



İzmir-Balıkesir Transfer Zonu İçerisinde Bir Yapı: Gelenbe Fay Zonu'nun Geometrik ve Kinematik Özellikleri

Geometric and Kinematic Characteristics of the Gelenbe Fault Zone within the İzmir-Balıkesir Transfer Zone

**Doğukan Mert Özcan^{1*}, Çağlar Özkaymak^{2,3}, Volkan Karabacak⁴,
Ökmen Sümer⁵, Furkan Şahiner¹, Seray Çınar Yıldız⁶**

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi (DUAM), 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

⁴ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

⁵ Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

⁶ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye

• Geliş/Received: 20.02.2026

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 27.05.2026

• Kabul/Accepted: 05.06.2026

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 15.08.2026

• Baskı/Printed: 31.08.2026

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Ege genişleme sistemi içerisinde yer alan KKD-GGB uzanımlı Gelenbe Fay Zonu (GFZ), Batı Anadolu'nun neotektonik yapısını oluşturan kritik sismotektonik unsurlardan biridir. Balıkesir'in Bigadiç ilçesi ile Manisa'nın Akhisar ilçesi arasında uzanan bu diri fay sistemi, bölgedeki sismik aktivitenin ve jeodinamik yapının anlaşılmasında anahtar bir rol sahiptir. Bölge, tarihsel ve aletsel dönemlerde sismik açıdan yüksek bir aktiviteye sahip olup, Türkiye'nin deprem tehlikesi açısından öne çıkan alanlarından biridir. Bu çalışma, haritalama ve fay yüzeyi ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilen jeolojik saha çalışmaları ile GFZ'nin yüzey segment geometrisi ve kinematik karakterine yönelik detaylı veriler sunmaktadır. Saha gözlemleri ve 1/25.000 ölçekli haritalama çalışmaları, bu zonun birbirine yaklaşık paralel uzanan, sırasıyla 35 km ve 36 km uzunluğundaki Doğu ve Batı ana segmentlerinden oluşan yaklaşık 8 km genişliğinde bir zon olduğunu göstermiştir. Doğu segment, K-G, K10-20°D uzanımlı dört fay kolundan; batı segment ise K-G, K35°D uzanımlı beş fay kolundan oluşmaktadır. Fay zonu boyunca 12 farklı lokasyondan ölçülen 132 adet kayma düzlemi verisi üzerinde yapılan kinematik analizler, fay kollarının kıvrımlı yüzey geometrisinin sebep olduğu fay bükümleri ile oluşan yerel gerilme değişimleri ve geniş transfer zonu içerisinde gelişen antitetik ve sentetik ikincil kırıkların varlığına işaret etmektedir. Paleogerilme analiz sonuçları, bölgenin evriminde iki farklı tektonik fazın etkili olduğunu ortaya koymuştur. KD-GB yönlü sıkışma ilişkili KB-GD yönlü genişleme, Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sıkışmalı rejimi (Faz 1) temsil ederken; Faz 2, Pliyosen'den günümüze dek etkili olan BKB-DGD sıkışma ilişkili KKD-GGB genişleme rejimini yansıtmaktadır. Faz 2 ile uyumlu olan odak mekanizması çözümleri, GFZ'nin doğu segmentinin (DK4) 10.08.2025 Sındırgı depremi (Mw:6,1) sonrasında reaktif olduğunu ve sismik aktivitenin hem ana kırıklar hem de antitetik ikincil kırıklar üzerinde yoğunlaştığını doğrulamıştır. Elde edilen tüm veriler, GFZ'nin Batı Anadolu'daki güncel deformasyon ağında İzmir-Balıkesir Transfer Zonu içerisinde sağ yönlü doğrultu atımlı bir transfer yapısı olarak bölgedeki genişleme rejiminin transferinden sorumlu stratejik bir bariyer görevi gördüğüne işaret etmekte ve bölgedeki sismik risk değerlendirmelerinde birincil derecede dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aktif tektonik, Batı Anadolu, Gelenbe Fay Zonu, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu, kinematik analiz, paleogerilme analizi

Abstract: The NNE-SSW trending Gelenbe Fault Zone (GFZ), located within the Aegean extensional system, is one of the critical seismotectonic elements constituting the neotectonic structure of Western Anatolia. Extending between the Bigadiç district in Balıkesir and the Akhisar district in Manisa, this active fault system plays a key role in understanding the seismic activity and geodynamic structure of the region. The region exhibits high seismic activity in both historical and instrumental periods, making it a prominent area in terms of earthquake hazard in Türkiye. Based on geological field studies including mapping and fault surface measurements, this study provides detailed data about the surface segment geometry and kinematic character of the GFZ. Field observations and 1/25,000 scale mapping studies show that the GFZ is an approximately 8-km-wide zone consisting of two nearly parallel main segments, the Eastern and Western segments, with lengths of 35 km and 36 km, respectively. The Eastern segment comprises four fault splays trending N-S and N10-20°E, while the Western segment consists of five fault splays trending N-S to N35°E.

Kinematic analyses conducted on 132 slip-plane data points collected from 12 distinct locations along the fault zone indicate local stress variations induced by fault bends—resulting from sinuous surface geometries—and the presence of antithetic and synthetic secondary fractures developed within the shear zone. Paleostress analysis revealed that two distinct tectonic phases were effective in the evolution of the region. NE-SW compression-related NW-SE extension represents the Miocene-Early Pliocene compressional regime (Phase 1), while Phase 2 reflects the WNW-ESE compression-related NNE-SSW extensional regime effective from the Pliocene to the present. Focal mechanism solutions consistent with Phase 2 confirm that the eastern segment (DK4) of the GFZ was reactivated following the August 10, 2025, Sındırgı earthquake (M_w : 6.1). Furthermore, seismic activity concentrated on both the primary right-lateral faults and the left-lateral antithetic secondary fractures. All obtained data indicate that the GFZ acts as a strategic barrier responsible for the transfer of the extensional regime, acting as a right-lateral strike-slip transfer structure within the İzmir–Balıkesir Transfer Zone in the current deformation network of Western Anatolia and must be considered to have primary importance in regional seismic risk assessments.

Keywords: Active tectonics, Gelenbe Fault Zone, İzmir–Balıkesir Transfer Zone, kinematic analysis, paleostress analysis, Western Anatolia.

GİRİŞ

Batı Anadolu, Neotetis Okyanusu'nun kapanmasına neden olan levha tektoniği olaylarının gerçekleştiği ve etkilerinin günümüzde de devam ettiği aktif bir deformasyon bölgesidir. Bölgenin günümüzdeki tektonik çatısını oluşturan Kuzey-Güney (K-G) yönlü genişleme rejimi; Ege yay ardı genişleme (McKenzie, 1978; Le Pichon ve Angelier, 1979; 1981), Anadolu levhasının batıya kaçışı (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985), orojenik çökme (Seyitoğlu ve Scott, 1991; Seyitoğlu vd., 1992) ve iki evreli grabenleşme (Sözbilir ve Emre, 1996; Koçyiğit vd., 1999) gibi farklı modellerle açıklanmaktadır. Bu dinamik yapı içerisinde, Ege genişleme sistemindeki farklı deformasyonları karşılayan, Batı Anadolu'nun saatin tersi yönünde güneybatıya doğru yaptığı dönüş yönüne yaklaşık paralel uzanımlı doğrultu atımlı fayların baskın olduğu kıtasal ölçekli bir

zayıflık zonu tanımlanmaktadır (Kaya, 1979; 1981; Okay ve Siyako, 1993; Ring vd., 1999; Sözbilir vd., 2003). Bu zon ilk defa Sözbilir vd. (2003) tarafından İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) olarak adlandırılmıştır. Bölgede daha sonra gerçekleştirilen jeolojik, jeodezik ve sismolojik çalışmalar zonun varlığı, evrimi ve aktivitesi üzerine yeni kanıtlar sunmuştur (Erkül vd., 2005a ve b; Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Özkaymak vd., 2013; Uzel vd., 2009; 2013; 2015; Sözbilir vd. 2011; Özkaymak, 2012; Tan, 2013; Brun vd., 2016; Şengöçmen Geçkin vd., 2022; Öncü vd., 2024; Solak vd., 2024). Uzel vd. (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre İBTZ, Ege Genişleme Sistemi içindeki Kiklad ve Mendere metamorfik çekirdek kompleksleri arasında farklı genişleme deformasyonlarını sınırlar ve her iki kompleksin de yüzeye çıkma tarihlerinde önemli bir rol oynamıştır. Bununla beraber, Neotektonik

dönem boyunca zonun doğusundaki yaklaşık D-B uzanımlı normal faylarla baskın Batı Anadolu grabenleri ile batısındaki normal ve doğrultu atımlı karakterlerdeki fayların yer aldığı Kuzey Ege Bölgesini birbirinden ayırdığı, bu bölgelerdeki yaklaşık K-G yönlü gerilim farklılıklarından ortaya çıkan enerjiyi transfer ettiği bilinmektedir (Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Özkaymak vd., 2013; Özkaymak, 2012; Sözbilir vd. 2011; Uzel vd., 2009; 2013; 2015; Brun vd., 2016).

Batı Anadolu'daki KD-GB uzanımlı zonun ilk tanımlayanlardan birisi olan Kaya (1979), İzmir ile Balıkesir arasındaki KKD uzanımlı fayları oblik atımlı normal faylar olarak tanımlamıştır. Ring vd. (1999), bu zonun Kiklad Adaları ile Menderes Masifi arasında farklılaşmış kabuk genişlemesini sağlayan sol yönlü bir burkulma koridoru olabileceğini belirtmektedir (Ring vd., 1999). İBTZ boyunca elde edilen saha verileri ise bu yapının Neojen döneminden beri yaklaşık D-B yönlü sıkışma ilişkili yaklaşık K-G genişleme kuvvetleri altında KD-GD yönlü sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma özelliği sunduğuna işaret etmektedir (Uzel ve Sözbilir, 2008; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Özkaymak vd., 2013; Uzel vd., 2013; Uzel vd., 2014; 2015; Westerweel vd., 2020).

Önceki çalışmalara göre İBTZ'nin kökeni üzerine farklı görüşler bulunmaktadır. Genel görüşe göre, zonun Geç Kretase'de derin kabuksal transform fayı olarak oluştuğu ve Neojen dönemi boyunca transfer fayı olarak yeniden hareket ettiği kabul edilmektedir (Okay ve Siyako, 1993; Ring vd., 1999; Sözbilir vd., 2007, 2011, 2020). Paleomenyetik (van Hinsbergen vd., 2010; Uzel vd., 2015, 2017; Westerweel vd., 2020) ve jeokronolojik (Uzel vd., 2020) çalışmalar, bu zonun erken Miyosen'den beri kabuk ölçekli süreçlerde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. İBTZ'nin, muhtemelen geç Miyosen'den beri KAFZ'nun bölgeye girişi ile Kuzey Ege'de NAFZ'nin güney koluyla etkileşim halinde olduğu bazı yayınlarda

ifade edilmiştir (Sözbilir vd., 2017; Sümer vd., 2018; Westerweel vd., 2020). Ayrıca, litosfer ölçeğinde genişleme ve Ege Denizi bölgesinin açılması, geç Oligosen ve erken Miyosen'de 23 milyon yıl önce başladığı kabul edilmektedir (Seyitoğlu vd. 1992; Ring vd. 2010). Güncel bir çalışmada, KAFZ üzerindeki fay düzlemlerinde gerçekleştirilen U-Pb ve K-Ar tarihllemeleri KAFZ'nin Batı Anadolu'daki oluşum yaşını erken Miyosen'e (Yaklaşık 20 milyon yıl) çekerek oluşumun Ege genişlemesi ile başladığını ileri sürmektedir (Uysal vd., 2025). Yakın dönemdeki bazı araştırmalarda, İBTZ boyunca tanımlanan sağ yönlü doğrultu atımlı sistemin KAFZ'nin güney koluna ait olduğu ifade edilmektedir (Seyitoğlu vd., 2022; Seyitoğlu ve Esat 2022). Buna karşın, KAFZ'nin Kuzey Ege'ye ulaşmasından yaklaşık 10 milyon yıl önce İBTZ'nin var olduğunu ifade eden Brun vd. (2016) bu zonun Ege denizinde Myrthes'ten İkaria'ya uzanan zonun karadaki devamı olarak yorumlamakta ve 450 km uzunluğunda Mirthes-Balıkesir Fay Zonu olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, İBTZ'nin Ege ve Batı Anadolu'nun altına dalan Afrika okyanusal litosferindeki bir yırtılmanın yüzeydeki bir izi olduğu da öne sürülmektedir (Gessner vd., 2013; Jolivet vd., 2013; Uzel vd., 2015). Son yıllarda zon içerisindeki fay segmentlerinde gerçekleştirilen paleosismolojik çalışmalar İBTZ'nin Holosen aktivitesine yönelik yeni veriler sunmaktadır (Şengöçmen Geçkin vd., 2022; Öncü vd., 2024; Özcan vd., 2025).

Bu kompleks sistemin önemli bileşenlerinden biri olan GFZ, Bigadiç (Balıkesir) ile Akhisar (Manisa) arasında yer alan, Kuzey-Kuzeydoğu ile Güney-Güneybatı (KKD-GGB) uzanımlı doğrultu atımlı bir zondur ve İBTZ içerisinde tanımlanmaktadır (Şaroğlu vd., 1987; Emre vd., 2011; 2013; Westerweel vd., 2020; Solak vd., 2024). İlk kez Şaroğlu vd. (1987) tarafından "Soma-Kırkağaç-Gölcük yöresi fayları" adı altında tanımlanan ve 1992 yılında basılan Türkiye Diri Fay Haritası'na (TDFH) "olasılı diri

fay” statüsünde giren bu zon, 2011 yılında diri fay olarak güncellenmiştir (Şaroğlu vd., 1987, 1992; Emre vd., 2011). Güncel verilere göre GFZ, toplam uzunlukları sırasıyla 35 km ve 36 km olan Doğu ve Batı olmak üzere birbirine yaklaşık paralel uzanan iki ana segmentten oluşmaktadır (Emre vd., 2018). Fayın sismojenik derinliği 16-18 km aralığında kabul edilmekte olup, yaklaşık olarak 6,9 Mw büyüklüğüne kadar deprem üretme potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Emre vd., 2011; Duman vd., 2018). Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise KD-GB uzanımlı Gelenbe Fayı olarak, Saruhanlı (Manisa) ile Nusret (Kepsut, Balıkesir) arasında, Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun güney kolu olarak tanımlanmıştır.

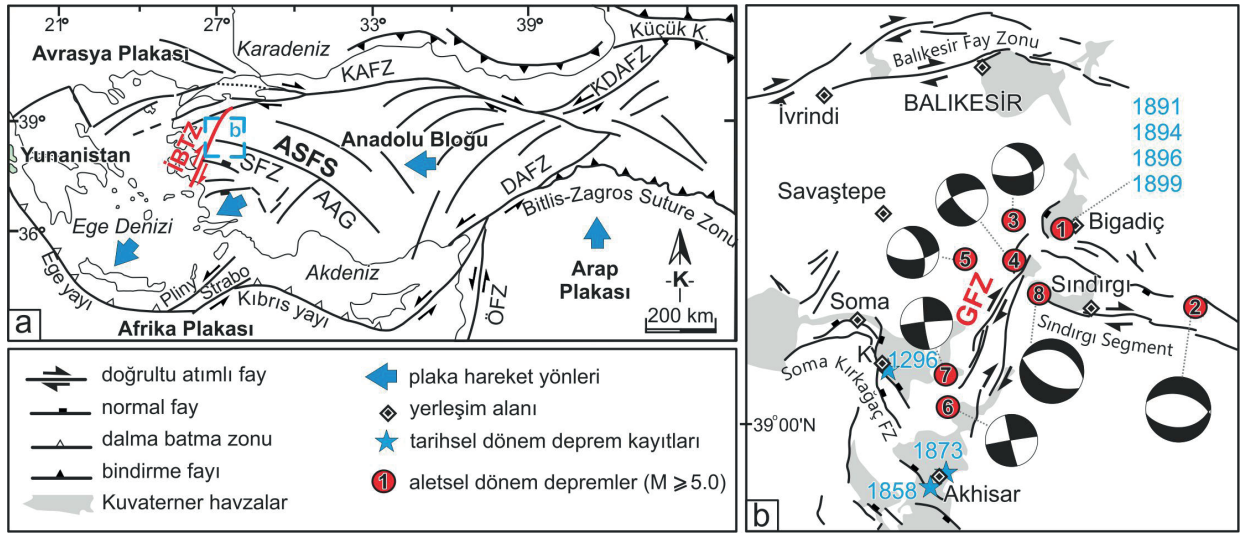
GFZ’ye ait doğu segment üzerinde gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalışmaların ön bulguları, zonun Holosen aktivitesini belgelemiştir (Özcan vd., 2025). Tarihsel kayıtlara göre bu zon ve yakın çevresinde 1296-1899 yılları arasında VI-VIII şiddetlerinde değişen 9 yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Aletsel dönemde (1900-2026) yüzey kırığı oluşturan bir deprem gözlemlenmemiştir. Ancak büyüklükleri 0.4 ile 6.1 arasında değişen çok sayıda deprem kaydı bölgenin tektonik olarak aktif olduğunu göstermektedir. Depremlerin odak mekanizma çözümleri, doğrultu atımlı ve normal faylanma bileşenlerinin birlikte bulunduğu transtansiyonel bir gerilme rejimine işaret etmektedir (Şekil 1). Holosen yaşlı fay sarplıkları, tarihsel ve aletsel dönemde kaydedilen depremler, bölgenin güncel tektonik aktivitesi olduğuna işaret eder. Özellikle 2020 yılı ve sonrasında (6,7 numara, Şekil 1) Akhisar ile Kırkağaç arasında ve son olarak da 10.08.2025 Sındırgı Depremi (M_w :6.1) sonrasında gelişen sismik aktiviteler, GFZ’nin aktifliği ve gerilim transferi süreçleri üzerine dikkatleri bu bölgeye çekmiştir (Eyidoğan, 2020; Sözbilir vd., 2020; Seyitoğlu vd., 2022; Tiryakioğlu vd., 2026). Bununla birlikte, KKD-GGB uzanımlı GFZ ile bu zona yaklaşık dik doğrultulu Akşehir-Simav Fay Sistemi’nin bir kolu olan Sındırgı Segmenti

arasındaki kinematik ilişki henüz ayrıntılı olarak çalışılmamıştır. Bununla beraber, GNSS tabanlı modern jeodezik çalışmalarda yayınlanan güncel gerinimlerin GFZ üzerinde KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü genişleme etkili doğrultu atım mekanizmasına işaret etmektedir (Solak, 2020; Solak vd., 2024). GFZ’nin aktif tektoniğine ve kinematik analizine ilişkin saha verilerine dayalı yayınlanmış çalışmalar bulunmamakla birlikte, 2016-2017 yılları ile 22 Ocak 2020 (Mw 5.5) sonrası sismik etkinliklerin bu fay zone ile ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür (Irmak vd., 2020; Eyidoğan, 2020; Sözbilir vd., 2020). Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında ilgili yıllarda meydana gelen depremler KAFZ’nin güney kolu olarak tanımlanan KD-GB uzanımlı sağ yanal zon içerisindeki KB-GD uzanımlı sol yanal makaslama ile ilişkilendirilmiştir. Aletsel dönemde, bu zon boyunca meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri baskın olarak doğrultu atımlı faylanma karakterine işaret etmektedir (Şekil 1).

Mevcut literatürde GFZ’nin diri fay statüsü ve sismik aktivitesi belgelenmiş olsa da zonun kinematik özelliklerine ve aktif tektoniğine dair doğrudan saha verisine dayalı jeolojik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Seyitoğlu vd., 2022; Özcan vd., 2025; 2026). Bu çalışmanın temel amacı, GFZ’nin detaylı yüzey geometrisini haritalayarak kinematik karakterini ve paleogerilme geçmişini güncel sismolojik/jeodezik veriler ışığında belirlemek; böylece yapının İBTZ içerisindeki “transfer bariyeri” rolünü ve sismik risk potansiyelini somut verilerle ortaya koymaktır.

YÖNTEM

GFZ üzerinde yapılan bu çalışmada bölgede yüzlek veren kaya birimleri jeolojik haritalama yöntemleriyle haritalanmıştır. Saha çalışmaları sırasında fayların segmentasyonu, fayların yüzeydeki izleri ve geometrilerine göre belirlenmiştir.



Şekil 1. a) Doğu Akdeniz'in neotektonik yapıları (Özkaymak, 2015; Özkaymak vd. 2019'dan alınmıştır). Kısaltmalar: ASFS, Akşehir-Simav Fay Sistemi; AAG, Afyon-Akşehir Grabeni; SFZ: Simav Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu fay Zonu; KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; NEAFZ, Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu; ÖFZ: Ölüdeniz Fay Zonu. **b)** GFZ ve yakın civarının sismotektonik haritası (diri faylar Emre vd., 2011; tarihsel dönem deprem verileri Duman vd., 2018; Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambraseys, 1988, 2009; Ambraseys ve Jackson, 1998'den alınmıştır). Haritada sunulan büyüklüğü 5 ve üzerindeki aletsel dönem deprem numaraları, deprem verileri ve referansları aşağıda sunulmuştur: 1. 15.11.1942 (Mw:6,0, Kalafat, 1995); 2. 25.03.1969 (Ms:6,1; Kalafat, 1995); 3. 24.07.1999 (Mw:5,0; Duman vd., 2018; KRDAE, 2026); 4. 25.07.1999 (Mw:5,2, Duman vd., 2018; KRDAE, 2026); 5. 22.06.2001 (Mw:5,2; Duman vd., 2018; KRDAE, 2026); 6. 22.01.2020 (Mw:5,5; KRDAE, 2026); 7. 18.02.2020 (Mw:5,1, KRDAE, 2026); 8. 10.08.2025 (Mw:6,1, AFAD, 2026).

Figure 1. a) Neotectonic structures of the Eastern Mediterranean (modified from Özkaymak, 2015; Özkaymak et al., 2019). Abbreviations: ASFS, Akşehir-Simav Fault System; AAG, Afyon-Akşehir Graben; SFZ: Simav Fault Zone; DAFZ, East Anatolian Fault Zone; KAFZ, North Anatolian Fault Zone; KDAFZ, Northeast Anatolian Fault Zone; ÖFZ: Dead Sea Fault Zone. **b)** Seismotectonic map of the GFZ and surroundings (active faults are taken from Emre et al., 2011; historical earthquake data are compiled from Ergin et al., 1967; Soysal et al., 1981; Ambraseys, 1988, 2009; Ambraseys and Jackson, 1998). The instrumental period earthquakes ($M > 5$) presented on the map by numbers and the corresponding earthquake data/references are as follows: 1. 15.11.1942 (Mw:6.0; Kalafat, 1995); 2. 25.03.1969 (Ms:6.1; Kalafat, 1995); 3. 24.07.1999 (Mw:5.0; Duman et al., 2018; KRDAE, 2026); 4. 25.07.1999 (Mw:5.2; Duman et al., 2018; KRDAE, 2026); 5. 22.06.2001 (Mw:5.2; Duman et al., 2018; KRDAE, 2026); 6. 22.01.2020 (Mw:5.5; KRDAE, 2026); 7. 18.02.2020 (Mw:5.1; KRDAE, 2026); 8. 10.08.2025 (Mw:6.1, AFAD, 2026).

Bu çalışmada internet üzerinde ücretsiz erişime sahip uydu görüntüleri (GoogleEarth) ve sayısal yükseklik modelleri (AsterGDEM-v2, SRTM v3) kullanılmıştır. NASA tarafından kullanıcıların erişimine açık olarak verilen SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verileri kullanılarak bölgenin tektonik yapısı, jeomorfolojisi ve fay geometrisi çalışmalarına altlık oluşturmıştır. Haritalama sırasında saha gözlemleri ile uzaktan algılama çıktıları karşılıklı

kontrol edilerek fay izleri ve segment sınırları nihai hale getirilmiştir. Yine saha çalışmalarında alüvyal yelpazeler, dağ önü çizgisellikleri, fay sarplıkları gibi yapılardan faydalanarak bölgenin jeomorfolojisi yorumlanmış ve fayların özellikleri ortaya konulmuştur. Bölgenin sismotektonik yapısı araştırılırken Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), AFAD ve Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi (EMSC) üzerinden tüm sismik verilere

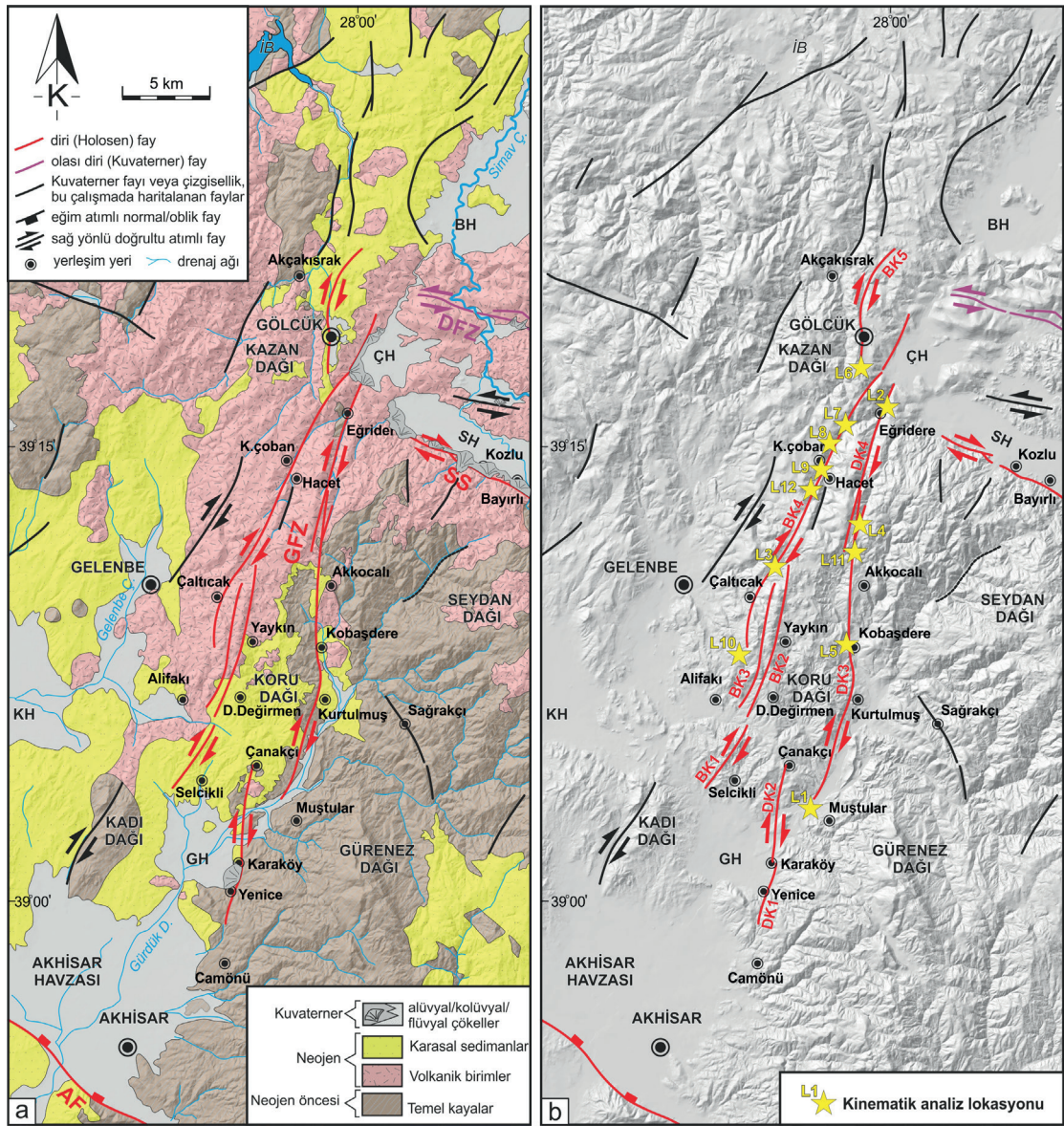
ulaşmıştır. Aletsel katalog değerlendirmesinde, dışmerkez dağılımının yorumunda lokasyon belirsizlikleri ve küçük depremler için büyüklük tamlığı (Mc) gibi parametrelerin sonuçları etkileyebileceği dikkate alınmıştır. Bu nedenle sismosite yoğunlaşmalarının fay izleriyle ilişkisi, sadece noktasal dışmerkez konumlarına göre değil; bölgesel dağılım, odak mekanizma çözümleri ve saha-temelli fay geometrisiyle birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde literatürde haritalanan ve yeni belirlenen çizgisellikler de arazide ayrıntılı olarak geometrileri (doğrultu, eğim, uzanım ve hareket türü) belirlenerek haritaya işlenmiştir. Saha çalışmalarından fay düzlemleri tespit edilerek bu yüzeyler üzerinden fay kinematiğine yönelik ölçümler yapılmıştır. Kinematik analiz çalışmaları, elde edilen bu fay yüzeyi verilerinin Angelier'in gerilme terslenme yöntemi (Hardcastle ve Hills 1991 ve Angelier 1984, 1991, 1994) ile geliştirilen program kullanılarak incelenmiştir. Gerilme terslenme analizleri sonucunda asal gerilme eksenlerinin konumları, gerilme elipsoidinin şekli ve buna bağlı deformasyon rejimi belirlenmiştir. Saha çalışmalarından alınan bu veriler asal gerilme büyüklükleri ve stres elipsoidinin şekline göre o bölgedeki deformasyonu oluşturan faylanmanın tipi, dağılımı ve hareket yönü hakkındaki bilgiler Angelier Programında veriler analiz edilerek elde edilmiştir (Angelier, 1984). Aynı fay düzleminde birden fazla kayma izinin bulunduğu durumlarda, çizik yönlerinin kümelenmesi, kesen-kesilen kronolojik ilişkileri ve yüzey morfolojisi birlikte değerlendirilerek ölçümler farklı deformasyon evrelerine ayrılmıştır. Paleogerilme terslenmelerinde, lokasyon bazında veri sayısı ve çözüm kalitesi (ör. düşük ANG değerlerinin yoğunluğu ve çözümlerin tutarlılığı) kontrol edilerek yorumlar yalnızca güvenilir kümeler üzerinden yapılmıştır. Fay düzlemi çözümleri için Fault Kin Win programı kullanılmıştır. Çalışma alanındaki fay düzlemlerinden elde edilen

verilerin fay düzlemi çözümü yapılması amacıyla FaultKin 8.3.2 yazılımı (Allmendinger vd., 2012) kullanılmıştır.

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında bölgede yüzlek veren kaya birimleri 3 guruba ayrılarak haritalanmıştır; Neojen öncesi temel kayalar, Neojen birimler ve Kuvaterner çökeller (Şekil 2). GFZ, Geç Kretase-Paleosen yaşlı, türbiditik matriks içinde, Mesozoyik kireçtaşı, spilitik volkanitler, çört ve serpantinleşmiş peridotit blokları ve mikritik kireçtaşları merceklerinden oluşan Bornova Fliş Zonu (Izdar, 1968; Öngür, 1972; Akyürek ve Soysal, 1978; Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1993; Erkül vd. 2005a, b) üzerinde yer alır. Bu temel kayalar üzerinde yer alan Erken Miyosen istifleri gölsel, flüviyal ve evaporitik sedimanter kayalar ile bunları kesen KD-GB doğrultulu volkanik çıkış merkezlerinden üretilen lav ve volkano-klastik kayalar ile temsil edilmektedir. Bölgedeki bu erken Miyosen Volkanizması 17,8-23 Milyon yıl öncesi zamana tarihlendirilmiştir (Erkül vd., 2005a). Miyosen dönemine ait volkanik kayalar (andezit, dasit vb.) ile gölsel-akarsu çökel birimleri (kilaşı, kireçtaşı, marn) geniş yayılım sunar. GFZ boyunca, Neojen öncesi temel kayalar ile Neojen yaşlı volkanikler ve/veya karasal kırıntılıların sıklıkla yan yana geldiği ve fay kontrollü dokanaklı oldukları gözlenmiştir. Stratigrafik olarak en üstte yer alan Kuvaterner birimlerini ise konsolide olmamış alüvyon ve yamaç döküntüleri ile temsil eder. Fay zonu boyunca gelişen havzalarda (Kırkağaç, Bigadiç, Sındırgı vb.) güncel alüvyonlar, yelpaze çökelleri ve yamaç molozları gözlenmektedir. Bigadiç, Sındırgı ve Kırkağaç Havzaları: Fayın sağ yönlü doğrultu atımlı ve transtansiyonel karakteri, bu havzaların açılma mekanizmalarını doğrudan etkiler. Çakıllı (ÇH) ve Gürdükçayı Havzaları (GH), fay segmentleri arasındaki sıçrama ve kavis alanlarında gelişmiş daha küçük ölçekli çöküntü alanlarıdır (Şekil 2).



Şekil 2. a) GFZ ve çevresinin jeoloji haritası (Bu çalışma kapsamında haritalama yapılmıştır, sahada ulaşılamayan yerlerin verisi Emre vd., 2011; Akbaş vd., 2011; Akyürek ve Soysal, 1983; Erkül vd., 2005a ve b; 2010'dan alınmıştır), **b)** GFZ'nin segment yapısı, fay yüzey geometrisi ve kinematik analiz lokasyonlarını gösteren harita. Kısaltmalar; GFZ: Gelenbe Fay Zonu, SS: Simav Fay Zonu, Sındırgı Segmenti, AF: Akhisar Fayı, DFZ: Düvertepe Fay Zonu, DK1-4: Doğu segment kol 1-4; BK1-5; Batı segment kol 1-5; BH: Bigadiç Havzası; SH: Sındırgı Havzası; ÇH: Çakıllı Havzası, KH: Kırkağaç Havzası; GH: Gürdükçayı Havzası AH: Akhisar Havzası.

Figure 2. a) Geological map of the GFZ and its surroundings (mapping was conducted within the scope of this study; data for inaccessible field areas were compiled from Emre et al., 2011; Akbaş et al., 2011; Akyürek and Soysal, 1983; Erkül et al., 2005a & b; 2010), **b)** Map showing segment structure, fault surface geometry, and kinematic analysis locations on the GFZ. Abbreviations: GFZ: Gelenbe Fault Zone, SS: Simav Fault Zone, Sındırgı Segment, AF: Akhisar Fault, DFZ: Düvertepe Fault Zone, DK1-4: East segment strands 1-4; BK1-5: West segment strands 1-5; BH: Bigadiç Basin; SH: Sındırgı Basin; ÇH: Çakıllı Basin; KH: Kırkağaç Basin; GH: Gürdükçayı Basin, AH: Akhisar Basin.

Segment Özellikleri ve Fay Geometrisi

GFZ, genel uzanımı KKD-GGB gidişli birbirine yaklaşık paralel Doğu ve Batı olmak üzere iki ana segmentten meydana gelmektedir. Saha gözlemleri ve 1/25.000 ölçekli haritalama çalışmaları sonucunda, bu segmentlerin geometrik özellikleri ve alt fay kolları detaylandırılmıştır (Şekil 2). Doğu segment yaklaşık 35 km uzunluğunda olup genel uzanımı K-G ile K10-20°D arasında değişen dört ana fay kolundan meydana gelmektedir (DK1-4). En güneyde yer alan ve yaklaşık 4,1 km uzunluğa sahip DK1 kolu, Camönü kuzeyinden başlayarak Yenice ve Karaköy üzerinden kuzeydoğuya doğru uzanmaktadır. Karaköy civarında K-G doğrultusuna kavis yaparak yaklaşık 250 m'lik sol yanıl sıçrama göstermektedir. DK2 kolu Karaköy kuzeyinde belirgin çizgisellik sunmakta ve yaklaşık 4,5 km boyunca K5°D doğrultusunda ilerleyerek Çanakçı güneyine ulaşmaktadır. Bu kesimde yaklaşık 2,2 km'lik sağ yanıl sıçrama ile yaklaşık 20 km uzunluğundaki DK3 koluna geçiş gözlenmektedir. Segmentin en belirgin yapılarından biri olan DK3 kolu güneyde Muştular civarında Gürdük Çayı'na paralel (yaklaşık K20°D) uzanım sunarken kuzeye doğru doğrultu değiştirerek önce K-G, ardından K10°B doğrultusuna doğru yönelmektedir. Kobaşdere-Akkocalı arasında tekrar K-G doğrultusunda izlenen bu kol, kuzeyde çatallanarak DK4 ile bağlantı eğilimi göstermektedir. Yaklaşık 11 km uzunluğundaki DK4 kolu, dağlık alan içerisinde K20°D uzanımlı, derin ve çizgisel vadiler boyunca izlenmekte ve Eğridere kuzeyinde sonlanmaktadır (Şekil 3).

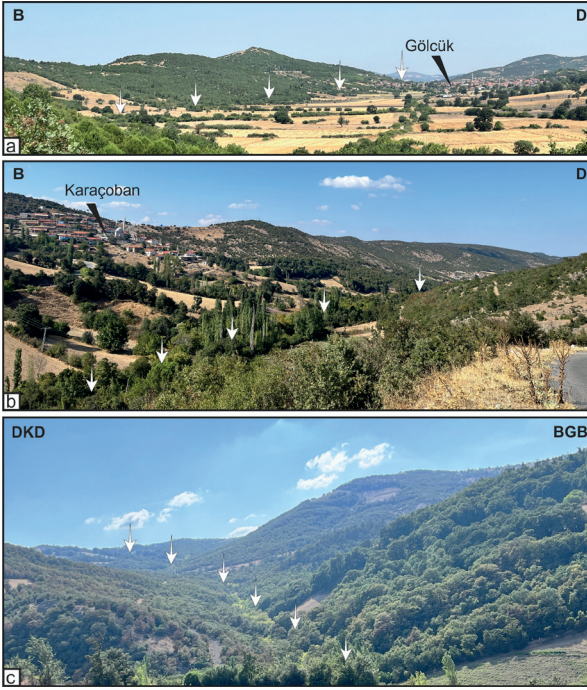
Batı segment, uzanımı K-G ile K35°D arasında değişen 5 fay kolundan (BK1-5) oluşmakta olup, morfolojik olarak belirgin çizgisel gidişli derin vadilerle temsil edilmektedir. En güneydeki BK1 kolu, Kadı Dağı kuzeydoğusundan başlayarak Selçikli-Dolmadeğirmen arasında yaklaşık 5 km boyunca uzanmaktadır. Bunun kuzeyinde yer alan paralel kollardan doğudaki BK2 kolu yaklaşık 10 km uzunluğunda olup K15°D doğrultusunda devam etmektedir.



Şekil 3. GFZ'nin morfolojik izlerini gösteren saha fotoğrafları. **a)** Akkocalı kuzeyinde DK4 fay kolu, **b)** Akkocalı ile Kobaşdere arası DK3 fay kolu, **c)** Eğridere kuzeyinde DK4 fay kolu, **d)** Kurtulmuş güneyi DK3 fay kolu.

Figure 3. Field photographs showing the morphological traces of the GFZ. **a)** DK4 fault strand north of Akkocalı, **b)** DK3 fault strand between Akkocalı and Kobaşdere, **c)** DK4 fault segment north of Eğridere, **d)** DK3 fault strand south of Kurtulmuş.

Batıdaki BK3 kolu ise Alifakı doğusundan başlayarak yaklaşık 8 km boyunca kuzeydoğuya uzanmakta ve Yaykın batısında sol yanıl sıçrama ile BK4 koluna bağlanmaktadır. Batı segmentin en uzun kolu olan BK4 yaklaşık 23 km uzunluğundadır. Güneyde Çaltıcak civarında K-G doğrultusundan K20°D doğrultusuna doğru kavis yapan bu kol, kuzeye doğru Eğridere ve Hacet üzerinden K25°D doğrultusunda çizgisel bir morfoloji sunarak Gölcük doğusunda sonlanmaktadır. En kuzeyde yer alan BK5 kolu ise yaklaşık 8 km uzunluğunda olup Gölcük güneyinden geçmekte, kuzeye doğru yay geometrisi sergileyerek KD doğrultusuna yönelmekte ve Akçakısrak doğusunda sonlanmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. GFZ'nin morfolojik izlerini gösteren saha fotoğrafları. **a)** Gölçük yerleşim alanı güneyinde BK5 fay kolu, **b)** Karaçoban ile Hacet arasında ve **c)** Hacet ile Armutcuk köyleri arasında morfolojik olarak çizgisel gidişli derin vadiler ile tipik BK4 fay kolu.

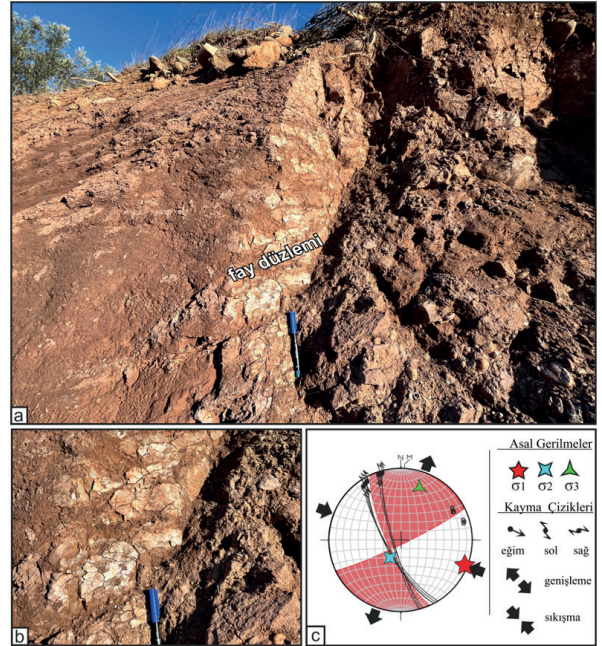
Figure 4. Field photographs showing the morphological traces of the GFZ. **a)** BK5 fault strand south of the Gölçük settlement area, **b)** between Karaçoban and Hacet, and **c)** between Hacet and Armutcuk villages, displaying morphologically linear, deeply incised valleys and the typical BK4 fault strand.

Paleostres Analiz Sonuçları ve Rejim Karakteri

GFZ boyunca Doğu ve Batı segmentleri üzerinde ve yakın civarında toplam 12 lokasyonda iyi korunmuş fay düzlemleri tespit edilmiş ve bu kayma yüzeylerinden 132 adet kinematik ölçüm toplanmıştır (Şekil 2; Çizelge 1).

Çalışma alanı içerisinde yer alan Karaköy yerleşim alanının kuzeydoğusunda Doğu segmentin güney ucuna yakın bir bölgede Lokasyon 1'de (L1) yapılan ölçümler, doğrultuları K15°B ila K32°B, eğim açıları ise 72° ila 82° arasında değişen GB'ya eğimli antitetik özellikli

ikincil kırık düzlemleri üzerinde 3° ila 10° arasında değişen rake/sapma açılarına sahip kayma çizikleri ölçülmüştür (Şekil 5). Kinematik göstergeler faylanma karakterinin sol yönlü doğrultu atımlı olduğuna işaret etmektedir. Bu lokasyonda toplanan 7 adet kinematik ölçümün paleogerilme analizine göre σ_2 (211°/66°)'nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 (111°/04°) ve σ_3 (020°/23°)'ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.283 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 'nin düşeyde ve ekstenel oranının 1 ila 0,75 arasında olması, bu fayın BKB-DGD yönlü sıkışma ve KKD-GGB yönlü genişleme ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 5. Lokasyon 1'de (L1) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 5. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 1 (L1) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Çizelge 1. Çalışma alanı içerisinde kayma yüzeylerinden toplanan kinematik verilerin paleostres analiz sonuçları. Kısaltmalar: L: Lokasyon, D: Doğrultu, SOLY: Sol yönlü doğrultu atımlı, SAĞY: Sağ yönlü doğrultu atımlı, EN: Eğim atımlı normal, ON: Oblik atımlı normal, ANK: Antitetik ikincil kırık, SNK: Sintetik ikincil kırık, AK: Ana fay kırığı.

Table 1. Paleostress analysis results from kinematic data collected from slip surfaces within the study area. Abbreviations: L: Location, D: Strike, SOLY: Left lateral strike-slip, SAĞY: Right lateral strike-slip, EN: Dip-slip normal, ON: Oblique-slip normal, ANK: Antithetic secondary fault, SNK: Synthetic secondary fault, AK: Main/principal fault.

Fay kolu	L	D	Fay türü	Kırık türü	Veri Sayısı	σ_1	σ_2 (Derece)	σ_3	Φ	Max ANG
DK3	L1	KB-GD	SOLY	ANK	7	111/04	211/66	020/23	0,283	8
DK4	L2-R1	KD-GB	ON	AK	8	065/53	272/34	173/13	0,357	11
	L2-R2	KD-GB	EN	AK	8	089/85	228/04	318/03	0,447	2
BK4	L3	KD-GB	SOLY	ANK	9	030/17	211/73	120/00	0,373	2
DK3	L4	KKD-GGB	SAĞY	AK	10	225/74	056/16	326/03	0,896	11
DK3	L5	KD-GB	ON	AK	10	091/59	267/31	358/02	0,397	6
BK5	L6	KD-GB	ON	SNK	14	155/76	247/01	337/14	0,655	20
BK4	L7	KD-GB	SAĞY	AK	12	060/40	265/47	161/13	0,788	22
BK4	L8	KB-GD	SOLY	ANK	13	249/10	126/72	342/14	0,446	20
BK4	L9	KD-GB	SAĞY	SNK	10	289/03	024/62	197/28	0,180	13
BK4	L10	KB-GD	SOLY	ANK	9	085/08	313/78	176/09	0,378	4
DK3	L11	KKB-GGD	SOLY	ANK	6	285/17	112/73	016/02	0,592	5
BK4	L12	KKB-GGD	SOLY	ANK	16	279/13	150/70	013/15	0,389	11

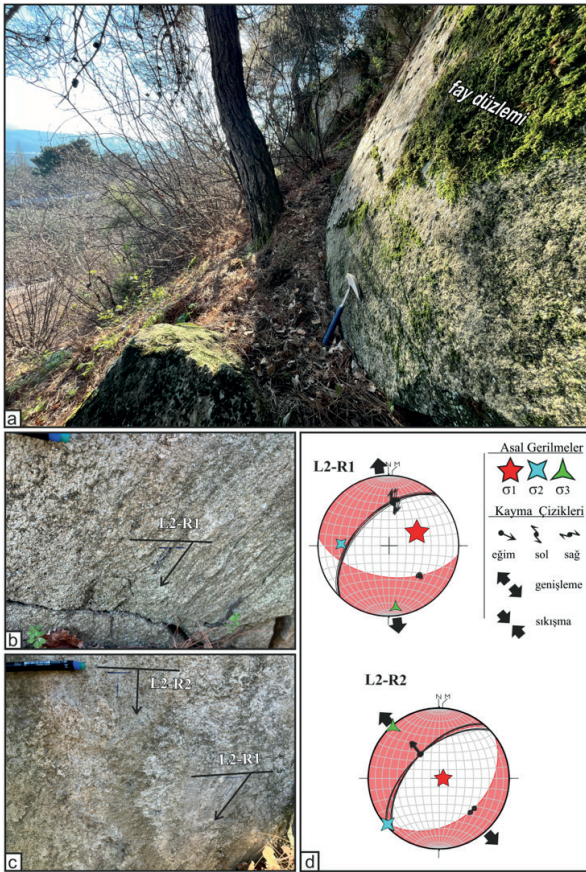
Doğu segmentin en kuzeyinde Eğridere yakınlarında yer alan L2'deki K40°D ile K46°D fay düzlemlerinden alınan ölçümlerde 2 farklı faza işaret eden kayma çizikleri gözlenmektedir (Şekil 6).

Arazi gözlemlerinde, bu fay üzerinde sağ yanal ve normal bileşenli oblik faylanmayı işaret eden kayma çiziklerinin, yüksek rake açlarına sahip normal faylanma tarafından üzerlendikleri görülmektedir. KD-GB doğrultulara sahip faylarda 52° ile 47° arasında değişen kayma çizikleri seti ile (L2-R1) 86°-83° arasında değişen kayma çizikleri seti (L2-R2) ayrı ayrı analiz edilmiştir. L2-R1 lokasyonundan elde edilen kinematik verilere göre σ_1 (065°/53°)'in düşeye yakın dalımlı, σ_2 (272°/34°) ve σ_3 (173°/13°)'ün ise nispeten yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.357 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_1 'in düşeye daha yakın ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması bu fayın

yaklaşık K-G yönlü saf genişlemeli tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir. L2-R2 lokasyonunda yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre, σ_1 (089/85)'in düşeye yakın dalımlı, σ_2 (228°/04°) ve σ_3 (318°/03°)'ün ise neredeyse yatayda ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.447 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_1 'in düşeyde ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması, üzerinde çalışılan bu fayın yaklaşık KB-GD yönlü saf genişlemeli tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.

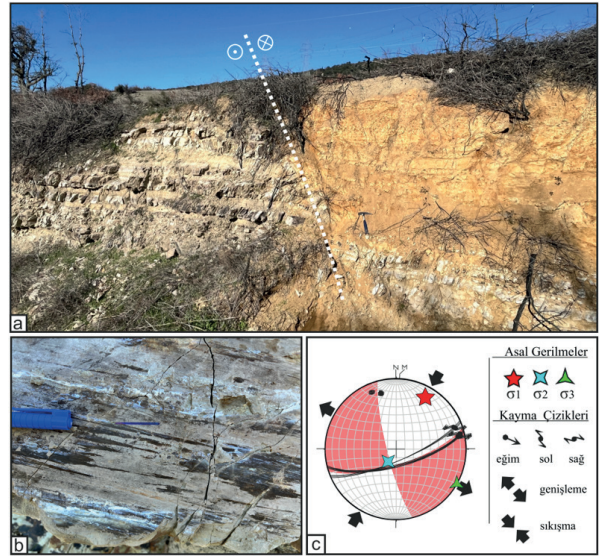
Zonun batı segmenti üzerinde, Çaltıcak kuzeyinde yüzlek veren Miyosen yaşlı volkanoklastik birimler içerisinde yer alan antitetik ikincil kırıkların gözlemlendiği L3'te sol yanal harekete işaret eden kinematik göstergeler gözlenmiştir. K66°D ile K76°D doğrultuya ve 69° ile 76° arasında değişen eğime sahip kayma düzlemleri üzerinde, 8° ile 14° arasında değişen rake açıları ölçülmüştür (Şekil 7) Elde edilen verilere göre, bu lokasyonda toplanan

9 adet fay yüzeyi ölçümünden edilen verilere göre, σ_2 ($211^\circ/73^\circ$)'nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 ($030^\circ/17^\circ$)'in yataya yakın ve σ_3 ($120^\circ/00^\circ$)'ün ise yatayda olduğu, gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.373 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre, σ_2 'nin düşeyde ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması üzerinde çalışılan bu fayın KD-GB yönlü sıkışma ve KB-GD yönlü genişleme ile ilişkili baskın olarak sol yönlü, minör normal bileşene sahip doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 6. Lokasyon 2’de (L2) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

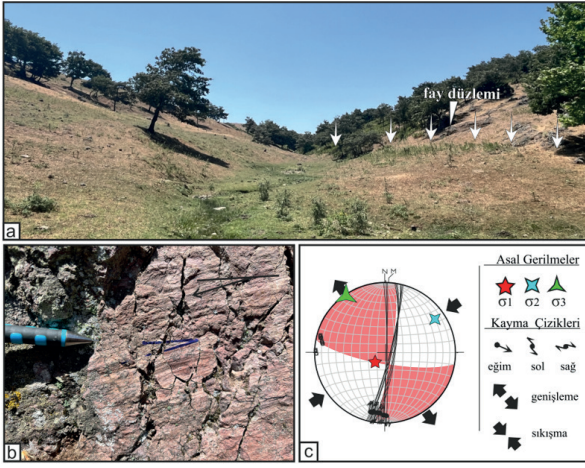
Figure 6. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 2 (L2) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).



Şekil 7. Lokasyon 3’de (L3) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

Figure 7. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 3 (L3) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

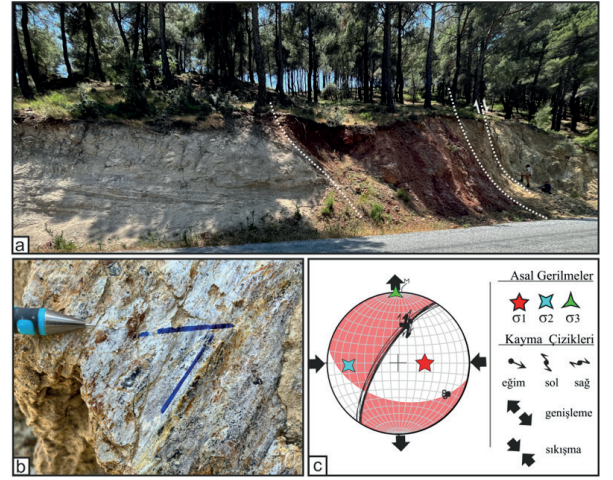
L4 lokasyonunda yapılan saha gözlemlerine göre, K01°D ila K15°D doğrultularında, 78° ila 88° arasında değişen güneydoğuya eğimli iyi korunmuş fay düzlemleri gözlemlenmiştir (Şekil 8). Kayma düzlemleri üzerinde 11° ila 16° arasında kayma çizikleri ölçülmüştür. Fay kertikleri gibi kinematik göstergeler, fayın sağ yanal doğrultu atımlı karakterine işaret etmektedir. Kayma yüzeyinden toplanan 10 adet ölçümün paleostres analizlerine göre, σ_1 ($225^\circ/74^\circ$)'in düşeye yakın dalımlı, σ_2 ($056^\circ/16^\circ$) ve σ_3 ($326^\circ/03^\circ$)'ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.896 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_1 'in düşeyde ve eksenel oranın 0,75 ila 1 arasında olması bu fayın yaklaşık KD-GB yönlü sıkışma ilişkili KB-GD yönlü genişlemeli tektonik rejim etkisinde transtansiyonel ortamda geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 8. Lokasyon 4’de (L4) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

Figure 8. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 4 (L4) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

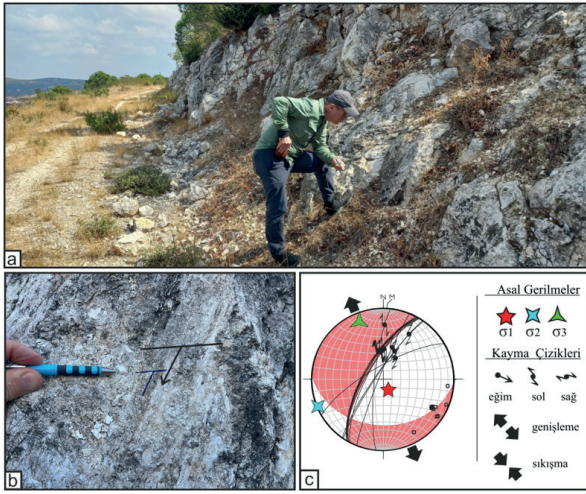
Doğu segment üzerindeki Kocabaşdere güneyinde yer alan, K31°D ila K36°D doğrultularına, 78° ila 88° eğim açlarına ve GD eğim yönüne sahip fay düzlemleri gözlenmiştir (L5, Şekil 9). Fay düzlemlerinde gözlenen ve 42° ila 51° arasında değişen kayma çizikleri ve diğer kinematik göstergeler sağ yanal bileşene sahip oblik atımlı normal faylanmaya işaret etmektedir. Toplanan ölçümlerin paleogerilme analizlerine göre, σ_1 (091°/59°)’in düşeye daha yakın dalımlı, σ_2 (267°/31°) ve σ_3 (358°/02°)’ün ise sırasıyla yataya daha yakın dalımlı ve neredeyse yatayda olduğu hesaplanmıştır. Gerilme elipsoidi (eksenel oran; Φ) 0.397 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_1 ’in düşeye yakın ve eksenel oranının 0,25 ile 0,75 arasında olması bu fayın yaklaşık K-G yönlü saf genişlemeli tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 9. Lokasyon 5’de (L5) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

Figure 9. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 5 (L5) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Batı segment üzerinde yer alan Gölcük güneyindeki derin vadi kenarında K22°D ila K60°D doğrultuya, 67° ila 85° eğim açlarına sahip ve KB’ya eğimli fay düzlemleri gözlenmiştir (L6, Şekil 10). İyi korunmuş düzlemler üzerinde ölçülen fay çizikleri rake açıları 25° ila 66° arasında değişmekte olup, fayın karakteri sağ yanal bileşene sahip oblik atımlı normal fay karakterinde olduğu gözlenmiştir. Kayma çiziklerinden elde edilen paleogerilme analiz sonuçlarına göre σ_1 (155°/76°)’in düşeye yakın dalımlı, σ_2 (247°/01°) ve σ_3 (337°/14°)’ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.655 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_1 ’in düşeyde ve eksenel oranının 0,25 ile 0,75 arasında olması, bu fayın yaklaşık KB-GD yönlü saf genişlemeli tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.

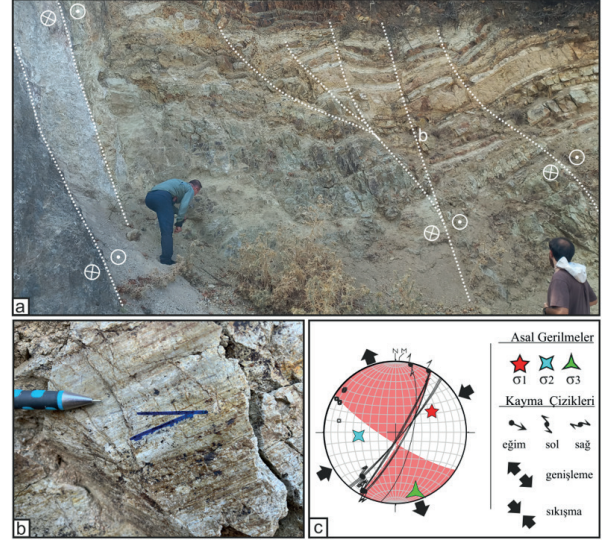


Şekil 10. Lokasyon 6'da (L6) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 10. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 6 (L6) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Batı segment üzerinde Kocaçoban kuzeyindeki Kocagedik mevkiinde yer alan 7. lokasyonda gözlemlenen sentetik ikincil fay düzlemleri ölçülmüştür (Şekil 11). Elde edilen verilere göre düzlemlerin doğrultuları K12°D ila K41°D arasında, eğim açıları ise 70° ila 85° arasında değişmektedir ve düzlemler GD'ya eğimlidir. İyi korunmuş düzlemler üzerinde 01° ila 24° arasında değişen rake açılarına sahip fay çizikleri faylanma mekanizmasının doğrultu atımlı karakterine işaret etmektedir. Kinematik göstergelere göre fayın karakteri sağ yanaldır. Bu lokasyonda ölçülen 12 kayma yüzeyi verisinin paleogerilme analiz çalışmalarından elde edilen verilere göre, σ_2 (265°/47°)'nin düşeye daha yakın dalımlı, σ_1 (060°/40°) ve σ_3 (161°/13°)'ün ise yataya daha yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.604 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 'nin düşeyde ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması, bu fayın KD-GB yönlü sıkışma ve KB-GD yönlü

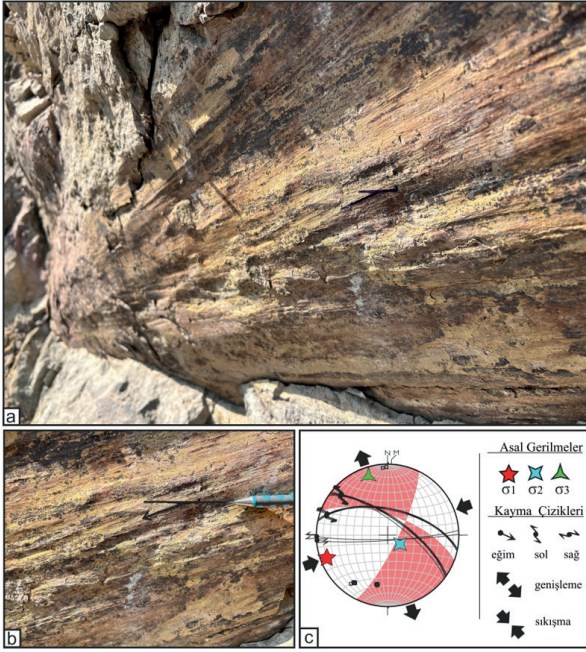
genişleme ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 11. Lokasyon 7'de (L7) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu. A'da sunulan saha fotoğrafı güneye bakılarak çekilmiştir. (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 11. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 7 (L7). Field photograph in A was taken looking south (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Karaçoban yerleşim alanının kuzeyinde yer alan L8 lokasyonunda K53°B ile yaklaşık D-B doğrultuya, 59° ila 85° arasında eğim açısına sahip antitetik ridel özellikli ikincil fay düzlemleri üzerinde 01° ila 16° rake açılarına sahip fay çiziklerinden elde edilen kinematik analizlere göre, σ_2 (126°/72°)'nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 (249°/10°) ve σ_3 (342°/14°)'ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.447 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 'nin düşeyde ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması, bu fayın KD-GB yönlü sıkışma ve KB-GD yönlü genişleme ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 12).

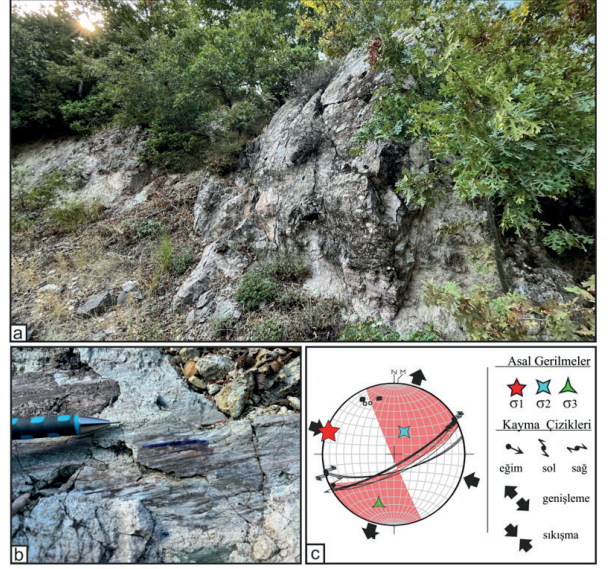


Şekil 12. Lokasyon 8’de (L8) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

Figure 12. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 8 (L8) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Batı segment üzerinde Hacet ile Karaçoban yerleşim alanları arasındaki vadi içerisinde yer alan L9 lokasyonunda yapılan arazi gözlemlerinde ise K59°D ila K75°D doğrultularına sahip sentetik ikincil fay düzlemleri gözlenmiştir (Şekil 13). GD’ya eğimli, 79° ila 68° arasında değişen eğim açılarına sahip kayma düzlemleri üzerinde düşük rake açıları (01° ila 08°) ölçülmüş, hareketin sağ yanal özellikte olduğu gözlemlenmiştir. Bu lokasyonda toplanan 10 adet ölçünün paleogerilme analiz sonuçlarına göre σ_2 (024°/62°)’nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 (289°/03°) ve σ_3 (197°/28°)’ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.180 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 ’nin düşeyde ve eksenel oranının 0,25 ile 0 arasında olması, sağ yanal doğrultu atımlı bu fayın KB-GD yönlü

sıkışma ve KD-GB yönlü genişleme ile ilişkili transpresyonel tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.

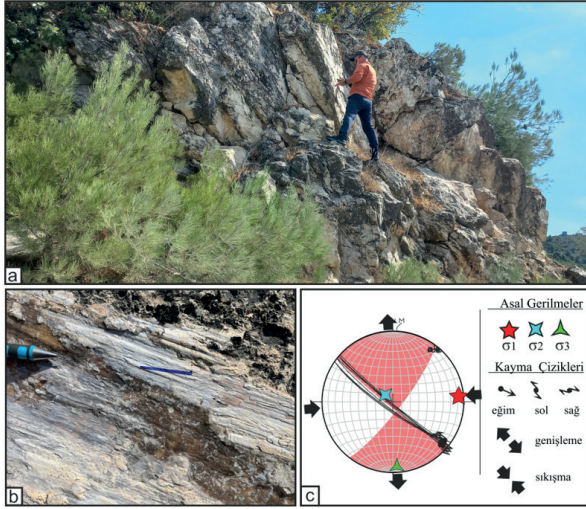


Şekil 13. Lokasyon 9’da (L9) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2’ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1’e bakınız).

Figure 13. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 9 (L9) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Batı segmentin güney bölümündeki Alifakı yerleşim alanı kuzeyinde gözlenen iyi korunmuş antitetik ikincil kırık düzlemlerinde sol yanal doğrultu atımlı faylanmaya işaret eden ölçümler yapılmıştır (Şekil 14). Yapılan ölçümlere göre, K48°B ila K55°B doğrultularına sahip GB’ya eğimli fay düzlemlerinin eğim açıları 79° ila 88° arasındadır. Kayma düzlemleri üzerinde ölçülen rake açıları 07° ila 13° arasında değişmektedir. Elde edilen verilere göre, σ_2 (313°/78°)’nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 (085°/08°) ve σ_3 (176°/09°)’ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.378 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 ’nin düşeyde ve eksenel oranının 0,25 ile 0,75 arasında olması, bu fayın

yaklaşık K-G genişleme ve yaklaşık D-B yönlü sıkışma ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.

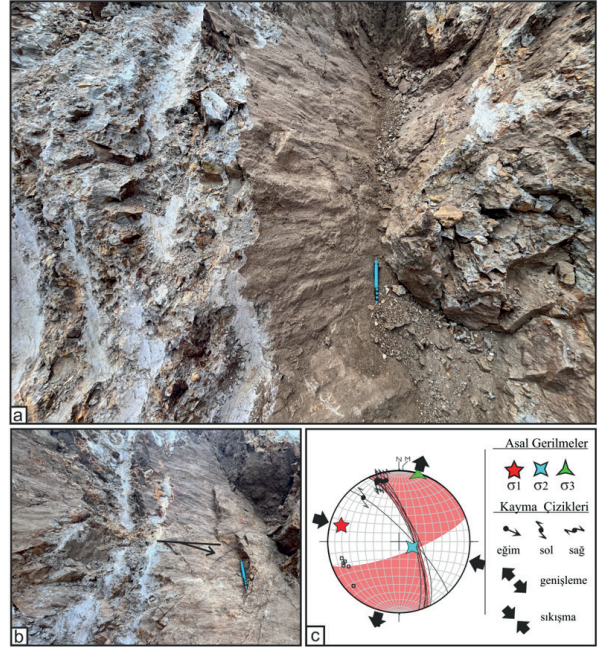


Şekil 14. Lokasyon 10'da (L10) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 14. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 10 (L10) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Doğu segmente ait 3 numaralı fay kolu üzerinde paleosismolojik amaçlı açılan bir hendek içerisinde yer alan lokasyon 11'e ait verilere göre, antitetik özellikli ikincil fay düzlemlerinin doğrultuları K21°B ila K44°B arasında ve KD'ya doğru eğimlidir. Eğim açıları 68° ila 78° arasında ölçülmüştür. Fay düzlemi üzerindeki fay çiziklerinin yatay düzlem ile arasındaki açılar ise 10° ila 22° arasında değişmektedir. Bu lokasyondan toplanan kinematik verilerin paleogerilme analiz sonuçlarına göre σ_2 (112°/73°)'nin düşeye yakın dalımlı, σ_1 (285°/17°) ve σ_3 (016°/02°)'ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.592 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 'nin düşeyde ve

eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması, sol yanal doğrultu atımlı bu fayın BKB-DGD yönlü sıkışma ve KKD-GGB yönlü genişleme ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 15).

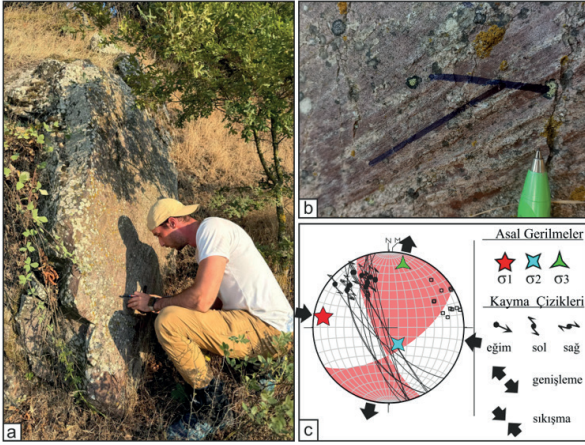


Şekil 15. Lokasyon 11'de (L11) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 15. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 11 (L11) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

Batı segment üzerinde yer alan fay düzleminde, K10°B ila K48°B doğrultu, 59° ila 88° arasında eğim ve 10° ila 40° arasında kayma çizikleri ölçülmüştür (Lokasyon 12, Şekil 16). Bu gözlemler makaslama zonu içerisindeki antitetik özellikteki ikincil kırıkların sol yanal baskın hareketini işaret etmektedir. Bu lokasyonda yapılan kinematik analiz ölçümlerinden elde edilen verilere göre, σ_2 (150°/70°)'nin düşeye

yakın dalımlı, σ_3 ($013^\circ/15^\circ$) ve σ_1 ($279^\circ/13^\circ$)'ün ise yataya yakın dalımlı ve gerilme elipsoidinin (eksenel oran; Φ) 0.389 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre σ_2 'nin düşeyde ve eksenel oranın 0,25 ile 0,75 arasında olması, bu fayın yaklaşık D-B yönlü sıkışma ve yaklaşık K-G yönlü genişleme ile ilişkili saf doğrultu atımlı tektonik rejim etkisinde geliştiğine işaret etmektedir.



Şekil 16. Lokasyon 12'de (L12) gözlenen fay düzlemleri, fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analizi sonucu (Lokasyon için Şekil 2'ye, ölçüm ve analiz parametreleri için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 16. Observed fault planes, fault-plane solutions, and paleostress analysis results at Location 12 (L12) (see Figure 2 for the location; see Table 1 for measurement and analysis parameters).

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

GFZ, Batı Anadolu'da, Balıkesir iline bağlı Bigadiç ile Manisa İline bağlı Akhisar arasında yer alan ve morfolojik olarak KKD-GGB uzanımlı derin vadileri belirgin şekilde denetleyen diri bir yapıdır. Genel uzanımı KKD-GGB gidişli birbirine yaklaşık paralel/yarı paralel Doğu ve Batı olmak üzere iki ana segmentten meydana gelmektedir. Bu çalışmada ise 2011 yılında güncellenen ve 1/250.000 ölçeğinde sunulan TDFH'de (Emre vd., 2011; 2018; Duman vd., 2018) tanımlanan

faylar arazide gözlenmiş ve ilk defa 1/25.000 ölçeğinde haritalanmıştır. Doğu segment yaklaşık 35 km uzunluğunda olup, genel uzanımı K-G ile K10-20°D arasında değişen dört ana fay kolundan meydana gelmektedir. Batı segment ise, uzanımı K-G ile K35°D arasında değişen 5 fay kolundan oluşmakta olup morfolojik olarak belirgin çizgisel gidişli derin vadilerle temsil edilmektedir. Bu çalışmada doğu ve batı segment içerisinde tanımlanan tüm fay kolları, Emre vd. (2011) tarafından tanımlanan TDFH ile birebir uyumludur, BK5, BK4, DK4 ve DK3 numaralı fay kolları ise Seyitoğlu vd. (2022) tarafından haritalanan faylar ile genel olarak örtüşmektedir. Bu çalışmada elde edilen saha gözlemleri, zonun çok kollu bir mimariye sahip olduğunu ve segmentler arasında basamaklı sıçramalar (step-over), çatallanmalar ve bükülmenmeler gibi yüzey geometrisinde süreksizlikler ve değişimler barındırdığını göstermektedir. GFZ'nin genel geometrisi incelendiğinde, segmentlerin sıçrama ve kavis yaptığı alanlarda gelişen mikro-topografik yapılar, zonun sağ yönlü doğrultu atımlı karakterini yansıtan önemli morfolojik veriler sunmaktadır. Sağ yönlü makaslama zonu içerisinde çok sayıda sentetik ve antitetik özellikli KB-GD ve KD-GB uzanımlı ikincil kırıklar gözlenmiştir. Fayın geometrik süreksizlikleri ve çok kollu yapısı, olası kırılma senaryoları ve maksimum deprem büyüklüğü değerlendirmeleri için kritik kısıtlar sunmaktadır. Emre vd. (2018) ve Duman vd. (2018) tarafından sunulan segment uzunluklarına dayalı ampirik hesaplamalar, her iki segmentin de Mw 6,9 büyüklüğüne kadar deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

12 lokasyondan alınan 132 adet kinematik ölçüm, fay kollarının kıvrımlı yüzey geometrisinin sebep olduğu fay bükümleri ile oluşan yerel gerilme değişimleri ve geniş makaslama zonu içerisinde gelişen antitetik ve sentetik ikincil kırıkların varlığına işaret etmektedir. 1, 5, 9, 10, 11, 12 numaralı lokasyonların paleogerilme analiz sonuçları, bu fayların yaklaşık D-B ile

BKB-DGD yönlü sıkışma ve K-G ile KKD-GGB yönlü genişleme etkisi altında şekillendiğine işaret etmektedir. Bu lokasyonlarda hesaplanan paleogerilme analizleri İBTZ boyunca saha çalışmalarından elde edilen ve Pliyosen sonrası döneme (faz 2) atfedilen önceki çalışmalar ile uyum göstermektedir (örn. Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Uzel ve Sözbilir, 2008; Sözbilir vd., 2011; Uzel vd., 2013; 2015; Özkaymak vd., 2013). Lokasyon 3, 4, 7 ve 8'de ölçülen değerlerin paleogerilme analizleri ise yaklaşık KD-GB yönlü sıkışma ilişkili KB-GD yönlü genişlemeli bir tektonik rejime işaret etmektedir. Benzer hesaplamalar İBTZ boyunca Manisa bölgesinde de gözlenmiş olup (Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Sözbilir vd., 2011), ilgili çalışmalarda batı Anadolu'da tanımlanan (Dumont vd., 1979; Angelier vd., 1981; Koçyiğit vd. 1999, Kaya vd., 2004; 2007; Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Uzel ve Sözbilir, 2008) Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sıkışmalı evre (faz 1) ile ilişkilendirilmiştir. Bununla beraber, Lokasyon 2 ve 6'daki KD-GB uzanımlı fay düzlemleri üzerindeki analizler GFZ'nin kuzey kolları üzerinde KB-GD yönlü genişlemeye işaret etmektedir. Bu genişleme olasılıkla, Batı Anadolu'daki Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sıkışmalı evrenin günümüzde etkili olan yaklaşık K-G yönlü genişleme ilişkili evreye geçişi ile ilişkili olabilir. İBTZ içerisinde Soma bölgesi ve çevresinde gerçekleştirilen Paleomanyetizma çalışmaları (Westerweel vd., 2020), Çandarlı Körfezi ile Sındırgı arasında kalan bölgenin Geç Miyosen'den günümüze kadar olan zamanda, yaklaşık -21° saat yönünün tersine bir rotasyona uğradığından bahsedilmektedir. Araştırmaya göre, bu dönemde KD-GB gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylanmanın dağılımı daralmış ve D-B gidişli normal fayların oluşumundan ayrılmıştır. Pliyosen'den günümüze değin İBTZ içerisinde etkili olan saat yönünün tersine -23° rotasyon Uzel vd. (2015) tarafından Kuşadası Körfezi ile Soma arasında kalan alanda yapılan paleomanyetizma çalışmasında da belgelenmiştir. Bu durum, bu

çalışmada ölçülen düzlemlerin, özellikle faz 1'e ait olanların yaklaşık 21 ila 23° değerlere kadar saatin tersi yönünde rotasyona uğramış olabileceğine işaret etmektedir.

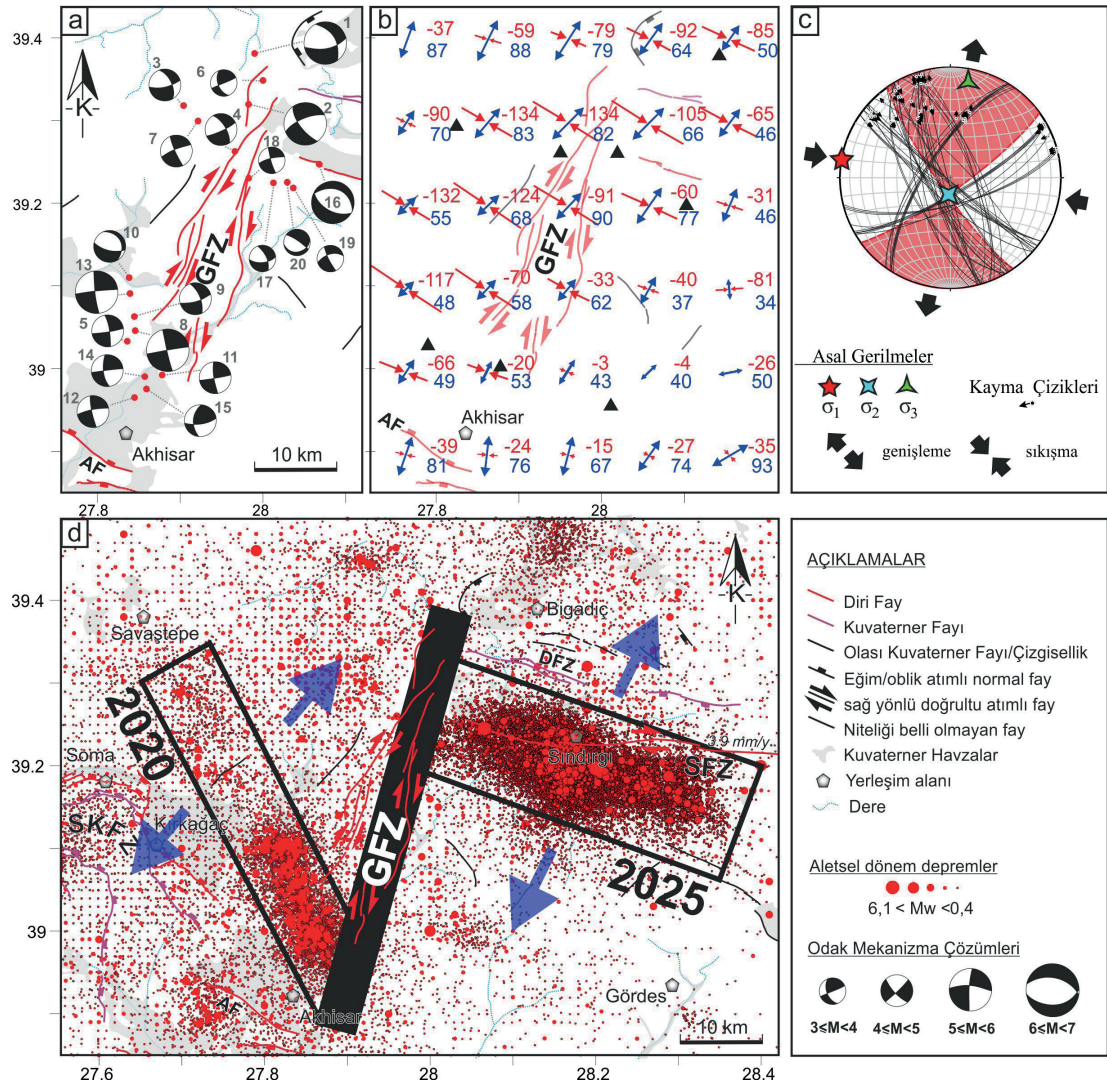
Çalışılan alan içerisinde, moment büyüklükleri (M_w) 3,8 ila 6,1; derinlikleri ise 4 ila 21,2 km arasında değişen (en sık tekrar eden ortalama derinlik, mod, 10-13 km) 20 adet depreme ait odak mekanizma çözümü yapılmıştır (Şekil 17a ve Çizelge 2). Bu depremlerden 5 adedi (16 ila 20 numaralı depremler arası) 10.08.2025 tarihinde GFZ'nin doğusunda meydana gelen Sındırgı ($M_w:6,1$) ana şok ve daha sonra bu zon ve yakın çevresinde meydana gelen depremlere aittir. 10.08.2025 yılına ait ana şokun odak mekanizması çözümü (16, Şekil 17a), depremi üreten kaynak fayın BKB-DKD uzanımlı olduğuna ve bölgedeki KKD-GGB yönlü genişlemeye işaret etmektedir. 18 numaralı odak mekanizma çözümüne ait depremin dışmerkezi, GFZ'nin Hacet Köyü yakınlarında haritalanan DK4 kolu üzerindedir. Bu durum, 10.08.2025 Sındırgı Depremi ($M_w:6,1$) sonrasında, GFZ üzerinde etkili olan gerilimin, zonun doğu segmenti (DK4) üzerinde $M_w:4,0$ büyüklüğündeki bir depreme neden olduğuna işaret etmektedir. Bununla beraber aletsel dönem boyunca GFZ ve yakın civarında meydana gelen depremler baskın olarak doğrultu atımlı mekanizma sunmaktadır. Bu odak mekanizmaları ve mikrosismik aktivite kümelenmelerinin analizleri, zon içerisindeki bazı depremlerin KD-GB uzanımlı ana kırık üzerinde, bazılarının ise KB-GD uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı antitetik ikincil kırıklar üzerinde meydana geldiğine işaret etmektedir. Bazı araştırmacılar, 22 Ocak 2020 ($M_w 5,5$) sonrası sismik etkinliklerin GFZ ile ilişkilendirirken Seyitoğlu vd. (2022) bu depremleri makaslama zonu içerisinde KB-GD uzanımlı kırıkların aktivitesi olarak yorumlamışlardır. Solak (2020) tarafından, İBTZ ve çevresindeki güncel deformasyonların GNSS yöntemi ile incelenmesi sonucu elde edilen yıllık güncel gerinimler, GFZ boyunca KB-GD yönlü sıkışma

ilişkili KD-GB yönlü genişlemeli bir ortamın zon boyunca etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle zonun kuzey bölümüne doğru artan sıkışma değerleri (-91 ila -134 nanostrain/yıl) dikkat çekmektedir (Şekil 17b). Bu çalışmada, faz 2 olarak tanımlanan lokasyonlarda (1, 5, 9, 10, 11, 12 numaralı lokasyonlar) toplanan tüm verilerin bir arada yorumlanması ile elde edilen stereografik izdüşüm diyagramı, Pliyosen sonrası dönem ile ilişkilendirilen BKB-DGD yönlü sıkışma ilişkili KKD-GGB yönlü genişlemeli paleogerilme analizi sunmaktadır. Elde edilen veriler, İBTZ içerisinde daha önce tespit edilen paleogerilme analizleri (örn. Özkaymak ve Sözbilir, 2008; Uzel ve Sözbilir, 2008; Sözbilir vd., 2011; Özkaymak vd., 2013; Uzel vd., 2013; 2015) ile birebir uyumlu iken güncel gerinim analizleri (Solak, 2020; Solak vd., 2024) ile benzerlik sunmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen faz 2'ye ait tüm ölçümlerin fay düzlemi çözümü, doğrultu atımlı bir mekanizmaya işaret etmektedir (Şekil 17c). Fay yüzeyi ölçümlerinden hesaplanan çözüm, KB-GD uzanımlı sol yönlü ve KD-GB uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı iki düzlemi hesaplamıştır ve bölgede meydana gelen depremlerin büyük bir kısmının odak mekanizma çözümleri ile benzerlik göstermektedir (Şekil 17c).

Bununla beraber, GFZ boyunca hesaplanan ortalama güncel gerinimler (jeodezik ölçümler) ile paleogerilme (jeolojik ölçümler) analizlerinin sıkışma yönleri arasında 10 ila 20° arasında değişen açı farkları gözlenmektedir. Bu fark iki şekilde açıklanabilir, 1) Pliyosen'den günümüze değin İBTZ içerisinde etkili olan -21° ila -23° arası saat yönünün tersine rotasyon (Uzel vd., 2015; Westerweel vd., 2020) GFZ üzerinde de etkili olmuştur/olmaya devam etmektedir; 2) İBTZ boyunca etkili olan σ_3 Holosen içerisinde saat yönünde rotasyona uğramıştır/uğramaktadır. Paleomanyetik analizler ile elde edilen rotasyon miktarları ile paleogerilme analizlerinin güncel gerilmeler ile korelasyonundan hesaplanan

yaklaşık farklar, ilk seçeneğin etkisine işaret etmektedir. Ancak, GFZ üzerinde paleosismolojik amaçlı açılan hendek içerisinde ölçülen bazı düzlemlerin (L11), denetlemiş olduğu kolüvyal çökellerden toplanan radyokarbon tarihlendirme örneklerinin analizi ile, Holosen aktivitesinin kanıtlanmış olması (Özcan vd., 2025 ve 2026) ikinci seçeneğin de dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, GFZ'nin yaklaşık 35 km uzunluklarda iki ana segmentten oluşan ve 8 km'ye varan genişliğe uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı bir makaslama zonu olduğuna dair fay geometrisi ve kinematığına yönelik saha kanıtları sunmaktadır. Bu makaslama zonu içerisinde 5'i batı segmentte 4'ü doğu segmentte ait toplamda 9 fay kolu haritalanmıştır. Elde edilen paleogerilme analizleri GFZ'nin Pliyosen sonrası dönemde BKB-DGD yönlü sıkışma ilişkili KKD-GGB yönlü genişlemeli bir tektonik ortamda şekillendiğini göstermektedir. GFZ ve yakın çevresinde son yıllarda meydana gelen mikrosismik aktivitelerin dışmerkez dağılımları ve deprem kümelenmeleri, yaklaşık KKD-GGB uzanımlı GFZ'nin bu depremler için bir bariyer oluşturduğuna işaret etmektedir. Zonun batısındaki 2016 yılında başlayarak 22 Ocak 2020 (Mw 5,5) depremi ile yoğunlaşan sismik aktivitelerin doğudan; zonun batısındaki 10 Ağustos 2025 Sındırgı depremi (Mw:6,1) ve sonrasındaki sismik aktivitelerin ise batıdan GFZ tarafından sınırlandığı görülmekte ve zonun doğu ve batısındaki σ_3 'ün etkin olduğu açılma alanlarındaki genişleme rejiminin transferinden sorumlu olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada elde edilen tüm veriler, GFZ'nin Batı Anadolu'nun en önemli sismik kaynaklarından birisi olan İBTZ içerisinde sağ yönlü doğrultu atımlı bir transfer yapısı olarak bölgedeki genişleme rejiminin transferinden sorumlu stratejik bir bariyer görevi gördüğüne işaret etmektedir.



Şekil 17. a) GFZ ve yakın civarında meydana gelen bazı depremlerin dışmerkezlerini ve odak mekanizma çözümlerini gösteren diri fay haritası (Diri faylar Emre vd., 2011'den alınmıştır. Çözümlerin açıklamaları ve referanslar için Çizelge 2'ye bakınız), **b)** Bölgede Jeodezik çalışmalarda elde edilen güncel gerinimler (kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, siyah üçgenler: GNSS noktaları, değerlerin birimi nanostrain/yıl, Solak, 2020), **c)** 1, 5, 9, 10, 11, 12 numaralı lokasyonların bütüncül fay düzlemi çözümleri ve paleogerilme analiz sonuçları, **d)** GFZ ve yakın civarında meydana gelen aletsel dönem depremler (01.01.1900-31.03.2026 tarihleri arasında, KRDAE, 2026) Faylar ve Kuvaterner Havzalar Duman vd. (2018) ve Emre vd. (2018)'den alınmıştır. Kısaltmalar: AF: Akhisar Fayı, DFZ: Düvertepe Fay Zonu, GFZ: Gelenbe Fay Zonu, SFZ: Simav Fay Zonu, SKFZ: Soma-Kırkağaç Fay Zonu.

Figure 17. a) Active fault map showing the epicenters and focal mechanism solutions of some earthquakes occurring in and around the GFZ (faults are taken from Emre et al., 2011. Refer to Table 2 for solution descriptions and references), **b)** Current strain rates obtained from geodetic studies in the region (red arrows: compression, blue arrows: extension, black triangles: GNSS points, Units: nanostrain/yr; Solak, 2020), **c)** Fault-plane solutions and paleostress analysis results for locations 1, 5, 9, 10, 11, and 12, **d)** Instrumental earthquakes in and around the GFZ (between 01.01.1900 and 31.03.2026, KRDAE, 2026). Faults and Quaternary basins are adopted from Duman et al. (2018) and Emre et al. (2018). Abbreviations: AF: Akhisar Fault, DFZ: Düvertepe Fault Zone, GFZ: Gelenbe Fault Zone, SFZ: Simav Fault Zone, SKFZ: Soma-Kırkağaç Fault Zone.

Çizelge 2. GFZ ve yakın civarında meydana gelen bazı depremlerin parametreleri. Kaynak: 1. ISC, 2026; 2. Duman vd., 2018; 3. KRDAE, 2026; 4. AFAD, 2026; 5. EMSC, 2026; 6. OCA/Geoazur, 2026. Kısaltmalar, D: Derinlik, M_w : Büyüklük, K: Kaynak.

Table 2. Seismological parameters of earthquakes recorded along the GFZ and in its immediate vicinity. Sources: 1. ISC, 2026; 2. Duman et al., 2018; 3. KRDAE, 2026; 4. AFAD, 2026; 5. EMSC, 2026; 6. OCA/Geoazur, 2026. Abbreviations: D: Depth, M_w : Moment magnitude, K: Reference.

No	Tarih	Saat (UTC)	Boylam	Enlem	D (km)	M_w	Doğrultu		Eğim		Rake		K
							1	2	1	2	1	2	
1	24.07.1999	16:05:51	39,38	27,99	10	5,0	334	082	50	70	-027	-136	1,2
2	25.07.1999	06:56:56	39,32	27,9	21,2	5,2	250	151	67	70	-158	-024	1,2
3	24.05.2001	03:18:09	39,32	27,90	7,0	4,4	078	338	76	54	-143	-017	1,2
4	02.12.2004	15:51:48	39,26	27,96	11	4,5	069	334	80	67	-156	-011	1,2
5	15.03.2008	11:52:14	39,04	27,83	14	4,0	174	274	88	84	-002	-156	1,4
6	04.01.2018	04:53:55	39,35	27,99	7	3,8	158	067	53	88	002	143	4,5
7	12.05.2019	22:24:09	39,31	27,93	6	4,4	248	158	80	85	-175	-010	3,5
8	22.01.2020	19:22:16	39,06	27,84	8	5,5	081	350	84	82	-171	-006	3,5
9	22.01.2020	20:17:38	39,07	27,84	9	4,2	074	338	75	67	-156	-016	3,5
10	28.01.2020	11:26:13	39,10	27,84	10	4,9	334	103	29	71	-43	-112	3,5
11	02.02.2020	00:23:47	39,00	27,85	13	4,5	354	263	75	85	005	165	3,5
12	04.02.2020	17:55:23	38,97	27,84	12	4,9	259	168	81	84	-174	-009	3,5
13	18.02.2020	16:09:23	39,09	27,84	13	5,1	264	174	86	83	-173	-004	3,5
14	23.02.2020	12:40:18	39,00	27,87	10	4,5	174	084	70	90	001	160	3,5
15	24.02.2020	02:43:33	38,98	27,86	11	4,9	182	081	56	75	018	145	3,5
16	10.08.2025	16:53:47	39,24	28,07	11	6,1	120	290	57	34	-085	-098	4,5
17	11.08.2025	16:37:01	39,23	27,98	12	4,1	082	338	63	65	-151	-030	4,5
18	11.08.2025	18:32:37	39,24	27,95	13	4,0	256	166	80	85	-175	-010	4,5
19	06.09.2025	18:14:46	39,21	28,03	4	3,9	155	250	80	64	-027	-169	6,5
20	09.11.2025	08:58:51	39,22	28,01	7	4,5	304	072	76	22	-073	-139	4,5

Elde edilen bulgular, bölgedeki yerleşim alanları için sismik tehlike analizlerinde GFZ'nin dikkate alınması gereken önemli bir sismik kaynak olduğuna, fayın deprem tehlike hesaplamalarına yönelik paleosismolojik parametrelerinin (kayma hızı, tekrarlanma periyodu, son yıkıcı depremden sonra geçen zaman gibi) mutlaka hesaplanması ve dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

EXTENDED ABSTRACT

Western Anatolia is one of the most actively deforming regions in the eastern Mediterranean, where the present-day tectonic framework is mainly controlled by the Aegean extensional system, the

westward escape of Anatolia, and the interaction between normal and strike-slip fault systems. Within this complex geodynamic setting, the İzmir-Balıkesir Transfer Zone (IBTZ) represents a crustal-scale structural zone that accommodates differential deformation between the major E-W-trending graben systems of Western Anatolia and the strike-slip to oblique-slip fault systems of the northern Aegean region. The NNE-SSW-trending Gelenbe Fault Zone (GFZ), located between Bigadiç (Balıkesir) and Akhisar (Manisa), forms one of the important active fault systems within the IBTZ. Although the GFZ is shown on active fault maps and its regional seismotectonic importance was emphasized in previous studies, direct field-

based data about detailed surface geometry, internal segmentation, kinematic character, and paleostress evolution remain limited. Therefore, this study aims to define the geometric and kinematic characteristics of the GFZ based on geological mapping, fault-slip measurements, paleostress analysis, and the evaluation of recent seismological and geodetic data.

The study is based on an integrated methodology combining field observations, 1/25,000-scale geological mapping, morphotectonic interpretation, remote sensing data, and structural measurements collected from fault planes. The surface traces of the fault zone were mapped by comparing field observations with satellite images, digital elevation models, and previously published geological and active fault maps. Morphological indicators such as linear valleys, fault scarps, mountain-front lineaments, displaced or structurally controlled drainage systems, alluvial fan boundaries, and fault-controlled lithological contacts were used to constrain the fault geometry and segment boundaries. In addition, the regional seismotectonic framework was evaluated using earthquake catalogues and focal mechanism solutions compiled from national and international seismological data sources. In order to determine the kinematic character of the GFZ, 132 fault-slip data were collected from 12 different locations along the eastern and western segments of the fault zone. These data include fault-plane orientations, slip-lineation orientations, rake values, and field-based kinematic indicators. Paleostress analyses were carried out using fault-slip inversion methods, and the calculated principal stress axes were assessed together with field relationships, fault geometry, and focal mechanism solutions (Figure 2; Table 1).

Field mapping shows that the GFZ forms an approximately 8-km-wide, multi-stranded right-lateral strike-slip shear zone composed of two nearly parallel main segments. The eastern

segment is approximately 35 km long and consists of four fault strands (DK1-DK4) trending mainly N-S to N10-20°E. The western segment is approximately 36 km long and consists of five fault strands (BK1-BK5) trending mainly N-S to N35°E. These strands are visible as linear valleys, fault-controlled contacts, sharp geomorphic lineaments, and local pull-apart or transtensional depressions developed along bends and step-over zones. The mapped fault strands are generally compatible with the active fault traces previously presented by Emre et al. (2011, 2018) and Duman et al. (2018), while several strands, especially BK5, BK4, DK4, and DK3, also overlap with structures mapped by Seyitoğlu et al. (2022). However, the present study provides a more detailed field-based segmentation of the GFZ at 1/25,000 scale. The surface geometry of the fault zone reveals a complex internal architecture characterized by fault bends, step-overs, splays, and secondary fractures. This geometry is important because it controls local stress variations, the distribution of deformation within the shear zone, and possible rupture propagation scenarios.

The kinematic data obtained from the fault planes indicate that the GFZ is dominated by right-lateral strike-slip deformation, accompanied locally by normal and oblique-normal components. Within the main right-lateral shear zone, both synthetic and antithetic secondary fractures are widely developed. The antithetic structures are generally represented by NW-SE-trending left-lateral faults, whereas the synthetic structures are mostly expressed by NE-SW- to NNE-SSW-trending right-lateral or oblique-slip faults. The presence of these secondary fractures, together with the sinuous surface geometry of the main fault strands, indicates that deformation is not restricted to a single fault trace but is distributed across a broad shear zone. This distributed deformation pattern should be considered when evaluating the seismic source characteristics and earthquake hazard potential of the GFZ.

The paleostress results indicate that two main tectonic phases affected the evolution of the GFZ. The first phase is represented by NE-SW compression-related NW-SE extension and is interpreted as corresponding to the Miocene-Early Pliocene compressional to transpressional regime previously documented in Western Anatolia and along the IBTZ. This phase is mainly recorded in paleostress solutions from locations 3, 4, 7, and 8. The second phase is characterized by approximately E-W to WNW-ESE compression and N-S to NNE-SSW extension, and is interpreted as the post-Pliocene to present-day tectonic regime. This younger phase is recorded particularly in the results from locations 1, 5, 9, 10, 11, and 12, and is consistent with previous field-based studies on the IBTZ. The analyses from locations 2 and 6 also indicate local NW-SE extension on NE-SW-trending fault planes, which may reflect the transitional relationship between the older compressional phase and the present extensional regime. The comparison between geological paleostress indicators and modern geodetic strain data suggests a small angular difference, approximately 10-20°, between the calculated stress orientations and present-day strain axes. This difference may be related to counterclockwise rotations documented by paleomagnetic studies in the region, or to local stress-axis rotations during the Holocene.

The seismological data support the field-based kinematic interpretation of the GFZ. Historical earthquake records, instrumental seismicity, and focal mechanism solutions indicate that the region is tectonically active and characterized by a transtensional deformation regime involving both strike-slip and normal faulting components (Figure 1). In this study, focal mechanism solutions of 20 earthquakes with moment magnitudes ranging from Mw 3.8 to 6.1 and focal depths between 4 and 21.2 km were evaluated from around the GFZ (Figure 17; Table 2). These solutions are dominated by strike-slip mechanisms

and indicate that seismicity is concentrated both on the main right-lateral fault strands and on NW-SE-trending left-lateral antithetic secondary fractures. Five of these events are related to the August 10, 2025 Sındırgı earthquake sequence. The focal mechanism of the August 10, 2025 Mw 6.1 mainshock indicates a WNW-ESE-trending source fault and NNE-SSW extension in the region. In addition, the epicenter of the Mw 4.0 event that occurred after the mainshock is located on or near the DK4 strand of the eastern segment of the GFZ. This observation suggests that stress transferred after the Sındırgı earthquake reactivated part of the eastern segment of the GFZ.

The spatial distribution of microseismic activity also suggests that the GFZ behaves as a structural barrier and transfer structure within the active deformation network of Western Anatolia. The seismic activity that intensified around the Soma-Kırkağaç-Akhisar region after 2016 and especially after the January 22, 2020 Mw 5.5 earthquake appears to be bounded from the east by the GFZ. Similarly, the August 10, 2025 Sındırgı earthquake sequence and subsequent activity appear to be bounded from the west by the GFZ. This pattern indicates that the GFZ may limit rupture propagation and transfer deformation between adjacent extensional domains. Therefore, the GFZ should not be evaluated as a single linear fault but as a broad, segmented, and internally complex right-lateral shear zone that plays an active role in the transfer of the regional extensional regime.

In conclusion, the GFZ is a multi-stranded, approximately 8-km-wide, right-lateral strike-slip transfer structure composed of two main segments and nine mapped fault strands. The eastern and western segments, with lengths of approximately 35 km and 36 km, respectively, have the potential to produce large earthquakes according to segment-length-based empirical assessments. The field-based kinematic data, paleostress results, focal mechanism solutions, and geodetic strain patterns

collectively show that the GFZ was shaped by long-duration tectonic evolution involving an older Miocene-Early Pliocene compressional phase and a younger post-Pliocene to present transtensional regime. The available data also show that the GFZ was active in the Holocene and constitutes an important seismic source within the IBTZ. Consequently, the GFZ should be considered a key structural element in regional seismic hazard assessments, and future studies should focus on determining its paleoseismological parameters, including slip rate, recurrence interval, elapsed time since the last surface-rupturing earthquake, and segment-based rupture potential.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yürüttüğü Doktora tezi kapsamında oluşturulmuştur. Yapılan bu proje aynı zamanda “Türkiye Diri Faylarının Paleosismolojik Özelliklerinin Belirlenmesi Projesi (P/SİSMO-TÜRK)” kapsamında, 123G020 numaralı TÜBİTAK-KAMAG projesi tarafından desteklenmiştir.

ORCID

Doğukan Mert Özcan  <https://orcid.org/0000-0002-2693-0789>

Çağlar Özkaymak  <https://orcid.org/0000-0002-0377-1324>

Volkan Karabacak  <https://orcid.org/0000-0003-2581-7984>

Ökmen Sümer  <https://orcid.org/0000-0003-3168-8728>

Furkan Şahiner  <https://orcid.org/0000-0002-1679-2204>

Seray Çınar Yıldız  <https://orcid.org/0009-0005-7048-8456>

KAYNAKLAR / REFERENCES

AFAD, (2026, 10 Mayıs). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı. *Deprem Kataloğu*. <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ. E., 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. vd. (2011). *1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1978). *Kırkağaç-Soma (Manisa), Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir)-Bergama (İzmir) civarının jeolojisi* (Rapor no: 6432). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara (yayımlanmamış).

Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1983). Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 95/96, 1–12.

Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C. & Fisher, D. (2012). *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*. Cambridge University Press.

Ambraseys, N. N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 17(1), 1–105.

Ambraseys, N. N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.

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/10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x>

Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets. *Journal of Geophysical Research*, 89(B7), 5835–5848. <https://doi.org/10.1029/JB089iB07p05835>

Angelier, J. (1991). Inversion of field data in fault tectonics to obtain regional stress III: A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysical Journal International*, 103(2), 363–376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb01777.x>

Angelier, J. (1994). Fault slip analysis and paleostress reconstruction. In P. L. Hancock (Ed.), *Continental Deformation*, (pp. 53–100). Pergamon Press.

Angelier, J., Dumont, J. F., Karamandereci, H., Poisson, A., Şimşek, Ş. & Uysal, Ş. (1981). Analyses of

- fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the late Miocene. *Tectonophysics*, 75(3–4), T1–T9.
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90271-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90271-7)
- Brun, J. P., Faccenna, C., Gueydan, F., Sokoutis, D., Philippon, M., Kydonakis, K. & Gorini, C. (2016). The two-stage Aegean extension, from localized to distributed, a result of slab rollback acceleration. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(11), 1142–1157.
<https://doi.org/10.1139/cjes-2015-0203>
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadırioğlu, F. T., Başarır Baştürk, N., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R. F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu Azak, T., Özel, N. M., Ergintav, S. A., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. & Kurt, A. İ. (2018). Seismotectonic database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3277–3316. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9965-9>
- Dumont, J. F., Uysal, Ş., Şimşek, Ş., Karamandersi, İ. H. ve Letouzey, J. (1979). Güneybatı Anadolu'daki grabenlerin oluşumu. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 92, 7–18.
- Emre, Ö., Doğan, A. ve Özalp, S. (2011). *1:250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No: 4*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). *Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text, 1:1,250,000 Scale*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-30, Ankara, Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F. & Olgun, Ş. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229–3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- EMSC, (2026, 10 Mayıs). *European-Mediterranean Seismological Centre. Earthquake Data / Latest Earthquakes*. <https://www.emsc-csem.org/>
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2, 1–20.
- Ergin, K., Güçlü, U. & Uz, Z. (1967). *A Catalog of Earthquakes for Turkey and Surrounding Area (11 A.D. to 1964 A.D.)* (Teknik Rapor no: 24). İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Fizik Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erkül, F., Helvacı, C. & Sözbilir, H. (2005a). Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadiç borate basin and tectonic implications for western Turkey. *Geological Journal*, 40(5), 545–570. <https://doi.org/10.1002/gj.1026>
- Erkül, F., Helvacı, C. & Sözbilir, H. (2005b). Stratigraphy and geochronology of the Early Miocene volcanics in the Bigadiç borate basin, western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14(3), 227–253.
- Erkül, F. (2010). Tectonic significance of synextensional ductile shear zones within the Early Miocene Alaçamdağ granites, northwestern Turkey. *Geological Magazine*, 147(4), 611–637. <https://doi.org/10.1017/S0016756809990719>
- Eyidoğan, H. (2020). Investigation of the temporal and spatial properties of earthquake activity and Gutenberg-Richter parameters in the vicinity of Manisa Akhisar. *Turkish Journal of Earthquake Research*, 2(2), 138–159. <https://doi.org/10.46464/tdad.776186>
- Gessner, K., Gallardo, L. A., Markwitz, V., Ring, U. & Thomson, S. N. (2013). What caused the denudation of the Menderes Massif: Review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey. *Gondwana Research*, 24(1), 243–274. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.01.005>
- Hardcastle, K. C. & Hills, L. S. (1991). BRUTE3 and SELECT: Quick Basic 4 programmes for determination of stress tensor configurations and separation of heterogeneous populations of fault slip data. *Computers & Geosciences*, 17(1), 23–43. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90078-R](https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90078-R)
- Irmak, T. S., Doğan, B., Yavuz, E., Livaoğlu, H. & Sertçelik, F. (2020). Focal mechanisms of the January 22, 2020 Akhisar-Manisa earthquake (Mw 5.5) and its aftershocks: Seismotectonic implications. *Turkish Journal of Earthquake Research*, 2(1), 27–46. <https://doi.org/10.46464/tdad.730335>
- ISC, (2026, 10 Mayıs). *International Seismological Centre. On-line Bulletin*. <https://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

- İzdar, E. (1968). Kozak intruzif masifi petrolojisi ve Paleozoyik çevre kayaçları ile jeolojik bağlantıları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 11(1-2), 140-179. <https://izlik.org/JA99AN73YB>
- Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Le Pourhiet, L., Lacombe, O., Lecomte, E., Burov, E., Denèle, Y., Brun, J. P., Philippon, M., Paul, A., Salaün, G., Karabulut, H., Piromallo, C., Monié, P., Gueydan, F., Okay, A. İ., Oberhänsli, R., Pourteau, A., Augier, R., Gadenne, L. & Driussi, O. (2013). Aegean tectonics: Strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.011>
- Kalafat, D. (1995). *Anadolu'nun tektonik yapılarının deprem mekanizmaları açısından irdelenmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- Kaya, O. (1979). Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 22, 35-58. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/96a754649af389e_ek.pdf
- Kaya, O. (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletters on Stratigraphy*, 10(3), 164-191. <https://doi.org/10.1127/nos/10/1981/164>
- Kaya, O., Ünay, E., Saraç, G., Eichhorn, S., Hassenrück, S., Knappe, A., Pekdeğer, A. & Mayda, S. (2004). Halitpaşa Transpressive Zone: Implications for an Early Pliocene compressional phase in central western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(1), 1-13.
- Kaya, O., Ünay, E., Göktaş, F. & Saraç, G. (2007). Early Miocene stratigraphy of Central West Anatolia, Turkey: Implications for the tectonic evolution of the Eastern Aegean area. *Geological Journal*, 42(1), 85-109. <https://doi.org/10.1002/gj.1071>
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. & Bozkurt, E. (1999). Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society of London*, 156(3), 605-616. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.156.3.0605>
- KRDAE, (2026, 10 Mayıs). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. *Deprem Kataloğu*. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: A key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60(1-2), 1-42. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90131-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90131-8)
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1981). The Aegean Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 300(1454), 357-372.
- McKenzie, D. P. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 217-254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1978.tb04759.x>
- OCA/Geoazur, (2026, 10 Mayıs). Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur Laboratory. *SismoAzur seismicity data*. <https://sismoazur.oca.eu/>
- Okay, A. ve Siyako, M. (1993). İzmir-Balıkesir arasında İzmir-Ankara Neo-Tetis kenedinin yeni konumu. S. Turgut (Ed.), *Türkiye ve Çevresinin Tektoniği-Petrol Potansiyeli, Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri Kitabı*, (s. 333-355). Ankara.
- Öncü, U., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Softa, M., Sümer, Ö., Eski, S., Spencer, J. Q. G., Şahiner, E., Yüksel, M., Meriç, N. & Topaksu, M. (2024). Palaeoseismological assessment for a seismic gap located very close to the epicentre of the 30 October 2020 Samos Earthquake (M6.9), western Anatolia, Turkey. *Natural Hazards*, 120, 4699-4727. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06290-6>
- Öngür, T. (1972). *Dikili-Bergama jeotermal araştırma sahasına ilişkin jeoloji raporu* (Rapor no: 5444). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara (yayımlanmamış).
- Özcan, D. M., Özkaymak, Ç., Karabacak, V., Sümer, Ö., Şahiner, F. ve Çınar Yıldız, S. (2025). Gelenbe Fay Zonu'nun Holosen aktivitesine ait ilk paleosismolojik bulgular, Batı Anadolu (First palaeoseismological findings of Holocene activity of Gelenbe Fault Zone, Western Anatolia). *Uluslararası Katılımlı 77. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, 14-18 Nisan 2025, MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, Ankara, Türkiye.
- Özcan, D. M., Özkaymak, Ç., Karabacak, V., Şahiner, F., Yaşar, Ş. Ş., Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ.,

- Sümer, Ö. ve Çınar Yıldız, S. (2026). Gelenbe Fay Zonu'nun (Batı Anadolu) paleosismolojik, kinematik ve sismolojik değerlendirmesi: 2025 Sındırgı deprem etkinliği üzerindeki yapısal bariyer etkisi (Palaeoseismological, kinematic and seismological evaluation of the Gelenbe Fault Zone (Western Anatolia): Structural barrier effect on the 2025 Sındırgı earthquake activity). *Uluslararası Katılımlı 78. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı* (s.: 488), 13–17 Nisan 2026, MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, Ankara, Türkiye.
- Özkaymak, Ç. (2012). *Manisa Havzası'nın aktif tektoniği ve depremselliği, Batı Anadolu, Türkiye* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkaymak, Ç. (2015). Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. *Geodinamica Acta*, 27(2–3), 110–129. <https://doi.org/10.1080/09853111.2014.957504>
- Özkaymak, Ç. & Sözbilir, H. (2008). Stratigraphic and structural evidence for fault reactivation: The active Manisa Fault Zone, western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 615–635.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H. & Uzel, B. (2013). Neogene–Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the İzmir–Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics*, 65, 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.06.004>
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M. O. & Tiryakioğlu, İ. (2019). Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 28, 787–804. <https://doi.org/10.3906/yer-1906-13>
- Ring, U., Laws, S. & Berner, M. (1999). Structural analysis of a complex nappe sequence and late Cenozoic exhumation of the Menderes Massif, western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 21(11), 1559–1577. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00108-X)
- Ring, U., Glodny, J., Will, T. & Thomson, S. (2010). The Hellenic subduction system: High-pressure metamorphism, exhumation, normal faulting, and large-scale extension. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38(1), 45–76. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.050708.170910>
- Seyitoğlu, G. & Esat, K. (2022). The active fault pattern based on morphotectonic and structural data in the south of Ulubat Lake and the Susurluk valley along the southern branch of North Anatolian Fault Zone: A criticism of the bend model in northwest Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(2), 137–152. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1759>
- Seyitoğlu, G. & Scott, B. C. (1991). Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine*, 128(2), 155–166. <https://doi.org/10.1017/S0016756800018343>
- Seyitoğlu, G., Scott, B. C. & Rundle, C. C. (1992). Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *Journal of the Geological Society*, 149(4), 533–538. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.149.4.0533>
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B. & Çıvgın, B. (2022). Seismotectonics of the southern branch of North Anatolian Fault Zone along Bolu, Bursa, and İzmir cities and Değirmenlik (Milos) island in the Aegean Sea. *Yerbilimleri*, 43(2), 138–159. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.948130>
- Solak, H. İ. (2020). *İzmir Balıkesir Transfer Zonu ve çevresindeki güncel deformasyonların GNSS yöntemi ile incelenmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Aktuğ, B., Yavaşoğlu, H. H. & Özkan, A. (2024). Recent tectonic features of Western Anatolia based on half-space modeling of GNSS data. *Tectonophysics*, 872, Article 230194. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230194>
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. (1981). *Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu (M.Ö. 2100-M.S. 1900)* (TÜBİTAK Proje no: TBAG-341). İstanbul.
- Sözbilir, H. ve Emre, T. (1996). Menderes masifinin neotektonik evriminde oluşan supradetachment havzalar ve rift havzaları. 49. *Türkiye Jeoloji Kurultayı 1996 Bildiri Özleri Kitabı* (s.: 30-31).

- Sözbilir, H., İnci, U., Erkül, F. & Sümer, Ö. (2003). An intermittently active transform zone accommodating N-S extension in Western Anatolia and its relation to the North Anatolian Fault System. *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems*, Ankara, Türkiye.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç., Ersoy, Y., Erkül, F., İnci, U. ve Helvacı, C. (2007). Batı Anadolu'da İzmir-Balıkesir Transfer Zonu içinde kalan aktif doğrultu atımlı faylarla sınırlı havzaların jeolojik özellikleri. *II. Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı*, (s. 42).
- Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö. & Akkiraz, S. (2011). Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: The Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey. *Basin Research*, 23(4), 423–448.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00496.x>
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Softa, M., Tepe, Ç. ve Baba, A. (2017). Çanakkale-Ayvacık deprem fırtınasının (14 Ocak–20 Mart 2017) sismik kaynakları. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, 6, 1–17. <https://izlik.org/JA96RZ35FX>
- Sözbilir, H., Çakır, R., Eski, S., Duran, İ., Utku, M. ve Akgün, M. (2020). 22 Ocak 2020 Akhisar depremleri ve bölgenin sismotektoniği ön raporu (Versiyon 1.0). Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.
- Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç. & Sözbilir, H. (2018). Kinematics of the Havran-Balıkesir Fault Zone and its implication on geodynamic evolution of the Southern Marmara Region, NW Anatolia. *Geodinamica Acta*, 30(1), 306–323.
<https://doi.org/10.1080/09853111.2018.1540145>
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Herece, E. (1987). *Türkiye diri fayları ve depremsellikleri* (Rapor no: 8174). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1992). *1:1.000.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengöçmen Geçkin, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Softa, M., Spencer, J. Q. G., Şahiner, E., Meriç, N. & Deliormanlı, A. H. (2022). Evidence of surface rupture associated with historical earthquakes on the Gülbahçe Fault Zone (İzmir, Türkiye) and its application for determination of the surface fault-rupture hazard zone. *Natural Hazards*, 114(2), 2189–2218.
<https://doi.org/10.1007/s11069-022-05467-9>
- Şengör, A. M. C. (1980). *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları*. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi 2, Ankara.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In K. Biddle & N. Christie-Blick (Eds.), *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*, (pp. 227–264). *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37*.
- Tan, O. (2013). The dense micro-earthquake activity at the boundary between the Anatolian and South Aegean microplates. *Journal of Geodynamics*, 65, 199–217.
<https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.005>
- Tiryakioğlu, İ., Gezgın, C., Aktuğ, B., Solak, H. İ., Özkaymak, Ç., Yaşar, Ş. Ş. ... & Akgül, F. M. (2026). Revealing the source mechanism of the August 10, 2025 Sındırgı Earthquake (Mw 6.3) with geological and geodetic evidence. *Advances in Space Research*, 78(2), 580–598.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2026.04.047>
- Uysal, I. T., Karabacak, V., Aykut, T., Ring, U., Liu, E., Sancar, T., Leonard, N., Tong, K., Todd, A. J. & Temel, A. (2025). Was the formation of the North Anatolian Fault influenced by the Aegean extension?. *Terra Nova*, 37(5), 342–352.
<https://doi.org/10.1111/ter.12782>
- Uzel, B. & Sözbilir, H. (2008). A first record of a strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası Basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 559–591.
- Uzel, B., Sözbilir, H., Sümer, Ö., İnci, U. & Özkaymak, Ç. (2009). Field evidence for an active transtensional basin in western Anatolia: The Inner Bay of İzmir. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 13408.
- Uzel, B., Sözbilir, H. & Özkaymak, Ç. (2013). Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir-

- Balıkesir Transfer Zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). *Journal of Geodynamics*, 65, 94–116.
<https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.06.009>
- Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakçı, N., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. & Özkaptan, M. (2014). Kinematics of İzmir-Balıkesir Transfer Zone and the West Anatolian rotational history during the exhumation of the Menderes metamorphic core complex. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 10982.
- Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakçı, N., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. & Özkaptan, M. (2015). Paleomagnetic evidence for an inverse rotation history of Western Anatolia during the exhumation of Menderes core complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 414, 108–125.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.01.008>
- Uzel, B., Sümer, Ö., Özkaptan, M., Özkaymak, Ç., Kuiper, K., Sözbilir, H. & Langereis, C. G. (2017). Palaeomagnetic and geochronological evidence for a major middle Miocene unconformity in Söke Basin (western Anatolia) and its tectonic implications for the Aegean region. *Journal of the Geological Society*, 174(4), 721–740.
<https://doi.org/10.1144/jgs2016-006>
- Uzel, B., Kuiper, K., Sözbilir, H., Kaymakçı, N., Langereis, C. G. & Boehm, K. (2020). Miocene geochronology and stratigraphy of western Anatolia: Insights from new Ar/Ar dataset. *Lithos*, 352, Article 105305.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105305>
- van Hinsbergen, D. J. J., Dekkers, M. J., Bozkurt, E. & Koopman, M. (2010). Exhumation with a twist: Paleomagnetic constraints on the evolution of the Menderes metamorphic core complex, western Turkey. *Tectonics*, 29(3), Article TC3009.
<https://doi.org/10.1029/2009TC002596>
- Westerweel, J., Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakçı, N. & Sözbilir, H. (2020). Paleomagnetism of the Miocene Soma Basin and its structural implications on the central sector of a crustal-scale transfer zone in western Anatolia (Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 193, Article 104305.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104305>