölçek x2 abartılmıştır.



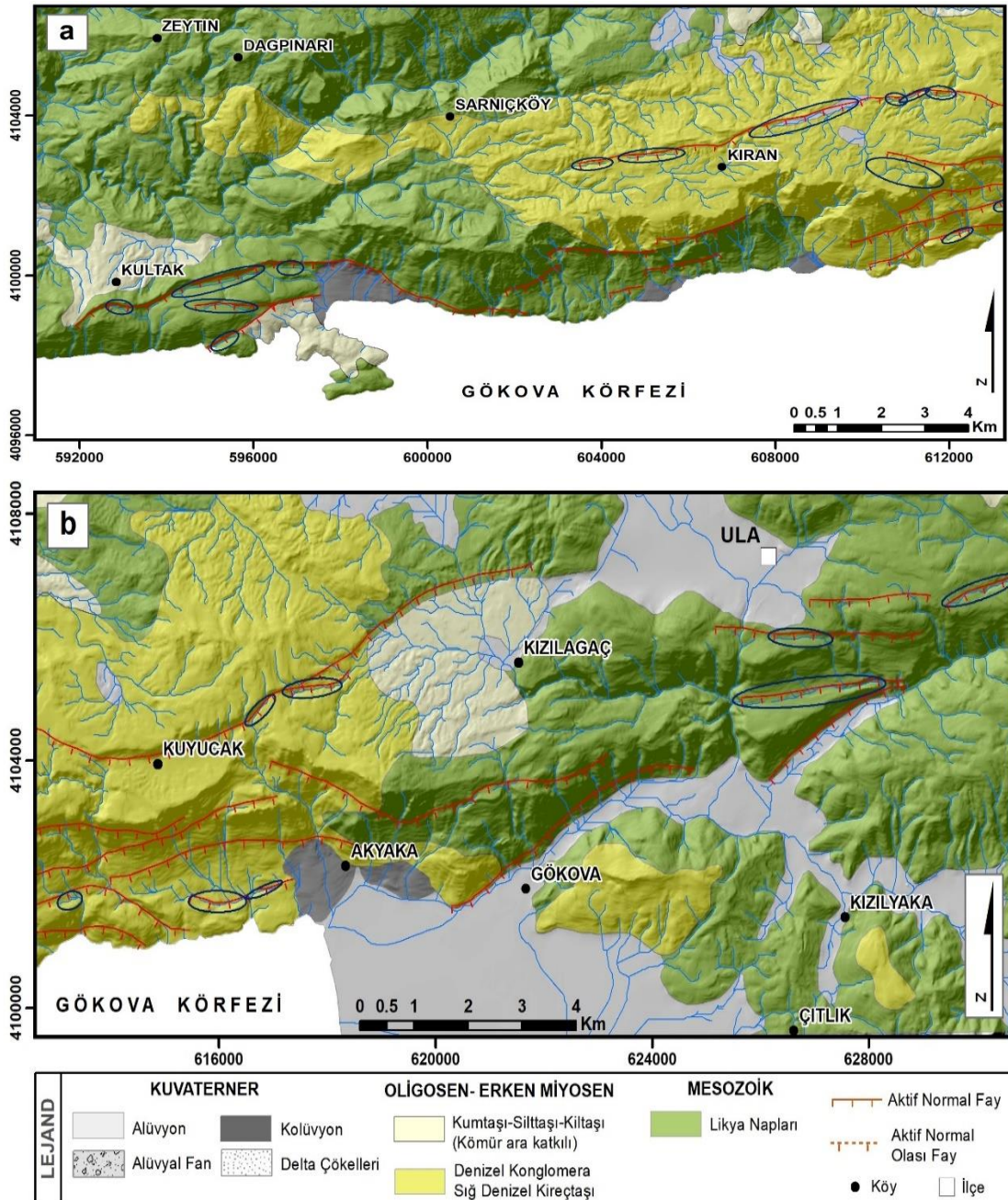
Şekil 14. Normal fay düzlemlerinin, Akyaka köyü a) doğusunda ve b) batısında oluşturduğu topoğrafik basamakların görünümü (bakış B'ya).

Bölgedeki drenaj ağı 1/25000 ölçekli sayısal yükseklik eğrileri temel alınarak ArcGIS yazılımında Hydrotools aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Mevcut drenaj ağı gelişimi GFZ'nu oluşturan segmentlerden etkilenmiştir. Tüm segmentler boyunca, drenaj ya faylara az çok paralel ya da az çok dik bir açı ile izlenmektedir (Şekil 16a ve b). Türkevleri ve Kultak köyleri arasında faylar ile ilişkide olan tüm drenaj kolları fayları dik veya dike yakın bir açı ile keser. Kultak ve Kıran köyleri arasında faya paralel gelişen drenaj kolları gözlenmiştir. Bu kollar Şekil 16a'da elips içerisinde işaretlenmiştir. Daha doğuda Gökova köyü civarında gözlemlenen paralel gelişimler ise Şekil 16b'de elips şekli ile işaretlenmiştir. Bunların dışında kalan kolların hemen hemen hepsi

faya dik veya dike yakın açılarda gelişmiştir. Bu gözlemlere göre, drenaj ağı fay paternine göre gelişmiştir ve bölgedeki güncel tektonik kuvvetler erozyonal kuvvetlere göre daha baskındır.



Şekil 15. Ören köyü güneybatısında normal fay segmentlerinin uzanımı ve morfolojide izlenen basamaklanma (bakış D'ya).



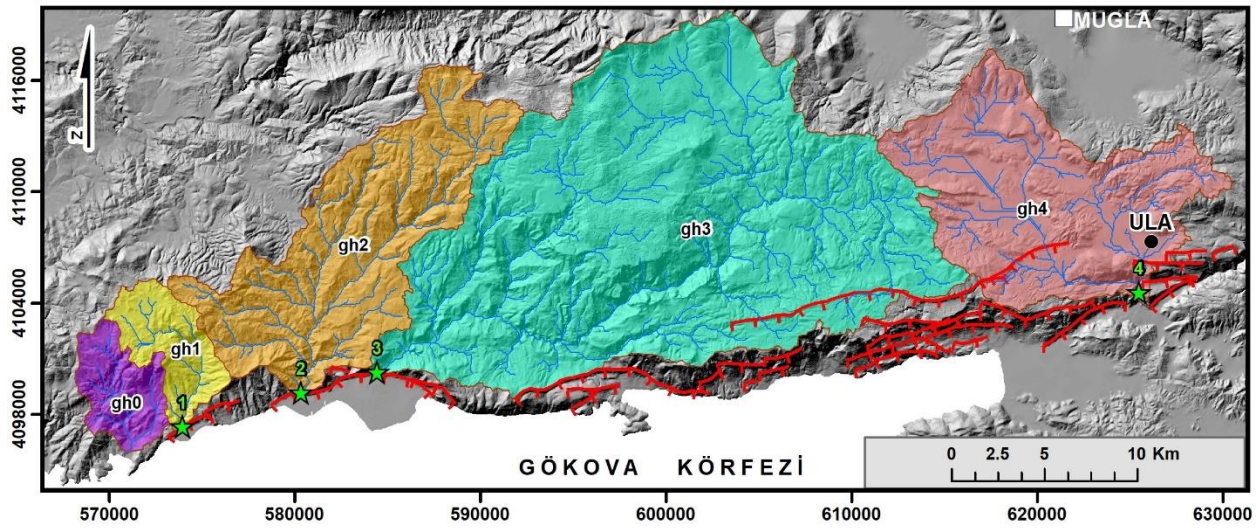
Şekil 16. a) Kultak ve Kiran köyleri arasında haritalanan faylara paralel gelişen drenaj kolları. b) Gökova köyü kuzey kesimlerinde haritalanan faylara paralel gelişen drenaj kolları.

4. Morfometri

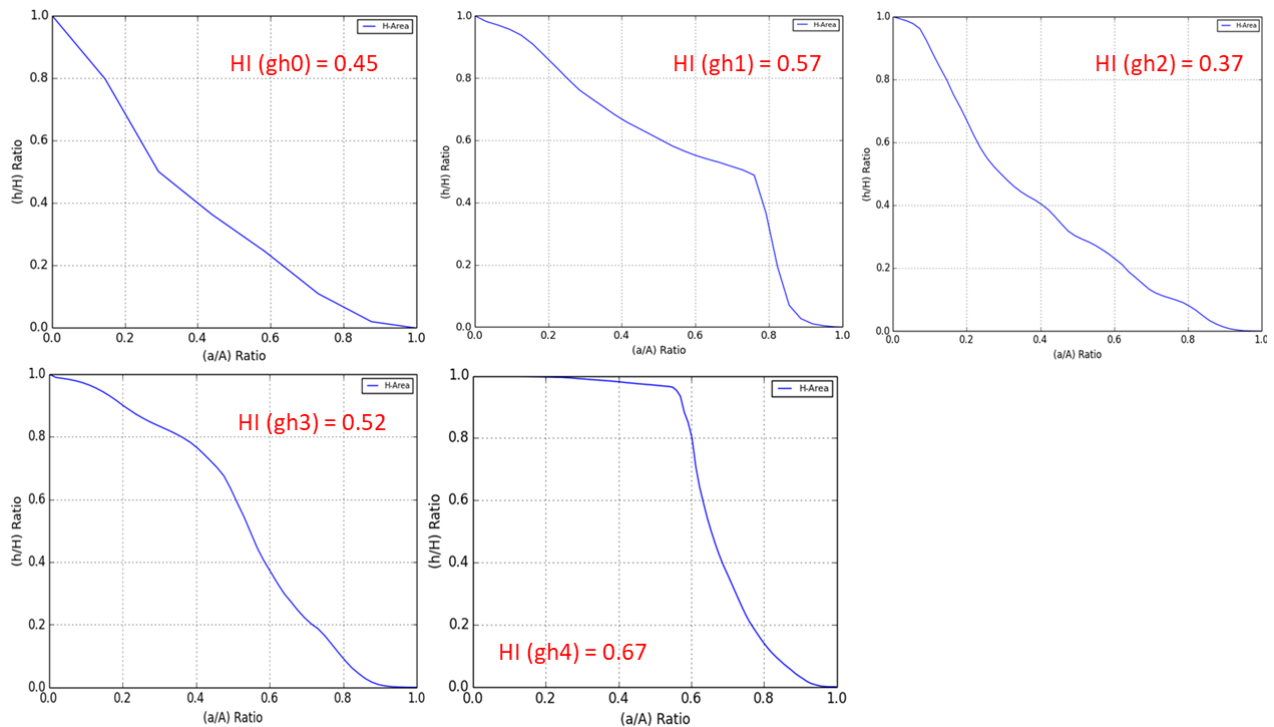
4.1. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral

GFZ boyunca ArcMap yazılımında mevcut bulunan araçlar ve ek betikler (script) (Beg, 2015) kullanılarak, SYM üzerinde yapılan veri-işlem adımları ile çalışma alanında yer alan havza sınırları belirlenmiştir (Şekil 17). Buna göre GFZ kuzeyinde, taban blok üzerinde 5 adet havza ayırtlanmıştır. Bu havzaların hipsometrik eğrileri elde edilmiş ve hipsometrik integral (HI) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 18).

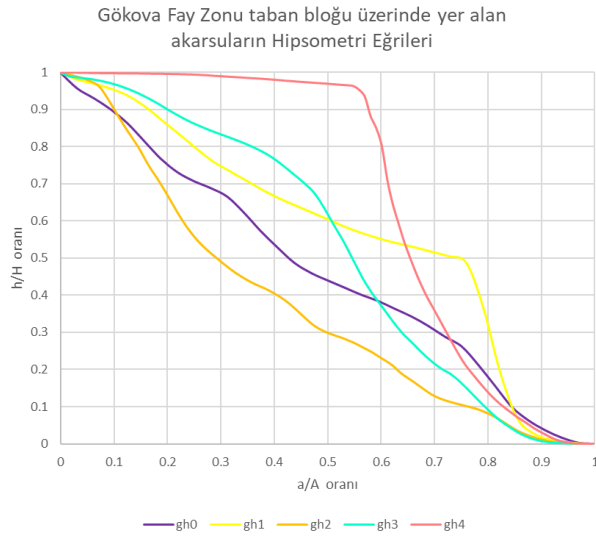
Toplam 5 havza için yapılan hesaplamalara göre bu havzaların üç tanesinin (gh1, gh3, gh4) hipsometrik eğrileri dışbükeydir ve tüm havzaların HI değerleri 0.37 ila 0.67 arasında değişmektedir (Şekil 18 ve 19). Diğer iki havzanın (gh0 ve gh2) eğrileri ise hafif içbükeydir, HI değerleri sırasıyla 0.45 ve 0.37 olarak hesaplanmıştır (Şekil 18 ve 19). Bu değerler havzaların nispeten genç evrede olduklarını ve/veya tektonik kuvvetlerin havzalar üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 17. GFZ taban bloğu üzerinde kalan akaçlama ağları ve havza sınırları. Yeşil yıldızlar V_f indisi hesaplanan noktaları gösterir.



Şekil 18. GFZ taban bloku üzerinde yer alan havzaların hipsometrik eğrileri ve bu havzalara ait HI değerleri.



Şekil 19. GFZ taban bloku üzerinde yer alan havzaların hipsometrik eğrilerinin bir arada gösterimi.

4.2. Vadi Tabanı Genişliğinin Vadi Yüksekliğine Oranı (V_f)

GFZ Ören köyü doğusunda, körfez kuzey kenarı boyunca dik falezler oluşturmuştur. Ören köyü ve daha batıda ise, taban blok üzerinde, haritalanan faylara dik gelişmiş vadiler yer alır. GFZ boyunca V_f indis değerlerinin hesaplanabilmesi amacıyla Ören köyü ve daha batısında yer alan 3 vadiye profil ölçümleri dağ önünden (aktif faydan) 200 m dere yukarısında yapılmış ve V_f indis değerleri hesaplanmıştır. GFZ doğusunda, Ula ilçesi güneyinde faya dik uzanan bir diğer vadiye de profil ölçümleri yapılmış ve V_f indis değeri hesaplanmıştır (Şekil 17, Tablo 2).

Hesaplanan V_f indis değerleri 0.12 ila 0.78 arasında değişmektedir. Bu değerler, vadilerin V şekilli olduğunu, taban bloktaki yükselmeye derine kazarak cevap verdiklerini gösterir.

Tablo 2

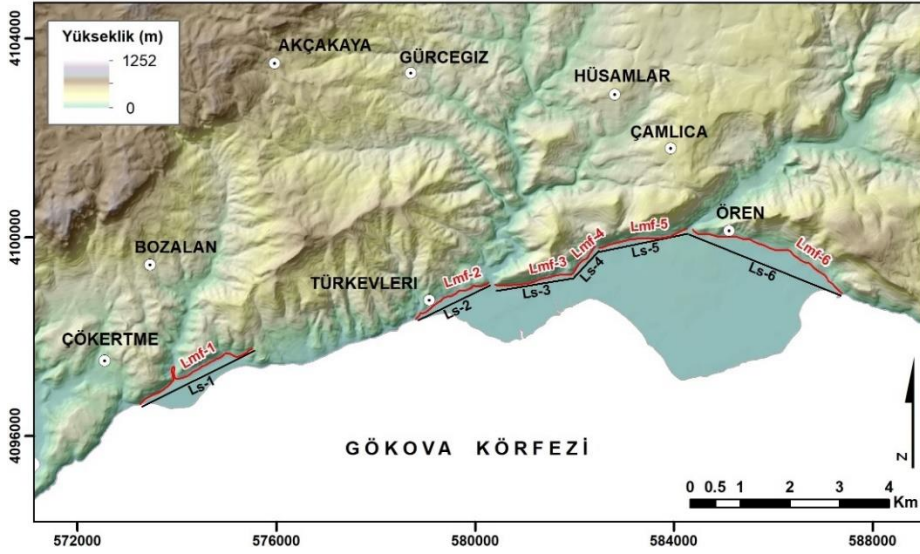
GFZ boyunca V_f indis hesaplamaları için seçilen 4 adet vadiye profil ölçümleri ve V_f indis sonuçları (Vadilerin coğrafi konumları için Şekil 18'e bakınız).

No	Litoloji	E_{ld}	E_{rd}	E_{sc}	V_{wf}	V_f
1	Mermer (Mesozoik)	105	225	7	31	0.196203
2	Mermer (Mesozoik)	101	43	15	45	0.789474
3	Mermer (Mesozoik)	70	359	17	48	0.243038
4	Mermer (Mesozoik)	382	384	98	37	0.129825

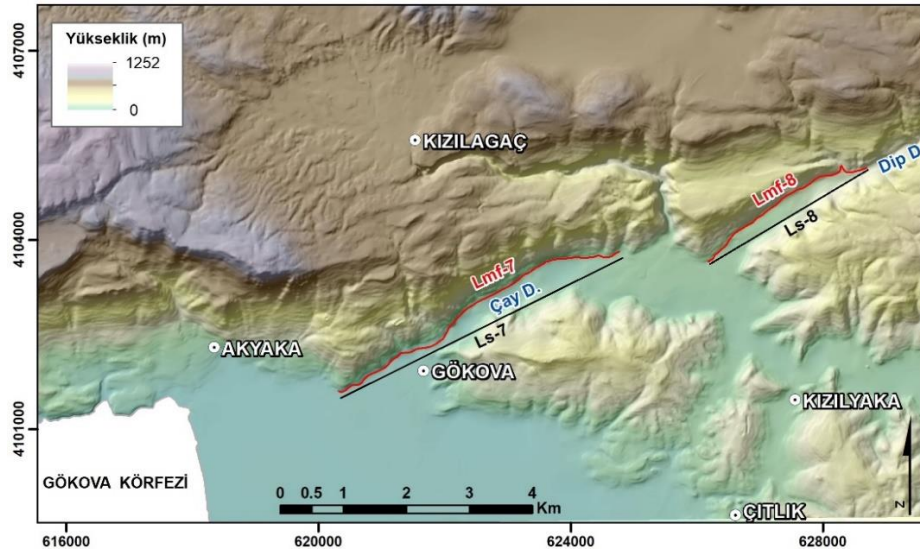
4.3. Dağ Önü Eğriliği (S_{mf})

Çalışma alanında dağ önü eğriliği (S_{mf}) indeksi hesaplamaları ikisi batıda biri doğuda olmak üzere üç farklı lokasyonda, izlenen düzlük alanlar ile kuzeydeki dağlık kesim arasında yapılmıştır. Batıdaki ölçümler, Çökertme Fan-Deltası ve Ören Fan-Deltasını kuzeyden sınırlayan segmentler üzerindedir (Şekil 20). Doğudaki ölçümler ise, Gökova köyü kuzeyinde yer alan Çay Dere ve Dip Dere boyunca haritalanan segmentler üzerindedir (Şekil 21).

SYM üzerinden ölçülen L_{mf} ve L_s uzunlukları ile Çökertme ve Ören köyleri civarında hesaplanan S_{mf} değerleri 1.00 ve 1.24 arasında değişmektedir (Tablo 3). Gökova köyü kuzeydoğusunda hesaplanan S_{mf} değerleri ise 1.04 ve 1.08'dir (Tablo 3). Bu değerler, üç bölgede de dağ önlerinin fay kontrollü olduğunu göstermektedir.



Şekil 20. Çökertme köyü güneydoğusu ve Ören Fan-Deltası civarında S_{mf} indisi hesaplaması.



Şekil 21. Gökova köyü civarında S_{mf} indisi hesaplaması.

Tablo 3

Çalışma alanında dağ önü eğriliği (S_{mf}) indisi değerleri

Segment	L_{mf} (m)	L_s (m)	S_{mf}
Ls-1	3138	2522	1.244251
Ls-2	1725	1613	1.069436
Ls-3	1587	1576	1.00698
Ls-4	734	726	1.011019
Ls-5	1834	1812	1.012141
Ls-6	3429	3283	1.044472
Ls-7	5217	4998	1.043818
Ls-8	3151	2914	1.081332

5. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, GFZ'nun karada izlenen segmentlerinin morfolojik özellikleri araştırılmış ve GFZ boyunca morfometrik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gökova Körfezi'nde, bölgedeki tektonik yapıyı ortaya koymak amacıyla hem körfez içinde hem de yakın kara alanında yapılan sismik yansıma (Kurt vd., 1999; Uluğ vd., 2005), çok ışınli batimetri (Uluğ vd., 2005, İşcan vd., 2013) ve elektrik rezistivite (Çağlar ve Duvarcı, 2001) çalışmaları; GFZ'nun karada izlenen kesimlerinde gerçekleştirilen haritalama çalışmaları (Örn: Ersoy, 1990; Şaroğlu, Emre ve Boray, 1992; Görür vd., 1994; 1995; Emre vd., 2013; 2018; Gürer vd., 2013; Dikbaş vd., 2022) körfezin bir graben yapısı içerisinde geliştiğini ortaya koymuştur. Oluşturulan SYM, körfezin kuzey kıyısında, GFZ boyunca deniz seviyesinden aniden ~1000 m yüksekliklere ulaştığını gösterir. Fay zonlarında topoğrafik yüzey eğim açıları 70° 'ye yükselir. Fay boyunca faya dik alınan yaklaşık kuzey-güney topoğrafik profillerde fayın izi kontrol edilmiş ve doğu-batı yönlerdeki devamlılığı araştırılmıştır. Hem topoğrafik profillerde hem de bakı haritasında düşen blokların kayma yönü tersinde yani kuzey yönde bir eğimlenme gösterdiği izlenmiştir. Bölgede gelişen drenaj ağının geometrisi mevcut tektonik süreksizliklerden etkilenecek şekilde şekillenmektedir. Fay düzlemi önlerinde, drenaj geometrisi çoğu yerde faya paralel gelişmiştir. Faya dik yönde izlenen drenaj kollarının ise, yaşlarının çok genç olması ve/veya hızlarının fayın kayma hızından yüksek olması nedeniyle bu konumda gelişmiş olabileceği düşünülmüştür. Taban blok üzerinde yer alan havzalar için oluşturulan hipsometrik eğriler ve hesaplanan HI değerleri, havzaların ağırlıklı olarak genç evrede olduğunu göstermektedir (Tablo 4). Taban blok üzerinde dört vadide hesaplanan V_f indisleri oldukça düşük olup, vadilerin V-şekilli olduğunu (Tablo 4) ve tektonik yükselmeye derine kazma eğilimi ile cevap verdiklerini gösterir. Dağ önü eğriliklerinin hesaplanabildiği 3 farklı alanda, sonuçlar fay kontrollü dağ önlerini işaret etmiştir (Tablo 4). GFZ boyunca yürütülmüş olan kalitatif ve kantitatif morfolojik çalışmalar bölgenin jeomorfolojik şekillenmesinde tektonik süreçlerin erozyonal süreçlere nazaran daha baskın olduğunu göstermektedir.

Tablo 4

GFZ üzerinde uygulanan morfometrik indislerin sonuçları

Morfometrik İndis	Değer	Morfotektonik Yorum
HI	gh0	0,45
	gh2	0,57
	gh3	0,37
	gh4	0,52
	gh5	0,67
V_f	V_{f1}	0,19
	V_{f2}	0,78
	V_{f3}	0,24
	V_{f4}	0,12
S_{mf}	S_{mf1}	1,24
	S_{mf2}	1,07
	S_{mf3}	1,00
	S_{mf4}	1,01
	S_{mf5}	1,01
	S_{mf6}	1,04
	S_{mf7}	1,04
	S_{mf8}	1,08

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 116Y179 no.lu proje çerçevesinde sürdürülen araştırmalar içerisinde yazarın sorumlu olduğu kesimlerin bir parçasıdır. Yazar; arazi çalışmalarının bir kısmına eşlik eden Mehran Basmenji ve Erdem Kırkan'a teşekkür eder.

Yazar Katkıları

Aynur Dikbaş: Morfometrik indis hesaplamaları için gerekli olan veri setini oluşturmuş, analizleri planlamış ve gerçekleştirmiş, arazi kontrollerinde bulunup makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Kaynaklar

- AFAD (2022). T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F. & Yurtsever, A. (2011). *Türkiye Jeoloji Haritası*. MTA, Ankara, Türkiye.
- Akyüz, H.S., Kırkan, E., Basmenji, M., Aksoy, M.E., Dikbaş, A., Zabcı, C. & Uçarkuş, G. (2018). Paleoseismological and Morphotectonical Characteristics of Active Faults in the Vicinity of Muğla Area (SW Turkey). In: Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Tunisia, (pp. 253-256). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01656-2>
- Ambraseys, N. N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press, London. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139195430>
- Ambraseys, N. N. & Finkel, C.F. (1991). Long-term seismicity of Istanbul and the Marmara Sea region. *Terra Nova*, 3, 527-539. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1991.tb00188.x>
- Ambraseys, N. N. & Jackson, J. A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133, 390-406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1991.tb00188.x>
- Atalay, Z. (1980). Muğla-Yatağan ve Yakın Dolay Karasal Neojen'inin Stratigrafi Araştırması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 23, 3-99.
- Beg, F.A.A. (2015). Morphometric Toolbox: A New Technique in Basin Morphometric Analysis Using ArcGIS. *Global Journal of Earth Science and Engineering*, 2, 21-30. <http://dx.doi.org/10.15377/2409-5710.2015.02.02.1>
- Bozkurt, E., (2003). Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61–81. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(03\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(03)00002-0)
- Bull, W. B. (1977). Tectonic geomorphology of the Mojave Desert. U.S. Geological Survey Contact Report 14-08-001-G-394. Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, California.
- Bull, W. B. (1978). Geomorphic tectonic classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contact Report 14-08-001-G-394. Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, California.
- Bull, W. B. & McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and South of the Garlock fault, California. In: D.O. Doehering (Ed.), *Geomorphology in Arid regions*. Proceedings at the Eighth Annual Geomorphology Symposium (s. 115-138). Binghamton, State University of New York.
- Burbank, D. W. & Anderson, R. S. (2001). *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science, Malden.
- Çaglar, İ. & Duvarcı, E. (2001). Geoelectric structure of inland area of the Gökova rift, southwest Anatolia and its tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, 31, 33-48. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(00\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(00)00014-4)
- Davis, W.M. (1899). The geographical cycle. *The Geographical Journal*, 14, 481-504. <https://doi.org/10.2307/1774538>

- Dikbaş, A., Akyüz, H.S., Basmenji, M & Kırkan, E. (2022). Earthquake history of the Gökova fault zone by paleoseismologic trenching, SW Turkey. *Natural Hazards*, 112, 2695-2716. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05284-0>
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S. & Elmacı, H. (2011). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Aydın (NJ 35-11) Paftası, Seri No:7, MTA, Ankara.
- El-Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. & Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Özel Yayın Serisi-30, MTA, Ankara.
- Emre, Ö., 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>
- EMSC, (2022). The European-Mediterranean Seismological Centre. Erişim adresi: <https://www.emsc-csem.org/#2>
- Ergin, K., Güçlü, U. & Uz, Z. (1967). Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Yer Fiziği Ens., Teknik Rapor No: 24, İstanbul.
- Erinç, S. (1996). *Jeomorfoloji-I*. Öz-Eğitim Yayınları, İstanbul.
- Ersoy, Ş. (1990). The analysis of evolution and structural items of The Western Taurus-Lycia Nappes. *Geological Engineering*, 37, 5-16.
- Ersoy, Ş. (1991). Datça (Muğla) Yarımadasının Stratigrafisi ve Tektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 1-14.
- Eyidoğan, H., Akıncı, A., Gündoğdu, O., Polat, O. & Kaypak, B. (1996). Investigation of the recent seismic activity of Gökova Basin. In: National Marine Geology and Geophysical Programme Workshop 1, Proceedings, 8-9 February, 1996, (s. 68-71).
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Oktay, F.Y., Barka, A., Sarıca, N., Ecevitoglu, B., Demirbağ, E., Aykol, A., Algan, O., Güneysu, C. & Ersoy, Ş. (1994). Crosscutting rift systems of the Gökova region, SWAnatolia: implications for the formation of the Aegean Sea. *İTÜ Bülteni*, 47 (4), 275-292.
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F.Y., Barka, A.A., Sarıca, N., Ecevitoglu, B., Demirbağ, E., Ersoy, Ş., Algan, O., Güneysu, C. & Akyol, A. (1995). Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*, 132, 637-650. <https://doi.org/10.1017/s0016756800018884>
- Guidoboni, E. & Comastri, A. (2005). *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome
- Guidoboni, E., Comastri, A. & Triana, G. (1994). *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome.
- Gül, M., Danladi, I.B. & Kore, B.M. (2017). Coastal types of graben: the Gulf of Gökova, Muğla-SW Turkey. *Journal of Coast Conservation*, 21, 127-138. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0481-5>
- Gürer, F.Ö. & Yılmaz, Y. (2002). Geology of the Oren and Surrounding Areas, SW Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 1-13.
- Gürer, Ö.F., Sanğu, E., Özbüran, M., Gürbüz, A. & Sarıca-Filoreau, N. (2013). Complex basin evolution in the Gökova Gulf region: implications on the Late Cenozoic tectonics of southwest Turkey. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 102, 2199-2221. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0909-1>
- Hakyemez, Y. & Örçen, S. (1982). Denizli-Muğla arasındaki Senozoyik yaşlı çökel kayaların sedimantolojisi ve biyostratigrafisi. Maden Tetkik ve Arama Enst. Rap. No. 7311, s.135 (yayımlanmamış), Ankara.
- Hancock, P. L. & Barka, A. A. (1987). Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 9 (3), 415-430. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90142-8](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90142-8)
- ISC, (2022). International Seismological Centre. Erişim adresi: <http://www.isc.ac.uk>
- İşcan, Y., Tur, H. & Gökaşan, E. (2013). Morphologic and seismic features of the Gulf of Gökova, SWAnatolia: evidence of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Geo-Marine Letters*, 33, 31-48. <https://doi.org/10.1007/s00367-012-0307-x>
- Jackson, J., A., King, G. & Vita-Finzi, C. (1982). The neotectonics of Aegean: an alternative view. *Earth and*

- Planetary Sciences Letters*, 61, 303-318. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(82\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(82)90062-0)
- Kalafat, D. & Horasan, G. (2012). A seismological view to Gökova region at southwestern Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 7 (30), 5143–5153. <https://doi.org/10.5897/IJPS12.277>
- Kaya, T., Tuna, V. & Geraads, D. (2001). A new late Orleanian/Early Astaracian mammalian fauna from Kultak (Milas-Mugla), southwestern Turkey. *Geobios*, 34 (6), 673–680. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(01\)80028-0](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(01)80028-0)
- Keller, E. & Pinter, N. (1996). *Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- Keller, E.A. & Pinter, N. (2002). *Active tectonic: Earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- KOERİ, (2018). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- Kurt, H., Demirbağ, E. & Kuşcu, İ. (1999). Investigation of submarine active tectonism in the Gulf of Gökova, southwest Anatolia - SE Aegean Sea, by multi-channel seismic reflection data. *Tectonophysics*, 305, 477–496. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00037-2)
- McKenzie, D.P., (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109–185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Mozafari, N., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Tikhomirov, D., Uzel, B., Yeşilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Sözbilir, H. & Akçar, N. (2022). Seismic history of western Anatolia during the last 16 kyr determined by cosmogenic ³⁶Cl dating. *Swiss Journal of Geosciences*, 115, 5. <https://doi.org/10.1186/s00015-022-00408-x>
- Ohmori, H. (1993). Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology*, 8(4), 263–277. [https://doi.org/10.1016/0169-555x\(93\)90023-u](https://doi.org/10.1016/0169-555x(93)90023-u)
- Papazachos, B., Kiratzi, A., Hatzidimitriou, P. & Rocca, A.C. (1984) Seismic faults in Aegean area. *Tectonophysics*, 106, 71-85. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16865>
- Perez-Pena, J.V., Azor, A., Azanon, J.M. & Keller, E.A. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119, 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.02.020>
- Rontogianni, S., Konstantinou, K.I., Evangelidis, C. & Melis, N.S. (2011). Investigating Potential Seismic Hazard in the Gulf of Gökova (South Eastern Aegean Sea) Deduced From Recent Shallow Earthquake Activity. American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, T43E-2427, San Francisco.
- Saber, R., Çağlayan, A. & Işık, V. (2018). Relative Tectonic Activity Assessment and Kinematic Analysis of the North Bozğuş Fault Zone, NW Iran. *Journal of Asian Earth Science*, 164, 219-236. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.06.023>
- Saber, R., Işık, V. & Çağlayan, A. (2020). Tectonic Geomorphology of the Aras Drainage Basin: Implications for the recent activity of the Aras Fault Zone. *Geological Journal*, 55, 5022–5048. <https://doi.org/10.1002/gj.3724>
- Sağlam Selçuk, A. (2016). Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey, *Geomorphology*, 270, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.009>
- Sezgül-Kayseri, M. & Akgün, F. (2010). Türkiye’de Geç Burdigaliyen–Langiyen Periyodu ve Avrupa ile Paleortamsal ve Paleoiklimsel Karşılaştırma: Muğla–Milas (Kultak) Geç Burdigaliyen-Langiyen Palinoflorası ve Paleoiklimsel Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53 (1), 1–44.
- Sieberg, A. (1932). *Erdbebengeographie*. Handbuch der Geophysik, Berlin.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. & Altınok, Y. (1981). Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TÜBİTAK Proje No: TBAG 341, İstanbul.
- Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1141. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63)
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Boray, A. (1987). Türkiye’nin diri fayları ve deprensellikleri, Rapor No: 8174 (yayınlanmamış), MTA, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Boray, A. (1992). *Türkiye Diri Fay Haritası*. MTA, Ankara.
- Taymaz, T., Jackson, J. & McKenzie, D. (1991). Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106 (2), 433-490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb03906.x>

- Taymaz, T., Tan, O. & Yolsal, S. (2004). Seismotectonics of western Turkey: a synthesis of source parameters and rupture histories of recent earthquakes. In: AGU Fall Meeting, Session T14, San Fransisco-California, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 85 (47), 408.
- Tırpan, A.A. (1989). Keramos. VI. Araştırma Sonuçları Toplantısı, Ankara, (s. 363-383).
- Tur, H., Yalıtırak, C., Elitez, İ. & Sarıkavak, K. (2015). Pliocene – Quaternary tectonic evolution of the Gulf of Gökova, southwest Turkey. *Tectonophysics*, 638, 158-176. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.11.008>
- Uluğ, A., Duman, M., Ersoy, Ş., Özel, E. & Avcı, M. (2005). Late Quaternary sea-level change, sedimentation and neotectonics of the Gulf of Gökova: Southeastern Aegean Sea. *Marine Geology*, 221, 381–395. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.03.002>
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. & Elmas, A. (2000). When did the western Anatolia grabens begin to develop?. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 173, 353–384. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.17>
- Yolsal-Çevikbilen, S., Taymaz, T. & Helvacı, C. (2014). Earthquake Mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 635, 100-124. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.001>