

KALE (MALATYA) DEPREMİ — Mw 5,9 · 16.10.2024

DEPREM TEKNİK RAPORU · OLAY RAPORU

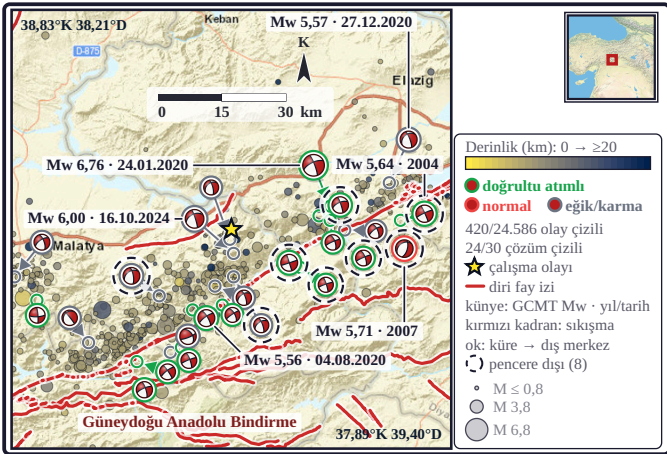
T. Batuhan BULGURLULAR · YAPI ZEMİN Deprem Teknik Raporları · 2026 · Olay: 16.10.2024

ÖZET — 16.10.2024 tarihinde Kale (Malatya) çevresinde Mw 5,9 büyüklüğünde, 10,5 km odak derinlikli bir deprem meydana gelmiştir (38,3610°K, 38,8045°D). Olay merkezli pencerede 24.586 olay kataloglanmıştır; çapraz-kaynak kopyaları (1.155 kayıt) ve kendi hizmet bölgesi dışındaki bölgesel ağların tek kaynaklı kayıtları (26 kayıt) her istatistikten önce ayıklanmıştır. Global CMT (GCMT) moment tensörü çözümü ($M_0 = 1,251 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6,00) NP1 düğüm düzlemi üzerinde sol yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atım niteliğinde kaymaya karşılık gelmektedir. Olay merkezli mekanizma popülasyonundan ($n = 54$) SHmax = 22° (yön gevşek kısıtlı) ve doğrultu atımlı gerilme rejimi elde edilmiştir. Depremden sonraki 90 günlük olay oranı, 52 km yarıçaplı dairede ve ortak tamlık eşliğinde ($M \geq 1,9$), çalışma penceresinden önceki 5 yıllık arka plan oranının yaklaşık 12 katıdır (%95 güven aralığı 10–14). Kayıtların %57'sinin (13.937/24.586) derinliği 0,1 km'ye yuvarlandığında 7,0 km'dir; bu değer derinlik çözilemeyip sabitlendiğinde kurumun atadığı varsayılan olduğundan derinlik istatistikleri bu yığının etkisi altındadır. Bulgular, mevcut katalog ve model varsayımlarının sınırları içinde betimleyicidir; deprem tahmini içermez.

Anahtar kelimeler: Kale (Malatya) depremi, Doğu Anadolu Fay Zonu ve 2023 Kahramanmaraş dizisi, moment tensörü, gerilme inversiyonu, Coulomb gerilme aktarımı, makrosismik şiddet.

ABSTRACT — An earthquake of Mw 5.9 occurred near Kale (Malatya) on 16 October 2024 at a focal depth of 10.5 km (38.3610°N, 38.8045°E). A total of 24,586 events were catalogued within an event-centred window; cross-source duplicates were removed (1,155 records), as were single-source records of regional networks outside their home region (26 records), before any statistic was computed. The Global CMT (GCMT) moment-tensor solution ($M_0 = 1.251 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6.00) corresponds to left-lateral strike slip on nodal plane NP1 and to right-lateral strike slip with a normal component on NP2. Stress inversion of the event-centred focal-mechanism population ($n = 54$) yields SHmax = 22° (loosely constrained) and a strike-slip stress regime. Within 52 km and at $M \geq 1.9$, the 90-day post-event rate is about 12 times the background rate (5-year pre-window period; 95% confidence interval 10–14). Of the records, 57% (13,937/24,586) have a depth of 7.0 km when rounded to 0.1 km, the agency default assigned when the depth is fixed rather than resolved; the depth statistics are affected by this cluster of fixed-depth records. The findings are descriptive within the limits of the available catalogue and of the model assumptions stated in the text; no forecast is implied.

Keywords: Kale (Malatya) earthquake, East Anatolian Fault Zone and the 2023 Kahramanmaraş sequence, moment tensor, stress inversion, Coulomb stress transfer, macroseismic intensity.



Şekil 1. Harita 24.586 olaylık katalogdan 420 olayı gösterir; odak mekanizmaları 30 çözümlük bölgesel mekanizma kümesindendir. Gerilme inversiyonu olay merkezli mekanizma popülasyonundandır ($n = 54$). Daire rengi odak derinliğini, çapı büyüklüğü verir; kadranlı küreler odak mekanizması çözümleridir ve kırmızı kadrans sıkışmadır. Sarı yıldız çalışma olayı, kırmızı çizgiler diri fay izleridir. Mw sırasıyla en büyük 6 çözüm künyelidir (öbür 18 küre künyesizdir); künye çözümün Global CMT (GCMT) katalogundaki moment büyüklüğünü (Mw) ve yılını (çalışma penceresi içindeki çözümlerde tarihini) verir; bu büyüklük gövdedeki katalog büyüklüğünden farklı olabilir. İnce çizgi künyeyi küresine, ok küreyi çözümün dış merkezine bağlar. Kesikli halkalı kürelerin tarihi çalışma penceresinin dışındadır (faylar: MTA TDFH-2026 [Elmacı vd., 2026]; mekanizmalar: bölgesel mekanizma kümesi; katalog: AFAD · ISC · EMSC · GFZ · USGS).

GİRİŞ

Bu çalışma, 16.10.2024 tarihinde Kale (Malatya) çevresinde meydana gelen Mw 5,9 depremini ve onu çevreleyen sismisiteyi olay merkezli bir pencerede incelemektedir (Şekil 1). İnceleme, 24.586 olaylık birleşik çok kaynaklı deprem kataloğuna ve olayın Global CMT (GCMT) moment tensörü çözümüne dayanmaktadır; raporlanan her çözümleme önceden tanımlı veri yeterliliği, ölçek/geçerlilik, istatistiksel güç ve yöntemin kendi güvenilirlik beyanı ölçütlerinden geçirilmiştir. Amaç, olayın kaynak parametrelerini, dizi istatistiğini ve bölgesel bağlamını ölçülen büyüklüklerle betimlemektir.

Olay künyesi ve temel parametreler Tablo 1'de, kurum çözümleri ve benimsenen hiposantr Tablo 2'de verilmiştir.

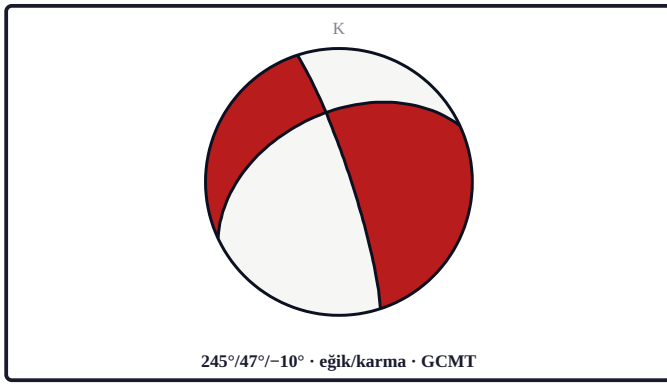
Tablo 1. Olay künyesi ve türetilmiş kaynak parametreleri.

Nicelik	Değer	Kaynak / yöntem
Oluş zamanı (UTC)	16.10.2024 07:46:31	AFAD hiposantrı
Dış merkez	38,3610°K · 38,8045°D	AFAD hiposantrı
Odak derinliği	10,5 km	AFAD
Büyüklük	Mw 5,9	AFAD (hiposantrı veren kurum) ^a
Sismik moment M_0	$1,251 \times 10^{18}$ N·m	GCMT skaler moment · Mw 6,00
Nominal ısınan enerji E	$6,3 \times 10^{13}$ J	M_0 'dan · Kanamori (1977)
Konum belirsizliği, istasyon sayısı, azimut boşluğu	yok	AFAD yayımlamamıştır
Varış artığı (RMS)	0,48 s	AFAD bildirimi
b değeri	raporlanmadı	gerekçesi Ek A'da
Kutu yayılımı (%95)	100,4 × 36,5 km	uzun × kısa eksen · çalışma kutusu olayları
İzleyen olay bulutu yayılımı (%95; çekinceli)	en az 86,1 × 35,2 km	uzun × kısa eksen · izleyen olay bulutu · seçim yarıçapıyla (52 km) sınırlı alt sınır
Mekanizma (NP1)	245°/47°/–10°	GCMT · doğrultu/eğim/kayma

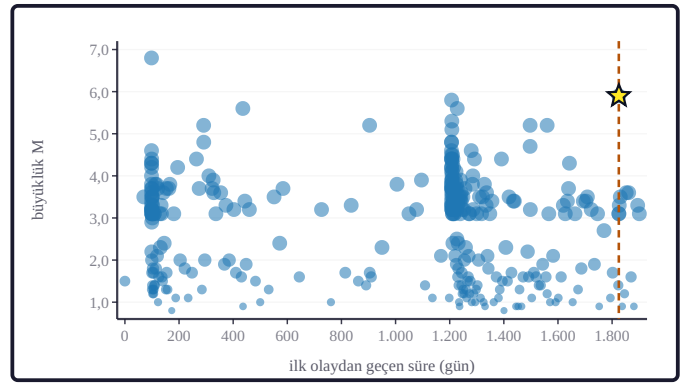
Not: a) Büyüklük türü Mw: moment büyüklüğü; kurum hesap yöntemini bildirmemiştir.

TEKTONİK ÇERÇEVE

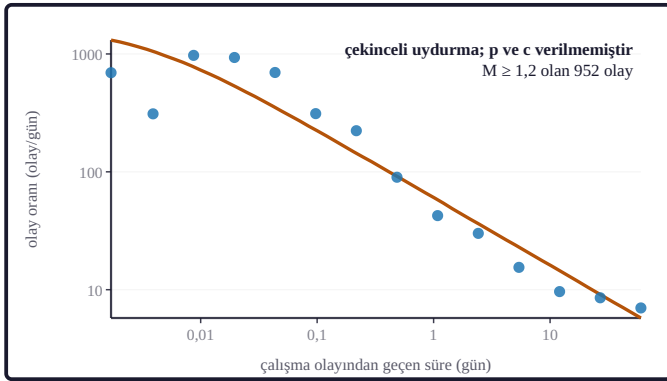
Çalışma alanı, Anadolu ve Arabistan levhaları arasındaki sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu üzerindedir; fayın geometrisi, segmentasyonu ve sıçrama yapıları jeolojik haritalama ile tanımlanmış (Duman ve Emre, 2013), güncel sismotektoniği ve segment kayma hızları aletsel sismolojik ve jeodezik verilerle belgelenmiştir (Güvercin vd., 2022). 6 Şubat 2023 tarihinde bu zonda, dokuz saat arayla gerçekleşen Mw 7,8 Pazarcık ve Elbistan depremleri (ikincisi için Mw 7,7: GCMT ve Jia vd., 2023; Mw 7,6: Melgar vd., 2023) yüzlerce kilometrelik çok-segmentli kırılmalar üretmiştir; çiftin kırılma süreçleri ve karmaşık dinamiği sismik-jeodezik ters çözümlerle ayrıntılı biçimde çalışılmıştır (Melgar vd., 2023; Jia vd., 2023). Bölgenin aletsel dönem öncesi büyük depremleri ve dönemsel suskunluk davranışı tarihsel katalog çalışmalarında değerlendirilmiştir (Ambraseys, 1989).



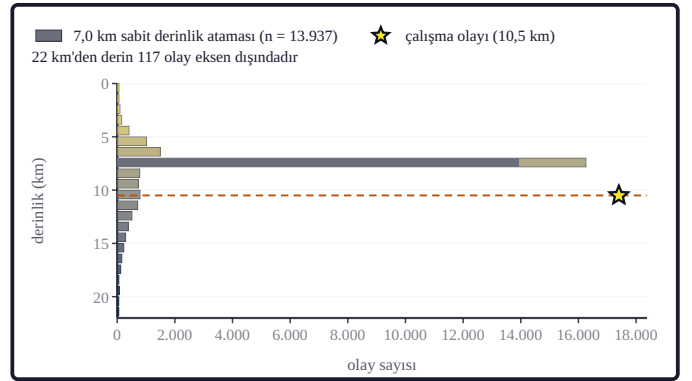
Şekil 2a. Odak mekanizması alt yarıküre eşit alan izdüşümüyle çizilmiştir; koyu kadranlar sıkışma kadranlarıdır.



Şekil 2b. Pencere kataloğu 24.586 olaydır (320 olay çizilidir); en büyük olay Mw 6,8 büyüklüğündedir (24.01.2020); Mc = 1,9 üstünde 7.071 olay vardır. Büyüklük–zaman dağılımı: yatay eksen ilk olaydan geçen süre (gün), düşey eksen büyüklüktür. Her mavi daire bir olaydır ve daire çapı büyüklükle ölçeklidir; turuncu kesikli düşey çizgi ve yıldız çalışma olayını işaretler (seyreltme eşit adımlıdır; en büyük 10 olay her durumda çizilmiştir).



Şekil 2c. Çekinceli kestirim: Omori–Utsu üsteli çekinceyle verilmiştir ve ilk saatlerdeki katalog eksikliğinden etkilenir; p ve c değerleri verilmemiştir. Kayan pencerelerle izlenen zamanla değişen tamlıkta çalışma olayını izleyen ilk pencerenin tamlık eşiği Mc = 1,7'dir (uydurmanın dayandığı artçı alt kümesinin eşiği Mc = 1,2). Olay oranı çalışma olayından geçen süreye göre çizilmiştir (iki eksen logaritmik); eğri Omori–Utsu yasasının en büyük olabilirlik uydurmasıdır ve değerleri çekinceli olduğundan şekilde verilmemiştir (Omori–Utsu yasası: Utsu vd., 1995).



Şekil 2d. Tam katalogta derinlik değeri taşıyan 24.586 olayın %86'sı ≤ 10 km derinliktedir. Sabit derinlik atamaları (7,0 km) ölçülmüş derinlik taşımaz. Hiposantr derinlik histogramı (tam katalog): çubuk rengi derinliği gösterir (sığ sarı, derin lacivert); koyu kesim sabit derinlik atamalarıdır; yıldız ve kesikli çizgi çalışma olayının derinliğidir.

KULLANILAN BAĞINTILAR

(1) Sismik moment

$$M_0 = 10^{1,5 \cdot M + 9,1} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Hanks ve Kanamori (1979); sabit: Kanamori (1977)

(2) Işınan enerji

$$\log_{10} E = 1,5 \cdot M + 4,8 \text{ (J)}$$

Gutenberg ve Richter (1956)

(3) Büyüklük–frekans

$$\log_{10} N(\geq M) = a - b \cdot M$$

Gutenberg ve Richter (1944)

(4) Artçı sönümü

$$n(t) = K/(t + c)^p$$

Utsu vd. (1995)

(5) Artçı dizisi oranı

$$\lambda(t, M) = 10^{a+b(M_m-M)} \cdot (t+c)^{-p}$$

Reasenber ve Jones (1989)

(6) Gerilme düşümü

$$\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / R^3$$

Eshelby (1957)

(7) Göç zarfı (doğrusal)

$$r(t) = r_0 + v \cdot t$$

Sigmundsson vd. (2015)

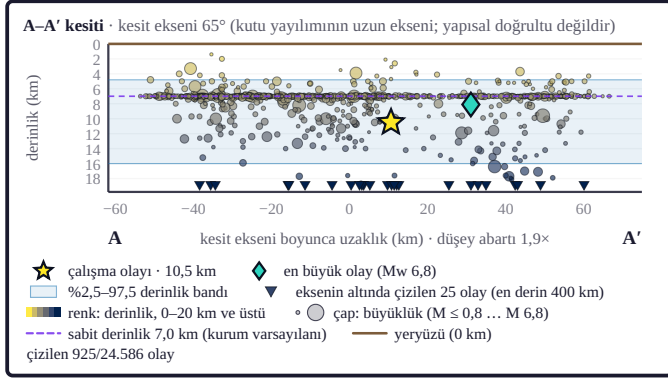
Şekil 2a–2d: Koyu kadranlar sıkışma, açık kadranlar genişleme kadranlarıdır; T eksenli sıkışma kadranının, P eksenli genişleme kadranının ortasında yer alır (Şekil 2a). Deviatorik (GCMT) tensörün çift kuvvet payı %85'tir. Nokta kaynak (çift kuvvet) yaklaşımında iki düzlem dalga alanında özdeştir; büyük depremlerde sonlu fay çözümleri ve bağımsız geometri kanıtları (artçı uzanımı, oturtulan düzlem) düzlemi kısıtlar; gerilme kararsızlığı ise gerilme alanına dayanan ayrı türden bir ölçüttür. Ortalama büyüklük M 1,64, ortanca M 1,5'tir (tam katalog; Şekil 2b). Serimdeki en küçük olaylar tamlık eşiğinin altında kalır; bu olayların zaman içinde seyrekleşmesi yalnız gerçek bir sakinleşmeden değil, ağ duyarlılığındaki değişimden de kaynaklanabilir; bu nedenle serim, eşik üstü alt kümeyle kurulan istatistiklerin yerine geçmez. Omori–Utsu üsteli bu gözlem süresinde çekinceyle verilmiştir; p ve c değerleri bu çalışmanın bulgu ölçütünü karşılamadığından verilmemiş, sönüm bulgu olarak yorumlanmamıştır (Şekil 2c). Omori üsteli p, sönümün istatistiksel tanımıdır; tek tek olayların zamanını ya da yeni bir büyük depremi öngörmez.

Derinlik histogramı, odakların derinlik kutularına nasıl dağıldığını gösterir (Şekil 2d). Derinliği bilinen 24.586 kaydın 21.113 tanesi (%86) 10 km ve daha sığ, kalanı daha derindedir (tam katalog). Histogramın en yüksek çubuğu 16.266 olayla 7–8 km aralığındadır; bu çubuktaki 13.937 kayıt 7,0 km sabit derinlik atamasıdır ve tepe ölçülmüş bir dağılım tepesi olarak okunmamalıdır.

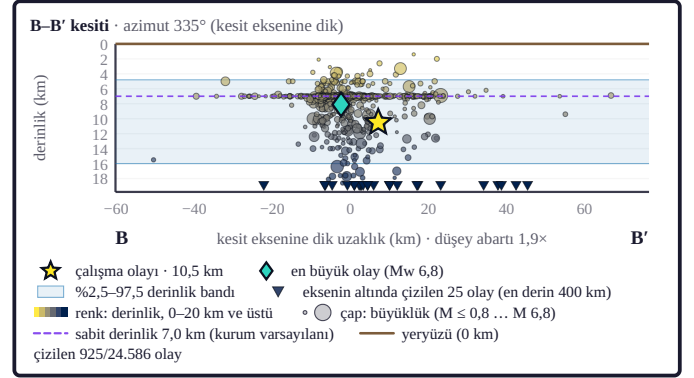
TEKTONİK ÇERÇEVE (DEVAM)

Kullanılan diri fay veri tabanında (Türkiye Diri Fay Haritası, MTA TDFH-2026) dış merkeze en yakın adlı fay izleri şunlardır: Kale Fayı (4,1 km; normal), Doğu Anadolu Fay Zonu'na bağlı fay parçası (13 km; sol yönlü doğrultu atımlı), Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu'na bağlı fay parçası (27 km; ters). Kullanılan sayısal levha sınırı modelinde (Bird, 2003) dış merkeze en yakın sınır Anadolu–Arabistan levha sınırıdır ve 7 km uzaklıktadır; model sınırları, yayılı deformasyon kuşaklarında bir modelleme kabulüdür.

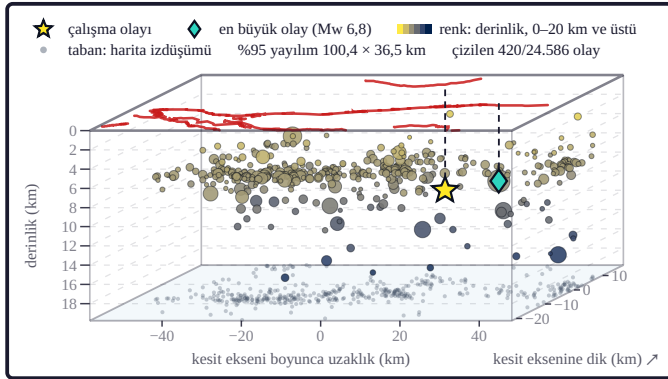
UZAMSAL GEOMETRİ VE DERİNLİK YAPISI



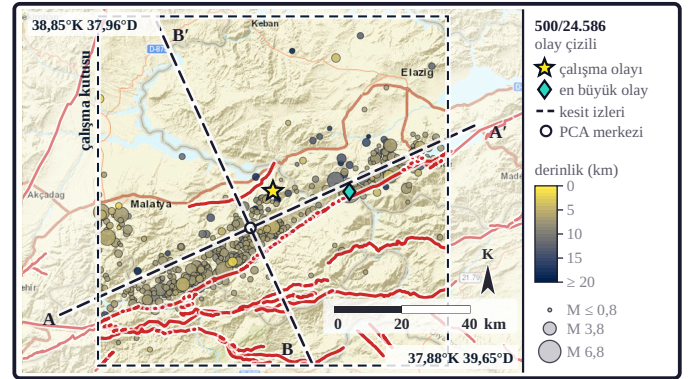
Şekil 3a. Olayların %95'i 4,8–16,0 km derinlik bandındadır; ortanca derinlik 7,0 km'dir (sabit atamalar dışlanınca 7,8 km). A–A' kesiti olayları kesit eksenini (kutu yayılımının uzun eksenini) boyunca uzanan düşey düzleme izdüşürür. Sarı yıldız çalışma olayıdır; daire rengi derinliği, çapı büyüklüğü verir. Alt kenardaki üçgenler derinlik ekseninin altında kalan olaylardır; kataloğun en derin kaydı (400 km) kurumun bildirdiği yuvarlak bir değerdir. Kesikli yatay çizgi kurumların varsayılan olarak atadığı sabit derinliktir. A–A' ve B–B' kesitleri aynı yatay açıklık ve aynı derinlik ekseniniyle çizilmiştir (izdüşüm: çalışma kutusundaki olayların çizim örnekleme; derinlikler katalog hiposantrlarıdır).



Şekil 3b. B–B' kesiti olayları kesit eksenine dik düşey düzleme izdüşürür. İmler, renk ölçeği ve iki eksenin ölçeği A–A' kesitiyle aynıdır; düşey abartı iki kesitte eşittir (izdüşüm: çalışma kutusundaki olayların çizim örnekleme).



Şekil 3c. Yatay eksen kesit eksenini (kutu yayılımının uzun eksenini) boyunca, sağ üste kaçan eksen ona dik uzaklığı, düşey eksen derinliği verir. Derinlik eksenini kesitlerle aynıdır. Üst yüzdeki kırmızı çizgiler diri fay izleridir; yıldızdan ve elmadan üst yüze çıkan kesikli çizgiler olayların yüzeydeki izdüşümünü gösterir (kabinet izdüşümü; üç eksen ayrı ölçeklidir; blok kenarları %95 yayılımın 1,06 katıdır).



Şekil 3d. Derinlik renkli harita 24.586 olaylık katalogdan 500 olayı gösterir. Daire rengi odak derinliğini, çapı büyüklüğü verir. Sarı yıldız çalışma olayıdır; kesikli A–A' ve B–B' doğruları kesitlerin harita izleridir (kesikli dikdörtgen çalışma kutusudur; kutunun dışı sorgulanmamıştır, oradaki fay izleri bağlam içindir).

Şekil 3a–3d: A–A' kesiti, çalışma kutusundaki olayların ana eksen boyunca 100,4 km'lik (%95) yayılımını göstermektedir; kesitteki odakların derinlik bandı (%2,5–97,5) 4,8–16,0 km'dir (tam katalog ortancası 7,0 km; Şekil 3a). Derinlik eksenini katalog derinliklerine dayanır; derinlik geometrisi sabit derinlikli kayıtların payıyla birlikte okunmalıdır. Bulutun uzama oranı (uzun kenarının kısa kenarına oranı) 2,751, çalışma kutusunun en-boy oranı 1,002'dir; bulutun uzama oranı kadrainjünün 2,74 katı olsa da kutu bulutunun ana eksenini pencere biçimine duyarlı olduğundan bu eksen yalnız kesitlerin izdüşüm eksenini olarak kullanılmış, yapısal doğrultu olarak yorumlanmamış ve yapısal bir uzama iddiası kurulmamıştır (Şekil 3b). Dik kesitteki dağınıklık, gerçek zon kalınlığı ile konum hatasının toplamıdır ve ikisi bu veriyle ayrıştırılmaz. Düşey yayılımın uzun yatay kenara oranı 0,11'dir; yatay yayılım düşey yayılımı aşmaktadır (Şekil 3c). Bloktaki yoğunlaşmalar, etkinliğin tek bir düzlem üzerinde mi yoksa birden çok parça üzerinde mi geliştiğini görsel olarak ayırt etmeye yarar; kesitlerdeki iki boyutlu izdüşümde üst üste düşen kümeler burada ayrışabilir. Derinliğe göre renklendirilmiş dış merkez haritası, sığ ve derin etkinliğin mekânsal olarak ayrışıp ayrışmadığını gösterir; derinliği bilinen 24.586 kayıtdan 21.113 tanesi 10 km ve daha sığ, 3.473 tanesi daha derindir (tam katalog; Şekil 3d). Derinlik değerleri kurum çözümlerinden geldiği için bu okuma konum kalitesiyle sınırlıdır ve haritadaki renk, histogramdaki tepe ile birlikte okunmalıdır. Çalışma kutusu yayılımının geometrik ölçüleri Tablo 3'te, derinlik dağılımının ölçüleri Tablo A1'de, çalışma alanındaki adlandırılmış diri fay izleri Tablo A2'de verilmiştir.

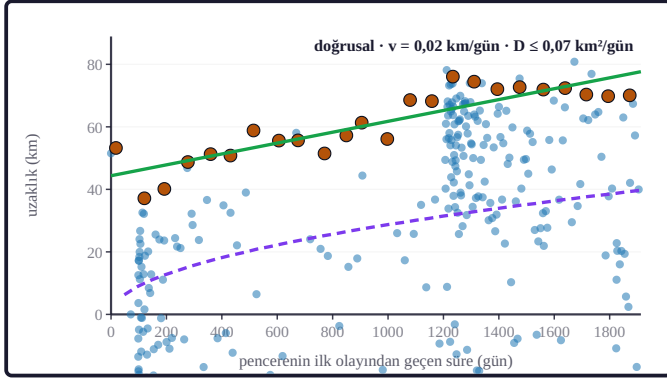
TEKTONİK ÇERÇEVE (DEVAM)

Olay merkezli mekanizma popülasyonundan kestirilen gerilme rejimi doğrultu atımlı faylanmadır ($n = 54$ mekanizma). Olay sığ odaklı ($h < 70$ km) bir depremdir (odak derinliği 10,5 km).

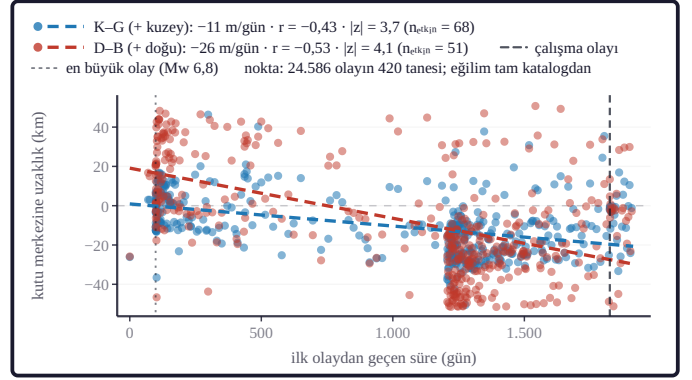
VERİ VE YÖNTEM

Katalog, olay merkezli kutuda 18.10.2019 – 14.01.2025 döneminde kaydedilmiş 24.586 olaydan oluşmaktadır (1.915 gün). Kayıtların kurum dağılımı: AFAD 21.309, ISC 3.199, EMSC 70, GFZ 6, USGS 2. Büyüklük türü dağılımı: ML 24.224, Mw 340, mb 17, türü belirtilmemiş 4, Md 1. Çalışma alanı $103,4 \times 103,1$ km (≈ 10.700 km²) boyutundadır; alan, küresel yaklaşımla hesaplanmıştır (1° boylam = $111,32 \cdot \cos \varphi$ km; 1° enlem = 110,574 km; φ = kutu orta enlemi). Kutunun köşeleri $37,895^\circ\text{K}$ – $38,828^\circ\text{K}$ ve $38,212^\circ\text{D}$ – $39,397^\circ\text{D}$ koordinatlarındadır. Katalog kayıtlarının %13'ü ISC kaynağından gelmektedir. ISC gözden geçirilmiş bülteni gerçek zamanın yaklaşık 24 ay gerisinden yayımlanmaktadır (International Seismological Centre, t.y.); buna göre pencerenin yaklaşık son 3 ayında (pencere sonu sorgu anından öncedir; bültenin ufkü pencerenin yalnız bu bölümünü dışarıda bırakır) bu kaynağın katkısı gözden geçirilmemiş kurum bildirimlerinden oluşmaktadır. Bu bölüm önceki dönemle aynı tamlıkta değildir; ona ait olay oranları ve tamlık büyüklüğü alt sınır olarak okunmalıdır. Bu rapor, olaydan 730 gün sonra hazırlanmıştır; olay sonrası katalog verisi katalog penceresinin sonuna kadarki 90 günle sınırlıdır.

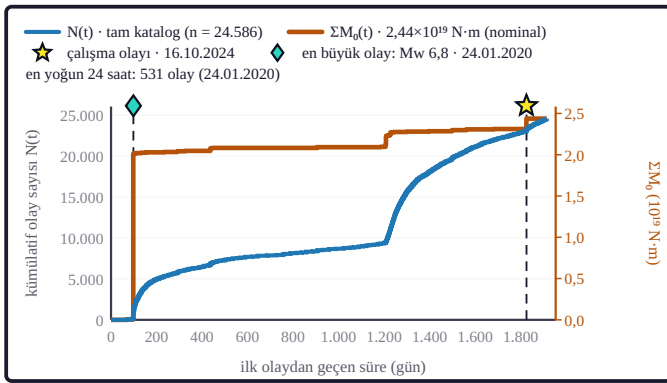
ZAMANSAL DAVRANIŞ VE KÜMELENME



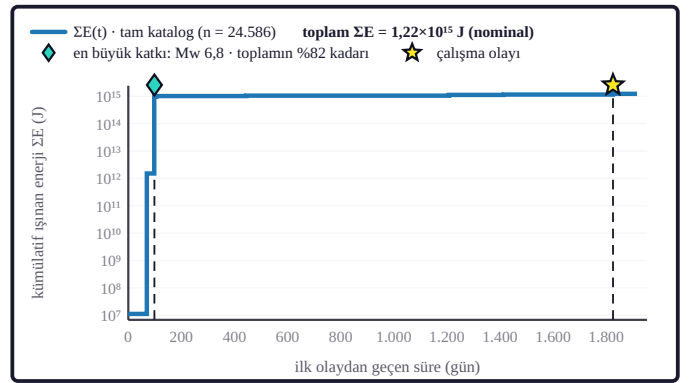
Şekil 4a. Pencerenin olaylarının göç eksenı boyunca uzaklığının, pencerenin ilk olayından geçen süreye göre dağılımı: turuncu noktalar zaman dilimindeki en uzak cepheyi, yeşil doğru doğrusal göç modelini, mor eğri difüzyon modelini gösterir (D üst sınırdır); kesikli çizgi yarışı kaybeden modeldir (Shapiro vd., 1997).



Şekil 4b. Dış merkez koordinatlarının zaman serisinde mavi noktalar kuzey-güney, kırmızı noktalar doğu-batı bileşenidir. Yatay eksen pencerenin ilk olayından geçen süre (gün), dikey eksen kutu merkezine uzaklıktır (km); iki bileşen aynı ölçekte olduğundan eğimleri doğrudan kıyaslanabilir. Kesikli doğrular her bileşenin en küçük kareler eğilimidir; eğim, Pearson korelasyon katsayısı ve etkin örneklem büyüklüğüyle hesaplanan Fisher z değeri lejantıdır. Düşey kesikli çizgi çalışmaya olayının anını işaretler.



Şekil 4c. Mavi eğri kümülatif olay sayısı $N(t)$, turuncu eğri kümülatif sismik moment $\Sigma M_0(t)$ değeridir. Sarı yıldız çalışma olayını, turkuaz elmas pencerede en büyük olayı işaretler (M_0 ölçeği: Hanks ve Kanamori, 1979).



Şekil 4d. Mavi basamak eğrisi kümülatif ısınan sismik enerjidir (ΣE , logaritmik eksen). Kesikli düşey çizgiler çalışma olayını ve en büyük tek katkısı işaretler (Gutenberg ve Richter, 1956 enerji bağıntısı).

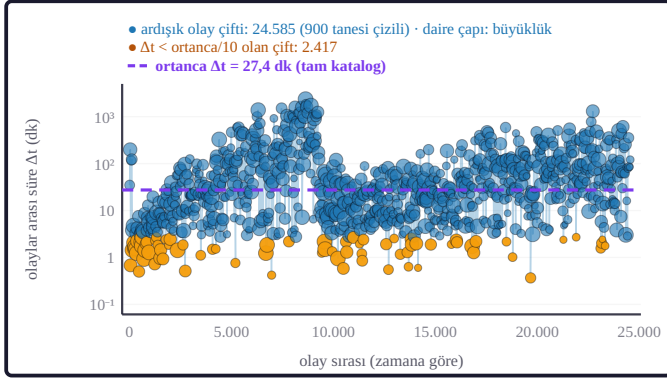
Şekil 4a-4d: 24.586 olay 1914,6 günlük pencerede G65°B doğrultulu eksene izdüşürülmüştür (şekilde eşit aralıklı 1.200 olay çizilidir); cephe 49,3 km uzaklığa ulaşmıştır (24 zaman kutusu; kutu başına en az 5 olay; Şekil 4a). Doğrusal cephe uydurması $v = 0,017 \pm 0,002$ km/gün vermektedir ($R^2 = 0,78$). Difüzyon zarfı $r = \sqrt{4\pi D \cdot t}$ uydurması $D = 0,066$ km²/gün vermektedir ($R^2 = 0,75$); zarf bir üst sınır kestirimidir, ortalama difüzyon hızı değildir. Düzeltilmiş Akaike ölçütü farkı $\Delta AICc = 2,4$ ile doğrusal modeli seçmektedir. Dış merkez koordinatlarının zaman serisi, harita gösteriminde üst üste düşen olayları zaman ekseninde ayırır (Şekil 4b). Kuzey-güney ve doğu-batı bileşenleri kutu merkezine göre kilometre cinsinden aynı eksende verilmiş, eğilim doğrularının eğimi m/gün cinsinden yazılmıştır. Kesikli düşey çizgi çalışma olayının, noktalı düşey çizgi pencerenin en büyük olayının anını işaretler. Kümülatif sayım ve moment eğrileri birlikte okunur (Şekil 4c). Pencere boyunca ortalama etkinlik oranı 12,8 olay/gün düzeyindedir; eğrideki dikleşmeler bu ortalamanın belirgin biçimde üzerine çıkan etkinlik ataklarını işaretler. Kümülatif ısınan enerji basamakları, toplam boşalmanın kaç olaya dağıldığını gösterir (Şekil 4d). Pencerede ısınan toplam enerji $1,22 \times 10^{15}$ J'dür (nominal toplam; katalog büyüklüklerinden). Pencere ile arka plan döneminin kıyası Tablo 4'te, raporlanmayan çözümlemeler ve eleme gerekçeleri Tablo A3'te, çekince düşülen çözümlemeler ve çekince gerekçeleri Tablo A4'te, çapraz-kaynak tekilleştirmede birleştirilen kayıt kümeleri ve tolerans duyarlılığı Tablo A5'te verilmiştir.

VERİ VE YÖNTEM (DEVAM)

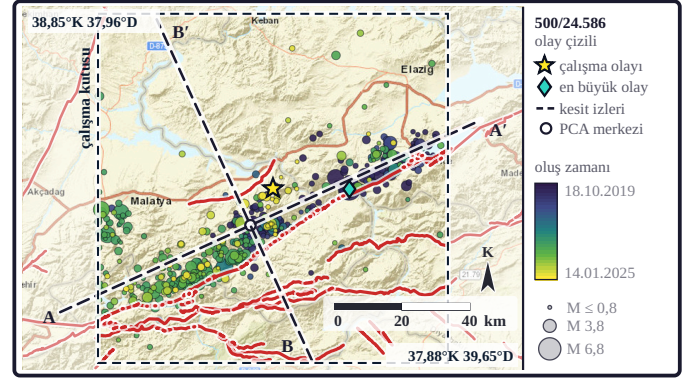
Katalog sorgusu 16.10.2026 tarihinde çalıştırılmıştır; sonraki güncellemeler sayıları değiştirebilir.

Birleşik katalog okunurken veri tabanı değiştirilmeden bir onarım uygulanmıştır: aynı kurumun birbirinden 60 s'den uzak iki ayrı olay kimliğini taşıdığı hâlde birleştirmede tek kayda indirgenmiş satırlar ayrı olaylara bölünmüştür. Bu onarım pencereye 3.048 olay eklemiştir; bunların 224'ü çalışma olayından sonradır ve en büyüğü 16.10.2024 07:50:01 UTC'de gerçekleşen ML 3,3 büyüklüğündeki olaydır (AFAD raporu). Çapraz-kaynak kopyaları (1) $\Delta t \leq 20$ s, $\Delta \log M \leq 51$ km ve $\Delta M \leq 0,5$ ya da (2) $\Delta t \leq 5$ s ve $\Delta \log M \leq 51$ km (büyüklük ölçüsü farkı gözlemlenmez) ölçütüyle tekilleştirilmiş, 1.155 kayıt düşürülmüştür; çakışan kayıtlarda temsilci, kurum önceliği (yurt içinde ulusal ağ önce), moment büyüklüğü tercihi ve en yüksek büyüklük değeri sırasıyla seçilmiştir. Tüm istatistikler tekilleştirilmiş katalog üzerinde hesaplanmıştır. Kendi hizmet bölgesi dışında kalan bölgesel ağların tek kaynaklı kayıtları (uzak ağ kayıtları; $M \geq 2,0$) ayrı bir kuralla ele alınmıştır: en az iki kurumun bildirdiği bir olayla $\Delta t \leq 35$ s, $\Delta \log M \leq 300$ km ve büyüklük farkı $-0,5$ ile $+1,5$ arasında eşleşen 24 kayıt o olayın kopyası sayılmış, eşi bu ölçütlerle bulunamayan 2 kayıt ise bağımsız bir olay olduğu doğrulanmadığından istatistiklere alınmamıştır. Böylece sorgudan dönen 25.767 kayıttan 1.181'i ayıklanmış ve çözümleme 24.586 olayla yapılmıştır. Bu çalışmada benimsenen büyüklük, hiposantrı veren kurumun (AFAD) kendi büyüklüğüdür: Mw 5,9 (moment büyüklüğü sınıfı). Öteki kurumların bildirdiği büyüklükler olay künyesi bölümünde karşılaştırılmıştır; farklı ölçeklerdeki değerler aynı fiziksel niceliği ölçmediğinden tek bir yayılım istatistiğinde toplanmamıştır. Moment ve enerji toplamalarında büyüklük türleri arasında ampirik dönüşüm uygulanmamıştır: moment türü büyüklük taşıyan 340 kayıt gerçek sismik momentle, öteki 24.246 kayıt ise katalog büyüklüğü moment büyüklüğü sayılarak hesaplanan nominal değerle toplanmıştır; nominal toplamalar bu etiketle verilmiştir.

ZAMANSAL DAVRANIŞ VE KÜMELENME (DEVAM)



Şekil 5a. Düşey eksen bir önceki olaydan geçen süredir (dakika, logaritmik). Mor çizgi ortalama süredir; turuncu daireler ortalancanın onda birinden kısa aralıklardır. Daire çapı büyüklükle artar (seri: tekilleştirilmiş tam katalog).



Şekil 5b. Daire rengi oluş zamanını (koyu mor en eski → sarı en yeni), çapı büyüklüğü verir. Öbür imler Şekil 3d'deki gibidir (kesikli dikdörtgen çalışma kutusudur).

Şekil 5a ve 5b: Bekleme süresi serisi, ardışık olaylar arasındaki zaman farkını olay sırasına göre verir (Şekil 5a). Ortanca bekleme süresi 27,4 dakika düzeyindedir (tam katalog); bu değerin onda birinden kısa 2.417 aralık ölçülmüştür (24.585 aralıkta); bu sayı Poisson (üstel bekleme) beklentisinin (1.646,4) üstündedir (binom $P(X \geq 2.417) < 0,001$) ve tetiklenmiş etkinlikle uyumludur. Ağırlık merkezinin zaman içindeki yer değiştirmesi sismosite göçü bölümünde ölçülmüştür; bu panelde bir model oturtması yapılmamış, doğrusal/difüzyon ayırımına gidilmemiştir (Şekil 5b).

VERİ VE YÖNTEM (DEVAM)

Koordinatlar WGS84 datumundadır; derinlikler deniz seviyesine göre pozitif aşağı verilmiştir ve kurum çözümlerinden olduğu gibi alınmıştır (topografyaya indirgeme yapılmamıştır). Konum kalitesi alanları — varış artışı RMS, azimut boşluğu, faz sayısı, yatay ve düşey konum belirsizliği (ERH/ERZ), en yakın istasyon uzaklığı — birleşik katalogta taşınmadığından katalog genelinde bir kalite filtresi uygulanamamıştır. Derinlik istatistikleri çözüm kalitesine bağlıdır: kayıtların %57'sinin derinliği 0,1 km'ye yuvarlandığında 7,0 km'dir (13.937/24.586); bu değer, derinlik çözümüyle sabitlendiğinde kurumun atadığı varsayılandır; yığın ve standart sabit derinlik (0/5/10/33 km) atamaları birlikte kayıtların %58'ini oluşturmaktadır (14.350/24.586); derinlik ortancası ve derinlik bandı bu yapay yığının etkisi altındadır. Derinliğe dayanan ölçüler (derinlik bandı, kesit geometrisi) bu çekinceyle verilmiştir. Hiposantr bulutuna düzlem uydurması raporlanmamıştır; gerekçesi ekteki raporlanmayan çözümlemeler çizelgesindedir.

Tamlık büyüklüğü M_c , üç ölçütün verdiği eşiklerin en büyüğü olarak benimsenmiştir: azami eğrilik (+0,2 düzeltmeyle), uyum iyiliği (gözlenen dağılımın en az %90 oranında üstel yasayla modellenilebildiği eşik; Wiemer ve Wyss, 2000) ve b-kararlılığı (ardışık 5 eşik değerinde, her biri en az 50 olayla kestirilen b'nin kararlı kaldığı eşik; yöntemlerin karşılaştırması için Woessner ve Wiemer, 2005). Bu katalogda eşik b-kararlılığı ölçütü belirlemiştir: $M_c = 1,9$. b-değeri bu eşik üzerindeki olaylardan en büyük olabilirlik kestiricisiyle (Aki, 1965), eşik $M_c - \Delta M/2$ kutulama düzeltmesi (Utsu, 1966) uygulanarak hesaplanmıştır. b değerlerinin belirsizliği için 3 kestirim hesaplanır (Shi ve Bolt, 1982; Aki, 1965; yeniden örnekleme) ve en büyüğü benimsenir; yeniden örneklemede (bootstrap) M_c ve b birlikte yeniden kestirilir. Tamlık büyüklüğü ölçütlerinin sayısal eşikleri bu çalışmanın işletimsel seçimleridir. b değerinin raporlanması ayrıca büyüklük-frekans dağılımının üst kuyruğunda sınanmıştır: yasadın beklenen olay sayısının en az 1 olduğu, 0,5 birim aralıklı büyüklük eşiklerinde bu sayı katalogta gözlenen olay sayısı ile binom olasılığı üzerinden karşılaştırılmış; en küçük olasılık 0,01'in altındaysa b raporlanmamıştır (işletimsel ölçüt).

Odak mekanizması ve moment-tensör çözümleri Global CMT (GCMT) katalogundan alınmıştır (Ekström vd., 2012).

Gerilme tensörü inversiyonu Michael (1984) doğrusal yöntemi ve Vavryčuk (2014) kararsızlık ölçütüyle yinelemeli çözülmüştür ($\mu = 0,6$; 4 yineleme; belirsizlik 200 yeniden örnekleme %2,5–97,5 aralığıyla verilmiştir, yönün kısıtlanma düzeyi ise odak mekanizması açılarına gürültü eklenerek yinelenen yeniden örneklemeyle ayrıca sınanmıştır); SHmax doğrultusu Lund ve Townend (2007) türetimiyle, rejim sınıfı Anderson (1951) çerçevesi ve Dünya Gerilme Haritası kuralıyla (Zoback, 1992) verilmiştir.

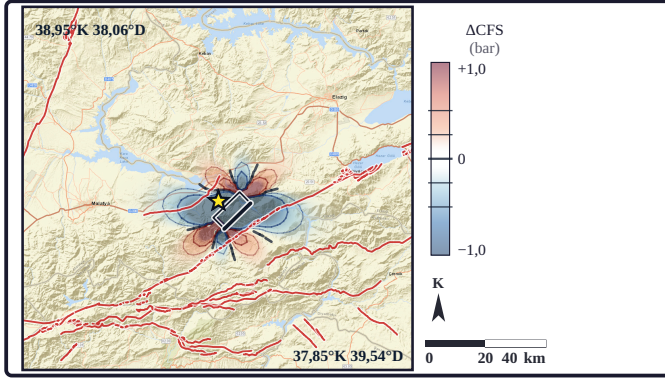
Arka plan dönemi olarak çalışma penceresinin başlangıcından geriye uzanan ve onunla örtüşmeyen 5 yıllık pencere (19.10.2014 – 18.10.2019) aynı kutu ve eşikle ayrıca sorgulanmış (1.558 kayıt), pencere istatistikleri bu tabanla kıyaslanmıştır.

Diri fay verisi MTA TDFH-2026 (Türkiye Diri Fay Haritası) katmanından alınmıştır (Elmacı vd., 2026). Katmanın çalışma kutusuna düşen parçaları sürekli izlere birleştirilmiştir: kutuda 176 iz bulunmaktadır ve bölge haritalarında bunların en uzun 90'ı, tektonik haritada en uzun 60'ı çizilmiştir; fay çizelgesi için aynı adı taşıyan parçalar ayrıca 1 km toleransla uç uca birleştirilmiş, elde edilen 180 izin (6 farklı ad) en uzun 8'i 3 ad altında çizelgede listelenmiştir. Şekillerdeki harita kadralları eş-dikdörtgen (equidistant cylindrical) izdüşümündedir: standart paralel kutunun orta enlemi olan 38,36°K'dir ve harita ölçeği iki eksenle eşit tutulmuştur; şekillerdeki tek ölçek çubuğu bu koşulla geçerlidir. Boylam ölçeğinin sapması kutunun kuzey ve güney kenarlarında ters işaretlidir ve en çok %0,6'dır. Altlık karoları Web Mercator karolarından üretilip aynı dikdörtgene indirgenmiştir; altlık ölçülen bir nicelik taşımaz, yalnız coğrafi bağlam verir.

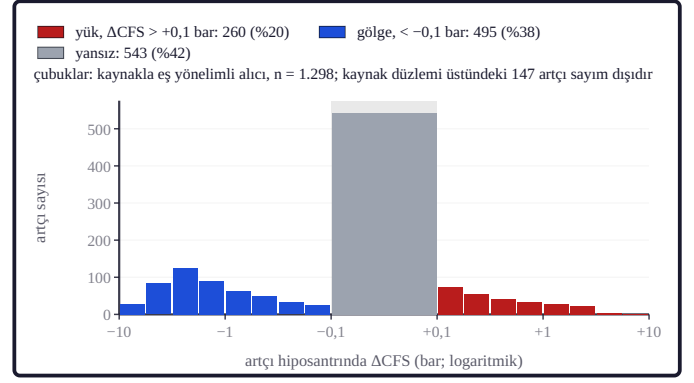
OLAY KÜNYESİ, KONUM GÜVENİLİRLİĞİ VE BÜYÜKLÜK MUTABAKATI

16.10.2024 tarihinde 07:46:31 UTC'de Kale (Malatya) çevresinde, 38,3610°K, 38,8045°D koordinatlarında (AFAD çözümü), odak derinliği 10,5 km olan Mw 5,9 büyüklüğünde bir deprem kaydedilmiştir. Aynı olay için bir başka kurum çözümü 38,31°K–38,81°D konumunu vermektedir; iki dış merkez arasındaki fark 6 km'dir. Bu değer kurumlar arası dış merkez farkıdır, bir konum hatası kestirimi değildir; konuma dayanan uzaklık ölçüleri bu farktan daha ince yorumlanmamıştır. Pencere kataloğunda, $M \geq 3,0$ büyüklüğünde ve en az iki kurumun çözdüğü 249 olayda farklı kurum çözümleri arasındaki dış merkez farkının ortancası 3,2 km, yüzde doksanlık değeri 8,9 km olarak ölçülmüştür (aynı olaya ait çözümleri eşleştirme toleransı 51 km); bu ölçü de kurumlar arası farktır ve eşleştirme toleransına koşulludur. Olayın moment tensörü sentroid derinliği 21,1 km'dir; künyedeki odak derinliği (10,5 km) ile birlikte iki değer de sığ odak sınıfına düşer ($h < 70$ km). Uzak ağ çözümleri (INGV; derinlik 8,6 km · NIEP; derinlik 10,0 km · GSI; derinlik 87,6 km) bu karşılaştırmaya katılmamıştır. Olayın katalog kaydı GFZ, AFAD, EMSC, USGS, NIEP, INGV ve ISC çözümlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur; benimsenen hiposantr AFAD çözümüdür. Moment ölçeğindeki 4 kurum kaydı Mw 5,9–6,0 aralığındadır (en büyük fark 0,1 birim); GCMT moment büyüklüğü Mw 6,00 olarak verilmektedir.

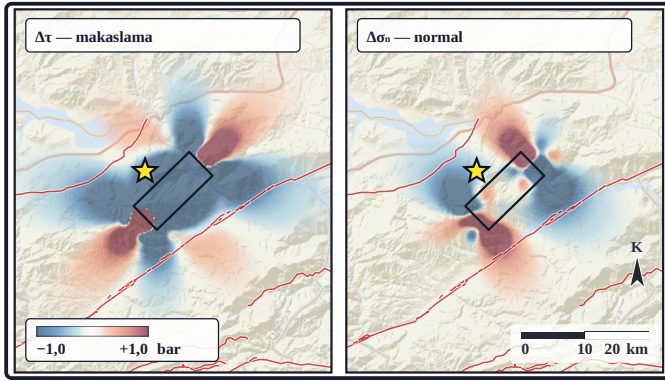
GERİLME ALANI VE KAYNAK MEKANİZMALARI



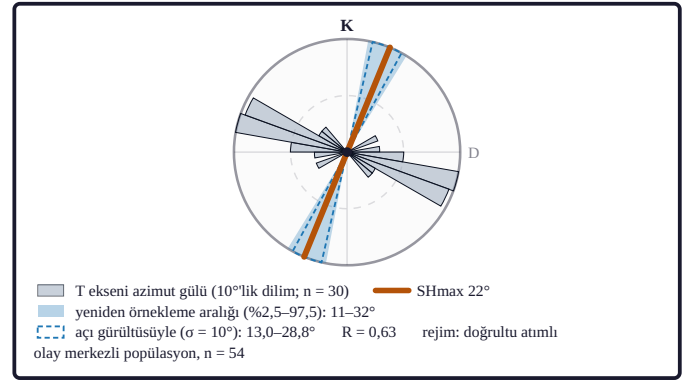
Şekil 6a. Harita statik Coulomb gerilme değişimini (ΔCFS) gösterir (kırmızı artış, mavi azalma; $\pm 1,0$ bar). Yıldız dış merkezdir; dörtgen kaynağın yüzey izdüşümüdür (kalın kenar üstte); çizgiler ΔCFS konturlarıdır. Kırmızı çizgiler diri fay izleridir; renk çubuğundaki çentikler kontur düzeyleridir (ΔCFS : Okada, 1992; King vd., 1994).



Şekil 6b. Coulomb nokta sınaması, izleyen olayların kendi hiposantrlarında hesaplanan ΔCFS değerlerinin dağılımını verir. İzleyen olay konum belirsizliği sayımlara yansıtılmamıştır. Kırmızı çubuklar yük artışını, mavi çubuklar gerilme gölgesini, gri bant iki eşik arasındaki yansız aralığı gösterir (eşik 0,1 bar = 0,01 MPa; Hardebeck vd., 1998).



Şekil 6c. ΔCFS 'in iki bileşeni ayrı panellerde gösterilmiştir: solda makaslama gerilmesi değişimi $\Delta\tau$, sağda fay düzlemine dik normal gerilme değişimi $\Delta\sigma_n$ ($\Delta CFS = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma_n$). Kadiraj kaynak çevresine yakınlaştırılmıştır; renk ölçeği ve kaynak geometrisi ΔCFS haritasıyla aynıdır; yıldız dış merkezdir; ince dörtgen kaynağın yüzey izdüşümüdür (bileşen ayrışımı: Okada, 1992 analitik çözümü).



Şekil 6d. $SH_{max} = 22^\circ$ (yön gevşek kısıtlı); rejim doğrultu atımlı faylanmadır (olay merkezli mekanizma popülasyonunun gerilme inversiyonu). Kuzeyi yukarıda olan gül diyagramında turuncu çift uçlu eksen gerilme inversiyonundan bulunan SH_{max} azimutunu, mavi yelpaze bu azimutun %2,5-97,5 yüzdelik aralığını (eksenel olduğundan karşı ucuyla birlikte) gösterir. Kesikli mavi sınır, her mekanizmanın doğrultu, eğim ve kayma açısına $\sigma = 10^\circ$ 'lik rastgele gürültü de eklenerek yinelenen tersinin aynı yüzdelik aralığıdır (Vavryčuk, 2014). Gri sektörler bölgesel mekanizma kümesinin T eksenini (uzama) azimut güldür (10°'lik dilimler; yarıçap sayımın kareköküyle orantılı); kümede salt çoğunlukta bir sınıf bulunmadığından P eksenini güllü çizilememiştir. İç kesikli çember yarı ölçek halkasıdır; şekil oranı R ve rejim sınıfı lejantıdır (SH_{max} yönü: Lund ve Townend, 2007; rejim sınıfı: Dünya Gerilme Haritası kuralı).

Şekil 6a-6d: ΔCFS haritasında kırmızı alanlar alıcı düzlemlerin kırılmaya yaklaştığı, mavi alanlar uzaklaştığı kesimlerdir (Şekil 6a). Nokta sınamasının histogramı, izleyen olayları kendi hiposantrlarındaki ΔCFS değerine göre yükleme, gölge ve yansız gruplarına ayırır (Şekil 6b). Alanın makaslama ve normal gerilme bileşenleri ayrı panellerde verilmiştir (Şekil 6c). Asal gerilme eksenlerinden en dik olanı σ_2 eksenidir (dalım 64°); Anderson sınıflamasında rejim sınıfı bu dik eksenle belirlenir (Şekil 6d). Gürültülü yeniden örneklemede kullanılan 10° açı gürültüsü ölçülmüş değil varsayılmış bir mekanizma belirsizliğidir; tek tek çözümlerin belirsizlikleri bu çalışmanın veri kümesine alınmadığından (GCMT tensör bileşenlerinin standart hataları kullanılmamıştır) gürültülü aralık bu varsayıma bağlıdır. Güldeki T eksenlerinin ($n = 30$) en kalabalık 10° 'lik dilimi $100-110^\circ$ aralığındadır; bu dilime dik yön ile inversiyonun verdiği en büyük yatay sıkışma yönü arasındaki eksenel fark 7° 'dir ve iki yön işletimsel 20° tolerans içinde örtüşmektedir. Gül (bölgesel mekanizma kümesi) ile inversiyon (olay merkezli mekanizma popülasyonu) örtüşen mekanizma örneklemlerine dayandığından karşılaştırma bağımsız bir doğrulamaya değildir. Coulomb gerilme aktarımı sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

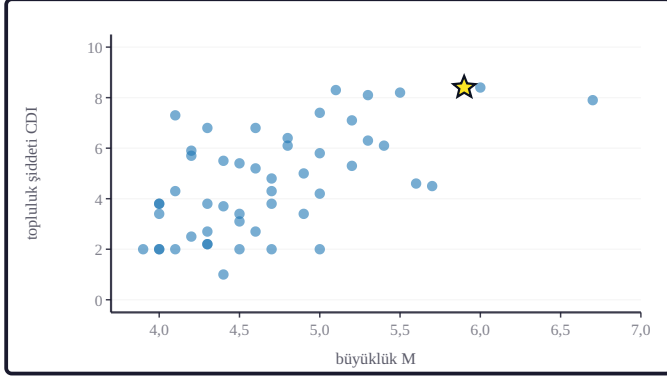
OLAY KÜNYESİ, KONUM GÜVENİLİRLİĞİ VE BÜYÜKLÜK MUTABAKATI (DEVAM)

Aktarılmış çözüm (ISC Mw 6,0; NEIC çözümünün aktarımı) başka bir kurumun çözümünü yinelediğinden ayrı kurum ölçümü sayılmamıştır. Uzak ağ çözümleri (NIEP ML 6,0; INGV Mwp 6,1; GSI Mwp 6,3) derinlik karşılaştırmasında olduğu gibi büyüklük karşılaştırmasına da katılmamıştır. Konum çözümünün yayımlanmış tek kalite ölçüsü şudur: varış artığı RMS = 0,48 s. Yatay ve düşey konum belirsizliği (ERH/ERZ) bu katalogta yayımlanmamıştır.

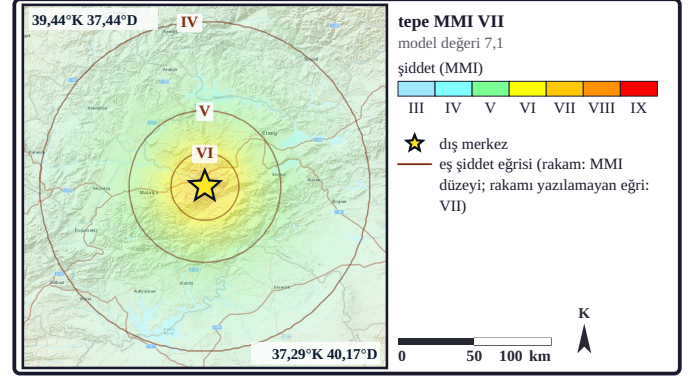
KAYNAK FİZİĞİ: SİSMİK MOMENT, ENERJİ VE GERİLME DÜŞÜMÜ

Sismik moment $M_0 = 1,251 \times 10^{18}$ N·m'dir (Mw 6,00; GCMT skaler momenti). Bu büyüklükten $\log_{10} E = 1,5 \cdot Mw + 4,8$ bağıntısıyla türetilen nominal ısınan enerji $E \approx 6,3 \times 10^{13}$ J'dür; değer Kanamori (1977) varsayımına ($E/M_0 \approx 5 \times 10^{-5}$) dayanır ve ölçülmüş bir ısınan enerji değildir. Gerilme düşümü, yayımlanmış kırık dörtgeninin boyutlarıyla ($L = 12,3$ km, $W = 9,0$ km) ve eşdeğer alanlı dairesel çatlak bağıntısıyla (Eshelby, 1957) $\Delta\sigma \approx 2,6$ MPa olarak kestirilmiştir.

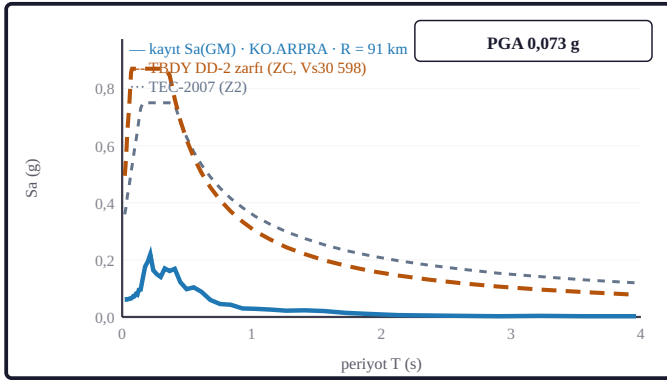
YER HAREKETİ VE ETKİ · GERİLME ALANI VE KAYNAK MEKANİZMALARI (DEVAM)



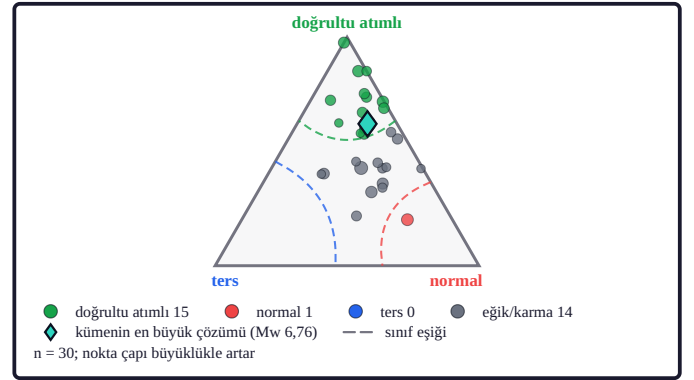
Şekil 7a. Bölgedeki depremlerin topluluk şiddeti (CDI) büyüklüklerine karşı çizilmiştir; yıldız çalışma olayının bildirim kaydıdır (veri: USGS "Did You Feel It?" [DYFI]; yöntem: Atkinson ve Wald, 2007).



Şekil 7b. Harita modellenmiş makrosismik şiddet (MMI) alanını gösterir; yıldız dış merkezdir (şiddet-azalış bağıntısı: Allen vd., 2012).



Şekil 7c. Yatay eksen periyot T (s), dikey eksen %5 sönümlü spektral ivme Sa (g), mavi eğri kayıt, turuncu kesikli eğri tasarım zarfıdır. Şekil kaydedilen yer hareketinin tepki spektrumunu tasarım zarfıyla karşılaştırır, mavi eğri en yakın ivme-ölçer istasyonunun iki yatay bileşeninin geometrik ortalaması Sa(T), turuncu kesikli eğri aynı sahanın zemin sınıfı ve harita spektral ivme katsayılarıyla kurulan TBDY DD-2 tasarım spektrumu, gri noktalı eğri varsa TEC-2007 karşılığıdır; mavi eğrinin turuncu zarfı aştığı periyot bandı, o periyoda denk yapı stoğu için tasarım düzeyinin aşıldığı banittir (TBDY 2018 tasarım spektrumu; kayıt: FDSN ham ivme).



Şekil 7d. Çekinceli sayım: 30 çözümün %50'si doğrultu atımlı sınıftadır (%95 Wilson aralığı %27–73; 15 bağımsız küme). Alt uç %70 baskınlık eşliğinin altında kaldığından tek sınıflı niteleme yapılmamıştır. Bağımsız kümeler Gardner–Knopoff pencereleriyle ayrılmıştır. Frohlich üçgeninde her nokta bir odak mekanizması çözümünün P, T ve B eksenlerinin dalım açılarından gnomonik izdüşümle kurulan konumudur (köşeler: ters, normal, doğrultu atımlı). Renkli kesikli eğriler sınıf eşikleridir (B dalımı 60°, P dalımı 60°, T dalımı 50°); nokta rengi sınıfı, gri renk hiçbir eşığı aşmayan eğik/karma çözümleri, nokta çapı büyüklüğü, turkuaz elmas kümedeki en büyük çözümü gösterir; sınıf sayımları lejjanttadır (Frohlich, 1992 gnomonik üçgeni; Frohlich ve Apperson, 1992 eşikleri; çözümler: Global CMT, Ekström vd., 2012).

Şekil 7a–7d: Şekildeki bulut, bölgede DYFI kaydı bulunan 50 olayın bildirilen en büyük topluluk şiddetini (CDI) büyüklüğe karşı vermektedir; yıldız çalışma olayının kaydıdır (Şekil 7a ve 7c). Çalışma olayının topluluk şiddeti bölge bulutundaki en yüksek değerdir. CDI gönüllü çevrimiçi bildirimlerden derlenir ve yerleşim yoğunluğuna bağlıdır; aletsel şiddetin yerine geçmez. Model şiddet alanı, şiddet-azalış bağıntısının uzaklıkla düşen halkalarını harita üzerinde verir; dış merkez yakınında hesaplanan tepe şiddet MMI VII (model değeri 7,1) düzeyindedir (Şekil 7b). Model hesabına yerel zemin etkisi katılmamıştır; gözlenen şiddet dağılımı bu haritadan değil makrosismik verilerden okunur. Hiçbir eşığı aşmayan 14 çözüm üçgenin orta bölgesinde yer almakta ve eğik/karma sınıfına girmektedir (Şekil 7d). Bölgesel mekanizma kümesindeki çözümlerin büyüklükleri Mw 4,81–6,76 aralığındadır; en büyük çözüm doğrultu atımlı sınıftadır. Sınıf sayımı büyüklükten bağımsız olduğundan her çözüm sayıma eşit ağırlıkla girer; sayıca baskınlık ile moment baskınlığı ayrı niceliklerdir.

KAYNAK FİZİĞİ: SİSMİK MOMENT, ENERJİ VE GERİLME DÜŞÜMÜ (DEVAM)

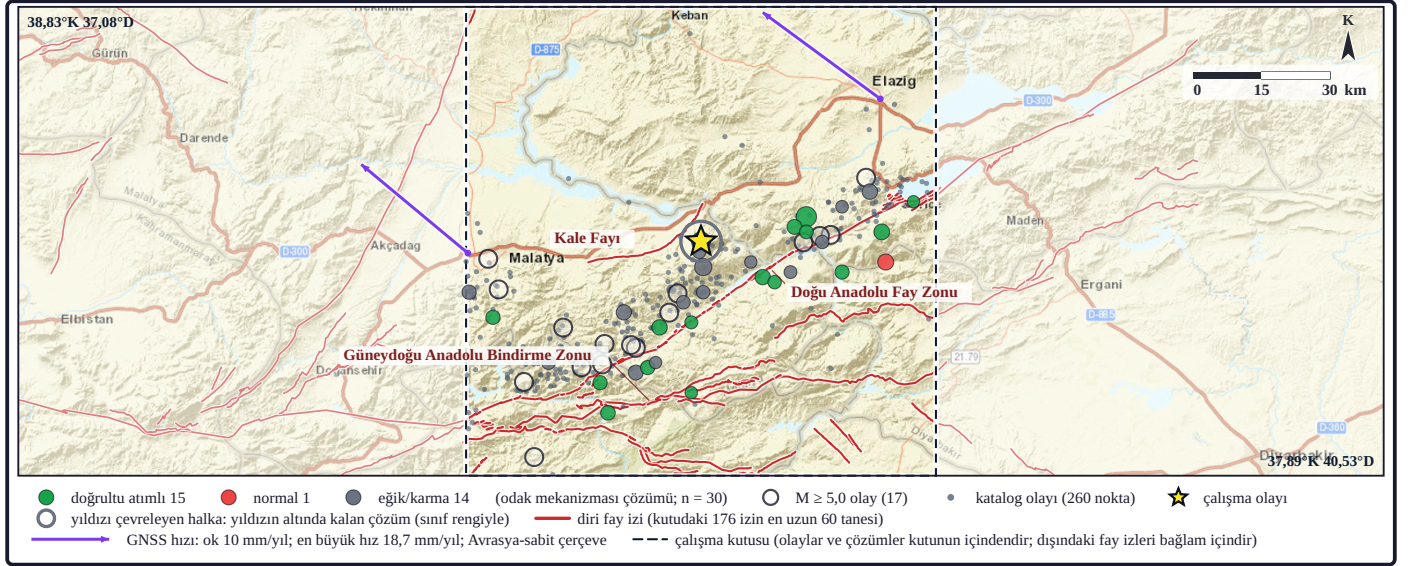
Bağıntıda gerilme düşümü $W^2 \cdot L$ ile ters orantılı olduğundan kestirim öncelikle kırk boyutunun seçimine duyarlıdır: Wells ve Coppersmith (1994) ölçeklemesinin doğrultu atımlı kolunun boyutlarıyla ($L = 14,1$ km, $W = 7,2$ km) aynı bağıntı 2,9–2,9 MPa vermektedir; ölçekleme kolu mekanizmanın baskın kayma bileşenine göre seçilmiştir.

Birincil kestirimle birlikte incelenen 2 seçeneğin tümünde nokta değer 2,6–2,9 MPa, aralığın sınırları 2,6–2,9 MPa arasında kalmaktadır; artçı zonundan türetilen yarıçap kaynak boyutu olmadığından bu aralığa alınmamıştır. Bu aralık yalnız incelenen seçeneklerin yayılımıdır: yayımlanmış öbür boyut seçenekleri (ör. sonlu fay modelinin kendi düzleminin boyutları) yerel arşivde bulunmadığından aralığa girmemiştir; aralık bu nedenle kırk boyutu belirsizliğinin tamamını göstermez. Duyarlılık olarak erken artçı zon (çalışma olayına uzaklıkların %90 yüzdeliği; ilk 2 gün) üzerinden alınan $R = 11,4$ km yarıçaplı dairesel çatlak (Eshelby, 1957) $\Delta\sigma \approx 0,37$ MPa ($n = 247$ olay) vermektedir; artçı zon kaynak yarıçapı olmadığından bu değer benimsen kestirim değildir.

ODAK MEKANİZMASI, MOMENT-TENSÖR AYRIŞIMI VE GERİLME REJİMİ

GCMT moment tensörü çözümünün düğüm düzlemleri doğrultu/eğim/kayma açılarıyla $245^\circ/47^\circ/-10^\circ$ (NP1) ve $342^\circ/83^\circ/-137^\circ$ (NP2) olarak verilmektedir; kayma NP1 üzerinde sol yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atım niteliğindedir. Çözümün moment büyüklüğü Mw 6,00'dır. Moment tensörünün asal eksenlerinin (P, T, B) dalımları ($35^\circ, 23^\circ, 46^\circ$) Frohlich ve Apperson (1992) eşiklerinin ($B > 60^\circ, P > 60^\circ, T > 50^\circ$) hiçbirini aşmadığından mekanizma tek bir faylanma sınıfına atanmamıştır. Kayma açılarına göre kaymanın doğrultu boyunca bileşeni NP1 düzleminde %98, NP2 düzleminde %73 düzeyindedir: kayma iki düzlemde de ağırlıkla doğrultu atımlıdır.

BÖLGESEL TEKTONİK ÇERÇEVE



Şekil 8. Haritada odak mekanizması çözümleri, diri fay izleri ve GNSS hız vektörleri birlikte gösterilmiştir. Renkli dairelerde renk mekanizma sınıfını, çap büyüklüğü kodlar. Kırmızı çizgiler haritalanmış diri fay izleridir; dış merkeze en yakın adlı faylar harita üzerinde adlandırılmıştır. Mor oklar GNSS istasyonlarının yatay hız vektörleridir (başvuru oku ve en büyük hız lejantıdır). İçi boş halkalar $M \geq 5,0$ olayları, küçük gri noktalar katalog sismisitesini, sarı yıldız çalışma olayının dış merkezini gösterir (GCMT mekanizmaları; GNSS: Nevada Geodetic Laboratory [NGL] MIDAS hızları, Blewitt vd., 2016, 2018; Avrasya-sabit çerçeve: GSRM v2.1, Kreemer vd., 2014; faylar: MTA TDFH-2026 [Elmacı vd., 2026]).

Şekil 8: Tektonik çerçeve haritası, çalışma alanını bölgesel fay sistemleri ve 2 GNSS istasyonunun yıllık hız vektörleri bağlamına oturtur (Şekil 8). Vektörler istasyonların levha-sabit çerçevedeki uzun dönemli hızlarıdır; pencere içindeki dizinin anlık deformasyonunu göstermez. Yayımlanmış odak mekanizması çözümleri Tablo A6'da verilmiştir.

ODAK MEKANİZMASI, MOMENT-TENSÖR AYRIŞIMI VE GERİLME REJİMİ (DEVAM)

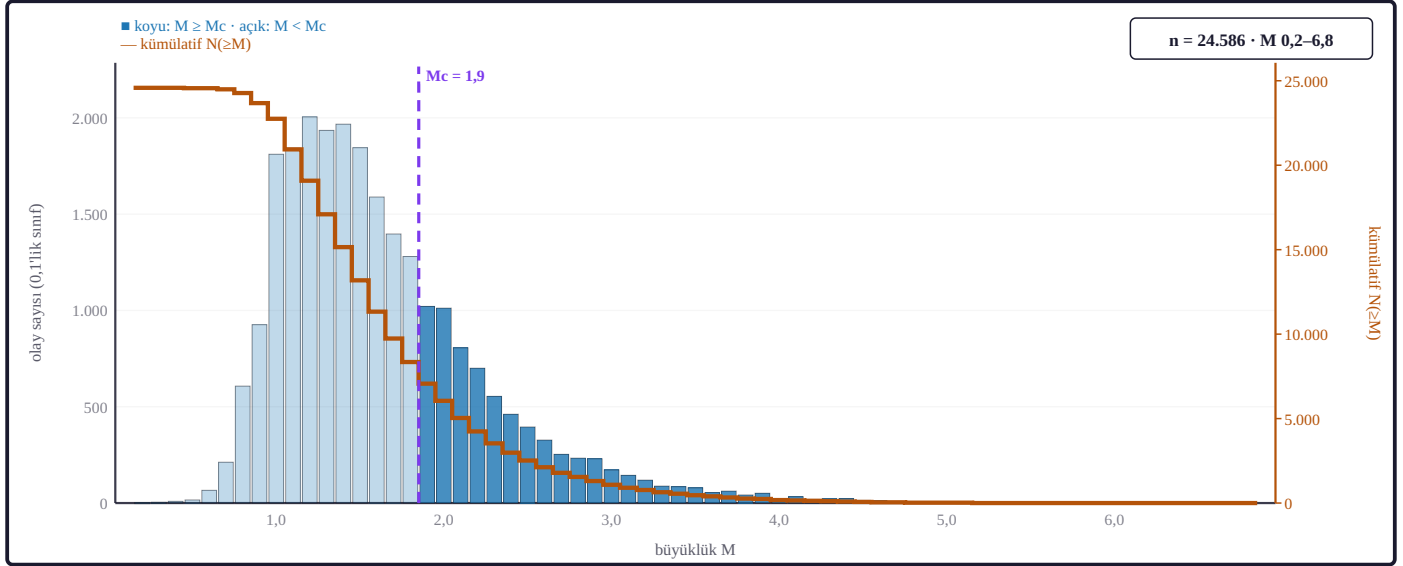
GCMT deviatorik moment tensörünün lune ayrışımı %DC = 84,7, %CLVD = -15,3 vermektedir ($\gamma = 3,9^\circ$; %ISO = 0 ve $\delta = 0$ değerleri ölçüm değil, GCMT çözümünün deviatorik kısıtı gereğidir). Baskın makaslama bileşeni ve sınırlı deviatorik sapma tektonik depremler için olağan aralıktır. Aynışım olayın kendi GCMT çözümü (± 180 s eşleşmesi) tensöründen hesaplanmıştır. Olay merkezli mekanizma popülasyonundan yinelenmeli gerilme inversiyonu (olay merkezinden $\pm 1,2^\circ$; kataloğun bütün dönemi, çözüm yılları 1998–2026; $n = 54$; ortalama uyumsuzluk $20,9^\circ$) en büyük yatay sıkışma yönünü $SH_{max} = 22^\circ$ (%2,5–97,5 yeniden örnekleme aralığı: $11\text{--}32^\circ$) ve rejimi doğrultu atımlı faylanma olarak vermektedir; gerilme şekil oranı $R = 0,63$ ($0,41\text{--}0,84$) olarak kestirilmiştir. Odak mekanizması açılarına 10° standart sapmalı gürültü eklenerek yinelenen yeniden örneklemede aralık $13,0\text{--}28,8^\circ$ olmaktadır; aralığın genişliği bu çalışmanın işletimsel eşliğinin (15°) üzerinde olduğundan yön gevşek kısıtlı sayılmıştır. Şekil oranı $R = (\sigma_1 - \sigma_2)/(\sigma_1 - \sigma_3)$ biçiminde tanımlıdır (asal gerilmeler basınç pozitif, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$); 0'a yakın değer σ_2 'nin σ_1 'e, 1'e yakın değer σ_3 'e yakın olduğunu gösterir. Bu değerler pencere olaylarının kendisine değil, olay merkezli mekanizma popülasyonunun gerilme alanına aittir. Bölgesel mekanizma kümesinin (aynı dönem; $n = 30$) çözümleri Frohlich ve Apperson (1992) eşikleriyle (B dalımı $> 60^\circ$ doğrultu atımlı, $P > 60^\circ$ normal, $T > 50^\circ$ ters; geri kalanı eğik/karma) sınıflanmış ve Frohlich (1992) üçgeninde gösterilmiştir: 15 doğrultu atımlı, 1 normal, 0 ters ve 14 eğik/karma çözüm. Kümede en sık sınıf doğrultu atımlı faylanmadır: 30 çözümün 15'i (%50) bu sınıftır. Oranın %95 Wilson (1927) aralığı $27\text{--}73^\circ$ 'tür; aralık, Gardner ve Knopoff (1974) uzay–zaman pencereleriyle ayrılan 15 bağımsız kümeye göre hesaplanmıştır. Aralığın alt sınırı (%27) bu çalışmanın baskın sınıf nitelmesi için aradığı işletimsel eşğin (%70) altında kaldığından küme tek sınıflı olarak nitelenmemiştir. Eşik kullanmayan en dik eksen sınıflamasında sayım 23 doğrultu atımlı, 7 normal ve 0 ters çözümdür; bu sınıflama eğik/karma çözümleri de en dik eksenlerine göre üç sınıftan birine atar. Bu tip sayımı ile gerilme tensöründen türetilen Anderson rejimi ayrı ölçütlerdir: sayım tek tek mekanizmaların eksen dalmalarını sınıflar, rejim ise popülasyona ortak tek bir gerilme alanı uydurulmasından çıkar; biri diğerinin doğrulaması değildir.

Gerilme inversiyonuna giren olay merkezli mekanizma popülasyonunda ($n = 54$) aynı Frohlich ve Apperson (1992) eşikleriyle mekanizma karışımı 33 doğrultu atımlı, 3 normal, 1 ters ve 17 eğik/karma çözümden oluşmaktadır; bu popülasyon yukarıdaki bölgesel mekanizma kümesinden farklıdır.

KIRILMA GEOMETRİSİ VE GERÇEK KIRIK DÜZLEMİNİN KISITLANMASI

Çalışma kutusundaki sismisitenin yatay yayılımı $100,4 \times 36,5$ km boyutundadır (uzun $\times$ kısa eksen); olayların %95'i 4,8–16,0 km derinlik bandındadır (%2,5–97,5 yüzdelik); kayıtların önemli bölümü sabit derinlikli olduğundan bandın tabanı sismojenik kalınlık olarak yorumlanmamıştır (sabit derinlik payı Veri ve Yöntem bölümünde verilmiştir). İzleyen olay bulutunun uzun eksenini 59° doğrultusundadır (%95 güven aralığı $57\text{--}60^\circ$); uzama oranı 2,63'tür ($n = 1.445$). İzleyen olay kümesinin yatay boyutu en az $86,1 \times 35,2$ km olarak ölçülmüştür (seçim yarıçapıyla sınırlı alt sınır). İzleyen olaylar dış merkez çevresinde 52 km yarıçaplı daireyle seçilmiştir ve bulut bu sınıra dayanmaktadır (dış merkeze uzaklıkların %90 yüzdeliği 43 km, en uzak izleyen olay 52 km); bu nedenle izleyen olay bulutunun boyut ve uzama ölçüleri seçim yarıçapıyla sınırlıdır ve bulutun gerçek yayılımı için alt sınır olarak okunmalıdır, izleyen olayların sentroidi de yalnız seçim dairesinin içindeki izleyen olaylardan hesaplanmıştır. Çalışma olayı bu ölçütle dizinin en büyük olayı olmadığından bulut ölçüleri çalışma olayının kendi artışlarına özgülenemez ve bu çekinceyle okunmalıdır. Gerilme alanı altındaki fay kararsızlık indeksleri $I(NP1) = 0,782$ ve $I(NP2) = 0,952$ olup aradaki fark 0,170 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada iki düzlemin ayırt edilmiş sayılması için benimsenen işletimsel ölçüt $\Delta I > 0,15$ olup, bu eşik literatürden alınmamış, çalışmanın kendi kararı olarak belirlenmiştir. Ölçülen fark bu eşğin üzerindedir; bu ölçüte göre kırık düzlemi adayı NP2'dir. Çalışma olayının Gardner–Knopoff kümesi (2 çözüm) dışlanarak yinelenen inversiyonda ($n = 52$) $I(NP1) = 0,764$ ve $I(NP2) = 0,959$ bulunmuştur; düzlem tercihi aynı kalmaktadır. Aynı gerilme tensörü altında Wallace–Bott kayma uyumsuzluğu (gözlenen kayma vektörü ile düzlem üzerinde gerilme tensöründen çözülen makaslama gerilmesi arasındaki açı; Wallace, 1951; Bott, 1959) NP1 için $3,0^\circ$, NP2 için $20,9^\circ$ ölçülmüştür; fark 10° düzeyini aştığından NP1 lehine bir kanıt sayılmıştır (ölçüt aynı popülasyon tensörüne dayandığından düzlemi tek başına seçmez). Yayımlanmış kırık dörtgeninin (Barnhart Geodetic Centroid Finite Fault) düzlemi NP1 düğüm düzlemine 17° , NP2 düzlemine 74° açıdadır; kaynak boyutuna dayanan hesaplarda bu yayımlanmış geometri kullanılmıştır.

BÜYÜKLÜK İSTATİSTİĞİ VE KATALOG TAMLIĞI



Şekil 9. Tamlik büyüklüğü $M_c = 1,9$ olarak benimsenmiştir (b -kararlılığı ölçütü); bu eşikte uyum iyiliği %98,6 düzeyindedir; pencerenin en büyük olayı $M_w 6,8$ büyüklüğündedir. Mavi çubuklar 0,1 genişliğindeki büyüklük sınıflarına düşen olay sayısıdır (sol eksen); turuncu eğri kümülatif $N(\geq M)$ sayımıdır (sağ eksen). Mor kesikli çizgi tamlik büyüklüğüdür; olay sonrası dönemin b değeri bu çizgiyle değil, o dönemin kendi tamlik eşiğiyle ($M_c = 1,4$) kestirilmiştir. Çizginin altındaki sınıflar açık dolguludur (tam katalog, $n = 24.586$).

Şekil 9: Büyüklük dağılımı ve kümülatif eğri, kataloğun hangi büyüklükten itibaren tam sayıldığını görsel olarak sınar (Şekil 9). M_c altındaki düşüş fiziksel bir eksiklik değil, ağ duyarlılığının sınırır: küçük olaylar meydana gelmiş ancak yeterli istasyonda kaydedilemedikleri için katalogta yer almamıştır. Tüm büyüklük–frekans istatistikleri yalnız M_c üstü örneklemle kurulmuştur; eşik altı veriyi katmak b değerini sistematik olarak düşürdü. Kurumlar arası büyüklük karşılaştırması Tablo 6'da verilmiştir.

DİZİ İSTATİSTİĞİ

Çalışma olayını izleyen 90 günlük dönemde, 52 km yarıçaplı Gardner–Knopoff uzay penceresi (Gardner ve Knopoff, 1974) içinde 1.445 izleyen olay kaydedilmiştir; bunların en büyüğü $M 4,2$ büyüklüğündedir. İzleyen olayların ($M \geq 1,2$) günlük oranı, ilk ölçüm aralığında (0,7–1,6 saat) günde 700 olaydan (%95 güven aralığı 450–1.100) son ölçüm aralığında (40–90 gün) günde 7,0 olaya (%95 güven aralığı 6,2–7,8) inmiştir; ilk aralıktaki oran son aralıktakinin 99 katıdır (%95 güven aralığı 63–150) ve azalma kesin Poisson güven sınırlarıyla (Garwood, 1936) istatistiksel olarak ayırt edilebilir düzeydedir; ilk 0 saatin kaydı eksik olduğundan ilk ölçüm aralığı kaydın tamlanmış andan sonraki ilk aralıktır. Omori–Utsu sönüm yasası $n(t) = K/(t + c)^p$ bu diziye en büyük olasılırlık yöntemiyle (Ogata, 1983) uydurulmuştur ($n = 952$ olay, 90 günlük pencere); p ve c değerleri bu çalışmanın bulgu ölçütünü karşılamadığından verilmemiştir. Değerlerin verilmemesinin gerekçesi ilk saatlerdeki katalog eksikliğidir. Uydurma çalışma olayından başlamaktadır; tamlik eşiği çalışma olayını izleyen ilk pencerede 1,7'dir ve 1,4 değerine çalışma olayından 0,3 saat sonra inmektedir. İlk saatlerin olay sayısı eksik olduğundan c yukarı yanlış olabilir, p de bu eksiklikten etkilenebilir. Sönüm bu nedenle yalnız yukarıda verilen gözlenen günlük oranlarla betimlenmiştir. Çalışma olayı ile izleyen en büyük olay arasındaki büyüklük farkı $\Delta M = 1,7$ olarak ölçülmüştür (katalog büyüklükleri $M 5,9$ ve $M 4,2$); fark Båth yasasıyla (Båth, 1965) karşılaştırılmamıştır. Aynı dizi için büyüklük–frekans (Gutenberg–Richter) bağıntısının ekstrapolasyonundan (Gutenberg ve Richter, 1944) türetilen en büyük olay kestirimi $M^* \approx 4,9$ 'dur (kestirimde kullanılan $b = 0,81$; 52 km yarıçaplı dizi penceresinde $M \geq 1,2$ olan 952 izleyen olay üzerinden); bu, dizinin istatistiksel ölçek göstergesidir, gelecekteki bir olayın büyüklüğü değildir. Buradaki b , dizi penceresindeki izleyen olaylardan kestirilmiştir ve bölgesel sismisite bölümünde verilen olay sonrası b ile aynı çekinceyi taşır: ilk saatlerdeki katalog eksikliği nedeniyle b aşağı yanlış olabilir; b küçüldükçe M^* büyüdüğünden kestirim yukarı yanlış olabilir: ilk 0,3 saat dışlanarak kurulan ikinci kestirimde ($b = 0,90$, olay sonrası dönemin ikinci b kestiriminden; $M \geq 1,4$ olan 694 izleyen olay) $M^* \approx 4,5$ 'tir ve aynı alt listede gözlenen en büyük izleyen olay $M 4,2$ 'dir.

STATİK COULOMB GERİLME AKTARIMI VE GÖZLEMSEL SINAMASI

ΔCFS alanı, yarı-sonsuz elastik ortamdaki dikdörtgen dislokasyon çözümüyle (Okada, 1992), kaynak fayla eş yönelimli alıcı düzlemde, etkin sürtünme katsayısı $\mu' = 0,40$ ile 8,1 km derinlikte ve 65×61 düğümlü ızgarada hesaplanmıştır. Gerilme aktarımı hesabının kaynak geometrisi yayımlanmış kırık dörtgeninden (Barnhart Geodetic Centroid Finite Fault) alınmıştır (doğrultu/eğim/kayma $226^\circ/54^\circ/-10^\circ$; $L = 12,3$ km, $W = 9,0$ km). Kayma açısı, GCMT moment tensörünün bu düzleme yakın düğüm düzleminde (NP1) alınmıştır. Gözlemsel sına olarak ΔCFS her izleyen olayın kendi hiposantrında, kaynakla eş yönelimli alıcı düzlemde hesaplanmıştır: 1.298 izleyen olayın 260 tanesi (%20) +0,1 bar üzerindeki yükleme alanında, 495 tanesi (%38) -0,1 bar altındaki gölge alanında, 543 tanesi iki eşik arasındaki yansız banttadır; kaynak düzleminin üstüne düşen 147 izleyen olay bu sayımın dışında tutulmuştur. Çalışma olayı bu ölçütle dizinin en büyük olayı olmadığından sınamanın sayımları çalışma olayının kendi artışlarına özgülenemez ve bu çekinceyle okunmalıdır. Yansız bant eşiği 0,1 bar olarak alınmıştır. Bu eşiğin karşılığı olan 0,01 MPa düzeyinin altındaki statik gerilme değişimlerinin saptanabilecek sayıda olay tetikleyebileceği öne sürülmüştür (Hardebeck vd., 1998). Karşılaştırma için bir boş model kurulmuştur: boş model, izleyen olayların yerleşiminin gerilme değişimi alanından bağımsız olduğu varsayımını temsil eden uzamsal karşılaştırma modelidir ve burada olay öncesi sismisitenin konumlarından oluşur. Boş modelde yükleme alanına düşen pay %22 olarak ölçülmüştür (635/2.915); izleyen olay payı ile boş model payı arasındaki fark -1,8 yüzde puanıdır (%95 güven aralığı -4,3 ile 0,9 arası; iki bağımsız oranın farkı için Wilson skor aralıklarını birleştiren Newcombe, 1998 yöntemi). Aralık sıfırı içerdiğinden izleyen olay yerleşimi bu ölçüyle boş modelden ayırt edilememektedir. İzleyen olay konum belirsizliği bu sayımlara yayılmıştır; işletimsel bir konum senaryosunda (yatay 2 km, derinlik 3 km standart sapma) izleyen olayların %70 kadarının sınıfı değişmektedir. Senaryonun yatay sapması pencerede ölçülen kurumlar arası dış merkez farkının ortancasından (3,2 km) küçük olduğundan bu pay alt sınır olarak okunmalıdır; daha geniş bir senaryoda (yatay 5 km, derinlik 5 km standart sapma; sabit derinlikli kayıtlarda derinlik 2–25 km arasında düzgün dağılımlı) bu pay %76 düzeyine çıkmaktadır. Sınıflar katalog hiposantrlarına göre ve alan tetiklenme kanıtı olarak değil, gerilme aktarımının yön ve mertebeye betimlemesi olarak okunmalıdır. Alıcı düzlem kaynakla eş yönelimlidir; bu, gerilme değişimini kaynak fayın kendi geometrisi üzerinde okumak demektir ve başka yönelimli bir alıcı düzlemde yükleme ve gölge alanlarının deseni farklıdır.

Fay kararsızlık ölçütü NP2 düğüm düzlemini ($342^{\circ}/83^{\circ}/-137^{\circ}$) öne çıkarmaktadır; kaynak geometrisi yayımlanmış kırık çözümünden alındığından alan o düzlem üzerine kurulmamıştır. Alanın büyük bölümü küçük genliklidir: izgaranın yalnız %11 kadarında $|\Delta CFS|$, bu çalışmada yansız bant eşiği olarak alınan 0,1 bar'ı aşmaktadır. Düğüm değerlerinin ortancası 0,00080 bar, %5–95 aralığı –0,15 ile 0,081 bar arası, %1–99 aralığı –2,1 ile 0,42 bar arası olarak hesaplanmıştır. Dislokasyon çözümünde gerilme kaynak dikdörtgeninin kenarlarında iraksadığından alanın uç değerleri izgara aralığına bağlıdır ve raporlanmamıştır. Alan iki bileşenine ayrılarak da incelenmiştir: makaslama gerilmesi değişimi $\Delta\tau$ ve fay düzlemine dik normal gerilme değişimi $\Delta\sigma_n$ ($\Delta CFS = \Delta\tau + \mu' \cdot \Delta\sigma_n$). İki panel aynı kadraraj ve aynı kaynak geometrisiyle çizildiğinden, birleşik alandaki desenin hangi bileşenden doğduğu doğrudan okunabilir. Gözlemsel karşılık olarak β oran-değişim istatistiği (Matthews ve Reasenber, 1988) hesaplanmış; 36×36 düğümlü haritada 571 düğümde oran artışı ($\beta > 2$), 379 düğümde sismik gölge ($\beta < -2$) ölçülmüştür (ana şok öncesi 5 yıl, sonrası 90 gün fiili gözlem; yalnız kuramsal beklenen sayımı $E \geq 1$ olan 1.296 düğüm değerlendirilmiştir; $n = 24.586$). Bu sayımlar tekil düğüm eşiğine göredir: 1.296 düğüm birlikte sınıandığında, gerçek bir değişim olmasa dahi her yönde yaklaşık 30 düğümün eşiği yalnız şans eseri aşması beklenir; düğümler örtüşen toplama yarıçapları nedeniyle bağımsız da değildir. Tekil düğüm sayısı bu nedenle tek başına anlamlılık kanıtı sayılmamıştır. Model loblarıyla örtüşme kanıt niteliğindedir, öngörü değildir.

BÖLGESEL SİSMİSİTE VE TARİHSEL BAĞLAM

Olay merkezli bölgesel katalogun b değeri raporlanmamıştır: uydurulan üstel yasa dağılımın üst kuyruğunu betimlememektedir ($M \geq 5,0$ için yasadın beklenen olay sayısı 34,8 iken katalogda 17 olay bulunmaktadır; binom olasılığı $< 0,001$, bu çalışmanın işletimsel eşiği 0,01). Gerekçe ekteki raporlanmayan çözümlemeler çizelgesinde verilmiştir. Tarihse eşik üstü kayıtlar, çalışma olayından önceki dönem için iki halkalı bir ölçütle derlenmiştir: 150 km yarıçapta $M \geq 6,0$ (5 kayıt) ve 60 km yakın kuşakta ayrıca $5,0 \leq M < 6,0$ (38 kayıt); toplam 43 kayıt. Yakın kuşaktaki $M \geq 5,0$ kayıtların sayısı 40'tır; bunların 2'si $M \geq 6,0$ büyüklüğündedir ve ilk ölçütte sayılmıştır. Derlemedeki en büyük olay 2023 yılında, dış merkeze 141 km uzaklıkta gerçekleşen M 7,6 depremidir. Derlemenin öteki büyük kayıtları şunlardır: 1905 M 6,8 (27 km); 2020 M 6,8 (23 km); 2003 M 6,4 (145 km); 1986 M 6,0 (99 km). Derlemenin dış merkeze 20 km'den yakın 7 kaydı şunlardır: 09.05.1998 M 5,1 (13 km); 05.06.2020 M 5,0 (13 km); 07.07.2009 M 5,0 (13 km); 06.05.1931 M 5,2 (16 km); 13.07.2003 M 5,7 (16 km); 04.08.2020 M 5,2 (17 km); 26.11.2005 M 5,2 (17 km). Gardner–Knopoff uzay–zaman pencereleriyle ayrıştırılmış bağımsız $M \geq 5,9$ olaylar 100 km yarıçaplı alanda çalışma olayından önce 4 kez gözlenmiştir (125 yıllık gözlem süresi). Bağımsız olayların ortalama yinelenme aralığının %95 güven aralığı 12–120 yıldır (kesin Poisson sınırları: Garwood, 1936). Katalogun bu büyüklükteki tamlık başlangıcı saptanamadığından gözlem süresi katalogun başından (1900) sayılmış ve katalog bu süre boyunca $M \geq 5,9$ için tam varsayılmıştır; varsayım sınınamadığından değer, eksik erken dönem kayıtları ölçüsünde yanlış olabilir.

ARKA PLAN DÖNEMİ KARŞILAŞTIRMASI

Çalışma olayını izleyen 90 günlük dönemde 52 km yarıçaplı dairede ve olay sonrası dönem ile arka plan döneminin ortak tamlık eşiğinde ($M \geq 1,9$) 260 olay kaydedilmiştir; bu sayı 2,9 olay/gün oranına karşılık gelir. Çalışma penceresinden önceki ve onunla örtüşmeyen 5 yıllık arka plan dönemi (19.10.2014 – 18.10.2019) aynı dairede ve aynı eşikte 444 olay içermektedir; bu dönemin oranı 0,24 olay/gün düzeyindedir. Oran katı 12'dir (%95 güven aralığı 10–14); aralık, iki Poisson sayımı için kesin koşullu aralıktır (Clopper ve Pearson, 1934). Aralık, sayımların bağımsız Poisson olduğu varsayımına dayanır; ayrıştırılmamış (kümelenmiş) sayımlarda gerçek belirsizlik daha geniştir. Arka plan döneminin b değeri, çalışma kutusunun tamamında ve pencereyle aynı tamlık eşiğinde ($M_c = 1,9$) kestirilmiştir: $b = 0,81 \pm 0,04$ ($N = 483$; belirsizlik kestiricisi: Aki, 1965). Pencere değeriyle farkı $|\Delta b| = 0,07$, birleşik belirsizlik 0,04 değerindedir; fark birleşik belirsizliğin iki katını aşmadığından iki dönem b bakımından ayırt edilememektedir.

İki dönem zamanda örtüşmemektedir. Arka plan dönemi çalışma kutusunda büyük bir depremi ve dizisini içermektedir (tarihsel derlemeden: 04.04.2019 M 5,2). Bu depremin Gardner–Knopoff zaman penceresi (0,5 yıl) arka plan döneminin zamanca %10'unu kapsadığından dönemin olay sayısı ve oranı, ayrıştırılmış (bağımsız) sayım dâhil, bu diziden etkilenir; arka plan oranı bu nedenle diziden arınmış bir taban değildir.

SİSMİSİTE GÖÇÜ, KAYNAK DÜZLEMİ VE DÖNEM BÖLÜTLEMESİ

Sismisite göçü, olay bulutunun PCA ana eksenine ($G65^{\circ}B$, $245,5^{\circ}$) izdüşürülmesiyle zaman–mesafe düzleminde incelenmiştir; 1.914,6 günlük pencerede 24.586 olay (figürde eşit aralıklı seyreltilmiş 1200 nokta) kullanılmış, ilerleyen cephe kutu-başı %95 yüzdelikle izlenmiştir. Sabit hızlı (doğrusal) cephe modeli $v = 0,02 \pm 0,00$ km/gün, $R^2 = 0,777$ vermektedir. Difüzyon zarfı $r = \sqrt{(4\pi D \cdot t)}$ uyumu $D = 0,07$ km²/gün (0,8 m²/s), $R^2 = 0,753$ vermektedir; bu değer bir zarf üst sınırıdır, ortalama hidrolik difüzivite kestirimi değildir. Düzeltilmiş Akaike ölçütü doğrusal modeli seçmektedir ($\Delta AIC_c = 2,4$); sabit hızlı cephe ilerleyişi literatürde dayk sokulumu ve asismik kayma cepheleriyle ilişkilendirilen bir desendir, ancak bu panel tek başına mekanizmayı kanıtlamaz. Cephe hızının işareti gözetilerek 0 duraklama ve 2 geri çekilme aralığı ayrı etiketlenmiştir; geri çekilme bir duraklama değildir ve öyle raporlanmamıştır. Sismisitenin ağırlık merkezi, zaman sırasına göre ilk %10 ve son %10 olay (her dilimde 2.459 olay) arasında 28,2 km yer değiştirmiştir (azimut 248° ; iki dilimin ortalama zamanları arasında 1.720,3 gün; ortalama 16 m/gün). Bu ölçü iki ortalamanın farkıdır; bir göç modeli uydurması değildir. Duyarlılık olarak dış merkez koordinatlarının zamana göre doğrusal eğilimi 246° yönünü vermektedir; iki kestiricinin yönleri arasındaki fark 1° 'dir (ağırlık merkezi farkı pencerenin iki ucunu, regresyon bütün pencereyi tartar). Eğilimin anlamlılığı, kümelenmeye karşı etkin örneklem büyüklüğüyle (n_{etkin} ; Gardner–Knopoff bağımsız küme sayısı ile birinci dereceden öz bağlanım ve öz ilişki düzeltmelerinin en küçüğü) ve Fisher z dönüşümüyle sınanmıştır: kuzey–güney bileşeninde $r = -0,43$, $n_{\text{etkin}} = 68$ ile $|z| = 3,7$; doğu–batı bileşeninde $r = -0,53$, $n_{\text{etkin}} = 51$ ile $|z| = 4,1$. En büyük $|z|$ değeri 1,96 eşiğini aştığından eğilim istatistiksel olarak sıfırdan ayrılmaktadır; eğilim çalışma kutusundaki etkinlik dağılımının zaman içindeki değişimini betimler ve tek bir kaynağın göçü olarak yorumlanmamıştır. Dönem yapısını belirlemek için katalog, parçalı sabit oranlı bir Poisson süreci olarak modellenmiş ve değişim noktası başına BIC (Bayesçi bilgi ölçütü) cezasıyla bölütlenmiştir; bölütleme, 24.586 olayın kümülatif eğrisinin eşit aralıklı 800 noktalık örneği üzerinde yapılmıştır. Bölütleme 8 bölüt vermiştir; bölütlerin süresi ve olay oranı zaman sırasıyla şöyledir: 98 gün, 2,5 olay/gün; 4,9 gün, 277,1 olay/gün; 56 gün, 48,5 olay/gün; 302 gün, 9,4 olay/gün; 745 gün, 3,1 olay/gün; 55 gün, 78,4 olay/gün; 83 gün, 39,8 olay/gün; 570 gün, 13,1 olay/gün. Pencerenin toplam sismik moment $2,44 \times 10^{19}$ N·m'dir (nominal: moment türü olmayan büyüklükler moment büyüklüğü sayılarak; ölçülmüş bir moment toplamı değildir); çalışma olayının bu toplamdaki payı %5'tir. Moment bütçesinin üst kanalında (en büyük katalog büyüklüğünün 1,0 birim altına kadar: $M \geq 5,8$) 3 olay toplam nominal momentin %90 kadarını, kalan 24.583 olay %10 kadarını taşımaktadır.

YER HAREKETİ, MAKROSİSMİK ŞİDDET VE MÜHENDİSLİK KIYASI

Şiddet–azalım bağıntısıyla (Allen vd., 2012) modellenen alan, dış merkez yakınında MMI VII düzeyinde tepe şiddet vermektedir (hesap odak derinliği 10,5 km); MMI IV eşiği dış merkezden yaklaşık 108 km uzaklığa kadar aşılmaktadır. Modelde yerel zemin etkisi ayrıca hesaba katılmamıştır. Topluluk şiddeti verisi (USGS “Did You Feel It?”, DYFI) 372 bildirim ile topluluk ondalık şiddeti (CDI) 8,4 değerini vermektedir (USGS PAGER uyarı düzeyi: sarı). USGS ShakeMap model şiddeti MMI 8,0 olup iki değer arasındaki fark 0,4 birimdir; ShakeMap topluluk bildirimlerini gözlem olarak özümlediğinden bu uyum bağımsız bir doğrulama değildir.

Bu çalışmanın şiddet-azalım modeliyle (Allen vd., 2012) kestirilen tepe şiddeti (MMI 7,1) topluluk gözleminin 1,3 birim altında kalmaktadır; fark, modelin yerel zemin koşullarını ve kırık boyutunu hesaba katmamasının ve bildirim dağılımının etkilerini birlikte taşır. Topluluk şiddeti ve model şiddeti değerleri ürünlerin 23.08.2026 16:52:43 UTC'deki durumuna aittir; bildirim sayısı ve şiddet değerleri sonraki güncellemelerle değişir. KO.ARPRA istasyonunun (R = 91,0 km, Malatya) ham ivme kaydından, sayaç değerleri kanal duyarlılığıyla fiziksel birime dönüştürülerek %5 sönümlü elastik tepki spektrumu SDOF sayısal integrasyonu ile hesaplanmıştır. Yatay bileşenlerin geometrik ortalaması $T = 0,22$ s periyodunda $S_a = 0,22$ g tepe değerine ulaşmakta, zemin ivmesi $PGA = 0,073$ g ölçülmektedir (kayıt kaynağı: KOERI). İstasyon zemin koşulu $Vs30 = 598$ m/s olup TBDY-2018'e göre ZC sınıfındadır (TADAS istasyonu 4411, 15,3 km uzaklıkta; harita parametreleri $S_s = 0,716$, $S_1 = 0,206$, 475 yıllık $PGA = 0,304g$). TBDY-2018 DD-2 elastik tasarım spektrumu (ZC, $SDS = 0,869g$, $SD1 = 0,309g$, $TA = 0,071$ s, $TB = 0,356$ s) ile kıyaslandığında KO.ARPRA kaydında gözlenen/tasarım oranı en çok 0,25 olarak ölçülmüştür; zarf bu kayıta hiçbir periyot bandında aşmamıştır. Spektral karşılaştırma geçmiş yer hareketinin mühendislik değerlendirmesidir; yapısal karar için sahaya özel zemin etüdü esastır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

16.10.2024 tarihli Kale (Malatya) depremi (Mw 5,9; odak derinliği 10,5 km), Doğu Anadolu Fay Zonu ve 2023 Kahramanmaraş dizisi bölgesinde meydana gelmiştir; dış merkeze en yakın haritalı faylar Kale Fayı (4,1 km) ve Doğu Anadolu Fay Zonu'na bağlı bir fay parçası (13 km) olarak belirlenmiştir. GCMT moment tensörü çözümü ($M_0 = 1,251 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6,00) NP1 düğüm düzlemi üzerinde sol yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atım niteliğinde kaymaya karşılık gelmektedir; çift kuvvet payı %85 düzeyindedir. Yayınlanmış kırık dörtgeninin boyutlarıyla (L = 12,3 km, W = 9,0 km) gerilme düşümü 2,6 MPa olarak kestirilmiştir. Artçı bulutunun uzun eksen 59° doğrultusundadır. Olay merkezli mekanizma popülasyonunun gerilme inversiyonu en büyük yatay sıkışma yönünü $SH_{max} = 22^\circ$ (odak mekanizması açılarının belirsizliğini de içeren yeniden örnekleme aralığı 13,0–28,8°; yön gevşek kısıtlı) ve rejimi doğrultu atımlı faylanma olarak vermektedir; olayın mekanizması bu gerilme alanıyla uyumludur. Olayı izleyen dönemin olay oranı, ortak tamlık eşliğinde ($M \geq 1,9$), arka plan oranının 12 katıdır (%95 güven aralığı 10–14). Bu değerlendirme mevcut katalog ve model varsayımlarıyla sınırlıdır ve deprem tahmini içermez; deprem tehlikesi iletişiminde tekil olay analizleri değil, olasılıksal tehlike modelleri ve yerel zemin koşulları esas alınmalıdır.

VERİ VE YÖNTEM SINIRLARI

Bu çalışmadaki her sayı, olay merkezli katalog sorgusunun ve aynı olay için derlenen yardımcı veri setlerinin verisinden hesaplanmıştır; hesaplanamayan hiçbir nicelik kestirimle doldurulmamıştır. Veri eksikliği nedeniyle kurulamayan çözümleme şudur: dalga formu çözümlemesi ve bağımsız konum sinaması, üretim anında en yakın istasyonların üç bileşenli kayıtları veri merkezinden alınamadığından kurulamamıştır. Birleşik katalogta hiçbir kurum raporunda büyüklüğü bulunmayan 2 kayıt (hiçbiri çalışma olayından sonra değil) büyüklüğe dayanan çözümlemelere girememiştir. Birleşik katalog dış kataloglarla olay düzeyinde karşılaştırılmamıştır; katalog alımında hiçbir kurum raporu bulunmayan olaylar sayımlara girmemiştir. İzleyen olay sayıları ve onlara dayanan oranlar bu nedenle alt sınır olarak okunmalıdır. Çözümlemelerin rapora girişi önceden tanımlı ölçütlerle belirlenmiştir: verisi bulunmayanlar yukarıda sayılmıştır (veri yeterliliği); aradığı büyüklük ya da geometri koşulunu sağlamayan (ölçek/geçerlilik), örnekleme ya da gözlem süresi bu çalışmanın alt sınırının altında kalan (istatistiksel güç) ve yöntemin kendi ölçütüyle güvenilir bulunmayan (yöntemin kendi güvenilirlik beyanı) 14 çözümleme raporlanmamış ve gerekçeleriyle birlikte ekteki raporlanmayan çözümlemeler çizelgesinde listelenmiştir; örnekleme, belirsizliği ya da girdi verisi eşige yakın kalanlar elenmemiş, çekinceyle raporlanmıştır.

Çekinceyle raporlanan çözümlemeler şunlardır: Omori–Utsu artçı sönümü, Reasenber–Jones artçı dizisi oranı, yinelenme aralığı (nadirlik), en yakın komşu kümelenme, mekanizma sınıflarının dağılımı (Frohlich üçgeni), küme boyutu ve artçı dönemi b değeri. Her çekincenin gerekçesi ve ölçüsü ilgili bölümde ve ekteki çekince çizelgesinde verilmiştir; bu çözümlemelerin değerleri bulgu olarak değil, belirtilen sınırla birlikte okunmalıdır. İstatistikler 18.10.2019 – 14.01.2025 döneminde, olay merkezli kutuda taranan 24.586 kayıt üzerinden üretilmiştir. Kurum hiposantrları yeniden konumlandırılmamıştır; konum ve derinlik belirsizlikleri kurum çözümlerinin kalitesiyle sınırlıdır. Katalog tamlığı zamanla ve büyüklükle değişmektedir; uzun dönemli sayımlara dayanan ölçüler (tarihsel derleme, yinelenme aralığı, arka plan oranı) erken dönem kayıtlarının eksikliğinden etkilenir.

VERİ ERİŞİLEBİLİRLİĞİ

Kullanılan deprem kataloğu, 18.10.2019 – 14.01.2025 dönemi için birleşik çok-kaynaklı arşivden sorgulanmıştır (AFAD, ISC, EMSC, GFZ, USGS); sorgu kutusu ve tekilleştirme ölçütleri Veri ve Yöntem bölümünde verilmiştir. Fay katmanı ve yardımcı veri setlerinin künyeleri Kaynakça ile şekil altıyazırlarındadır. Katalog kayıtlarını üreten ağ ve bültenler: AFAD (Disaster and Emergency Management Authority, 1990), ISC (International Seismological Centre, t.y.), EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre, t.y.), GFZ (GEOFON Data Centre, 1993) ve USGS (U.S. Geological Survey, 2017). Pencere kataloğunun kurumlarına ek olarak çalışma olayının kurum çözümlerinde GSI, INGV ve NIEP (National Institute for Earth Physics, 1994) kayıtları kullanılmıştır; doğrulanmış künyesi bulunmayan kurumlar yalnız adıyla verilmiştir. Tarihsel derlemenin büyüklükleri, kayıt ISC-GEM kataloğunda varsa onun moment büyüklüğüdür (International Seismological Centre, 2026; Di Giacomo vd., 2015, 2018); yoksa birleşik katalogun temsilci değeridir. Moment tensörleri Global CMT kataloğundandır (Dziewonski vd., 1981; Ekström vd., 2012). Tepki spektrumunun ivme kaydı KO ağıının (Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, 1971) KO.ARPRA istasyonundandır. İstasyon zemin parametreleri ($Vs30$, zemin sınıfı) ivme istasyonuna en yakın AFAD TADAS istasyonundan (4411, 15,3 km uzakta) alınmıştır (AFAD, t.y.); bu istasyon Türkiye ulusal kuvvetli yer hareketi ağına aittir (Disaster and Emergency Management Authority, 1973). Birleşik çok-kaynaklı katalog, bu çalışmada kurum çözümlerinin çapraz-kaynak tekilleştirilmesiyle derlenmiş türetilmiş bir üründür; kaynakçada ayrı bir eser olarak listelenmez. Harita altlığı karoları için sağlayıcının istediği atuf: “Sources: Esri, HERE, Garmin, © OpenStreetMap contributors, and the GIS user community” (erişim: 16.10.2026). Konum haritasının (Şekil 1'in iç haritası) altlığı için sağlayıcının istediği atuf: “Source: US National Park Service” (erişim: 16.10.2026). GNSS hız vektörleri Nevada Geodetic Laboratory'nin (NGL) MIDAS hız ürünündendir (Blewitt vd., 2016, 2018) (erişim: 16.10.2026). Topluluk şiddeti verisi USGS “Did You Feel It?” ürününden ve model şiddeti USGS ShakeMap ürününden, uyarı düzeyi USGS PAGER ürününden alınmıştır (erişim: 16.10.2026). Levha sınırları sayısal levha sınırı modelindendir (Bird, 2003).

LİSANS VE YENİDEN KULLANIM

Katalog kayıtları (AFAD, ISC, EMSC, GFZ, USGS) ilgili kurumların kendi yayım ve kullanım koşullarına tabidir; bu çalışma ham katalog kayıtlarının yeniden dağıtımını yapmaz, yalnız türetilmiş istatistikleri, şekilleri ve çizelgeleri yayımlar. Diri fay katmanı, harita altlığı karoları ve yardımcı veri setleri de kendi sağlayıcılarının koşullarıyla bağlıdır — bu veriler için yeniden kullanım izni doğrudan sağlayıcıdan alınmalıdır. Diri fay katmanının kullanım koşulu (sağlayıcı beyanı): MTA resmî yayını — kaynak gösterilerek kullanım. Levha sınırı modelinin kullanım koşulu (sağlayıcı beyanı): ODC-BY 1.0. Tarihsel büyüklüklerin kaynağı olan ISC-GEM kataloğunun kullanım koşulu (sağlayıcı beyanı): CC BY-SA 3.0 (Unported). © 2026 T. Batuhan BULGURLULAR · YAPI ZEMİN. Bu raporun metni, şekilleri, haritaları, çizelgeleri ve hesap sonuçları yazarın özgün çalışmasıdır; tüm hakları saklıdır. Yazarın yazılı izni olmadan çoğaltılamaz, değiştirilemez, yayımlanamaz ve ticari amaçla kullanılamaz.

SAYISAL VERİ ÇİZELGELERİ

Tablo 2. Kurum çözümleri ve benimsenen hiposantr.

Kurum	Oluş zamanı (UTC)	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	M	Tür	Çözüm durumu	Arşive alınma (UTC)
AFAD*	16.10.2024 07:46:31	38,3610°K	38,8045°D	10,5	5,9	Mw	—	22.08.2026 18:09
USGS	16.10.2024 07:46:32	38,3115°K	38,8059°D	10,0	6,0	Mww	gözden geçirilmiş	23.08.2026 16:52
EMSC	16.10.2024 07:46:32	38,3086°K	38,8285°D	10,0	6,0	Mw	—	22.08.2026 19:16
GFZ	16.10.2024 07:46:33	38,334°K	38,851°D	10,0	5,9	Mw	—	22.08.2026 18:05
ISC (NEIC)	16.10.2024 07:46:32	38,3115°K	38,8059°D	10,0	6,0	Mw	aktarılmış çözüm; konumu USGS ile özdeş	28.08.2026 15:55
INGV	16.10.2024 07:46:33	38,3555°K	38,8020°D	8,6	6,1	Mwp	uzak ağ çözümü	25.08.2026 00:48
NIEP	16.10.2024 07:46:34	38,3927°K	38,8450°D	10,0	6,0	ML	uzak ağ çözümü	24.08.2026 21:02
GSI	16.10.2024 07:46:05	40,4731°K	39,5986°D	87,6	6,3	Mwp	uzak ağ çözümü	25.08.2026 02:49

Not: * benimsenen hiposantr (kurumun olay kimliği 640165). Benimseme sırası: olağan çözümler aktarılmış ve uzak ağ kayıtlarından önce gelir; sonra derinliği verilmiş çözüm ve Türkiye için ulusal ağları öne alan kurum sırası gözetilir. Birleşik kataloğun temsilci kaydı benimsenen hiposantrla aynıdır. Aktarılmış çözüm: ISC'nin başka bir kurumdan aktardığı çözüm (parantezde üreten kurum); uzak ağ çözümü: bölgesel ağı kendi hizmet bölgesi dışındaki çözümü; konumu USGS ile özdeş: enlem, boylam ve derinlik USGS çözümüyle birebir aynıdır (bağımsız konum çözümü sayılmaz). Kısaltma: GSI Geological Survey of Israel. Değerler kurumun bildirdiği ondalıklıdır (“—”: alan kayıttı yok). “Arşive alınma”, raporun birleşik arşive alındığı andır (sorgu anı 16.10.2026 08:38 UTC); sonraki güncellemeler çizelgede yoktur.

Tablo 3. Çalışma kutusu yayılımının geometrik ölçüleri.

Nicelik	Değer	Ölçüt / kaynak
Kutu yayılımı (uzun × kısa)	100,4 × 36,5 km	%95 ana bileşen açıklığı (PCA) · çalışma kutusu olayları (n = 24.586)
İzleyen olay bulutu (uzun × kısa; çekinceli)	en az 86,1 × 35,2 km	%95 ana bileşen açıklığı (PCA) · izleyen olay bulutu (n = 1.445) · seçim yarıçapıyla (52 km) sınırlı alt sınır
Derinlik bandı	4,8–16,0 km	%2,5–97,5 yüzdelik · çalışma kutusu olayları
İzleyen olay bulutu ana eksen	59° (%95: 57–60°)	ana bileşen eksenleri · izleyen olay bulutu · uzama 2,63 (kovaryans elipsinin yarı eksen oranı; seçim yarıçapıyla sınırlı)
Kesit eksen (kutu yayılımının uzun eksen)	65°	ana bileşen eksenleri · çalışma kutusu olayları · kesitlerin izdüşüm eksenidir; pencere biçimine duyarlıdır, yapısal doğrultu değildir

Tablo 4. Pencere ile arka plan döneminin kıyası — arka plan: pencerenin hemen öncesindeki 5 yıl (19.10.2014 – 18.10.2019), aynı kutu; sayım ve oran satırları eşiksiz tam katalogdan.

Nicelik	Pencere	Arka plan (5 yıl)
Kayıt sayısı	24.586	1.558
Oran (olay/gün)	12,84	0,85
Mc (dönemin kendi eşiği)	1,9	1,6
Derinlik ortancası (km)	7,0	7,0
Bağımsız olay (GK ayrıştırılmış)	752 (%3)	830 (%53)
Bağımsız olay oranı (olay/gün)	0,39	0,45

Not: Bağımsız olay satırları Gardner ve Knopoff (1974) uzay–zaman pencereleriyle ayrıştırılmış sayımdır; yüzde, ham kayıt içindeki payıdır. Sayım ve oran satırları eşiksizdir ve dönemlerin tamlık eşikleri farklıdır (Mc 1,9 ↔ 1,6); bu satırlardaki fark tamlık farkını da içerir. Arka plan döneminde kutuda $M \geq 5$ bir deprem vardır (04.04.2019 M 5,2); Gardner–Knopoff penceresi (184 gün / 42 km) dönemin %10'unu kapsadığından bağımsız olay satırlarındaki fark ayrıştırmanın etkisini de taşır ve tek başına sismisite değişimi değildir.

Tablo 5. Statik Coulomb gerilme değişimi modelinin parametreleri, alan istatistikleri ve izleyen olay sınaması.

Nicelik	Değer	Kaynak / açıklama
Kaynak mekanizması	226°/54°/–10°	düzlem: Barnhart Geodetic Centroid Finite Fault sonlu fay çözümünden ShakeMap için türetilen kırık kapsamı; kayma açısı: GCMT moment tensörü, NP1
Kırılma uzunluğu L	12,3 km	kırık kapsamının doğrultu boyunca uzunluğu
Kırılma genişliği W	9,0 km	üst kenar 4,5 km, alt kenar 11,8 km derinlikte
Ortalama kayma $\bar{u}$	0,38 m	kırık kapsamı üzerinde tekdüze varsayılmıştır (bu çalışmanın yaklaşımı); $M_0 = \mu \cdot L \cdot W \cdot \bar{u}$ denklighinden; rijitlik $\mu = 30$ GPa
Sürtünme katsayısı μ'	0,40	etkin sürtünme (gözenek basıncı dâhil)
Hesap derinliği	8,1 km	kaynak merkezinin derinliği; alıcı düzlem kaynak fayla eş yönelimli
Izgara	65 × 61	130 × 121 km
Ortanca ΔCFS	0,00080 bar	ızgara düğümlerindeki işaretli değerlerin ortancası (genlik ölçüsü değildir)
Ortanca $ \Delta CFS $	0,014 bar	düğüm değerlerinin mutlak değerce ortancası — alanın tipik genliği
%5–%95 aralığı	–0,15 ile 0,081 bar arası	düğüm değerlerinin merkezî %90'ı
%1–%99 aralığı	–2,1 ile 0,42 bar arası	kuyrukları da içeren aralık
$ \Delta CFS > 0,1$ bar olan ızgara düğümleri	%11	hesap ızgarasında $ \Delta CFS $ yansız bant eşiğini aşan düğümlerin payı (yükleme ve gölge alanları birlikte)
Gösterim ölçeği	±1,0 bar	renk ölçeğinin doyum sınırı
Sınamaya giren izleyen olay	1.445	nokta hesabı · 147 olay kaynak üstünde (sayım dışı)
Yük / gölge / yansız — kaynakla eş düzlem	260 / 495 / 543	alıcı: kaynak fayla eş yönelimli · n = 1.298 · yük %20, gölge %38
Yük / gölge / yansız — düğüm düzlemleri	0 / 0 / 1	alıcı: izleyen olayın kendi düğüm düzlemi · n = 1 · yük %, gölge %0
Yük / gölge / yansız — boş model	635 / 393 / 1.887	uzamsal karşılaştırma modeli: olay öncesi sismisite, aynı uzamsal seçim · n = 2.915 · yük %22, gölge %13
— yalnız serbest derinlikli izleyen olaylar	165 / 308 / 222	kurum varsayılını derinlikler dışlandı · n = 695 · yük %24, gölge %44

Not: Alan Okada (1992) elastik yarı uzay çözümüyle kurulmuş, alıcı geometri kaynak fayla eş alınmıştır. $\Delta CFS = \Delta \tau + \mu' \cdot \Delta \sigma_n$. Değerler tek dikkdörtgen kaynak varsayımına dayanır; çok segmentli kırılmalarda uç bölgelerin deseni basitleşir. İzleyen olay sınaması nokta hesabıdır: ΔCFS her izleyen olayın kendi konumunda ve derinliğinde hesaplanmıştır; yansız bant $|\Delta CFS| < 0,1$ bar; kaynak dikkdörtgenine 2,0 km'den yakın olaylar (kaynak üstü) sayım dışıdır. İzleyen olay konum belirsizliği sayımlara yansıtılmamıştır.

SAYISAL VERİ ÇİZELGELERİ (DEVAM)

Tablo 6. Kurumlar arası büyüklük karşılaştırması.

Kurum	Büyüklük	Tür
NIEP	6,0	ML
AFAD	5,9	Mw
INGV	6,1	Mwp
USGS	6,0	Mww
ISC	6,0	Mw
EMSC	6,0	Mw
GFZ	5,9	Mw
GCMT (moment)	6,0	Mw

Not: Moment büyüklüğü ölçeğindeki 4 kurum değeri 5,9–6,0 aralığındadır (en büyük fark 0,1). Aktarılmış çözüm (ISC Mw 6,0; NEIC çözümünün aktarımı) başka bir kurumun çözümünü yinelediğinden ayrı kurum değeri sayılmamıştır. Öteki ölçek sınıflarındaki değerler ayrı niceliklerdir ve bu karşılaştırmaya katılmamıştır: NIEP ML 6,0 (yerel büyüklük; uzak ağ çözümü); INGV Mwp 6,1 (hızlı moment kestirimi; uzak ağ çözümü). Uzak ağ çözümü (GSI Mwp 6,3) derinlik karşılaştırmasında olduğu gibi bu karşılaştırmaya da katılmamıştır. GCMT satırı moment tensörü referansıdır ve kurum sayımına dâhil değildir.

EK A — ÇİZELGELER

Tablo A1. Derinlik ölçüleri — her satır kendi tanımıyla verilmiştir; derinlikler kurum çözümlerinden olduğu gibi alınmıştır (topografyaya indirgeme yapılmamıştır).

Nicelik	Değer	Ölçüt / kaynak
Derinlikli kayıt sayısı	24.586	tekilleşmiş katalog
Ortanca derinlik	7,0 km	%50 yüzdelik · tüm kayıtlar (n = 24.586)
Ortanca derinlik (serbest)	7,8 km	0/5/7/10/33 km atamaları dışlandı · n = 10.236 (14.350 kayıt elendi)
Yoğunlaşma aralığı	5,2–13,7 km	%5–95 yüzdelik
Derinlik bandı	4,8–16,0 km	%2,5–97,5 yüzdelik · geometri çizelgesindeki bantla aynı ölçü
Ham uçlar	0,0 ile 400,0 km arası	en sığ / en derin kayıt
Yuvarlak derin değerler	1 kayıt	50 km ve daha derin, 50 km'nin tam katı: 400 km'de 1 kayıt · kurum değeridir, bağımsız olarak doğrulanmamıştır; varsayılan sabit derinlikler arasında olmadığından sabit derinlik sayımına girmemiştir
Histogram tepesi	7–8 km	16.266 olay · 1 km'lik aralık
Sabit derinlik yığını	7,0 km · %57	13.937/24.586 olay
Varsayılan sabit derinlikler	413 olay	0/5/10/33 km · n = 24.586

Tablo A2. Çalışma alanındaki adı bulunan diri fay izleri — fay katmanının aynı adlı parçaları uçtan uca dikilerek kurulan 180 izden (6 ad) uzunluğa göre en uzun 8 tanesi, 3 ad altında; haritalardaki iz envanteri ayrı bir birleştirmedir (kutuda 176 iz, bölge haritalarında en uzun 90 tanesi çizilmiştir); kaynak: MTA TDFH-2026 (Elmacı vd., 2026).

Fay / fay sistemi	Dış merkeze uzaklık (km)	İz uzunluğu, parçalar toplamı (km)	Parça	Kayma türü	Eğim (°) ve yönü
Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu	26,6	227,8	5	T	40–65 KB
Doğu Anadolu Fay Zonu	12,8	105,1	2	SoD+N	75–85 KB
Kale Fayı	4,1	29,5	1	N+SoD	60–70 KB

Not: İz uzunluğu haritalanmış parçaların toplamıdır (parçalar arasındaki boşluklar sayılmaz); uzaklık, en yakın parçanın dış merkeze yatay uzaklığıdır. Şu adlar tek bir fayın değil, izlerin bağlı olduğu fay sisteminin adıdır; satır o sisteme bağlı listelenen parçaları verir (aynı adı taşıyan izlerin kutudaki toplam uzunluğu ayrıca içinde): Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (347,1 km), Doğu Anadolu Fay Zonu (194,1 km). Kayma türü kodları: SoD sol yönlü doğrultu atımlı; N normal; T ters. Eğim sütunu, listelenen izlerin veri tabanındaki ham değeridir (eğim açısı aralığı ve eğim yönü); aynı adlı öteki parçalarda değer farklı olabilir.

Tablo A3. Önceden tanımlı ölçütleri sağlamadığı için raporlanmayan çözümlmeler.

Çözümleme	Kapı	Eşik · mevcut	Gerekeçe
Kırılma direktivitesi	ölçek/geçerlilik	$M \geq 6,0$ · mevcut Mw 5,9	Direktivite, sonlu kırık gerektirir (McGuire vd., 2002); sentroid ötelenmesi konum belirsizliğini aşmalıdır. Bu olayda: Mw 5,9 < 6,0 — bu büyüklükte kırık boyu ve sentroid ötelenmesi kurumlar arası dış merkez farkıyla aynı mertebededir (ortancası 3,2 km, n = 249; bu fark bir konum hatası kestirimi değildir).
Gutenberg–Richter büyüklük–sıklık dağılımı	ölçek/geçerlilik	kuyruk uyumu olasılığı $\geq 0,01$ · mevcut < 0,001	Benimsenen b değeri, tamlik eşiği uyum iyiliği ya da b-kararlılığı ölçütüyle doğrulandığında ve eşik üstünde $N \geq 50$, görelî belirsizlik $\leq 0,15$ iken bulgu sayılır; $N \geq 30$ ve görelî belirsizlik $\leq 0,25$ iken çekinceyle raporlanır, bunun altında raporlanmaz. 0,5 birim aralıklı büyüklük eşiklerinde üstel yasadan beklenen olay sayısı ile gözlenen olay sayısının binom olasılığının en küçüğü 0,01'in altındaysa da b raporlanmaz (işletimsel ölçütler). Kestirim en büyük olabîlîrlik bağıntısıyla (Aki, 1965) yapılmıştır; belirsizliğin kestirim yöntemi Veri ve Yöntem bölümünde verilmiştir. Bu olayda: büyüklük–frekans dağılımının kuyruğunun uydurulan üstel yasayla uyuşmaması ($M \geq 5,0$ için beklenen 34,8, gözlenen 17 olay; binom olasılığı < 0,001).
Öncü trafik ışığı (Gulia–Wiemer)	ölçek/geçerlilik	$M \geq 6,0$ · mevcut Mw 5,9	Yöntem (Gulia ve Wiemer, 2019) literatürde tartışmalıdır (Dascher-Cousineau vd., 2020); ancak arka plan ve dizi b değerlerinin ikisi de sağlam kısıtlandığında ve büyük dizide raporlanır. Bu olayda: Mw 5,9 < 6,0 — yöntem büyük dizilerde tanımlıdır ve literatürde tartışmalıdır (Dascher-Cousineau vd., 2020).
Kosismik yatay yer değiştirme (GNSS ⇄ model)	ölçek/geçerlilik	$M \geq 6,0$ · mevcut Mw 5,9	Gözlem, GNSS günlük konum serisinin iki penceresi arasındaki ortanca farkıdır; model Okada yarı-uzay çözümüyle ileri hesaplanır (veriyeye uydurulmaz), böylece uyum ölçüsü bağımsız bir sınamadır. Bu olayda: Mw 5,9 < 6,0 — kosismik yüzey ötelenmesi GNSS günlük çözüm gürültüsünün ($\approx 1\text{--}3$ mm) altında kalır.
Kosismik düşey deformasyon alanı	ölçek/geçerlilik	$M \geq 6,0$ · mevcut Mw 5,9	Düşey alan Okada (1985, 1992) elastik yarı-uzay çözümünün ileri hesabıdır; gözlenen düşey GNSS ötelenmeleri aynı ölçekte üzerine bindirilir ve artık RMS ile birlikte raporlanır. Bu olayda: Mw 5,9 < 6,0 — modellenen düşey yüzey deformasyonu ölçüm gürültüsünün altındadır.

devamı izleyen sayfada

EK A — ÇİZELGELER (DEVAM)

Tablo A3 (devam). Önceden tanımlı ölçütleri sağlamadığı için raporlanmayan çözümlemeler.

Çözümleme	Kapı	Eşik · mevcut	Gereğe
Kayma modelinin yüzey izdüşümü + artçı bulutu	ölçek/geçerlilik	$M \geq 6,0 \cdot \text{mevcut}$ Mw 5,9	Yüzey izdüşümü arazi ölçümü değildir; yayımlanmış kayma modelinin yüzeye izdüşümüdür ve alt yazıda böyle etiketlenir. Bu olayda: Mw 5,9 < 6,0 — bu ölçekte yayımlanmış sonlu-fay kayma modeli genellikle yoktur.
PGA azalımı (istasyon kayıtları)	istatistiksel güç	$n \geq 25 \cdot \text{mevcut}$ 4	Azalım eğrisi bir yer hareketi kestirim bağıntısı değildir: bu olayın kendi istasyon setine uydurulmuş ampirik doğrudur; eğimin anlamlı olması için kayıtların en az on katlık bir uzaklık aralığına yayılması gerekir. Bu olayda: aletsel kayıt sayısının yetersizliği ($n = 4 < 25$).
Mekanizma arama penceresindeki çözümler	istatistiksel güç	$n \geq 3 \cdot \text{mevcut}$ 1	Çalışma olayı çevresindeki mekanizmalar, kırılan fay sisteminin kinematikini tek tek çözümlerden daha güvenilir gösterir; arama penceresi dizinin kendisi değildir ve zaman sınıfları (çalışma olayından önce, çalışma olayı, çalışma olayından sonra) pencere kuralından gelir, öncü ya da artçı nitelemesi taşımaz. Bu olayda: kullanılan arşivde (GCMT) arama penceresinde bulunan mekanizma sayısının yetersizliği ($n = 1 < 3$).
Kayma yönlerinin ana fay doğrultusuna uyumu (kanallanma)	istatistiksel güç	$n \geq 3 \cdot \text{mevcut}$ 1	Kanallanma, kaymanın ana fay yüzeyine ne kadar bağlı kaldığını ölçer; dik uzaklık dış merkez konum hatasını taşıdığı için birkaç kilometrelik farklar tek başına yorumlanmaz. Bu olayda: ana faya uzaklığı ve kayma azimutu birlikte çözülen mekanizma sayısının yetersizliği ($n = 1 < 3$).
GNSS gerinim hızı alanı	istatistiksel güç	$n \geq 6 \cdot \text{mevcut}$ 2	Gerinim hızı, üçgen köşelerindeki istasyonların yatay hız farklarından kenar uzunluğu değişimiyle hesaplanır; ağır kurulabilmesi için en az 6 istasyon gerekir ve alan, istasyonların seyrek olduğu kenarlarda zayıf kısıtlıdır. Bu olayda: üçgen ağı kuracak GNSS istasyonu sayısının yetersizliği ($n = 2 < 6$).
Hiposantr bulutuna düzlem oturtma (PCA)	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	—	Ana bileşen çözülmesiyle oturtulan düzlem, ancak bulut düzlemselse, bu olayın artçı bulutuna oturtulmuşsa, bulutta en az 50 olay varsa ve kurum varsayılanı (sabit) derinlikli kayıtlar ayrıldıktan sonra oturtma için en az 12 nokta kalıyorsa kırık düzlemi olarak yorumlanabilir (işletimsel ölçütler). Bu olayda: hiposantr bulutu düzlemsel değil çizgiseldir (Westin vd., 2002 çizgisellik ölçüsü $cl = 0,74$; düzlemsellik ölçüsü $cp = 0,20$); çizgisel bir buluta oturtulan düzlem, çizgi etrafında serbestçe döner.
Artçı zonu genişlemesi	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	zarf < seçim yarıçapının %90 düzeyi · mevcut %96	Artçı zonu genişlemesi, artçı alanının logaritmik zamanla değişimi olarak ölçülür (Tajima ve Kanamori, 1985). Zarfın zaman kutularında yeterli örnekleme ($n \geq 50$) kurulması ve artçı seçiminin zarfı sınırlamaması bu çalışmanın işletimsel ölçütüdür: bulut seçim yarıçapına dayanıyorsa zarf o yarıçapın ötesine çıkamaz ve genişleme sınanamaz. Bu olayda: artçı bulutunun seçim yarıçapına dayanması (zarfın en büyük değeri 50 km; seçim yarıçapı 52 km) — zarf bu yarıçapın ötesine çıkmayacağından genişleme bu seçimle sınanamaz.
Geriye dönük öncü çözümlemesi (ters Omori)	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	$p \leq 0,05 \cdot \text{mevcut}$ 0,946	Öncüler ancak dizinin en büyük olayı bilindikten sonra tanımlanabilir (öncü etkinliğinin özellikleri için Jones ve Molnar, 1979); arka plandan ayrılmayan etkinliğin öncü dizisi sayılmaması bu çalışmanın ölçütüdür. Bu olayda: etkinliğin arka plandan ayrılmaması (negatif binom $p = 0,946 > 0,05$; taban 19 kutu).
Hiposantr konum kalite notu	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	—	Konum kalite notu, kalite ölçüleri benimsenen hiposantri veren kurumun çözümüne aitse ve çözüm türüne (yerel, bölgesel, telesismik) uygun eşiklerle kurulur; yerel ağ eşikleri en yakın istasyonu 100 km'den uzak çözümlere uygulanmaz (işletimsel ölçüt; ölçütlerin tartışması için Husen ve Hardebeck, 2010). Bu olayda: çözüm türünün (yerel, bölgesel, telesismik) belirlenememesi — yerel ağ eşikleri bu çözüme doğrudan uygulanamaz.

Not: Eleme elle değil, önceden tanımlı kapılarla yapılmıştır: ölçek/geçerlilik (çözümlemenin aradığı büyüklük, genlik ya da geometri koşulu sağlanmamıştır), istatistiksel güç (örneklem ya da gözlem süresi bu çalışmanın raporlama eşığının altındadır) ve yöntemin kendi güvenilirlik beyanı (yöntemin kendi ölçütü sonucu güvenilir bulunamıştır). Örneklemi ya da belirsizliği sınırda kalan çözümlemeler elenmemiş, çekinceyle raporlanmıştır (çekince çizelgesi). Eşikler bu çalışmanın kendi raporlama eşikleridir; dayanağı gerekeç sütunundadır.

Tablo A4. Çekince düşülen çözümlemeler.

Çözümleme	Çekince
Omori–Utsu artçı sönümü	Sönüm üsteli p ancak uydurma kısıtlıyken ölçümdür. Uydurma en az 20 artçıyla kurulur; değerlin bulgu olarak raporlanması için bu çalışmanın ölçütü $n \geq 50$, p'nin standart sapması $\leq 0,20$ ve gözlem süresinin c değerinin en az 10 katı olmalıdır (işletimsel ölçütler; en büyük olabilirlik kestirimi için Ogata, 1983; Utsu vd., 1995). Bu olayda: uydurmanın çalışma olayından başlaması ve ilk saatlerde tamlık eşığının benimsenen eşigin üzerinde olması (ilk pencerede Mc 1,7 > 1,4; eşik benimsenen değere çalışma olayından 0,3 saat sonra inmektedir) — ilk saatlerin olay sayısı eksik olduğundan c yukarı yanılabilir.
Reasenberg–Jones artçı dizisi oranı	Dizi oranı modeli (Reasenberg ve Jones, 1989) dizinin a, b, p ve c parametreleriyle kurulur; bu değerler dizinin kendisinden kestirilemediğinde oranın bu diziyi betimlemediği bu çalışmanın değerlendirmesidir. Bu olayda: bağlı olduğu Omori–Utsu sönüm parametrelerinin (p, c) çekinceyle raporlanması; b değerinin de ilk saatlerdeki katalog eksikliği nedeniyle aşağı yanılabilmesi.
Yinelenme aralığı (nadirlik)	Yinelenme aralığı, çalışma olayı dışlanarak ve katalogun tamlık döneminde eşik üstü bağımsız olayların sayımından kestirilir; $n \geq 5$ iken nokta değeri %95 aralığıyla, $1 \leq n < 5$ iken yalnız aralık, $n = 0$ iken yalnız alt sınır verilir (işletimsel ölçüt). Tamlık dönemi saptanamadığında değeri çekinceyle raporlanır. Bu olayda: eşik üstü bağımsız olay azlığı ($n = 4 < 5$; yalnız %95 aralığı verilebilir); tamlık başlangıcı saptanamadığından katalog 1900'den beri tam varsayılmıştır.
En yakın komşu kümelenme (Zaliapin)	Bu raporun işletimsel eşiği Mc üstü $n \geq 200$ ister; iki-kipli ayırım bu örneklem altında çözülmez. Kutuda kurulamadığında eşik kapsayan bölgesel katalogdan kalibre edilir (Zaliapin ve Ben-Zion, 2013a). Bu olayda: η dağılımında iki mod ayrışmadı (Ashman $D < 2$); eşik kanonik sabitten ($\log_{10}\eta^* = -5$) alındı — kümelenme oranı bu koşulda ölçüm değil sınıflama varsayımdır.
Frohlich kaynak-tipi üçgeni	Üçgen bir dağılım gösterimidir; birkaç mekanizmayla rejim ifadesi kurulamaz. Bu olayda: en sık sınıfa ilişkin oranın (doğrultu atımlı; 15/30, %50) %95 Wilson (1927) aralığının (%27–73; 15 bağımsız küme) işletimsel %70 eşiğini içermesi.
Küme boyutu (artçı kümesinin L × W yayılımı)	Küme boyutu yalnız artçı kümesinden ($n \geq 20$; işletimsel ölçüt) raporlanır; çalışma kutusundaki bütün olayların yayılımı kadrajı ölçer ve küme boyutu sayılmaz. Bu olayda: artçı bulutunun seçim yarıçapına dayanması (artçı uzaklıklarının %90 yüzdeliği 43 km; seçim yarıçapı 52 km) — boyut ölçüleri seçim yarıçapıyla sınırlı alt sınırdır.
Artçı dönemi b değeri	Dizi b değeri kendi tamlık eşiginde kestirilir; bulgu için eşigin doğrulanması, Mc üstü $N \geq 50$ ve görelî belirsizlik $\leq 0,15$, çekinceli raporlama için $N \geq 30$ ve görelî belirsizlik $\leq 0,25$ aranır; üst kuyruk uyumunun binom olasılığı 0,01'in altındaysa raporlanmaz (işletimsel ölçüt). Çalışma olayını izleyen ilk saatlerde küçük olaylar kataloga eksik girdiğinden tamlık eşiği zamanla değişir: eşik zamana göre sıralı kayıtlarda kayan pencereyle izlenir (Woessner ve Wiemer, 2005) ve ilk pencerelerin eşiği benimsenen eşiği aşıyorsa tek eşikle kurulan b çekinceyle verilir, ilk saatler dışlanarak ikinci kez kestirilir. Bu olayda: çalışma olayını izleyen ilk saatlerde tamlık eşığının benimsenen eşigin üzerinde olması (zamana göre 50 olaylık kayan pencerede ilk pencerenin eşiği Mc 1,7 > 1,4; eşik benimsenen değere çalışma olayından 0,3 saat sonra inmektedir) — tek eşikle kurulan b aşağı yanılabilir; ilk 0,3 saat dışlandığında $b = 0,90 \pm 0,06$ (Mc 1,4; $N = 722$).

Not: Bu çözümlemelerin sonuçları, raporda verildikleri yerde çekince sütunundaki sınırla birlikte okunmalıdır. Çekince, sonucun dayandığı örneklem, gözlem süresinin, belirsizliğin, yakınsamanın ya da girdi verisinin bu çalışmanın bulgu ölçütünü karşılamadığını gösterir; her satırın ölçülen nedeni kendi hücreindedir.

Tablo A5. Çapraz-kaynak tekilleştirmede birleştirilen kayıt kümeleri.

Küme	UTC	Kaynak	Enlem	Boylam	M
1	20.12.2019 22:51:41	AFAD	38,492°K	39,128°D	ML 1,5
	20.12.2019 22:51:40	ISC (ISK)	38,285°K	39,246°D	ML 1,5
2	27.12.2019 07:47:14	AFAD	38,375°K	39,014°D	ML 1,6
	27.12.2019 07:47:12	ISC	38,317°K	38,933°D	ML 1,8
3	27.12.2019 07:59:37	AFAD	38,389°K	39,020°D	ML 2,7
	27.12.2019 07:59:36	ISC	38,360°K	39,029°D	ML 2,5

devamı izleyen sayfada

EK A — ÇİZELGELER (DEVAM)

Tablo A5 (devam). Çapraz-kaynak tekilleştirmede birleştirilen kayıt kümeleri.

Küme	UTC	Kaynak	Enlem	Boylam	M
4	27.12.2019 08:38:17	AFAD	38,390°K	38,998°D	ML 1,8
	27.12.2019 08:38:15	ISC	38,301°K	38,960°D	ML 1,9
5	27.12.2019 08:42:38	AFAD	38,389°K	39,004°D	ML 1,8
	27.12.2019 08:42:38	ISC (ISK)	38,584°K	39,248°D	ML 1,7
6	24.01.2020 17:55:11	AFAD	38,359°K	39,063°D	Mw 6,8
	24.01.2020 17:55:16	NIEP	38,389°K	39,261°D	ML 6,6
7	24.01.2020 18:01:58	AFAD	38,378°K	39,107°D	ML 3,8
	24.01.2020 18:02:00	EMSC (ISK)	38,51°K	39,01°D	ML 3,6
8	24.01.2020 18:06:39	AFAD	38,370°K	39,099°D	ML 3,8
	24.01.2020 18:06:38	ISC	38,314°K	39,078°D	ML 2,4
9	24.01.2020 18:15:34	EMSC	38,49°K	39,03°D	ML 3,3
	24.01.2020 18:15:36	ISC (ISK)	38,459°K	39,191°D	ML 2,9
10	24.01.2020 18:17:09	AFAD	38,295°K	38,796°D	ML 3,4
	24.01.2020 18:17:09	AFAD	38,291°K	38,801°D	ML 3,3
11	24.01.2020 18:47:11	AFAD	38,319°K	38,849°D	ML 3,6
	24.01.2020 18:47:09	EMSC	38,27°K	38,70°D	ML 3,9
12	24.01.2020 18:47:10	ISC	38,315°K	38,737°D	ML 4,0
	24.01.2020 18:50:59	AFAD	38,456°K	39,299°D	ML 3,2
	24.01.2020 18:51:00	ISC	38,471°K	39,298°D	mb 3,5
Duyarlılık — düşen kayıt: 10 km → 626 · 20 km → 959 · 40 km → 1132 · 70 km → 1174					

Uzak ağ kayıtları ($M \geq 2,0$) — yerel otorite kaydına bağlanan kopya: 24; eşi bulunamayan kayıt: 2; iki grup da katalogdan çıkarılmıştır. Eşleme ölçütü: $\Delta t \leq 35$ s, $\Delta \text{konum} \leq 300$ km, $\Delta M -0,5$ ile +1,5 arası ve eş kaydın en az 2 kurumca bildirilmiş olması. Katalogdan çıkarılan kayıtların hesabı: sorgudan dönen 25.767 kayıttan çıkarılan 1.181 (çapraz-kaynak kopyası 1.155, uzak ağ kopyası 24, eşi bulunamayan uzak ağ kaydı 2); tekilleştirilmiş katalogda kalan 24.586 kayıt. İlk 6 kayıt listelenmiştir.

eşi bulunamayan	25.01.2020 10:14:55	GSI	38,5533°K	38,8958°D	Mws 4,7
kopya	25.01.2020 17:25:06	GSI	38,4446°K	38,9169°D	Mws 3,6
kopya	27.01.2020 16:12:25	GSI	38,7521°K	39,0021°D	Mws 4,4
kopya	03.02.2020 22:19:43	NIEP	38,1923°K	39,3522°D	ML 4,5
kopya	19.03.2020 17:53:35	NIEP	38,5209°K	39,1691°D	ML 5,0
kopya	08.07.2020 20:57:53	GSI	38,3741°K	38,5690°D	Mws 4,2

Not: İki kayıt (1) $\Delta t \leq 20$ s, $\Delta \text{konum} \leq 51$ km ve $\Delta M \leq 0,5$ ya da (2) $\Delta t \leq 5$ s ve $\Delta \text{konum} \leq 51$ km (büyüklük ölçtüsü farkı gözetmeksizin) koşulunu sağladığında aynı olay sayılmıştır; konum toleransı kutu boyutuyla ölçeklenmiştir (51 km). Her küme bir fiziksel olayı temsil eder; ilk satır seçilen temsilcidir. Tekilleştirmede düşen 1.155 kaydın kümelerinden ilk 12 tanesi listelenmiştir. Koordinatlar her kaynağın bildirdiği ondalıkla verilmiştir. Alt bölüm: farklı konum toleranslarında düşen kayıt sayısı (duyarlılık).

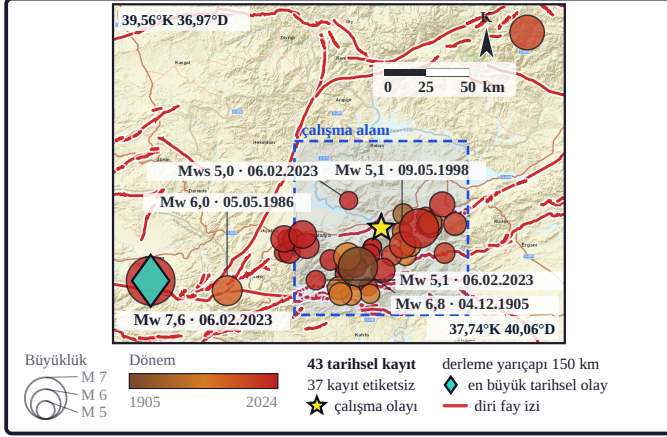
Tablo A6. Çalışma alanı ve çevresindeki yayımlanmış odak mekanizması çözümleri — 30 çözümünden Mw'ye göre en büyük 20 tanesi listelenmiştir.

#	Tarih	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma (°)	Mw	Tip
1	24.01.2020	38,41	39,07	245	67	−10	6,76	doğrultu atımlı
2	16.10.2024	38,31	38,81	245	47	−10	6,00	eğik/karma
3	21.02.2007	38,32	39,27	233	34	−58	5,71	normal
4	11.08.2004	38,38	39,26	245	83	−4	5,64	doğrultu atımlı
5	27.12.2020	38,46	39,23	231	36	−22	5,57	eğik/karma
6	04.08.2020	38,19	38,70	235	75	−15	5,56	doğrultu atımlı
7	13.07.2003	38,29	38,96	72	89	1	5,54	doğrultu atımlı
8	20.05.2026	38,22	38,61	238	42	−28	5,51	eğik/karma
9	09.02.2007	38,39	39,04	247	63	−9	5,46	doğrultu atımlı (eşiğe yakın)
10	07.02.2023	38,10	38,64	326	45	163	5,43	eğik/karma
11	07.02.2023	38,02	38,57	247	73	−16	5,37	doğrultu atımlı
12	10.08.2023	38,26	38,22	237	63	−26	5,29	eğik/karma
13	23.11.2023	38,08	38,55	233	76	−8	5,28	doğrultu atımlı
14	09.04.2022	38,11	38,67	340	77	−173	5,28	doğrultu atımlı
15	27.02.2023	38,21	38,28	87	75	7	5,27	doğrultu atımlı
16	04.04.2019	38,30	39,16	339	71	−173	5,26	doğrultu atımlı
17	25.01.2024	38,12	38,42	219	22	−13	5,16	eğik/karma
18	19.03.2020	38,38	39,07	340	65	−171	5,16	doğrultu atımlı (eşiğe yakın)
19	05.06.2020	38,24	38,76	234	49	−24	5,13	eğik/karma
20	26.11.2005	38,26	38,81	237	51	−20	5,10	eğik/karma

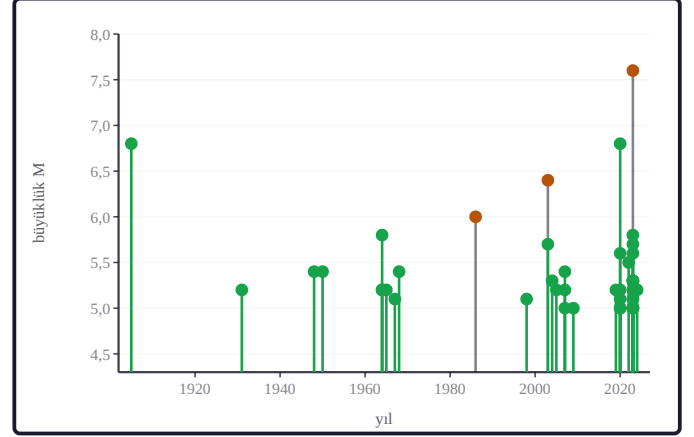
Not: Tip, P, T ve B eksen dalımlarına göre Frohlich ve Apperson (1992) sınıflarıdır: $B > 60^\circ$ doğrultu atımlı, $P > 60^\circ$ normal, $T > 50^\circ$ ters; hiçbiri sağlanmazsa eğik/karma; “eşiğe yakın”: sınıfı belirleyen eksenin dalımı sınıf eşiğinden en çok 5° ayrılır (atama çözümdeki küçük farklara duyarlıdır). Tüm çözümler GCMT kataloğundandır: Mw moment tensöründen, enlem ve boylam kaydın başvuru hiposantrındandır (moment tensörünün ağırlık merkezi konumu değildir). Aynı olayın tarihsel çizelgedeki büyüklüğü (ISC-GEM Mw ya da katalog M) ve konumu başka kaynaktır: büyüklük ayrışabilir, iki konum eşleşen olaylarda en çok 13,1 km ayrışır (09.04.2022); iki çizelge aynı olayı iki kaynakla verir, çelişki değildir. Uzun-zaman bağımsızlığı: Gardner ve Knopoff (1974) pencereleriyle 15 bağımsız küme (en büyük küme 10 çözüm).

EK B — TARİHSEL BAĞLAM: ÇALIŞMA ALANI ÇEVRESİNDEKİ GEÇMİŞ BÜYÜK DEPREMLER

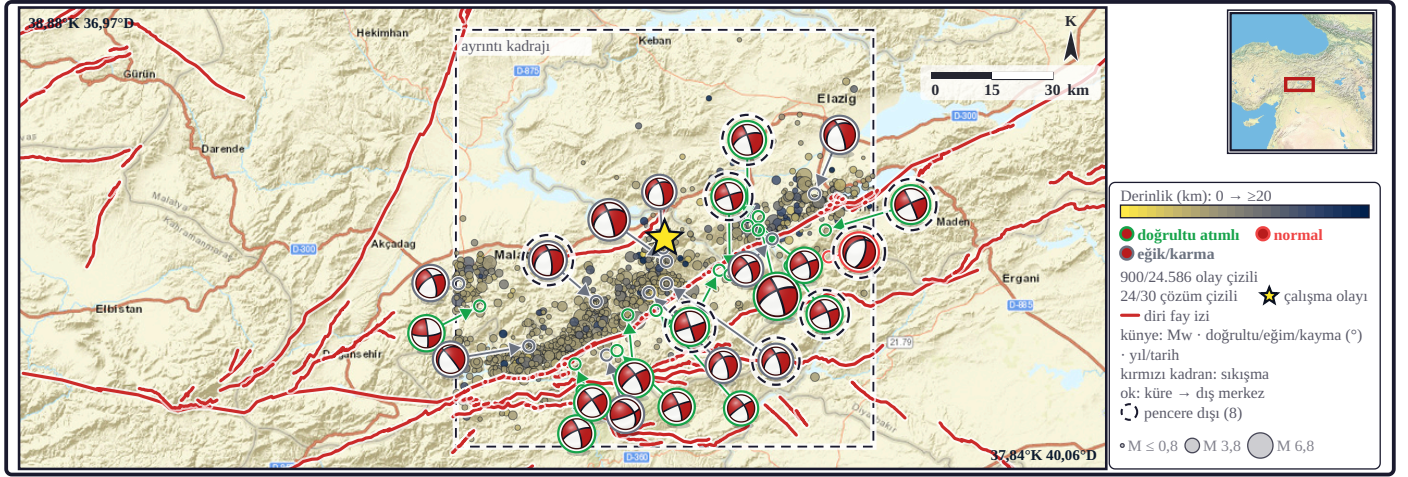
Bu sayfadaki şekil ve çizelgeler 1900 sonrası eşik üstü tarihsel kayıtlara ve çalışma alanı çevresinde yayımlanmış odak mekanizması çözümlerine aittir; bölgesel mekanizma haritasında pencere olayları yalnız konum başvurusu olarak çizilmiştir. Tarihsel kayıtların dağılımı Şekil 10a ve 10b'de, bölgesel odak mekanizması çerçevesi Şekil 10c'de verilmiştir. Tarihsel eşik üstü depremler Tablo B1'de verilmiştir.



Şekil 10a. Çalışma olayından önceki eşik üstü kayıtlarda daire çapı büyüklüğü, dolgu rengi oluş dönemi gösterir. Turkuaz elmas derlemenin en büyük kaydı, sarı yıldız çalışma olayıdır. Kayıt eşiği yakın kuşakta $M \geq 5$, bölge kuşağında $M \geq 6$ olarak alınmıştır. Mavi kesikli dikdörtgen çalışma alanıdır (birleşik katalog, 1900 sonrası; derleme yarıçapı 150 km, yakın kuşak 60 km).



Şekil 10b. Tarihsel eşik üstü depremlerin büyüklükleri yıllara göre çizilmiştir; yeşil yakın kuşak, turuncu bölge kuşağıdır (birleşik katalog, 1900 sonrası; büyüklükler, varsa ISC-GEM Mw: International Seismological Centre, 2026; Di Giacomo vd., 2015, 2018).



Şekil 10c. Bölgesel odak mekanizması çerçevesi: harita, çevrede yayımlanmış çözümlerin Mw sırasıyla en büyüklüklerini gösterir; ötelenen küreler okla konumlarına bağlıdır. Küreler alt yarıküre izdüşümünde odak mekanizmalarıdır (kırmızı kadrın sıkışma). Küreler künyesizdir. Küçük daireler pencere olayları, kesikli dikdörtgen ayrıntı haritasının kadrajıdır (mekanizma kümesi: bölgesel küme [$n = 30$]; gerilme inversiyonu olay merkezli mekanizma popülasyonundandır [$n = 54$]; faylar: MTA TDFH-2026 [Elmacı vd., 2026]).

Tablo B1. Tarihsel eşik üstü depremler (1900 sonrası, olay anından önce).

Tarih	M	Tür	Derinlik (km)	Uzaklık (km)	Ölçüt	Yer	E/E ₀
06.02.2023♦†	7,6	Mw	7	141	$M \geq 6$, 150 km içinde	Elbistan (Kahramanmaraş)	×360
04.12.1905	6,8	Mw	10	27	$M \geq 6$, 150 km içinde	Türkiye	×22
24.01.2020†	6,8	Mw	8	23	$M \geq 6$, 150 km içinde	Sivrice (Elazığ)	×22
27.01.2003	6,4	Md	16	145	$M \geq 6$, 150 km içinde	Pülümür (Tunceli)	×5,6
05.05.1986	6,0	Mw	5	99	$M \geq 6$, 150 km içinde	Türkiye	×1,4
14.06.1964	5,8	Mw	10	26	$M \geq 5$, 60 km içinde	Türkiye	×0,71
06.02.2023†	5,8	ML	7	47	$M \geq 5$, 60 km içinde	Yeşilyurt (Malatya)	×0,71
13.07.2003	5,7	Md	11	16	$M \geq 5$, 60 km içinde	Doğanyol (Malatya)	×0,50
Yakın kuşakta (≤ 60 km) dış merkez en yakın kayıtlar (yukarıda listelenmeyenler, uzaklık sırasıyla)							
09.05.1998	5,1	Mw	12	13	$M \geq 5$, 60 km içinde	Türkiye	×0,063
05.06.2020†	5,0	Mw	7	13	$M \geq 5$, 60 km içinde	Pütürge (Malatya)	×0,045
07.07.2009	5,0	ML	13	13	$M \geq 5$, 60 km içinde	Pütürge (Malatya)	×0,045

Not: Büyüklükler, kayıt ISC-GEM kataloğunda (International Seismological Centre, 2026; Di Giacomo vd., 2015, 2018) varsa onun moment büyüklüğüdür (Mw), yoksa birleşik katalogun temsilci değeridir; 8 kayıta değer ya da tür kataloğdakinden ayrışır. Derleme, dış merkez 60 km içindeki $M \geq 5$ ve 150 km içindeki $M \geq 6$ depremlerden oluşur (kutudaki 150 km'den uzak olaylar girmez); her kaydın ölçütü "Ölçüt" sütunundadır. 43 tekil kayıttan en büyük 8 olay listelenmiştir (yakın kuşağın kayıtları alt bölümde); 9 kopya kayıt tekillleştirilmiştir ($\Delta t \leq 60$ s ve ≤ 100 km); tek kuruma dayanan ve yer künyesi taşımayan $1 M \geq 6$ kaydı doğrulanamadığından derleme dışıdır. Dizi ayrıntı ölçütünün (olaydan önceki 30 gün ve sonrası, dış merkeze 52 km içinde) kapsadığı 2 eşik üstü kayıt tarihsel derlemeye alınmamıştır. 1964 öncesi (küresel standart ağ öncesi) 1 kaydın büyüklüğü yeniden değerlendirme ürünüdür ve kaynağa göre $\approx 0,3-0,5$ birim ayrışabilir. E/E₀: ışınan enerjinin bu olayınkine oranı (büyüklük farkından); ♦ en büyük kayıt; † bu çalışmanın penceresi içinde, olay anından önce. Yalnız ülke adı yazılı kayıtların yer künyesi yoktur. Alanın hemen dışındaki $M \geq 7$ depremler (150–188 km): 26.12.1939 M 7,7 (170 km KKD); 26.12.1939 M 7,8 (185 km KKD, Erzincan, Türkiye — 20 km KKD).

LİSANS VE YENİDEN KULLANIM (DEVAM)

Bilimsel çalışmalarda kaynak gösterilerek kısa alıntı yapılabilir. Üçüncü taraf verilerinin lisansları saklıdır: ISC-GEM kataloğundan türetilen veri çizelgeleri CC BY-SA 3.0 koşullarına tabidir.

KAYNAKÇA

- AFAD (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmî Gazete, 18 Mart 2018, Sayı 30364 (Mükerrer). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>
- AFAD (t.y.) TADAS (çevrimiçi kuvvetli yer hareketi veri tabanı). <https://tadas.afad.gov.tr> (erişim: 16.10.2026)
- Aki, K. (1965) Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo* 43(2), 237–239. doi:10.15083/0000033631
- Allen, T. I., Wald, D. J. ve Worden, C. B. (2012) Intensity attenuation for active crustal regions. *J. Seismol.* 16(3), 409–433. doi:10.1007/s10950-012-9278-7
- Ambraseys, N. N. (1989) Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophys. J. Int.* 96(2), 311–331. doi:10.1111/j.1365-246X.1989.tb04453.x
- Anderson, E. M. (1951) *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 206 s.
- Atkinson, G. M. ve Wald, D. J. (2007) “Did You Feel It?” intensity data: A surprisingly good measure of earthquake ground motion. *Seismol. Res. Lett.* 78(3), 362–368. doi:10.1785/gssrl.78.3.362
- Båth, M. (1965) Lateral inhomogeneities of the upper mantle. *Tectonophysics* 2(6), 483–514. doi:10.1016/0040-1951(65)90003-X
- Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4(3), 1027. doi:10.1029/2001GC000252
- Blewitt, G., Hammond, W. C. ve Kreemer, C. (2018) Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science. *Eos* 99. doi:10.1029/2018EO104623
- Blewitt, G., Kreemer, C., Hammond, W. C. ve Gazeaux, J. (2016) MIDAS robust trend estimator for accurate GPS station velocities without step detection. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 121(3), 2054–2068. doi:10.1002/2015JB012552
- Bott, M. H. P. (1959) The mechanics of oblique slip faulting. *Geol. Mag.* 96(2), 109–117. doi:10.1017/S0016756800059987
- Clopper, C. J. ve Pearson, E. S. (1934) The use of confidence or fiducial limits illustrated in the case of the binomial. *Biometrika* 26(4), 404–413. doi:10.1093/biomet/26.4.404
- Dascher-Cousineau, K., Lay, T. ve Brodsky, E. E. (2020) Two foreshock sequences post Gulia and Wiemer (2019). *Seismol. Res. Lett.* 91(5), 2843–2850. doi:10.1785/0220200082
- Di Giacomo, D., Bondár, I., Storchak, D. A., Engdahl, E. R., Bormann, P. ve Harris, J. (2015) ISC-GEM: Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900–2009), III. Re-computed MS and mb, proxy MW, final magnitude composition and completeness assessment. *Phys. Earth Planet. Inter.* 239, 33–47. doi:10.1016/j.pepi.2014.06.005
- Di Giacomo, D., Engdahl, E. R. ve Storchak, D. A. (2018) The ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904–2014): Status after the Extension Project. *Earth Syst. Sci. Data* 10(4), 1877–1899. doi:10.5194/essd-10-1877-2018
- Disaster and Emergency Management Authority (1973) *Turkish National Strong Motion Network*. International Federation of Digital Seismograph Networks. doi:10.7914/SN/TK
- Disaster and Emergency Management Authority (1990) *Turkish National Seismic Network*. Department of Earthquake, Disaster and Emergency Management Authority. doi:10.7914/SN/TU
- Duman, T. Y. ve Emre, Ö. (2013) The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 372(1), 495–529. doi:10.1144/SP372.14
- Dziewonski, A. M., Chou, T.-A. ve Woodhouse, J. H. (1981) Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.* 86(B4), 2825–2852. doi:10.1029/JB086iB04p02825
- Ekström, G., Nettles, M. ve Dziewoński, A. M. (2012) The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Phys. Earth Planet. Inter.* 200–201, 1–9. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002
- Elmacı, H., Kürçer, A., Özalp, S., Altuntaş, G., Avcı, H. O., Aydoğan, H., Yüce, A. A., Öztürk, A. R., Karayaza, O., Bayrak, A., Özdemir, E., Çal, Ç., Güven, C. ve Yalvaç, O. (2026) Türkiye Diri Fay Haritası. MTA Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-60, Ankara. ISBN 978-625-8107-74-6.
- Esheby, J. D. (1957) The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. *Proc. R. Soc. Lond. A* 241(1226), 376–396. doi:10.1098/rspa.1957.0133
- European-Mediterranean Seismological Centre (t.y.) *Deprem parametreleri (çevrimiçi katalog)*. <https://www.emsc-csem.org> (erişim: 16.10.2026)
- Frohlich, C. (1992) Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms. *Phys. Earth Planet. Inter.* 75(1–3), 193–198. doi:10.1016/0031-9201(92)90130-N
- Frohlich, C. ve Apperson, K. D. (1992) Earthquake focal mechanisms, moment tensors, and the consistency of seismic activity near plate boundaries. *Tectonics* 11(2), 279–296. doi:10.1029/91TC02888
- Gardner, J. K. ve Knopoff, L. (1974) Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seismol. Soc. Am.* 64(5), 1363–1367. doi:10.1785/BSSA0640051363
- Garwood, F. (1936) Fiducial limits for the Poisson distribution. *Biometrika* 28(3–4), 437–442. doi:10.1093/biomet/28.3-4.437
- GEOFON Data Centre (1993) *GEOFON Seismic Network*. GFZ Data Services. doi:10.14470/TR560404
- Gulia, L. ve Wiemer, S. (2019) Real-time discrimination of earthquake foreshocks and aftershocks. *Nature* 574(7777), 193–199. doi:10.1038/s41586-019-1606-4
- Gutenberg, B. ve Richter, C. F. (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 34(4), 185–188. doi:10.1785/BSSA0340040185
- Gutenberg, B. ve Richter, C. F. (1956) Magnitude and energy of earthquakes. *Ann. Geofis.* 9(1), 1–15. doi:10.4401/ag-5590
- Güvercin, S. E., Karabulut, H., Konca, A. Ö., Doğan, U. ve Ergintav, S. (2022) Active seismotectonics of the East Anatolian Fault. *Geophys. J. Int.* 230(1), 50–69. doi:10.1093/gji/ggac045
- Hanks, T. C. ve Kanamori, H. (1979) A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res.* 84(B5), 2348–2350. doi:10.1029/JB084iB05p02348
- Hardebeck, J. L., Nazareth, J. J. ve Hauksson, E. (1998) The static stress change triggering model: Constraints from two southern California aftershock sequences. *J. Geophys. Res.* 103(B10), 24427–24437. doi:10.1029/98JB00573
- Husen, S. ve Hardebeck, J. L. (2010) Earthquake location accuracy. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis (CORSSA)*. doi:10.5078/corssa-55815573
- International Seismological Centre (2026) *ISC-GEM Earthquake Catalogue*. doi:10.31905/d808b825
- International Seismological Centre (t.y.) *ISC Bulletin*. doi:10.31905/D808B830 (erişim: 16.10.2026)
- Jia, Z., Jin, Z., Marchandon, M., Ulrich, T., Gabriel, A.-A., Fan, W., Shearer, P., Zou, X., Rekoske, J., Bulut, F., Garagon, A. ve Fialko, Y. (2023) The complex dynamics of the 2023 Kahramanmaraş, Turkey, Mw 7.8–7.7 earthquake doublet. *Science* 381(6661), 985–990. doi:10.1126/science.adl0685
- Jones, L. M. ve Molnar, P. (1979) Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults. *J. Geophys. Res.* 84(B7), 3596–3608. doi:10.1029/JB084iB07p03596
- Kanamori, H. (1977) The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 82(20), 2981–2987. doi:10.1029/JB082i020p02981
- Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, Boğaziçi University (1971) *Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute (KOERI)*. International Federation of Digital Seismograph Networks. doi:10.7914/SN/KO
- King, G. C. P., Stein, R. S. ve Lin, J. (1994) Static stress changes and the triggering of earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84(3), 935–953. doi:10.1785/BSSA0840030935
- Kreemer, C., Blewitt, G. ve Klein, E. C. (2014) A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 15(10), 3849–3889. doi:10.1002/2014GC005407
- Lund, B. ve Townend, J. (2007) Calculating horizontal stress orientations with full or partial knowledge of the tectonic stress tensor. *Geophys. J. Int.* 170(3), 1328–1335. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03468.x
- Matthews, M. V. ve Reasenber, P. A. (1988) Statistical methods for investigating quiescence and other temporal seismicity patterns. *Pure Appl. Geophys.* 126(2–4), 357–372. doi:10.1007/BF00879003
- McGuire, J. J., Zhao, L. ve Jordan, T. H. (2002) Predominance of unilateral rupture for a global catalog of large earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92(8), 3309–3317. doi:10.1785/0120010293
- Melgar, D., Taymaz, T., Ganas, A., Crowell, B., Öcalan, T., Kahraman, M., Tsironi, V., Yolsal-Çevikbil, S., Valkaniotis, S., İmrek, T. S., Eken, T., Erman, C., Özkan, B., Dogan, A. H. ve Altuntaş, C. (2023) Mw 7.8 and Mw 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye. *Seismica* 2(3). doi:10.26443/seismica.v2i3.387
- Michael, A. J. (1984) Determination of stress from slip data: Faults and folds. *J. Geophys. Res.* 89(B13), 11517–11526. doi:10.1029/JB089iB13p11517
- National Institute for Earth Physics (1994) *Romanian Seismic Network*. International Federation of Digital Seismograph Networks. doi:10.7914/SN/RO
- Newcombe, R. G. (1998) Interval estimation for the difference between independent proportions: Comparison of eleven methods. *Stat. Med.* 17(8), 873–890. doi:10.1002/(SICI)1097-0258(19980430)17:8<873::AID-SIM779>3.0.CO;2-I
- Ogata, Y. (1983) Estimation of the parameters in the modified Omori formula for aftershock frequencies by the maximum likelihood procedure. *J. Phys. Earth* 31(2), 115–124. doi:10.4294/jpe1952.31.115
- Okada, Y. (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 75(4), 1135–1154. doi:10.1785/BSSA0750041135
- Okada, Y. (1992) Interval deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 82(2), 1018–1040. doi:10.1785/BSSA0820021018
- Reasenber, P. A. ve Jones, L. M. (1989) Earthquake hazard after a mainshock in California. *Science* 243(4895), 1173–1176. doi:10.1126/science.243.4895.1173
- Shapiro, S. A., Huenges, E. ve Borm, G. (1997) Estimating the crust permeability from fluid-injection-induced seismic emission at the KTB site. *Geophys. J. Int.* 131(2), F15–F18. doi:10.1111/j.1365-246X.1997.tb01215.x
- Shi, Y. ve Bolt, B. A. (1982) The standard error of the magnitude-frequency b value. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 72(5), 1677–1687. doi:10.1785/BSSA0720051677
- Sigmundsson, F. vd. (2015) Segmented lateral dyke growth in a rifting event at Bárðarbunga volcanic system, Iceland. *Nature* 517(7533), 191–195. doi:10.1038/nature14111
- Tajima, F. ve Kanamori, H. (1985) Global survey of aftershock area expansion patterns. *Phys. Earth Planet. Inter.* 40(2), 77–134. doi:10.1016/0031-9201(85)90066-4
- U.S. Geological Survey (2017) *Advanced National Seismic System (ANSS) Comprehensive Catalog*. doi:10.5066/F7MS3QZH
- Utsu, T. (1966) A statistical significance test of the difference in b -value between two earthquake groups. *J. Phys. Earth* 14(2), 37–40. doi:10.4294/jpe1952.14.37
- Utsu, T., Ogata, Y. ve Matsu’ura, R. S. (1995) The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. *J. Phys. Earth* 43(1), 1–33. doi:10.4294/jpe1952.43.1
- Vavryčuk, V. (2014) Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophys. J. Int.* 199(1), 69–77. doi:10.1093/gji/ggu224
- Wallace, R. E. (1951) Geometry of shearing stress and relation to faulting. *J. Geol.* 59(2), 118–130. doi:10.1086/625831
- Wells, D. L. ve Coppersmith, K. J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84(4), 974–1002. doi:10.1785/BSSA0840040974
- Westin, C.-F., Maier, S. E., Mamata, H., Nabavi, A., Jolesz, F. A. ve Kikinis, R. (2002) Processing and visualization for diffusion tensor MRI. *Med. Image Anal.* 6(2), 93–108. doi:10.1016/S1361-8415(02)00053-1
- Wiemer, S. ve Wyss, M. (2000) Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 90(4), 859–869. doi:10.1785/0119990114
- Wilson, E. B. (1927) Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *J. Am. Stat. Assoc.* 22(158), 209–212. doi:10.1080/01621459.1927.10502953
- Woessner, J. ve Wiemer, S. (2005) Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 95(2), 684–698. doi:10.1785/0120040007
- Zaliapin, I. ve Ben-Zion, Y. (2013a) Earthquake clusters in southern California I: Identification and stability. *J. Geophys. Res.* 118(6), 2847–2864. doi:10.1002/jgrb.50179
- Zoback, M. L. (1992) First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *J. Geophys. Res.* 97(B8), 11703–11728. doi:10.1029/92JB00132

T. Batuhan BULGURLULAR – 2026 · Veri: birleşik çok-kaynaklı deprem kataloğu (AFAD · ISC · EMSC · GFZ · USGS; moment tensörleri: GCMT).