

MARMARA DENİZİ, SİLİVRİ (İSTANBUL) AÇIĞI DEPREMİ — Mw 6,2 · 23.04.2025

DEPREM TEKNİK RAPORU · OLAY RAPORU

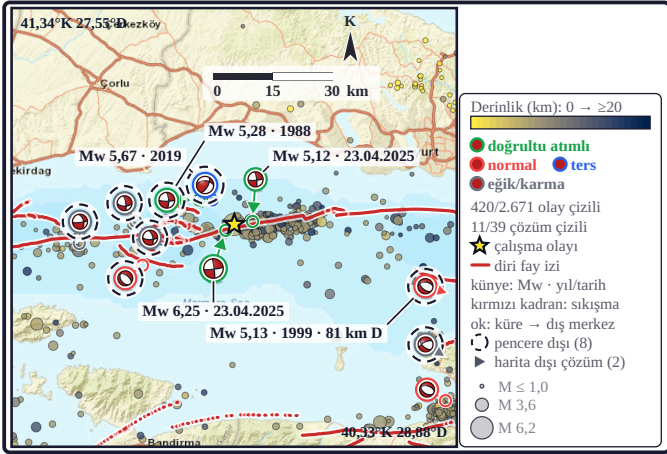
T. Batuhan BULGURLULAR · YAPI ZEMİN Deprem Teknik Raporları · 2026 · Olay: 23.04.2025

ÖZET — 23.04.2025 tarihinde Marmara Denizi, Silivri (İstanbul) açığında Mw 6,2 büyüklüğünde, 4,9 km odak derinlikli bir deprem meydana gelmiştir (40,8437°K, 28,2154°D). Olay merkezli pencerede 2.671 olay kataloglanmıştır ve çapraz-kaynak kopyaları (180 kayıt) her istatistikten önce düşürülmüştür. Global CMT (GCMT) moment tensörü çözümü ($M_0 = 2,987 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6,25) NP1 düğüm düzlemi üzerinde sağ yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde sol yönlü doğrultu atım niteliğinde kaymaya karşılık gelmektedir. Olay merkezli mekanizma popülasyonundan ($n = 15$) SHmax = 117° (yön gevşek kısıtlı) ve doğrultu atımlı gerilme rejimi elde edilmiştir. Büyüklük-frekans dağılımı, $M_c = 1,7$ tamlık eşliğinin üzerinde $b = 0,81 \pm 0,02$ vermektedir ($N = 1.417$). Depremden sonraki 90 günlük olay oranı, 56 km yarıçaplı dairede ve ortak tamlık eşliğinde ($M \geq 1,7$), çalışma penceresinden önceki 5 yıllık arka plan oranının yaklaşık 13 katıdır (%95 güven aralığı 12–14; ilk saatlerdeki katalog eksikliği nedeniyle alt sınır). Kayıtların %36'sının (958/2.671) 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: Silivri (İstanbul) depremi, Marmara Denizi ve Kuzey Anadolu Fayı kuzey kolu, çift deprem, moment tensörü, Gutenberg–Richter b-değeri, gerilme inversiyonu.

ABSTRACT — An earthquake of Mw 6.2 occurred in the Sea of Marmara, off Silivri (Istanbul), on 23 April 2025 at a focal depth of 4.9 km (40.8437°N, 28.2154°E). A total of 2,671 events were analysed within an event-centred window; cross-source duplicates were removed (180 records) before any statistic was computed. The Global CMT (GCMT) moment-tensor solution ($M_0 = 2.987 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6.25) corresponds to right-lateral strike slip on nodal plane NP1 and to left-lateral strike slip on NP2. Stress inversion of the event-centred focal-mechanism population ($n = 15$) yields SHmax = 117° (loosely constrained) and a strike-slip stress regime. Above the completeness magnitude $M_c = 1.7$, the frequency–magnitude distribution gives $b = 0.81 \pm 0.02$ ($N = 1,417$). Within 56 km and at $M \geq 1.7$, the 90-day post-event rate is about 13 times the background rate (5-year pre-window period; 95% confidence interval 12–14; a lower bound given early incompleteness). Of the records, 36% (958/2,671) 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: Silivri (Istanbul) earthquake, Sea of Marmara and the northern strand of the North Anatolian Fault, earthquake doublet, moment tensor, Gutenberg–Richter b-value, stress inversion.



Şekil 1. Harita 2.671 olaylık katalogdan 420 olayı gösterir; odak mekanizmaları 39 çözümlük bölgesel mekanizma kümesindendir. Gerilme inversiyonu olay merkezli mekanizma popülasyonundandır ($n = 15$). Daire rengi odak derinliğini, çapı büyüklüğü verir; kadranlı küreler odak mekanizması çözümleridir ve kırmızı kadranlı sıkışmadır. Sarı yıldız çalışma olayı, kırmızı çizgiler diri fay izleridir. Mw sırasıyla en büyük 5 çözüm künyelidir (öbür 6 küre künyesizdir); künye çözümün Global CMT (GCMT) katalogundaki moment büyüklüğünü (M_w) ve yılı (çalışma penceresi içindeki çözümlerde tarihini) verir; bu büyüklük gövdedeki katalog büyüklüğünden farklı olabilir. İnce çizgi künyeyi küresine, ok küreyi çözümün dış merkezine bağlar. Kenardaki küreler harita dışında kalan çözümlerdir: üçgen çözümün yönünü, künye çözümün GCMT konumunun kutu merkezine uzaklığını ve yönünü verir. Kesikli halkalı kürelerin tarihi çalışma penceresinin dışındadır (faylar: MTA TDFH-2026 [Elmacı vd., 2026]; mekanizmalar: bölgesel mekanizma kümesi; katalog: AFAD · ISC · EMSC).

GİRİŞ

Bu çalışma, 23.04.2025 tarihinde Marmara Denizi, Silivri (İstanbul) açığında meydana gelen Mw 6,2 depremini ve onu çevreleyen sismisiteyi olay merkezli bir pencerede incelemektedir (Şekil 1). İnceleme, 2.671 olaylık birleşik çok kaynaklı deprem kataloguna 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.

Tablo 1. Olay künyesi ve türetilmiş kaynak parametreleri.

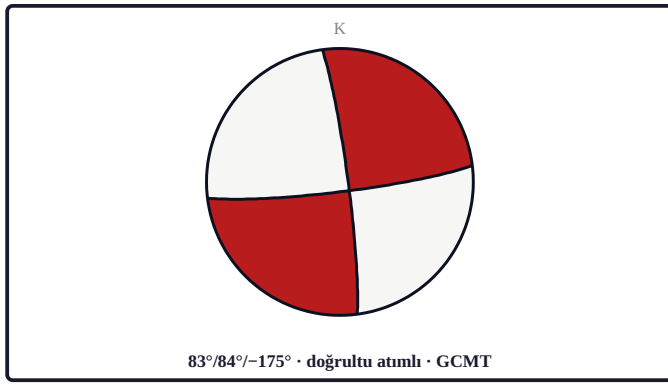
Nicelik	Değer	Kaynak / yöntem
Oluş zamanı (UTC)	23.04.2025 09:49:10	AFAD hiposantrı
Dış merkez	40,8437°K · 28,2154°D	AFAD hiposantrı
Odak derinliği	4,9 km	AFAD
Büyüklük	Mw 6,2	AFAD (hiposantrı veren kurum) ^a
Sismik moment M_0	$2,987 \times 10^{18}$ N·m	GCMT skaler moment · Mw 6,25
Nominal ısıran enerji E	$1,5 \times 10^{14}$ J	M_0 'dan · Kanamori (1977)
Konum belirsizliği, istasyon sayısı, azimut boşluğu	yok	AFAD yayımlamamıştır
Varış artığı (RMS)	0,64 s	AFAD bildirimi
b değeri	$0,81 \pm 0,02$	Aki (1965), en büyük olabilirlik ^b
Kutu yayılımı (%95)	$109,5 \times 101,5$ km	uzun × kısa eksen · çalışma kutusu olayları
Artçı bulutu yayılımı (%95)	$62,6 \times 22,7$ km	uzun × kısa eksen · artçı bulutu
Mekanizma (NP1)	$83^\circ/84^\circ-175^\circ$	GCMT · doğrultu/eğim/kayma

Not: a) Büyüklük türü Mw: moment büyüklüğü; kurum hesap yöntemini bildirmemiştir. b) b değeri: $M_c = 1,7$ (b-kararlılığı), $N(\geq M_c) = 1.417$.

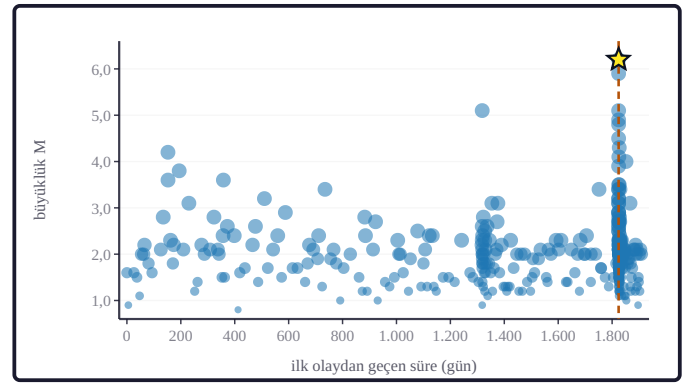
Olay künyesi ve temel parametreler Tablo 1'de, kurum çözümleri ve benimsenen hiposantr Tablo 2'de verilmiştir.

TEKTONİK ÇERÇEVE

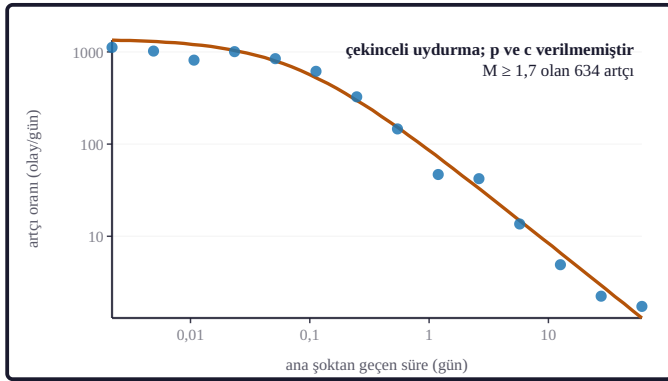
Çalışma alanı, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunun Marmara Denizi içinde sürdüğü kesimdedir; fay zonunun bu kolunun deniz tabanında tek ve sürekli bir sağ yönlü sistem olduğu (Le Pichon vd., 2001; Şengör vd., 2005) ile segmentli bir çek-ayır sistemi oluşturduğu (Armijo vd., 2002) görüşleri tartışmalıdır. Denizin kuzey çukurlukları, fayın ilerleme süreciyle ilişkilendirilen asimetrik bir çek-ayır geometrisi sergiler (Armijo vd., 2002); kayma hızının segmentler arasında değiştiği ve deformasyonun bir bölümünün yayılı olduğu jeodezik-mekanik modellerle gösterilmiştir (Hergert ve Heidbach, 2010).



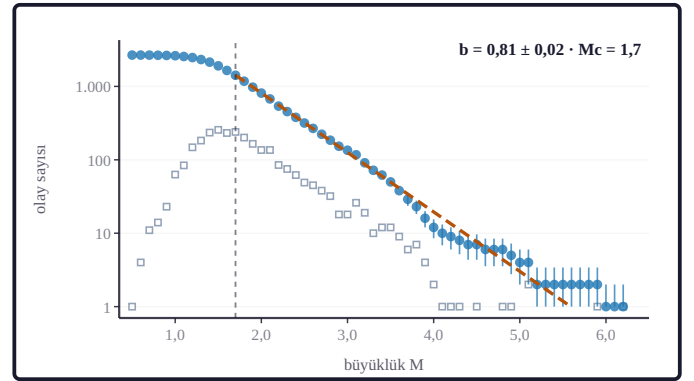
Şekil 2a. Odak mekanizması alt yarıküre eşit alan izdüşümüyle çizilmiştir; koyu kadranslar sıkışma kadranslarıdır.



Şekil 2b. Pencere kataloğu 2.671 olaydır (320 olay çizilidir); en büyük olay çalışma olayıdır (Mw 6,2); Mc = 1,7 üstünde 1.417 olay vardır. Büyüklük-zaman dağılımı: yatay eksen ilk olaydan geçen süre (gün), dikey eksen büyüklüktür. Her mavi daire bir olaydır ve daire çapı büyüklükle ölçeklidir; turuncu kesikli dikey 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 = 2,9'dur; eşik, olay sonrası dönem için benimsenen Mc = 1,7 değerine çalışma olayından 5,1 saat sonra iner. Artçı oranı ana şoktan 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. Mc = 1,7 (b-kararlılığı) üstündeki 1.417 olaydan b = 0,81 ± 0,02 kestirilmiştir. Gutenberg-Richter büyüklük-frekans dağılımı: dolu daireler kümülatif sayımı N(≥M), açık gri kareler her büyüklük aralığındaki artımsal sayımı verir; kesikli turuncu doğru, benimsenen eşiğin üstünde log₁₀N = a - b·M ile çizilen uyum doğrusudur; gri kesikli dikey çizgi tamlık büyüklüğü Mc'dir; ince dikey çubuklar N ≤ 30 olan aralıklarda √N Poisson belirsizliğidir (dağılım: Gutenberg ve Richter, 1944).

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)

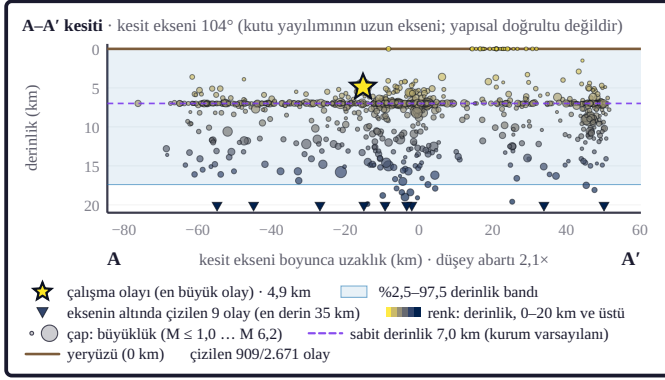
Şekil 2a-2d: Koyu kadranslar sıkışma, açık kadranslar genişleme kadranslarıdır; T eksen sıkışma kadransının, P eksen genişleme kadransının ortasında yer alır (Şekil 2a). Deviatorik (GCMT) tensörün çift kuvvet payı %61'dir. Nokta kaynak (çift kuvvet) yaklaşımında iki düzlem dalga alanında özdeştir; büyük depremlerde sonlu fay çözümleri ve bağımsız geometri kanıtları (artçı uzanımı, oturtulan düzlem) düzlemi kısıtlar; gerilme kararsızlığı ise gerilme alanına dayanan ayrı türden bir ölçüttür. Büyüklük-zaman serimi pencere kataloğunun zaman içindeki gelişimini betimler: 2.671 olay, ilk-son olay arası 1.913 gün, en büyüğü M 6,2 (Şekil 2b). Ortalama büyüklük M 1,80, ortanca M 1,7'dir (tam katalog). Çalışma olayının dizisi çift deprem niteliğindedir: en büyük iki olay arasındaki büyüklük farkı $\Delta M = 0,3$ 'tür (bu çalışmanın işletimsel ölçütü: $\Delta M \leq 0,3$). Serimin dikey saçılımı büyüklük çeyreklerinden okunur: kayıtların dörtte biri M 1,4 altında, dörtte biri M 2,1 üstündedir ve çeyrekler arası açıklık 0,7 büyüklük birimidir. 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 artçıların zamanını ya da yeni bir ana şoku öngörmez. Benimsenen tamlık eşiğinin üstünde gözlenen kümülatif dağılım, uydurulan üstel yasayla %98 oranında modellenmektedir (uyum iyiliği; Şekil 2d). Tamlık eşiği ile en büyük olay arasındaki açıklık 4,5 büyüklük birimidir; eğimin güvenilir sayılması için bu çalışmada aranan en az bir birimlik açıklık (işletimsel ölçüt) karşılanmaktadır. En kalabalık basamak M 1,5 olup 256 olay taşımaktadır; b-kararlılığı ölçütüyle benimsenen tamlık eşiği bu tepenin 0,2 birim üzerindedir. Uydurulan doğrunun uzantısından beklenen en büyük olay M 5,6 büyüklüğündedir ve gözlenen en büyük olay (Mw 6,2) bu değerden 0,6 birim büyüktür; tek bir en büyük olayın örnekleme yayılımı geniş olduğundan fark yorumlanmamıştır.

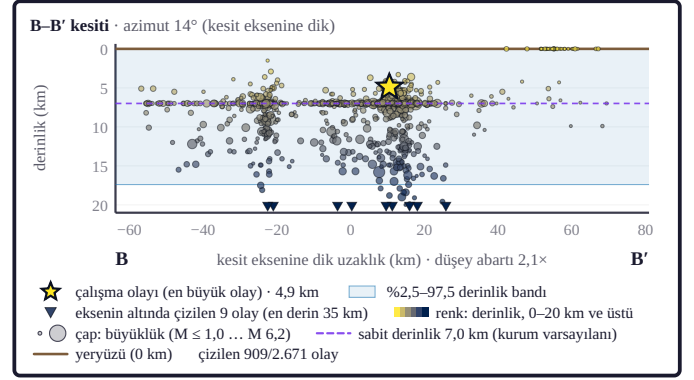
TEKTONİK ÇERÇEVE (DEVAM)

İstanbul'un güneyindeki segmentte 1766'dan bu yana büyük kırılma kaydedilmemiştir; bu kesim literatürde sismik boşluk olarak tanımlanmakta ve kilitli bir yama içerdiği bildirilmektedir (Bohnhoff vd., 2013). Bölge için M ≥ 7 olasılığı olasıksal tehlike çalışmalarında ayrıca değerlendirilmiştir (Parsons, 2004).

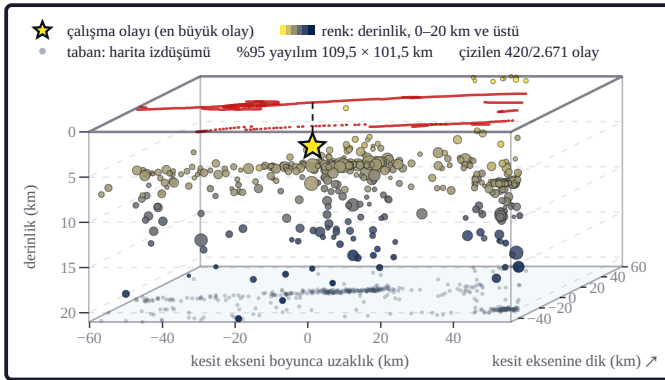
UZAMSAL GEOMETRİ VE DERİNLİK YAPISI



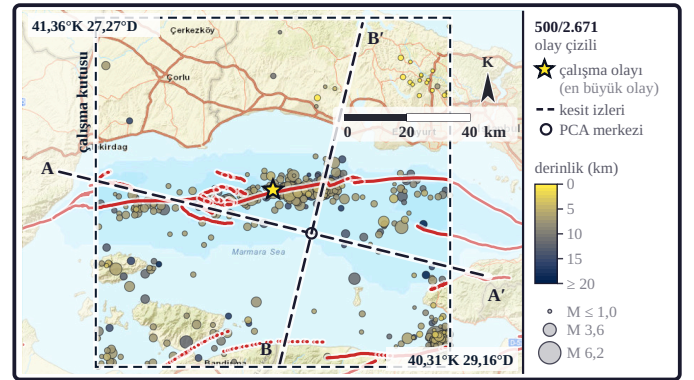
Şekil 3a. Olayların %95'i 0,0–17,4 km derinlik bandındadır; ortanca derinlik 7,0 km'dir (sabit atamalar dışlanınca 8,2 km). A–A' kesiti olayları kesit eksenine (kutu yayılımının uzun eksenine) boyunca uzanan düşey düzleme izdüşür. Sarı yıldız çalışma olayıdır; daire rengi derinliği, çapı büyüklüğü verir. Alt kenardaki üçgenler derinlik ekseninin altında kalan olaylardır. Kesikli yatay çizgi kurumların varsayılan olarak atadığı sabit derinliktir. A–A' ve B–B' kesitleri aynı yatay açıklık ve aynı derinlik eksenine çizilmiştir (izdüşüm: çalışma kutusundaki olayların çizim örnekleme; derinlikler katalog hiposantrlarıdır).



Şekil 3b. B–B' kesiti olayları kesit eksenine dik düşey düzleme izdüşür. 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 eksenine (kutu yayılımının uzun eksenine) boyunca, sağ üste kaçan eksen ona dik uzaklığı, düşey eksen derinliği verir. Derinlik eksenine kesitlerle aynıdır. Üst yüzdeki kırmızı çizgiler diri fay izleridir; yıldızdan üst yüze çıkan kesikli çizgi olayın yüzeydeki izdüşümünü gösterir (kabinet izdüşümü; üç eksen ayrı ölçeklidir; blok kenarları %95 yayılımın 1,06 katıdır).



Şekil 3d. Derinlik renkli harita 2.671 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 109,5 km'lik (%95) yayılımını göstermektedir; kesitteki odakların derinlik bandı (2,5–97,5) 0,0–17,4 km'dir (tam katalog ortancası 7,0 km; Şekil 3a). Derinlik eksenine katalog derinliklerine dayanır; derinlik geometrisi sabit derinlikli kayıtların payıyla birlikte okunmalıdır. Bulutun uzama oranı (uzun kenarının kısa kenarına oranı) 1,079, çalışma kutusunun en-boy oranı 1,015'tir; bulutun uzama oranı kadrainjini belirgin biçimde aşmadığından (iki oranın oranı 1,06) ölçülen uzama büyük ölçüde kadrainj geometrisidir 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 0,16'dır; 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 2.671 kaydın 2.069 tanesi 10 km ve daha sığ, 602 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)

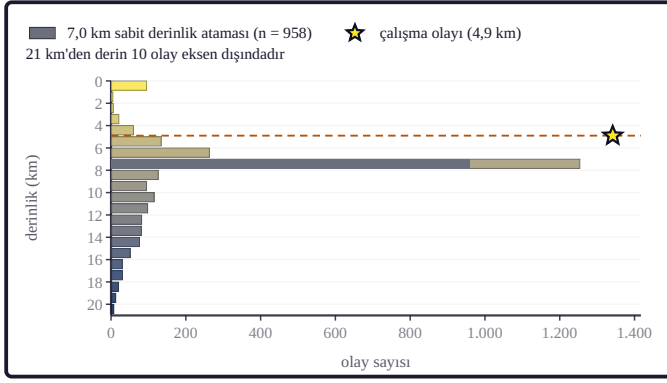
Kullanılan diri fay veri tabanında (Türkiye Diri Fay Haritası, MTA TDFH-2026) dış merkeze en yakın adlı fay izleri şunlardır: Kuzey Anadolu Fay Zonu'na bağlı fay parçası (0,8 km; sağ yönlü doğrultu atımlı), Mecidiye Fayı (59 km; sağ yönlü doğrultu atımlı), Karacabey Fayı (63 km).

Kullanılan sayısal levha sınırı modelinde (Bird, 2003) dış merkeze en yakın sınır Anadolu–Avrasya levha sınırındır ve 23 km uzaklıktadır; model sınırları, yayılı deformasyon kuşaklarında bir modelleme kabulüdür. Olay merkezli mekanizma popülasyonundan kestirilen gerilme rejimi doğrultu atımlı faylanmadır ($n = 15$ mekanizma). Olay sığ odaklı ($h < 70$ km) bir kabuk depremidir (odak derinliği 4,9 km).

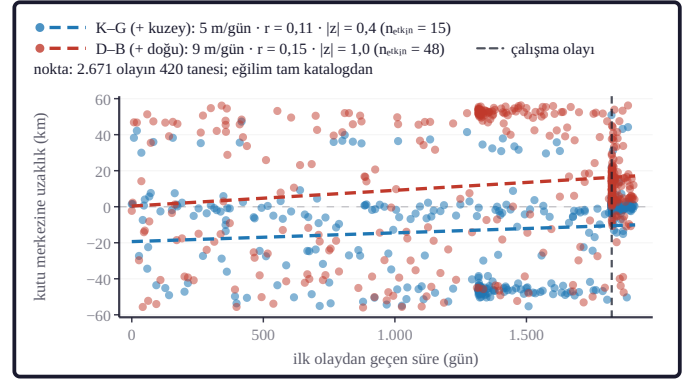
VERİ VE YÖNTEM

Katalog, olay merkezli kutuda 24.04.2020 – 22.07.2025 döneminde kaydedilmiş 2.671 olaydan oluşmaktadır (1.915 gün). Kayıtların kurum dağılımı: AFAD 2.050, ISC 598, EMSC 23. Büyüklük türü dağılımı: ML 2.640, Mw 31. Çalışma alanı $112,6 \times 111,0$ km (≈ 12.500 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 $40,335^\circ\text{K}$ – $41,339^\circ\text{K}$ ve $27,547^\circ\text{D}$ – $28,884^\circ\text{D}$ koordinatlarındadır. Katalog kayıtlarının %22'si ISC kaynağından gelmektedir. ISC gözden geçirilmiş bülteni gerçek zamanın yaklaşık 24 ay gerisinden yayımlanmaktadır (International Seismological Centre, t.y.); buna göre pencerenin yaklaşık son 9 ayında (pencere sonu sorgu anından öncedir; bültenin ufku 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 540 gün sonra hazırlanmıştır; olay sonrası katalog verisi katalog penceresinin sonuna kadarki 90 günle sınırlıdır. Katalog sorgusu 16.10.2026 tarihinde çalıştırılmıştır; sonraki güncellemeler sayıları değiştirebilir.

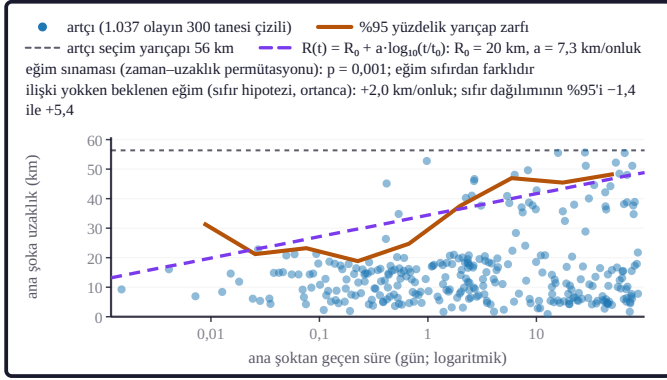
UZAMSAL GEOMETRİ VE DERİNLİK YAPISI (DEVAM) · ZAMANSAL DAVRANIŞ VE KÜMELENME



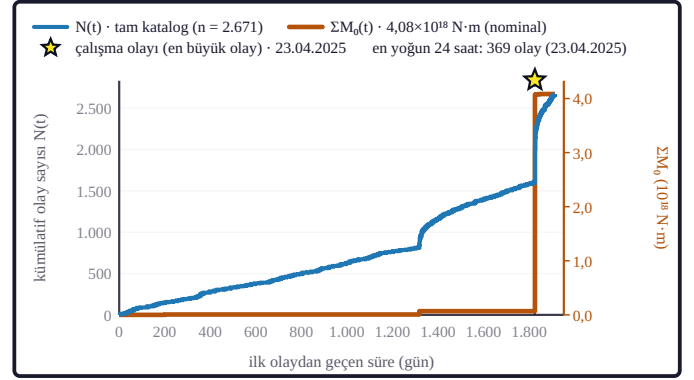
Şekil 4a. Tam katalogda derinlik değeri taşıyan 2.671 olayın %77'si ≤ 10 km derinliktedir. Sabit derinlik atamaları (7,0 km) ölçülmüş derinlik taşımaz. Hiposantr derinlik histogramı (tam katalog): çubuk rengi derinliği gösterir (sığ sarı, derin lacivert); koyu kesim sabit derinlik atamalarıdır; yıldız ve kesikli çizgi çalışma olayının derinliğidir.



Şekil 4b. Dış merkez koordinatlarının zaman serisinde mavi noktalar kuzey-güney, kırmızı noktalar doğu-batı bileşenidir. Yatay eksen pencerinin ilk olayından geçen süre (gün), düşey 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 çalışma olayının anını işaretler.



Şekil 4c. Mavi noktalar artçıların ana şoka uzaklığını ana şoktan geçen süreye karşı gösterir (yatay eksen logaritmiktir). Turuncu eğri logaritmik zaman kutularında hesaplanan %95 yüzdellik yarıçap zarfıdır. Kesikli yatay çizgi artçıların seçildiği yarıçaptır; uzaklıklar bu sınırı aşamaz. Mor kesikli doğru zarfa oturtulan $R(t) = R_0 + a \cdot \log_{10}(t/t_0)$ modelidir; katsayılar ve eğim sınamasının ölçüsü lejantıdır (logaritmik zamanda genişleme deseni; zarf %95 yüzdellik).



Şekil 4d. Mavi eğri kümülatif olay sayısı $N(t)$, turuncu eğri kümülatif sismik moment $\Sigma M_0(t)$ değeridir. Sarı yıldız çalışma olayıdır; penceredeki en büyük olay da odur (M_0 ölçeği: Hanks ve Kanamori, 1979).

Şekil 4a–4d: Derinlik histogramı, odakların derinlik kutularına nasıl dağıldığını gösterir (Şekil 4a). Histogramın en yüksek çubuğu 1.254 olayla 7–8 km aralığındadır; bu çubuktaki 958 kayıt 7,0 km sabit derinlik atamasıdır ve tepe ölçülmüş bir dağılım tepesi olarak okunmamalıdır. 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 eksenle verilmiş, eğilim doğrularının eğimi m/gün cinsinden yazılmıştır. Kesikli düşey çizgi çalışma olayının anını işaretler. Artçı bulutunun yarıçap zarfı logaritmik zamanla genişlemektedir; zarfın eğimi sıfırdan anlamlı biçimde büyüktür (Şekil 4c). Kümülatif sayım ve moment eğrileri birlikte okunur (Şekil 4d). Pencere boyunca ortalama etkinlik oranı 1,4 olay/gün düzeyindedir; eğrideki dikleşmeler bu ortalamanın belirgin biçimde üzerine çıkan etkinlik ataklarını işaretler.

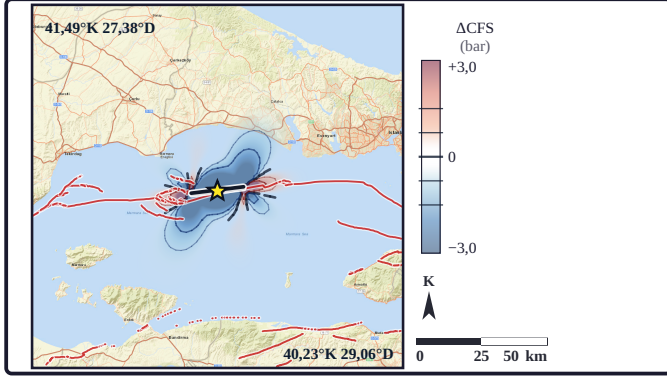
VERİ VE YÖNTEM (DEVAM)

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 479 olay eklemiştir; bunların 381'i ana şoktan sonradır ve en büyüğü 23.04.2025 10:02:32 UTC'de gerçekleşen Mw 4,9 büyüklüğündeki olaydır (AFAD raporu). Çapraz-kaynak kopyaları (1) $\Delta t \leq 20$ s, $\Delta \text{konum} \leq 56$ km ve $\Delta M \leq 0,5$ ya da (2) $\Delta t \leq 5$ s ve $\Delta \text{konum} \leq 56$ km (büyüklük ölçüsü farkı gözetmeksizin) ölçütüyle tekilleştirilmiş, 180 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 üzerinden hesaplanmıştır.

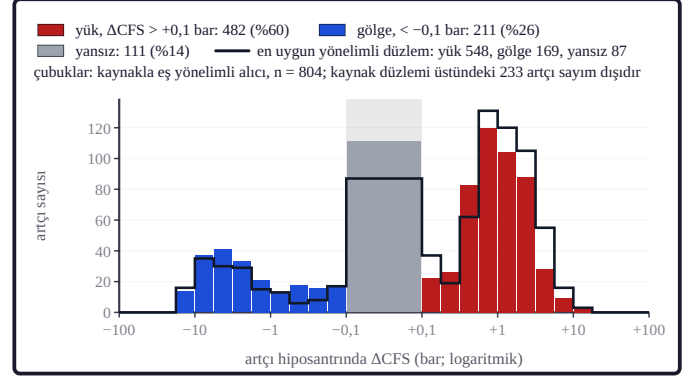
Bu çalışmada benimsenen büyüklük, hiposantrı veren kurumun (AFAD) kendi büyüklüğüdür: Mw 6,2 (moment büyüklüğü sınıfı). Öteki kurumların bildirdiği büyüklükler olay künyesi bölümünde karşılaştırılmıştır; farklı ölçeklerdeki değerler aynı fiziksel niceliği ölçmediğinden tek bir yayılım istatistiğinde toplanmamıştır. Moment ve enerji toplamalarında büyüklük türleri arasında ampirik dönüşüm uygulanmamıştır: moment türü büyüklük taşıyan 31 kayıt gerçek sismik momentle, öteki 2.640 kayıt ise katalog büyüklüğü moment büyüklüğü sayılarak hesaplanan nominal değerle toplanmıştır; nominal toplamalar bu etiketle verilmiştir.

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 %36'sının derinliği 0,1 km'ye yuvarlandığında 7,0 km'dir (958/2.671); bu değer, derinlik çözülemeyip sabitlendiğinde kurumun atadığı varsayılandır; yığın ve standart sabit derinlik (0/5/10/33 km) atamaları birlikte kayıtların %41'ini oluşturmaktadır (1.085/2.671); 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 ekte raporlanmayan çözümlerler çizelgesindedir.

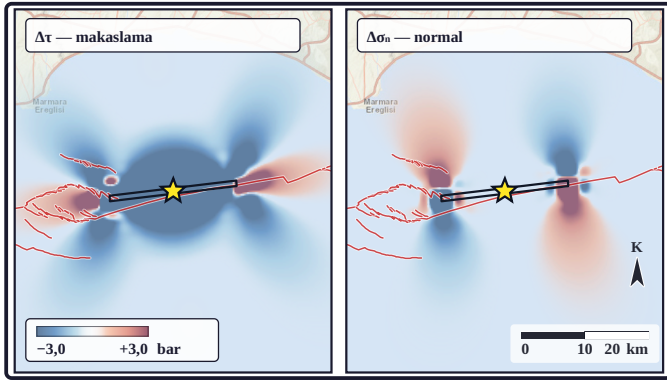
GERİLME ALANI VE KAYNAK MEKANİZMALARI



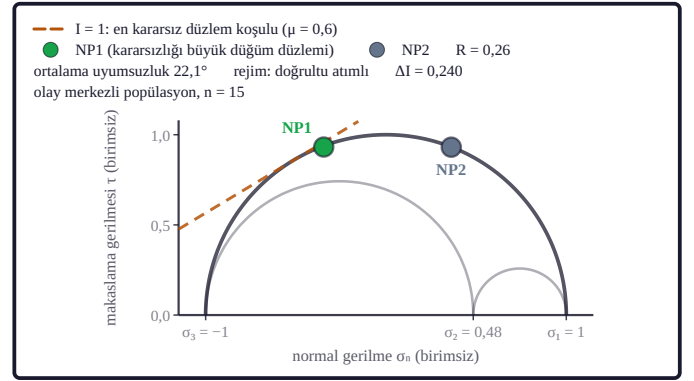
Şekil 5a. Harita statik Coulomb gerilme değişimini (ΔCFS) gösterir (kırmızı artış, mavi azalma; $\pm 3,0$ bar). Yıldız dış merkezdir; dörtgen kaynağın yüzey izdüşümüdür (kalın kenar üstte); çizgiler ΔCFS konturlarıdır. Kırmızı çizgiler diri fay izleridir; renk çubuğundaki çentikler kontur düzeyleridir (ΔCFS : Okada, 1992; King vd., 1994).



Şekil 5b. Coulomb nokta sınaması, artçıların kendi hiposantrlarında hesaplanan ΔCFS değerlerinin dağılımını verir. Artçı konum belirsizliği sayımlara yansıtılmamıştır. Kırmızı çubuklar yük artışını, mavi çubuklar gerilme gölgesini, gri bant iki eşik arasındaki yansız aralığı gösterir; çizgi en uygun yönelimli düzlem için aynı dağılımdır (eşik 0,1 bar = 0,01 MPa: Hardebeck vd., 1998).



Şekil 5c. ΔCFS 'in iki bileşeni ayrı panellerde gösterilmiştir: solda makaslama gerilmesi değişimi $\Delta\tau$, sağda fay düzlemine dik normal gerilme değişimi $\Delta\sigma_n$ ($\Delta CFS = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma_n$). Kadraj 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 5d. Gerilme inversiyonunun normalleştirilmiş Mohr diyagramında yatay eksen normal gerilme σ_n , düşey eksen makaslama gerilmesi τ 'dur. Üç yarım çember asal gerilmelerle kurulan gerilme durumunu, turuncu kesikli doğru μ sürtünme katsayısıyla tanımlı en kararsız düzlem koşulunu (kararsızlık indeksi $I = 1$) gösterir; iki nokta çalışma olayının iki düğüm düzleminin (σ_n, τ) konumudur ve doğruya yakın olan düzlem bu gerilme alanında kaymaya daha yakındır. Şekil oranı R , ortalama kayma yönü uyumsuzluğu ve iki düzlemin kararsızlık farkı ΔI lejantıdır (Vavryčuk, 2014; kararsızlık ölçütü).

Şekil 5a–5d: ΔCFS haritasında kırmızı alanlar alıcı düzlemlerin kırılmaya yaklaştığı, mavi alanlar uzaklaştığı kesimlerdir (Şekil 5a). Nokta sınamasının histogramı, artçıları kendi hiposantrlarındaki ΔCFS değerine göre yükleme, gölge ve yansız gruplarına ayırır (Şekil 5b). Alanın makaslama ve normal gerilme bileşenleri ayrı panellerde verilmiştir (Şekil 5c). Mohr diyagramında NP1 düzlemi sürtünme doğrusuna daha yakındır; kararsızlık ölçütüne göre gerilme alanında kaymaya daha elverişli düzlem odur, ancak bu ölçüt düzlemi tek başına seçmez (Şekil 5d). Coulomb gerilme aktarımı sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

VERİ VE YÖNTEM (DEVAM)

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 modellenebildiği 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 eşiği b-kararlılığı ölçütü belirlemiştir: $M_c = 1,7$. b-değeri bu eşiğin üzerindeki olaylardan en büyük olasılık kestiricisiyle (Aki, 1965), eşik $M_c - \Delta M/2$ kutulama düzeltmesi (Utsu, 1966) uygulanarak hesaplanmıştır. Belirsizlik için 3 kestirim hesaplanmış (Shi ve Bolt, 1982: 0,021; Aki, 1965: 0,022; yeniden örnekleme: 0,023) ve en büyüğü olan yeniden örnekleme (bootstrap) değeri verilmiştir; yeniden örneklemede M_c ve b birlikte yeniden kestirilmiştir. Tamlık büyüklüğü ölçütlerinin sayısal eşikleri bu çalışmanın işletimsel seçimleridir. b değerinin raporlanması ayrıca büyüklük–frekans dağılımının üst kuyruğunda sınanmıştır: yasadan 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).

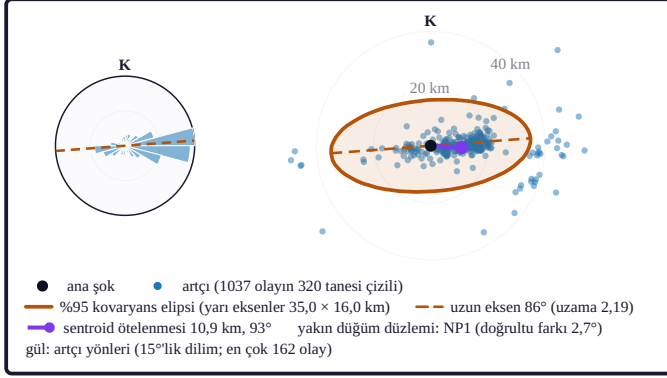
Odak mekanizması ve moment-tensör çözümleri Global CMT (GCMT) kataloğundan alınmıştır (Ekström vd., 2012). Gerilme tensörü inversiyonu Michael (1984) doğrusal yöntemi ve Vavryčuk (2014) kararsızlık ölçütüyle yinelemeli çözülmüştür ($\mu = 0,6$; 2 yineleme; belirsizlik 200 yeniden örnekleme %2,5–97,5 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.

Dizi sınıflaması çalışma olayının kendi dizisine uygulanmıştır; dizi, çalışma olayı ile olaydan sonraki 90 gün içinde 56 km yarıçaplı Gardner–Knopoff uzay penceresine (Gardner ve Knopoff, 1974) düşen olaylardan oluşur. Dizi sınıflaması ölçütü şöyledir: dizinin en büyük iki olayı arasındaki büyüklük farkı $\Delta M \leq 0,3$ ise çift deprem, $\Delta M > 0,3$ ve çalışma olayının dizi momentindeki payı $\geq 50\%$ ise ana şok–artçı dizisi, bu iki koşul sağlanmazken en yakın komşu kümelennmiş bağ oranı (Zaliapin ve Ben-Zion, 2013a) $> 50\%$ ise sürü; koşullar sağlanmazsa dizi sınıflanmamıştır. Dizi sınıflamasının eşikleri literatürden alınmamıştır; bu çalışmanın işletimsel ölçütleridir. Büyüklük farkı ve moment payı katalog büyüklüklerinden hesaplanmıştır.

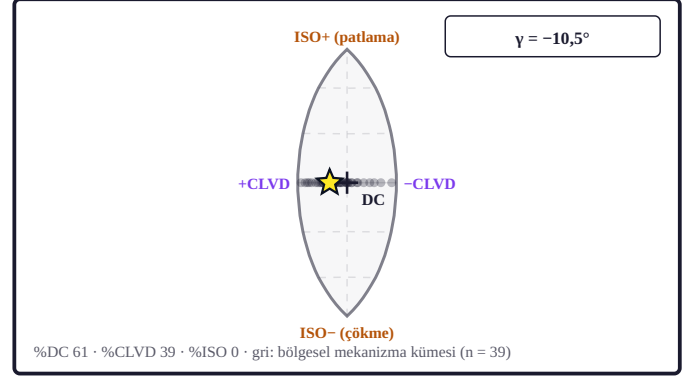
Arka plan dönemi olarak çalışma penceresinin başlangıcından geriye uzanan ve onunla örtüşmeyen 5 yıllık pencere (26.04.2015 – 24.04.2020) aynı kutu ve eşikle ayrıca sorgulanmış (3.467 kayıt), pencere istatistikleri bu tabanla kıyaslanmıştır.

Diri fay verisi MTA TDFH-2026 (Türkiye Diri Fay Haritası) katmanından alınmıştır (Elmacı vd., 2026).

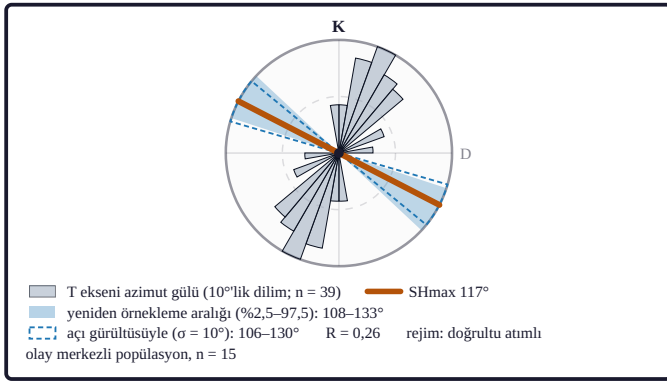
GERİLME ALANI VE KAYNAK MEKANİZMALARI (DEVAM)



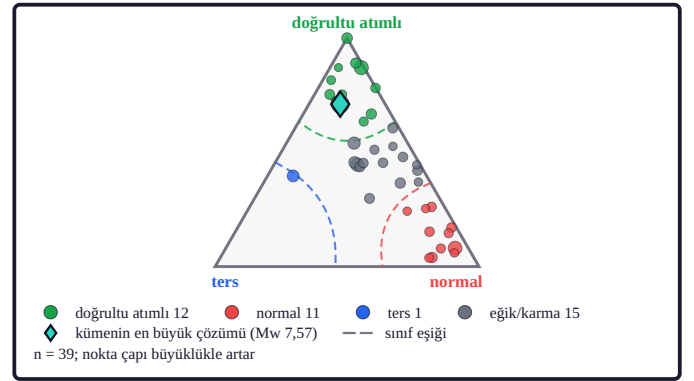
Şekil 6a. Ana şok merkezli düzlemde artçı bulutu (mavi) ve %95 kovaryans elipsi (turuncu) gösterilmiştir. Turuncu kesikli doğru elipsin uzun eksenidir, mor ok artçı sentroidinin ana şoka göre ötelenmesidir; gri çemberler ana şoka uzaklığı kilometre cinsinden ölçekler. Uzama oranı 1'e yaklaştıkça bulut izotroplaşır ve yön kestirimi zayıflar; elips ölçüleri ve uzun eksene yakın düğüm düzlemi lejanttır (telesismik ikinci moment ölçüsünün artçı konumlarına uyarlanmış vekili: McGuire vd., 2002).



Şekil 6b. Tape ve Tape kaynak tipi lune'unda sarı yıldız bu olayın moment tensörünü, artı imi saf çift kuvvet (DC) merkezini gösterir. Çerçeve $\gamma \in [-30^\circ, +30^\circ]$ ve $\delta \in [-90^\circ, +90^\circ]$ aralığının Hammer eşit alan izdüşümüdür; kesikli yaylar $\delta = 0, \pm 30^\circ$ ve $\pm 60^\circ$ enlemleridir. Sağ ve sol kenarlar $\pm$ CLVD uçları, kutuplar izotropik patlama ve çökme uçlarıdır. Gri noktalar bölgesel mekanizma kümesinin çözümleridir; alt satırdaki yüzeler DC/CLVD/ISO ayrışımıdır (lune: Tape ve Tape, 2012; ayrışım: GCMT tensöründen).



Şekil 6c. SHmax = 117° (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 SHmax 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 tersinimin aynı yüzdelik aralığıdır (Vavryčuk, 2014). Gri sektörler bölgesel mekanizma kümesinin T eksen (uzama) azimut gülüdür (10° 'lik dilimler; yarıçap sayımın kareköküyle orantılı); kümede salt çoğunlukta bir sınıf bulunmadığından P eksen gülü çizilmemiştir. İç kesikli çember yarı ölçek halkasıdır; şekil oranı R ve rejim sınıfı lejanttır (SHmax yönü: Lund ve Townend, 2007; rejim sınıfı: Dünya Gerilme Haritası kuralı).



Şekil 6d. Çekinceli sayım: 39 çözümün %31'i doğrultu atımlı sınıftadır (%95 Wilson aralığı: %17–50; 27 bağımsız küme). Alt uç %70 baskınlık eşiğinin 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 eşiği aşmayan eğik/karma çözümleri, nokta çapı büyüklüğü, turkuaz elmas kümedeki en büyük çözümü gösterir; sınıf sayımları lejanttır (Frohlich, 1992 gnomonik üçgeni; Frohlich ve Apperson, 1992 eşikleri; çözümler: Global CMT, Ekström vd., 2012).

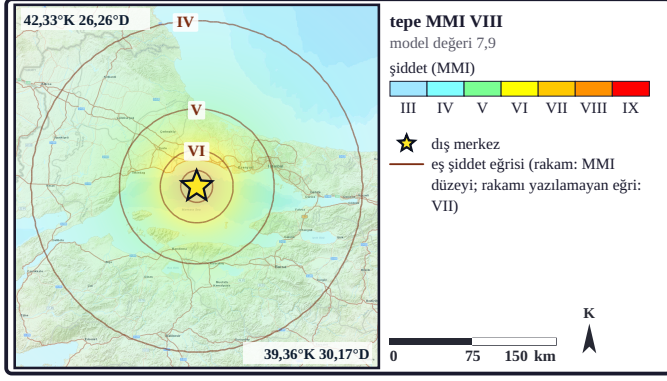
Şekil 6a–6d: Artçı bulutu kovaryans elipsinin uzun eksen (boyunca uzamıştır; ana şok artçı sentroidinden bulutun bir ucuna doğru ötelenmiştir (Şekil 6a). Elips ve sentroid ölçüleri artçı bulutunun geometrisinden türetilmiş vekil niceliklerdir; dalga formlarından yapılmış bir yönlülük ölçümü değildir. Olayın moment tensörü şekilde izotropik payın sıfır olduğu yatay eksen üzerindedir; bu konum Global CMT çözümünün deviatorik kısıtından gelir, izotropik payın ölçümü değildir (Şekil 6b). Asal gerilme eksenlerinden en dik olan σ_2 eksenidir (dalım 88°); Anderson sınıflamasında rejim sınıfı bu dik eksenle belirlenir (Şekil 6c). Gürültülü yeniden örneklemede kullanılan 10° açılı 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 = 39) en kalabalık 10° 'lik dilimi $20-30^\circ$ aralığındadır; bu dilime dik yön ile inversiyonun verdiği en büyük yatay sıkışma yönü arasındaki eksenel fark 2° 'dir ve iki yön işletimsel 20° tolerans içinde örtüşmektedir. Gül (bölgesel mekanizma kümesi) ile inversiyon (olay merkezli mekanizma popülasyonu) örtüşen mekanizma örneklemelerine dayandığından karşılaştırma bağımsız bir doğrulama değildir. Hiçbir eşiği aşmayan 15 çözüm üçgenin orta bölgesinde yer almakta ve eğik/karma sınıfına girmektedir (Şekil 6d). Bölgesel mekanizma kümesindeki çözümlerin büyüklükleri Mw 4,67–7,57 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.

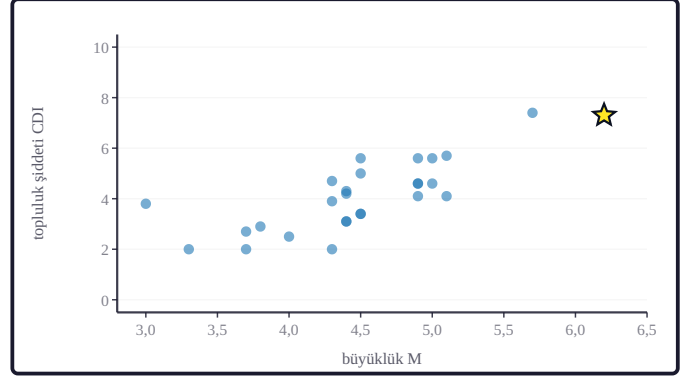
VERİ VE YÖNTEM (DEVAM)

Katmanın çalışma kutusuna düşen parçaları sürekli izlereleştirilmiştir: kutuda 95 iz bulunmaktadır ve bölge haritalarında bunların en uzun 90° 'i, tektonik haritada en uzun 60° 'i çizilmiştir; fay çizelgesi için aynı adı taşıyan parçalar ayrıca 1 km toleransla uç uca birleştirilmiş, elde edilen 95 izin (4 farklı ad) en uzun 8° 'i 1 ad altında çizelgede listelenmiştir. Şekillerdeki harita kadralları eş-dikdörtgen (equidistant cylindrical) izdüşümündedir: standart paralel kutunun orta enlemi olan $40,84^\circ$ K'dir ve harita ölçeği iki eksende eşit tutulmuştur; şekillerdeki tek ölçek çubuğu bu koşulla geçerlidir. Boylam ölçeğinin sapması kutunun kuzey ve güney kenarlarında ters işaretlidir ve en çok $\%0,8$ 'dir. Altlık karoları Web Mercator karolarından üretilip aynı dikdörtgene indirgenmiştir; altlık ölçülen bir nicelik taşımaz, yalnız coğrafi bağlam verir.

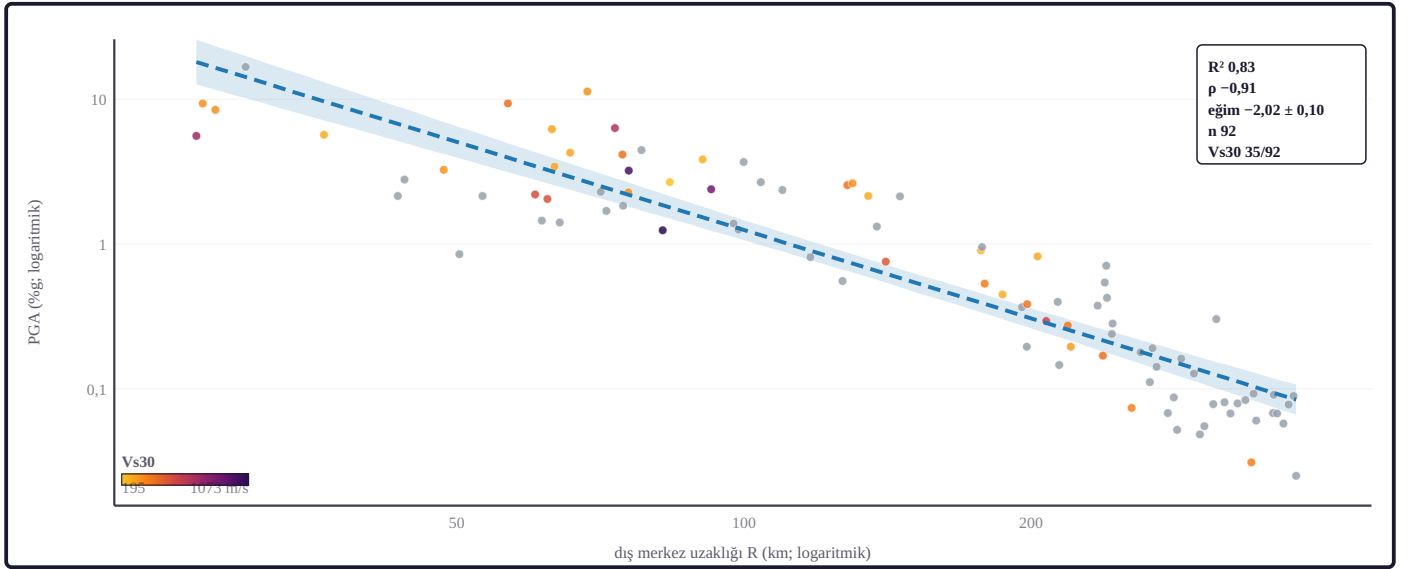
YER HAREKETİ VE ETKİ



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



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



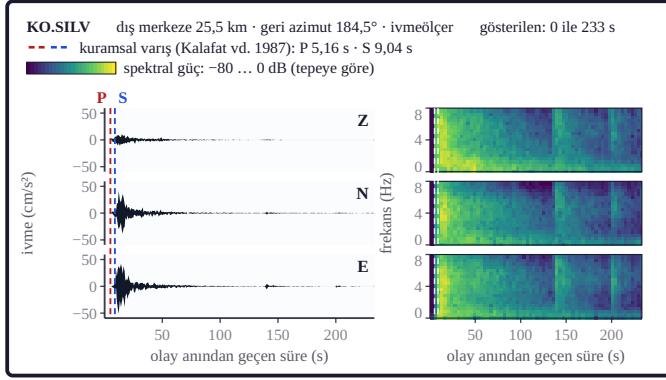
Şekil 7c. Her iki eksen de logaritmiktir, yatay eksen dış merkez uzaklığı R (km), dikey eksen PGA gösterir. Figür, kayıt istasyonlarında ölçülen en büyük yatay yer ivmesinin (PGA) dış merkez uzaklığıyla azalmasını verir ve PGA birimi eksen başlığında yazılıdır. Küçük daireler gözlemdir: her biri bir kuvvetli yer hareketi kayıdır ve dolgu rengi o istasyonun Vs30 değerini kodlar — açık kehribar yumuşak zemin (düşük Vs30), koyu mor sağlam kaya (yüksek Vs30), gri ise Vs30 ölçümü olmayan istasyondur ve rampanın hiçbir ucuna atanmaz; renk ölçeği sol alttaki şeritte, uçlarındaki sayılar veri aralığının gerçek Vs30 sınırlarıdır. Kesikli mavi doğru modeldir: $\log PGA = a + b \cdot \log R$ biçiminde en küçük karelerle oturtulan azalım bağıntısı; çevresindeki soluk mavi kuşak bu doğrunun %95 güven bandıdır ve çözümün döndürdüğü band dizisinden olduğu gibi çizilir, yeniden hesaplanmaz. Sağ üstteki kutu uyumun sayısal karnesidir: R^2 doğrunun açıkladığı değişkenlik oranı, ρ Spearman sıra korelasyonu (negatif değer uzaklık arttıkça ivmenin düştüğünü söyler), eğim $\pm$ standart hatası ve regresyona giren kayıt sayısıdır. Nokta çapı bilgi taşımaz: bu ölçekte bir pikselle nicelik kodlanamaz, tek boy kullanılmıştır (Azalım regresyonu: log-log en küçük kareler + t-kuantili %95 güven bandı [Joyner ve Boore, 1981 geleneği] · sıra korelasyonu: Spearman, 1904 · Vs30/zemin sınıfı: TADAS-AFAD istasyon tablosu).

Şekil 7a-7c: Model şiddet alanı, şiddet-azalım bağıntısının uzaklıkla düşen halkalarını harita üzerinde verir; dış merkez yakınında hesaplanan tepe şiddet MMI VIII (model değeri 7,9) düzeyindedir (Şekil 7a). Model hesabına yerel zemin etkisi katılmamıştır; gözlenen şiddet dağılımı bu haritadan değil makrosismik verilerden okunur. Şekildeki bulut, bölgede DYFI kaydı bulunan 27 olayın bildirilen en büyük topluluk şiddetini (CDI) büyüklüğe karşı vermektedir; yıldız çalışma olayının kayıdır (Şekil 7b). Bölge bulutunda topluluk şiddeti çalışma olayınınkinden yüksek 1 kayıt vardır. CDI gönüllü çevrimiçi bildirimlerden derlenir ve yerleşim yoğunluğuna bağlıdır; aletsel şiddetin yerine geçmez. Uydurmaya 92 aletsel kayıt girmiştir; topluluk (hissedilirlik) noktaları aynı simgeyle çizilmiş, uydurmaya dâhil edilmemiştir (Şekil 7c). Belirtme katsayısı $R^2 = 0,83$, artık karekök ortalaması 0,30 logaritmik birimdir. Sıralamaya dayalı Spearman korelasyonu $\rho = -0,91$; bu ölçüt aykırı değerlere dayanıklıdır ve doğrusallıktan bağımsız olarak azalma eğiliminin tekdüzeliğini sınar. İstasyonların %38,0'ında kayma dalgası hızı eşleştirilebilmiştir; renk kodlaması bu alt kümeye dayanır ve aynı uzaklıkta yumuşak zeminli istasyonların üstte yer alması zemin büyümesinin doğrudan görüntüsüdür. Bu doğru yayımlanmış bir yer hareketi kestirim denklemi değildir: tek bir olayın kendi istasyon kümesine uydurulmuş ampirik bir doğrudur ve başka olaylara genellenemez. Azalım ilişkisi karşılaştırması Tablo 5'te, dalga formu kaydının künyesi Tablo 6'da verilmiştir.

OLAY KÜNYESİ, KONUM GÜVENİLİRLİĞİ VE BÜYÜKLÜK MUTABAKATI

23.04.2025 tarihinde 09:49:10 UTC'de Marmara Denizi, Silivri (İstanbul) açıklığında, 40,8437°K, 28,2154°D koordinatlarında (AFAD çözümü), odak derinliği 4,9 km olan Mw 6,2 büyüklüğünde bir deprem kaydedilmiştir. Pencere kataloğunda, $M \geq 3,0$ büyüklüğünde ve en az iki kurumun çözdüğü 141 olayda farklı kurum çözümleri arasındaki dış merkez farkının ortancası 2,0 km, yüzde doksanlık değeri 4,6 km olarak ölçülmüştür (aynı olaya ait çözümleri eşleştirme toleransı 56 km); bu ölçü kurumlar arası farktır, bir konum hatası kestirimi değildir ve eşleştirme toleransına koşulludur. Odak derinliği kurum çözümlerinde 4,9 ile 15,2 km arasında değişmektedir; olayın moment tensörü sentroid derinliği 12,0 km'dir (GCMT, çözülemeyen sentroid derinliğini siğ olaylarda 12 km'de sabit tutar; bu değer çözülmüş bir derinlik olmayabilir); bu değerlerin tümü siğ odak sınıfına düşer ($h < 70$ km). Uzak ağ çözümleri (INGV; derinlik 8,6 km · NIEP; derinlik 10,0 km · GSI; derinlik 7,6 km) bu karşılaştırmaya katılmamıştır. Olayın katalog kaydı GFZ, AFAD, EMSC, USGS, NIEP, INGV, GSI ve ISC çözümlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur; benimsenen hiposantr AFAD çözümüdür. Moment ölçeğindeki 4 kurum kaydı Mw 6,2 değerinde birleşmektedir; GCMT moment büyüklüğü Mw 6,25 olarak verilmektedir.

YER HAREKETİ VE ETKİ (DEVAM)



Şekil 8a. Sol tarafta dalgalar formu, sağda Hann pencereli kısa zamanlı Fourier spektrogramı (pencere 2,56 s, %50 örtüşme) verilir; P ve S varışları işaretlidir. Şekil kaydın sinyal taşıyan bölümünü gösterir; aralık lejantıdır. Dalgalar formunda yatay eksen olay anından geçen süre (s), dikey eksen cm/s² birimindedir ve bileşenler ortak ölçektedir; spektrogramda dikey eksen frekans (Hz), renk tepeye göre dB'dir ve üç bileşen ortak renk ölçeğindedir. Yatay bileşenlerin yönelimi bilinmediğinden döndürme yapılmamış, bileşenler kanal adlarıyla verilmiştir. Genlikler cihaz yanıtı giderilerek fiziksel birime çevrilmiştir. Kesikli dikey çizgiler kuramsal P ve S varışlarını gösterir (kayıt: KO ağı, KOERI veri merkezi, FDSN datasetselect; süzgeç: Butterworth bant geçiren, sıfır fazlı, 0,025–8,0 Hz).

Şekil 8a ve 8b: Kayıta en büyük tepe genlik doğu–batı bileşendedir; tepe genliğinin dikey bileşendeki değere oranı kuzey–güney bileşende 3,8, doğu–batı bileşende 4,6 olarak ölçülmüştür (Şekil 8a ve 8b).

OLAY KÜNYESİ, KONUM GÜVENİLİRLİĞİ VE BÜYÜKLÜK MUTABAKATI (DEVAM)

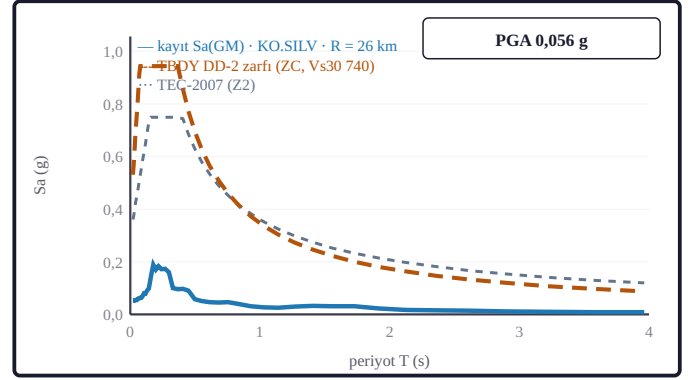
Aktarılmış çözümler (ISC Mw 6,2; ISK çözümünün aktarımı; ISC Mw 6,3; NEIC çözümünün aktarımı) başka bir kurumun çözümünü yinelediğinden ayrı kurum ölçümü sayılmamıştır. Uzak ağ çözümleri (NIEP ML 6,2; GSI MLv 6,2; INGV Mw 6,2) derinlik karşılaştırmasında olduğu gibi büyüklük karşılaştırmasına da katılmamıştır. Konum çözümünün yayımlanmış tek kalite ölçüsü şudur: varış artışı RMS = 0,64 s. Yatay ve dikey konum belirsizliği (ERH/ERZ) bu katalogta yayımlanmamıştır.

KAYNAK FİZİĞİ: SİSMİK MOMENT VE ENERJİ

Sismik moment $M_0 = 2,987 \times 10^{18}$ N·m'dir (Mw 6,25; GCMT skaler momenti). Bu büyüklükten $\log_{10} E = 1,5 \cdot Mw + 4,8$ bağıntısıyla türetilen nominal ısınan enerji $E \approx 1,5 \times 10^{14}$ J'dür; değer Kanamori (1977) varsayımına ($E/M_0 \approx 5 \times 10^{-5}$) dayanır ve ölçülmüş bir ısınan enerji değildir. Ampirik ölçekleme (Wells ve Coppersmith, 1994; doğrultu atımlı kolu) Mw 6,25 için 20,2 km yer altı kırık uzunluğu vermektedir.

ODAK MEKANİZMASI, MOMENT-TENSÖR AYRIŞIMI VE GERİLME REJİMİ

GCMT moment tensörü çözümünün düğüm düzlemleri doğrultu/eğim/kayma açılarıyla $83^\circ/84^\circ/-175^\circ$ (NP1) ve $353^\circ/85^\circ/-6^\circ$ (NP2) olarak verilmektedir; kayma NP1 üzerinde sağ yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde sol yönlü doğrultu atım niteliğindedir. Çözümün moment büyüklüğü Mw 6,25'tir. Mekanizma doğrultu atımlı faylanma sınıfındadır. İki blok birbirine göre yatay yönde kaymıştır — Kuzey Anadolu Fayı tipi hareket. GCMT deviatorik moment tensörünün lune ayrışımı %DC = 61,2, %CLVD = 38,8 vermektedir ($\gamma = -10,5^\circ$; %ISO = 0 ve $\delta = 0$ değerleri ölçüm değil, GCMT çözümünün deviatorik kısıtı gereğidir). Olayın [%CLVD] değeri bölgesel mekanizma kümesindeki 39 çözümün %62 yüzdeliğinde olup bölgesel dağılımın tipik aralığındadır (kümenin ortanca %DC değeri 67,9); tensör bileşenlerinin belirsizlikleri bu çalışmanın veri kümesine alınmadığından CLVD payı kaynak karmaşıklığı olarak yorumlanmamıştır. Ayrışım olayın kendi GCMT çözümü (± 180 s eşleşmesi) tensöründen hesaplanmıştır. Olay merkezli mekanizma popülasyonundan yinelemeli gerilme inversiyonu (olay merkezinden $\pm 1,2^\circ$; katalogun bütün dönemi, çözüm yılları 1979–2025; $n = 15$; ortalama uyumsuzluk $22,1^\circ$) en büyük yatay sıkışma yönünü SHmax = 117° (%2,5–97,5 yeniden örnekleme aralığı: 108–133°) ve rejimi doğrultu atımlı faylanma olarak vermektedir; gerilme şekil oranı $R = 0,26$ (0,06–0,63) olarak kestirilmiştir.



Şekil 8b. Yatay eksen periyot T (s), dikey eksen %5 sönümlü spektral ivme S_a (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 $S_a(T)$, 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 aşığı periyot bandı, o periyoda denk yapı stoğu için tasarım düzeyinin aşıldığı banttır (TBDY 2018 tasarım spektrumu; kayıt: FDSN ham ivme).

Odak mekanizması açılarına 10° standart sapmalı gürültü eklenerek yinelenen yeniden örneklemede aralık 106–130° olmaktadır; aralığın genişliği bu çalışmanın işletimsel eşiğinin (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 (çalışma kutusu her yönde 120 km genişletilerek; aynı dönem; $n = 39$) 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: 12 doğrultu atımlı, 11 normal, 1 ters ve 15 eğik/karma çözüm. Kümede en sık sınıf doğrultu atımlı faylanmadır: 39 çözümün 12'si (%31) bu sınıftadır. Oranın %95 Wilson (1927) aralığı 17° – 50° 'dir; aralık, Gardner ve Knopoff (1974) uzaç-zaman pencereleriyle ayrılan 27 bağımsız kümeye göre hesaplanmıştır. Aralık bu çalışmanın işletimsel sınıf eşiğini (%45) içerdüğinden küme için sözel bir kinematik nitelime yapılmamıştır. Eşik kullanmayan en dik eksen sınıflamasında sayım 22 doğrultu atımlı, 16 normal ve 1 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 dalımlarını sınıflar, rejim ise popülasyona ortak tek bir gerilme alanı uydurulmasından çıkar; biri diğerinin doğrulaması değildir. Gerilme inversiyonuna giren olay merkezli mekanizma popülasyonunda ($n = 15$) aynı Frohlich ve Apperson (1992) eşikleriyle mekanizma kanşımı 4 doğrultu atımlı, 4 normal, 1 ters ve 6 eğik/karma çözümden oluşmaktadır; bu popülasyon yukarıdaki bölgesel mekanizma kümesinden farklıdır.

KIRILMA GEOMETRİSİ VE GERÇEK KIRIK DÜZLEMİNİN KISITLANMASI

Çalışma kutusundaki sismisitenin yatay yayılımı $109,5 \times 101,5$ km boyutundadır (uzun $\times$ kısa eksen); olayların %95'i 0,0–17,4 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). Artçı bulutunun uzun eksen 86° doğrultusundadır (%95 güven aralığı 83–89°); uzama oranı 2,19'dur ($n = 1.037$). Artçı kümesinin yatay boyutu $62,6 \times 22,7$ km olarak ölçülmüştür. Aynı bulutun %95 kovaryans elipsinin yarı eksenleri 35,0 ve 16,0 km'dir; yön ve uzama ölçüleri, McGuire vd.'nin (2002) telesismik ikinci moment ölçüsünün artçı konumlarına uyarlanmasıyla çekilmiştir. Ana şok ile artçı sentroidi arasındaki ötelenme 10,9 km (oran 0,31, azimut 93°) olup kısmi tek taraflılığa işaret eder (tek/çift taraflılık eşikleri 0,2/0,5; bu çalışmanın işletimsel eşikleridir). Artçı uzanımına en yakın düğüm düzlemi NP1 olup doğrultu farkı $2,7^\circ$ 'dir. Gerilme alanı altındaki fay kararsızlık indeksleri $I(NP1) = 0,984$ ve $I(NP2) = 0,744$ olup aradaki fark 0,240 olarak ölçülmüştür.

BÖLGESEL TEKTONİK ÇERÇEVE



Şekil 9. 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). İç 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 9: Tektonik çerçeve haritası, çalışma alanının bölgesel fay sistemleri ve 3 GNSS istasyonunun yıllık hız vektörleri bağlamına oturtur (Şekil 9). Vektörler istasyonların levha-sabit çerçevedeki uzun dönemli hızlarıdır; pencere içindeki dizinin anlık deformasyonunu göstermez. Yayımlanmış odak mekanizması çözümleri Tablo A3'te verilmiştir.

KIRILMA GEOMETRİSİ VE GERÇEK KIRIK DÜZLEMİNİN KISITLANMASI (DEVAM)

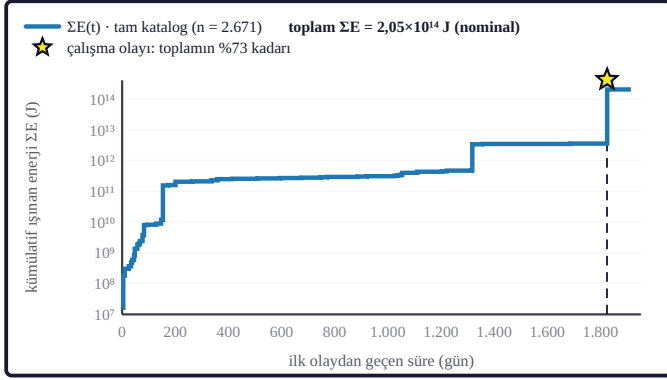
Bu çalışmada iki düzlemin ayırt edilmiş sayılması için benimsenen işletimsel ölçüt $\Delta I > 0,15$ olup, bu eşik literatürden alınmamış, çalışmanın kendi kararı olarak belirlenmiştir. Ölçülen fark bu eşğin üzerindedir; bu ölçüte göre kırk düzlemi adayı NP1'dir. Çalışma olayının Gardner-Knopoff kümesi (3 çözüm) dışlanarak yinelenen inversiyonda ($n = 12$) $I(NP1) = 0,995$ ve $I(NP2) = 0,666$ 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 $3,2^\circ$, NP2 için $6,9^\circ$ ölçülmüştür; fark 10° düzeyinin altında olduğundan bu ölçüt iki düzlemi ayırt etmez. Toplamda 2 bağımsız yöntemin 2'si NP1 düzlemini desteklemektedir; düzlem ikizliği bu ölçüde kırılmış sayılabilir.

DİZİ İSTATİSTİĞİ

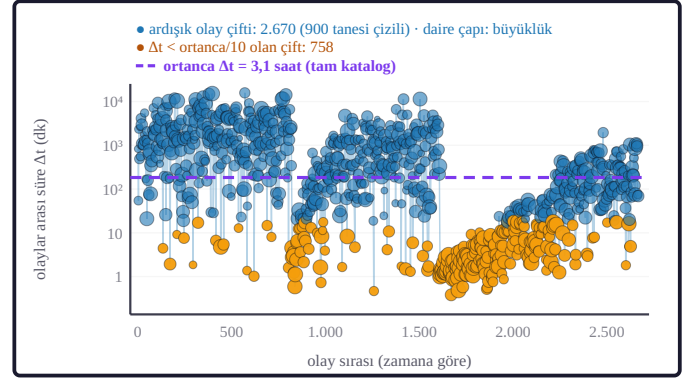
Çalışma olayını izleyen 90 günlük dönemde, 56 km yarıçaplı Gardner–Knopoff uzay penceresi (Gardner ve Knopoff, 1974) içinde 1.037 izleyen olay kaydedilmiştir. Bunların en büyüğü, çalışma olayından 2 dakika sonra gerçekleşen Mw 5,9 büyüklüğündeki olaydır (23.04.2025 09:51:19 UTC); iki olayın dış merkezleri 9,3 km uzaklıktadır ve odak derinlikleri sırasıyla 4,9 ve 7,0 km'dir (ikinci olayın derinliği kurumun sabit derinlik atamasıyla [7,0 km] aynıdır ve ölçülmüş bir değer olmayabilir); iki olay arasındaki büyüklük farkı $\Delta M = 0,3$ (büyüklükler Mw 6,2 ve Mw 5,9) bu çalışmanın işletimsel ölçütünü ($\Delta M \leq 0,3$) sağladığından dizi bir çift deprem (doublet) niteliğindedir; çalışma olayı dizinin toplam sismik momentinin %74 kadarını taşımaktadır. İkinci olay, çalışma olayından yalnız 2 dakika sonra, ana şokun kodası içinde kataloglanmıştır; bu koşula katalog büyüklüğü ve konumu, dalga alanlarının çalışması nedeniyle oluşan belirsizliklerin üzerinden ve kullanılan mekanizma arşivinde ikinci olaya ait bağımsız bir moment tensörü çözümü bulunmamaktadır; çift deprem sınıflaması bu katalog kaydına koşulludur. İzleyen olayların ($M \geq 1,7$) günlük oranı, ilk ölçüm aralığında (9–19 saat) günde 150 olaydan (%95 güven aralığı 110–190) son ölçüm aralığında (41–90 gün) günde 1,7 olaya (%95 güven aralığı 1,3–2,2) immiştir; ilk aralıktaki oran son aralıktakinin 84 katıdır (%95 güven aralığı 59–120) ve azalma kesin Poisson güven sınırlarında (Garwood, 1936) istatistiksel olarak ayırt edilebilir düzeydedir; ilk 5 saatin kaydı eksik olduğundan ilk ölçüm aralığı kaydın tamlaştığı andan sonraki ilk aralıktır.

Omori-Utsu sönüm yasası $n(t) = K/(t + c)^p$ bu diziye en büyük ölçeklilik yöntemiyle (Ogata, 1983) uydurulmuştur ($n = 634$ olay, 90 günlük pencere); p ve c değerleri bu çalışmanın bulgu ölçütünü karşılamadığından verilmemiştir. Değerlerin verilmemesinin gerekçesi ilk saatlerdeki katalog eksikliğidir. Uydurma ana şoktan başlamaktadır; tamlik eşiği ana şoku izleyen ilk pencerede 2,9'dur ve 1,7 değerine ana şoktan 5,1 saat sonra inmektedir. İlk saatlerin olay sayısı eksik olduğundan c yukarı yanlı 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 $\Delta M = 0,3$ olarak ölçülmüştür (katalog büyüklükleri M 6,2 ve M 5,9); değer Båth yasasının (Båth, 1965) yaklaşık 1,2 birimlik farkıyla kıyaslandığında küçüktür. Aynı dizi için büyüklük-frekans (Gutenberg-Richter) bağıntısının ekstrapolasyonundan (Gutenberg ve Richter, 1944) türetilen en büyük olay kestirimi $M^* \approx 5,7$ 'dir (kestirimde kullanılan $b = 0,71$; 56 km yarıçaplı dizi penceresinde $M \geq 1,7$ olan 634 izleyen olay üzerinden); bu, dizinin istatistiksel ölçek göstergesidir, gelecekteki bir olayın büyüklüğü değildir. Dizide gözlenen en büyük izleyen olay (M 5,9) bu kestirimi 0,2 birim aşmaktadır. 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 yanlı olabilir; b küçüldükçe M^* büyüdüğünden kestirim yukarı yanlı olabilir: ilk 5,1 saat dışlanarak kurulan ikinci kestirimde ($b = 0,81$, olay sonrası dönemin ikinci b kestiriminden; $M \geq 1,7$ olan 489 izleyen olay) $M^* \approx 5,0$ 'dır ve aynı alt listede gözlenen en büyük izleyen olay M 4,3'tür. Reasenbergl-Jones dizi modelinin olasılıkları bu raporda verilmemiştir: model, Omori-Utsu uydurmasının p ve c değerlerini kullanır ve bu değerler bu çalışmanın bulgu ölçütünü karşılamadığından verilmemiştir. Artçı zonunun mekânsal evrimi $R(t) = R_0 + a \cdot \log_{10}(t/t_0)$ biçiminde modellenmiş (Tajima ve Kanamori, 1985); $R_0 = 20$ km, $a = 7,3$ km/onluk (zamanın her on katına karşılık yarıçap artışı; boyutsuz oran 0,364, $n = 1.037$) bulunmuştur. Ölçülebilir log-zaman genişlemesi vardır (zaman-uzaklık permütasyonu $p = 0,001$; eğimin %95 yeniden örnekleme aralığı 5,1-10,2 km/onluk); literatürde afterslip cephesi ya da gözenek-basıncı difüzyonuyla ilişkilendirilir. Seçim yarıçapı sabit (56 km) olduğundan ve dizi oranı zamanla azalırken aynı alandaki arka plan etkinliği sabit kaldığından uzak olayların payı zamanla büyür; zarfın genişlemesinin bir bölümü bu seçim etkisinden kaynaklanabilir ve genişleme fiziksel bir cephe olarak yorumlanmamıştır. $R(t)$ modeli artçı bulutunun istatistiksel sınır evrimini betimler; kırığın fiziksel ilerlemesinin doğrudan ölçümü değildir.

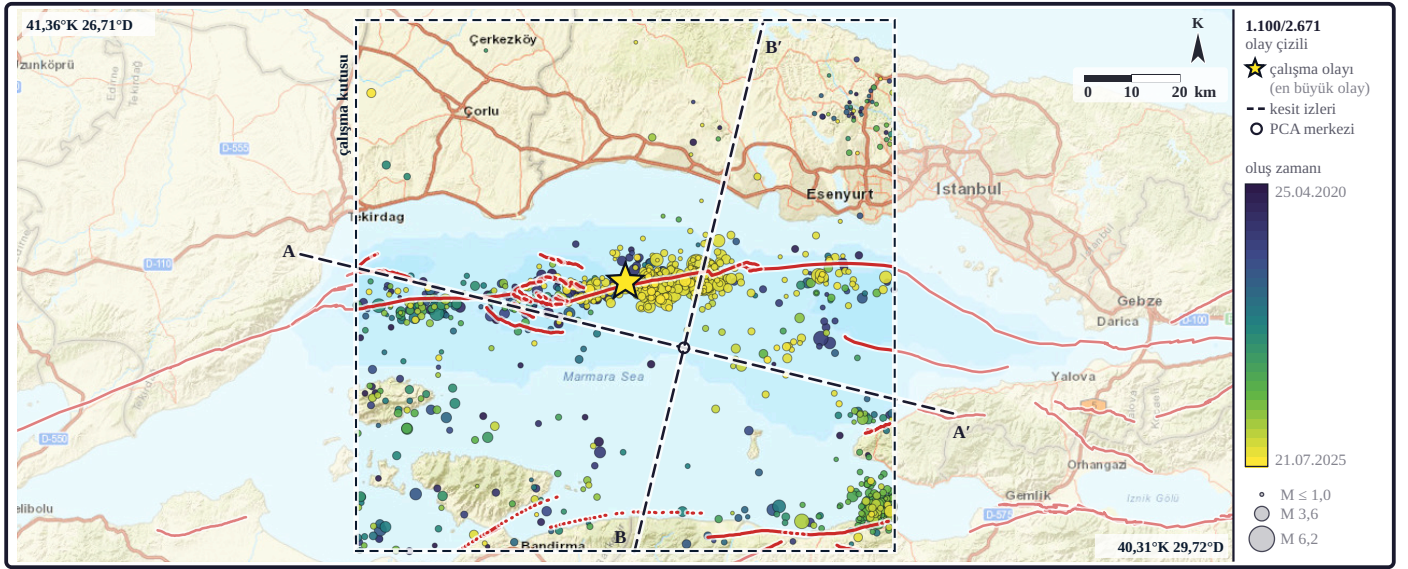
ZAMANSAL DAVRANIŞ VE KÜMELENME (DEVAM)



Şekil 10a. Mavi basamak eğrisi kümülatif ısınan sismik enerjidir (ΣE, logaritmik eksen). Kesikli düşey çizgi çalışma olayını işaretler; en büyük tek katkı bu olaydır (Gutenberg ve Richter, 1956 enerji bağıntısı).



Şekil 10b. Düşey eksen bir önceki olaydan geçen süredir (dakika, logaritmik). Mor çizgi ortanca süredir; turuncu daireler ortancanın onda birinden kısa aralıklardır. Daire çapı büyüklükle artar (seri: tekilleştirilmiş tam katalog).



Şekil 10c. Daire rengi oluş zamanını (koyu mor en eski → sarı en yeni), çapı büyüklüğü verir. Öbür imler Şekil 3d'deki gibidir (kesikli dikdörtgen çalışma kutusudur).

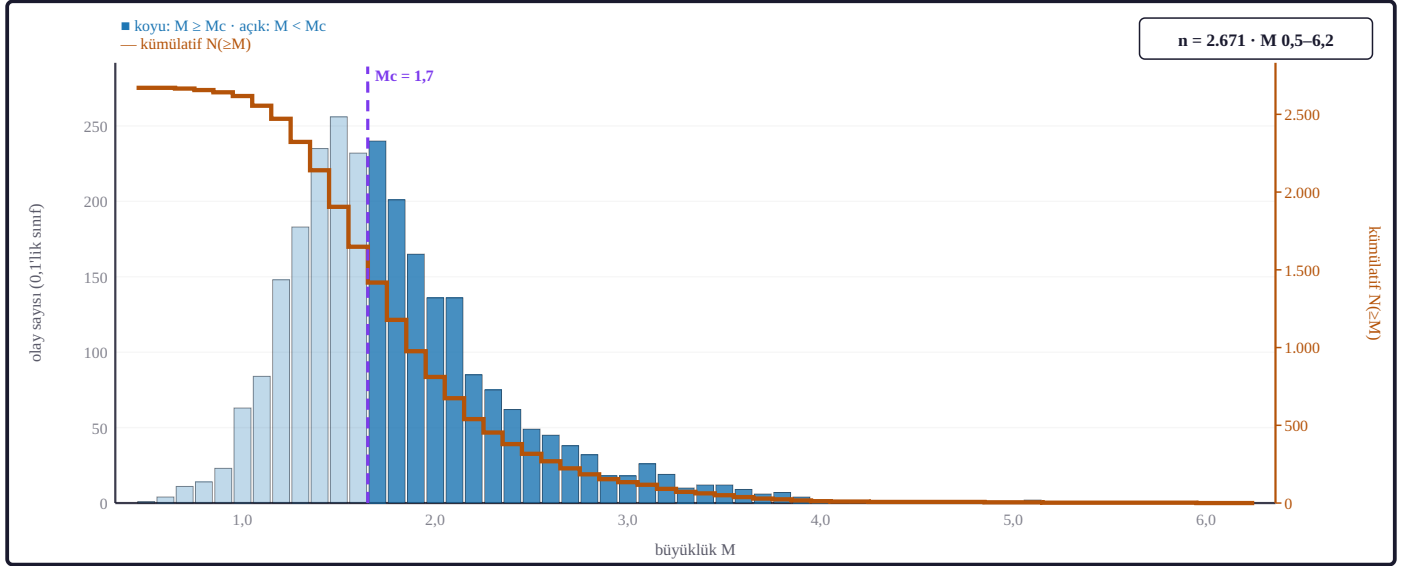
Şekil 10a–10c: Kümülatif ısınan enerji basamakları, toplam boşalımın kaç olaya dağıldığını gösterir (Şekil 10a). Pencerede ısınan toplam enerji $2,05 \times 10^{14}$ J'dür (nominal toplam; katalog büyüklüklerinden). Bekleme süresi serisi, ardışık olaylar arasındaki zaman farkını olay sırasına göre verir (Şekil 10b). Ortanca bekleme süresi 3,1 saat düzeyindedir (tam katalog); bu değer onda birinden kısa 758 aralık ölçülmüştür (2.670 aralıkta); bu sayı Poisson (üstel bekleme) beklentisinin (178,8) üstündedir (binom $P(X \geq 758) < 0,001$) ve tetiklenmiş etkinlik uyumludur. Dış merkezler oluş zamanına göre renklendirilerek etkinliğin kadrj içinde nasıl dolduğu gösterilmektedir (2.671 olay; ilk–son olay arası 1.913 gün; Şekil 10c). Ağırlık merkezinin zaman içindeki yer değiştirmesi sismisite göçü bölümünde ölçülmüştür; bu panelde bir model oturtması yapılmamış, doğrusal/difüzyon ayırımına gidilmemiştir. Pencere ile arka plan döneminin kıyası Tablo 7'de, raporlanmayan çözümlemeler ve eleme gerekçeleri Tablo A4'te, çekince düşülen çözümlemeler ve çekince gerekçeleri Tablo A5'te, çapraz-kaynak tekilleştirmede birleştirilen kayıt kümeleri ve tolerans duyarlılığı Tablo A6'da verilmiştir.

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 4,9 km derinlikte ve 71×70 düğümlü ızgarada hesaplanmıştır. Gerilme aktarımı hesabının kaynak geometrisi ampirik ölçeklemeyle (Wells ve Coppersmith, 1994) kurulan, hiposantr merkezli dikdörtgenden alınmıştır (doğrultu/eğim/kayma $83^\circ/84^\circ/-175^\circ$; $L = 20,2$ km, $W = 8,5$ km). Bu geometri ölçülmüş bir kırık değil, bir çalışma varsayımdır.

Gözlemsel sinama olarak ΔCFS her artışının kendi hiposantrında, kaynakla eş yönelimli alıcı düzlemde hesaplanmıştır: 804 artışın 482 tanesi (%60) +0,1 bar üzerindeki yükleme alanında, 211 tanesi (%26) -0,1 bar altındaki gölge alanında, 111 tanesi iki eşik arasındaki yansız banttadır; kaynak düzleminin üstüne düşen 233 artış bu sayımın dışında tutulmuştur. Yansız bant eşiği 0,1 bar olarak alınmıştır. Bu eşiğin karşılığı olan 0,01 MPa düzeyinin altındaki statik gerilme değişimlerinin saptanabilecek sayıda olay tetiklemeyebileceği öne sürülmüştür (Hardebeck vd., 1998). Karşılaştırma için bir boş model kurulmuştur: boş model, artışların 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 %31 olarak ölçülmüştür (245/799); artış payı ile boş model payı arasındaki fark 29,3 yüzde puanıdır (%95 güven aralığı 24,5 ile 33,8 arası; iki bağımsız oranın farkı için Wilson skor aralıklarını birleştiren Newcombe, 1998 yöntemi). Aralık sıfırı içermediğinden artışların yükleme alanındaki payı boş modelin üzerindedir. Artıcı konum belirsizliği bu sayımlara yayılmamıştır; işletimsel bir konum senaryosunda (yatay 2 km, derinlik 3 km standart sapma) artışların %85 kadarının sınıfı değişmektedir; sınıflar katalog hiposantrlarına göre ve alan tetiklenme kanıtı olarak değil, gerilme aktarımının yön ve merteye betimlemesi olarak okunmalıdır. En uygun yönelimli alıcı düzlemlerle yapılan sayım bir bölgesel gerilme alanı varsayımı gerektirir: SHmax doğrultusu 128° ve doğrultu atımlı rejim çalışma olayının kendi mekanizmasından, gerilme şekil oranı 0,5 varsayılan değer olarak, diferansiyel gerilme 100 bar olarak alınmıştır. Bu bölgesel alan varsayımıyla (SHmax 128° ; şekil oranı 0,5; 100 bar) sayım 548 yükleme, 169 gölge ve 87 yansız bant biçimindedir; diferansiyel gerilme 10 bar alındığında 684 yükleme, 43 gölge ve 77 yansız bant elde edilir (iki sayım arasında sınıfı değişen olay sayısı 138).

BÜYÜKLÜK İSTATİSTİĞİ VE KATALOG TAMLIĞI



Şekil 11. Tamlık büyüklüğü $M_c = 1,7$ olarak benimsenmiştir (b-kararlılığı ölçütü); bu eşikte uyum iyiliği %98 düzeyindedir; pencerenin en büyük olayı çalışma olayıdır (Mw 6,2). Mavi çubuklar 0,1 genişliğindeki büyüklük sınıflarına düşen olay sayıdır (sol eksen); turuncu eğri kümülatif $N(\geq M)$ sayıdır (sağ eksen). Mor kesikli çizgi tamlık büyüklüğüdür; altındaki sınıflar açık dolguludur ve b değeri kestirimine girmez (tam katalog, $n = 2.671$).

Şekil 11: Büyüklük dağılımı ve kümülatif eğri, kataloğun hangi büyüklükten itibaren tam sayıldığını görsel olarak sınar (Şekil 11). 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 düşürürdü. Kurumlar arası büyüklük karşılaştırması Tablo 8'de verilmiştir.

STATİK COULOMB GERİLME AKTARIMI VE GÖZLEMSEL SINAMASI (DEVAM)

Varsayılan bölgesel alan, olay merkezli mekanizma popülasyonunun gerilme inversiyonundan çalışma olayının Gardner-Knopoff kümesi (3 çözüm) dışlanarak ($n = 12$) elde edilen alandan ($SH_{max} = 113^\circ$, şekil oranı 0,36) ayırt edilememektedir (128° doğrultusu olay merkezli inversiyonun açığı gürültülü yeniden örnekleme aralığı olan $106-130^\circ$ içindedir); birincil sayımda bu çalışmanın kuralı gereği çalışma olayının kendi mekanizmasından türetilen alan kullanılmış, inversiyon alanı duyarlılık olarak ayrıca sınanmıştır: aynı diferansiyel gerilmeyle inversiyon alanı 464 yükleme, 237 gölge ve 103 yansız bant vermektedir (sınıfı değişen olay sayısı 139). Sayım varsayılan gerilme büyüklüğüne ve gerilme alanının seçimine bu ölçüde bağlı olduğundan yorumlanmamıştır. Sonlu kaynak dikkörtgeni $83^\circ/84^\circ/-175^\circ$ geometrisinde kurulmuştur (NP1; seçim ölçütü: haritalanmış diri fay izi doğrultusu). Alıcı düzlem kaynakla eş yönelimlidir; bu, gerilme değişimini kaynak fayın kendi geometrisi üzerinde okumak demektir ve başka yönelimli bir alıcı düzlem için lob-gölge deseni farklı çıkar. Alanın büyük bölümü küçük genilklidir: ızgaranın yalnız %27 kadarında $|\Delta CFS|$, bu çalışmada yansız bant eşiği olarak alınan 0,1 bar'ı aşmaktadır. Düğüm değerlerinin ortancası $-0,019$ bar, %5-95 aralığı $-0,63$ ile $0,17$ bar arası, %1-99 aralığı $-4,7$ ile $0,46$ bar arası olarak hesaplanmıştır. Dislokasyon çözümünde gerilme kaynak dikkörtgeninin kenarlarında ıraksadığından alanın uç değerleri ızgara 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 kadrage ve aynı kaynak geometrisiyle çizildiğinden, birleşik alandaki desenin hangi bileşenden doğduğu doğrudan okunabilir. Kuzey Anadolu Fayı boyunca 1939-1992 arasında gerçekleşen on büyük ($M \geq 6,7$) kırılmadan dokuzunun önceki şokların ΔCFS yüklemesiyle kırılmaya yaklaştırıldığı gösterilmiş, aynı çalışma sonraki 30 yıl için İzmit'in güneyinde büyük bir deprem olasılığını %12 olarak kestirmiştir (Stein vd., 1997); bu alanda hesaplanan yüklemle lobları da aynı fiziksel çerçevede, bir tetiklenme kestirimi olarak değil segmentler arası yük aktarımı olarak okunmalıdır. Gözlemsel karşılık olarak β oran-değişim istatistiği (Matthews ve Reasenberg, 1988) hesaplanmış; 36×36 düğümlü haritada 844 düğümde oran artışı ($\beta > 2$), 44 düğümde sismik gölge ($\beta < -2$) ölçülmüştür (ana şok öncesi 5 yıl, sonrası 90 gün fiili gözlem; yalnız kuramsal beklenen sayımı $E \geq 1$ olan 1.144 düğüm değerlendirilmiştir; $n = 2.671$).

Bu sayımlar tekil düğüm eşiğine göre: 1.144 düğüm birlikte sınıdığında, gerçek bir değişim olmasa dahi her yönde yaklaşık 26 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 katalogdan $M_c = 1,7$ tamlık eşiğinin üzerinde $b = 0,81 \pm 0,02$ kestirilmiştir (eşik üstü $N = 1.417$; toplam 2.671 kayıt). Gutenberg-Richter bağıntısının a değeri 4,53, yıl ve km^2 başına normalleştirilmiş değeri $a' = -0,29$ olarak hesaplanmıştır (5,2 yıl, $12.500 km^2$). Katalog büyüklüklerinin %99 kadarı ML türündedir; moment büyüklüğü ölçeğindeki kayıtların payı %1 düzeyindedir. b değeri büyüklük ölçeğine bağlı olduğundan ve b'nin standart sapması yalnız örnekleme belirsizliğini taşıdığından b, $b = 1$ referansıya ya da başka katalogların b değerleriyle anlamlılık sınavına sokulmamıştır. Tamlık eşiği ve b, büyüklük örnekleminin 1.000 yeniden örnekleme birliğinde birlikte yeniden kestirilmiştir: %16-84 yüzdelik aralığı M_c için 1,7-1,9, b için 0,79-0,83 olarak bulunmuştur. Tarihsel eşik üstü kayıtlar, çalışma olayından önceki dönem için iki halkalı bir ölçüte derlenmiştir: 150 km yarıçapta $M \geq 6,0$ (10 kayıt) ve 60 km yakın kuşakta ayrıca $5,0 \leq M < 6,0$ (11 kayıt); toplam 21 kayıt. Derlemedeki en büyük olay 1999 yılında, dış merkeze 144 km uzaklıkta gerçekleşen M 7,6 depremidir. Derlemenin öteki büyük kayıtları şunlardır: 1953 M 7,3 (89 km); 1912 M 7,2 (103 km); 1964 M 6,8 (66 km); 1912 M 6,7 (87 km). Derlemenin dış merkeze 20 km'den yakın 4 kaydı şunlardır: 26.09.2019 M 5,7 (4,2 km); 24.04.1988 M 5,3 (9,4 km); 22.10.1905 M 5,8 (9,6 km); 13.03.1952 M 5,4 (14 km). Gardner-Knopoff uzay-zaman pencereleriyle ayrıştırılmış bağımsız $M \geq 6,2$ olaylar 100 km yarıçaplı alanda çalışma olayından önce 5 kez gözlenmiştir (125 yıllık gözlem süresi). Ayrıştırma öncesinde aynı alanda eşik üstü 6 kayıt bulunmaktadır; bunların 5'i bağımsız olaydır. Bağımsız olayların gözlenen ortalama yinelenme aralığı $T = 25$ yıldır (%95 güven aralığı 11-77 yıl; kesin Poisson sınırları: Garwood, 1936). Kataloğun bu büyüklükteki tamlık başlangıcı saptanamadığından gözlem süresi kataloğun başından (1900) sayılmış ve katalog bu süre boyunca $M \geq 6,2$ için tam varsayılmıştır; varsayım sınınamadığından değer, eksik erken dönem kayıtları ölçüsünde yanlış olabilir.

ARKA PLAN DÖNEMİ KARŞILAŞTIRMASI

Çalışma olayını izleyen 90 günlük dönemde 56 km yarıçaplı dairede ve olay sonrası dönem ile arka plan döneminin ortak tamlık eşiğinde ($M \geq 1,7$) 634 olay kaydedilmiştir; bu sayı 7,0 olay/gün oranına karşılık gelir. Çalışma penceresinden önceki ve onunla örtüşmeyen 5 yıllık arka plan dönemi (26.04.2015 - 24.04.2020) aynı dairede ve aynı eşikte 997 olay içermektedir; bu dönemin oranı 0,55 olay/gün düzeyindedir. Oran katı 13'tür (%95 güven aralığı 12-14); 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. Ana şoku izleyen ilk saatlerde katalog küçük olaylarda eksik olduğundan (ilk pencerede tamlık eşiği 2,9) olay sonrası sayım ve dolayısıyla oran katı alt sınırdır; güven aralığı bu eksikliği taşımaz. Olaydan önceki 365 günün aynı dairedeki oranı arka plan oranının altındadır (0,42 kat; %95 güven aralığı 0,33–0,52); arka plan dönemi kendi içinde dişi sönümlerini de taşıdığından ve ağ duyarlılığı dönemler arasında değişebildiğinden bu düşüklük olay öncesi bir sakinleşme kanıtı olarak yorumlanmamıştır; sınama yalnız anılan daireyi kapsar, çalışma kutusunun tamamı için yapılan dönem bölütlemesi başka bir alanı ölçer. Arka plan döneminin b değeri, çalışma kutusunun tamamında ve pencereyle aynı tamlık eşiğinde ($M_c = 1,7$) kestirilmiştir: $b = 1,03 \pm 0,03$ ($N = 1.356$; belirsizlik kestiricisi: Shi ve Bolt, 1982). Pencere değeriyle farkı $| \Delta b | = 0,22$, birleşik belirsizlik 0,04 değerindedir; fark birleşik belirsizliğin iki katını (0,08) aştığından iki dönem b bakımından ayrılmaktadır (fark, birleşik belirsizliğin 6,0 katıdır). Birleşik belirsizlik yalnız örnekleme belirsizliğini taşıdığından bu ayrışma, b değerinde fiziksel bir değişimin kanıtı olarak yorumlanmamıştır. İki dönem zamanda örtüşmemektedir. Arka plan dönemi çalışma kutusunda büyük bir depremi ve dizisini içermektedir (tarihsel derlemeden: 26.09.2019 M 5,7). Bu depremin Gardner–Knopoff zaman penceresi (0,9 yıl) arka plan döneminin zamanca %12'sini kapsadığından dönemin olay sayısı ve oranı, ayrıştırılmış (bağımsız) sayım dâhil, bu diziden etkilenir; arka plan oranı bu nedenle diziden arınmış bir taban değeridir.

SİSMİSİTE GÖÇÜ VE DÖNEM BÖLÜTLEMESİ

Sismisitenin ağırlık merkezi, zaman sırasına göre ilk %10 ve son %10 olay (her dilimde 267 olay) arasında 7,6 km yer değiştirmiştir (azimut 33°; iki dilimin ortalama zamanları arasında 1.691,8 gün; ortalama 4,5 m/gün). Bu ölçü iki ortalamanın farkıdır; bir göç modeli uydurması değildir. Son dilimin ortalama zamanı çalışma olayından sonradır; dilim büyük ölçüde olayı izleyen diziden oluştuğundan bu fark, dizinin önceki sismisiteye göre konumunu gösterir ve pencere boyunca süren bir göç olarak yorumlanmamıştır. Duyarlılık olarak dış merkez koordinatlarının zamana göre doğrusal eğilimi 61° yönünü vermektedir; iki kestiricinin yönleri arasındaki fark 28°'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 $r = 0,11$, $n_{\text{etkin}} = 15$ ile $|z| = 0,4$; doğu–batı bileşeninde $r = 0,15$, $n_{\text{etkin}} = 48$ ile $|z| = 1,0$. $|z|$ değerleri 1,96 eşiğinin altında kaldığından eğilim istatistiksel olarak sıfırdan ayırt edilememektedir. Dönem yapısını belirlemek için katalog, parçalı sabit oranlı bir Poisson süreci olarak modellenmiş ve değişim noktası başına BIC (Bayesçi bilgi ölçütü) cezasıyla bölütlenmiştir; bölütleme, 2.671 olayın kümülatif eğrisinin eşit aralıklı 800 noktalık örneği üzerinde yapılmıştır. Bölütleme 9 bölüt vermiştir; bölütlerin süresi ve olay oranı zaman sırasıyla şöyledir: 1.318 gün, 0,63 olay/gün; 1,3 gün, 63,8 olay/gün; 13 gün, 8,1 olay/gün; 91 gün, 2,2 olay/gün; 400 gün, 1,0 olay/gün; 0,5 gün, 534,2 olay/gün; 3,1 gün, 91,1 olay/gün; 20 gün, 11,3 olay/gün; 66 gün, 3,8 olay/gün. Pencerenin toplam sismik momenti $4,08 \times 10^{18}$ N·m'dir (nominal: moment türü olmayan büyüklükler moment büyüklüğü sayılarak; çalışma olayı bu toplama Mw 6,25 moment tensörü büyüklüğüyle girmiştir; ölçülmüş bir moment toplamı değildir); çalışma olayının bu toplamdaki payı %73'tür. Moment bütçesinin üst kanalında (en büyük katalog büyüklüğünün 1,0 birim altına kadar: $M \geq 5,2$) 2 olay toplam nominal momentin %95 kadarını, kalan 2.669 olay %5 kadarını taşımaktadır.

YER HAREKETİ, MAKROSİSMİK ŞİDDET VE MÜHENDİSLİK KIYASI

Şiddet-azalım bağıntısıyla (Allen vd., 2012) modellenen alan, dış merkez yakınında MMI VIII düzeyinde tepe şiddet vermektedir (hesap odak derinliği 4,9 km); MMI IV eşiği dış merkezden yaklaşık 150 km uzaklığa kadar aşılmalıdır. Modelde yerel zemin etkisi ayrıca hesaba katılmamıştır. Topluluk şiddeti verisi (USGS “Did You Feel It?”, DYFI) 937 bildirim ile topluluk ondalık şiddeti (CDI) 7,3 değerini vermektedir (USGS PAGER uyarı düzeyi: turuncu). USGS ShakeMap model şiddeti MMI 8,0 olup iki değer arasındaki fark 0,7 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 7,9) topluluk gözlemiyle bir birim içinde uyumludur.

Topluluk şiddeti ve model şiddeti değerleri ürünlerin 23.08.2026 16:53:24 UTC'deki durumuna aittir; bildirim sayısı ve şiddet değerleri sonraki güncellemelerle değişir. KO.SILV istasyonunun ($R = 25,5$ km, İstanbul) ham ivme kaydından, sayaç değerleri kanal duyarlılığıyla fiziksel birime dönüştürülerek %5 sönümlü elastik tepki spektrumu SDOF sayısal integrasyonuyla hesaplanmıştır. Yatay bileşenlerin geometrik ortalaması $T = 0,18$ s periyodunda $S_a = 0,19$ g tepe değerine ulaşmakta, zemin ivmesi $PGA = 0,056$ g ölçülmektedir (kayıt kaynağı: KOERI). İstasyon zemin koşulu $V_{s30} = 740$ m/s olup TBDY-2018'e göre ZC sınıfındadır (TADAS istasyonu 3404, 1,4 km uzaklıkta; harita parametreleri $S_s = 0,786$, $S_1 = 0,231$, 475 yıllık $PGA = 0,323g$). TBDY-2018 DD-2 elastik tasarım spektrumu (ZC, $SDS = 0,943g$, $SD1 = 0,347g$, $TA = 0,073$ s, $TB = 0,367$ s) ile kıyaslandığında KO.SILV kaydında gözlenen/tasarım oranı en çok 0,20 olarak ölçülmüştür; zarf bu kayıta hiçbir periyot bandında aşılmamıştır. Fiziksel tutarlılık denetiminden geçen 5 istasyonun her biri kendi zemin sınıfının tasarım spektrumuyla kıyaslandığında en büyük gözlenen/tasarım oranı 0,51'dir (KO.GUZE, $R = 30,1$ km, $T = 0,33$ s, ZD sınıfı); zarf hiçbir istasyonda aşılmamıştır. Çevredeki 4 ivme-ölçer istasyonu ana istasyonla birlikte 26–32 km gibi dar bir uzaklık aralığındadır (0,10 onlu); bu aralıkta PGA'nın uzaklıkla azalımı gözlenmemektedir (Spearman $\rho = 0,80$, $p = 0,13$, $n = 5$). Kayıt ağının tamamı kullanıldığında yer hareketinin uzaklıkla azalımı doğrudan ölçülebilmektedir: 92 kuvvetli yer hareketi kaydına oturtulan $\log_{10}PGA = a + b \cdot \log_{10}R$ doğrusu $a = 4,14 \pm 0,21$, $b = -2,02 \pm 0,10$ vermekte, açıklanan değişkenlik $R^2 = 0,83$ olmaktadır (uzaklık aralığı 27–379 km, 1,2 onlu). Uzaklık–genlik ilişkisinin sıra korelasyonu Spearman $\rho = -0,91$ 'dir ($n = 92$, $p < 0,001$); negatif işaret uzaklık arttıkça ivmenin düştüğünü doğrular. Bu doğru bu olaya özgü gözlenen azalımdır; yayımlanmış bir yer hareketi kestirim denklemi (GMPE) değildir ve başka olaylara uygulanamaz. Spektral karşılaştırma geçmiş yer hareketinin mühendislik değerlendirmesidir; yapısal karar için sahaya özel zemin etüdü esastır.

DALGA FORMU KAYDI

Olayın dalga formu KO.SILV istasyonunda kaydedilmiştir (dış merkez uzaklığı 25,5 km, geri azimut 185°; algılayıcı: ivmeölçer) ve 3 bileşen (Z, N, E) 100 Hz örnekleme sıklığıyla incelenmiştir. Kayıt KOERI veri merkezinin FDSN dataset select servisinden alınmıştır; istasyon KO ağına aittir ve ağıın künyesi Veri Erişilebilirliği bölümünde verilmiştir. Veri merkezinden istenen pencere oluş anından 60 s önce başlayıp 600 s sonra bitmektedir; süzgecin kenar etkisini taşıyan uçlar atıldığından (her iki uçtan 33 s) çözümlenen kayıt oluş anından 28 s önce başlar ve 596 s sürer. Kayıtlara Butterworth bant geçiren, sıfır fazlı (ileri–geri) süzgeç uygulanmıştır (0,025–8,0 Hz, meritebe 2, ileri–geri geçişle etkin meritebe 4); sıfır fazlı geçiş faz gecikmesi üretmez, ancak nedensel olmadığından keskin varışların önünde düşük genlikli yapay salınım oluşturabilir. Cihaz yanıtı giderilmiştir (kutup–sıfır aktarım işleviyle); genlikler cm/s^2 biriminde verilmiştir. Kuramsal P ve S varışları oluş anından 5,16 s ve 9,04 s sonradır (Kalafat vd., 1987 hız modeli).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

23.04.2025 tarihli Silivri (İstanbul) depremi (Mw 6,2; odak derinliği 4,9 km), Marmara Denizi ve Kuzey Anadolu Fayı kuzey kolu bölgesinde meydana gelmiştir; dış merkeze en yakın haritalı faylar Kuzey Anadolu Fay Zonu'na bağlı bir fay parçası (0,8 km) ve Mecidiye Fayı (59 km) olarak belirlenmiştir. GCMT moment tensörü çözümü ($M_0 = 2,987 \times 10^{18}$ N·m; Mw 6,25) NP1 düğüm düzlemi üzerinde sağ yönlü doğrultu atım, NP2 üzerinde sol yönlü doğrultu atım niteliğinde kaymaya karşılık gelmektedir; çift kuvvet payı %61 düzeyindedir. Artçı bulutunun uzun eksen 86° doğrultusundadır ve NP1 düğüm düzlemine yakındır (doğrultu farkı 3°); gerçek kırık düzlemi NP1 olarak kısıtlanmıştır. Olayın dizisi çift deprem olarak sınıflanmıştır: çalışma olayını 2 dakika sonra Mw 5,9 büyüklüğünde ikinci bir olay izlemiş ve iki olayın büyüklük farkı ($\Delta M = 0,3$) bu çalışmanın işletimsel ölçütünün ($\Delta M \leq 0,3$) içinde kalmıştır. Sınıflama, ana şokun kodası içinde kataloglanan ikinci olayın katalog büyüklüğüne koşulludur. Olay merkezli mekanizma popülasyonunun gerilme inversiyonu en büyük yatay sıkışma yönünü $SH_{\text{max}} = 117^\circ$ (odak mekanizması açılarının belirsizliğini de içeren yeniden örnekleme aralığı 106–130°; yön gevşek kısıtlı) ve rejimi doğrultu atımlı faylanma olarak vermektedir; olayın mekanizması bu gerilme alanıyla uyumludur. Büyüklük–frekans dağılımı $M_c = 1,7$ tamlık eşiğinin üzerinde $b = 0,81 \pm 0,02$ vermiştir ($N = 1.417$). 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 çözümlerler şunlardır: kosismik yatay yer değiştirme karşılaştırması, kosismik düşey deformasyon alanı ve kayma modelinin yüzey izdüşümü, sonlu fay modelinin kayma dağılımı yerel arşivde bulunmadığından kurulamamış; bağımsız konum sınaması, yakın istasyon kayıtlarında P artışı hesaplanmadığından kurulamamıştır. Birleşik katalog dış kataloglarla olay düzeyinde karşılaştırılmamıştır; katalog alımında hiçbir kurum raporu bulunmayan olaylar sayımlara girmemiştir. Artçı sayıları ve onlara dayanan oranlar bu nedenle alt sınır olarak okunmalıdır. Çözümlerlerin rapora girişi önceden tanımlı ölçütlerle belirlenmiştir: verisi bulunmayanlar yukarıda sayılmıştır (veri yeterliliği); örnekleme ya da gözlem süresi bu çalışmanın alt sınırının altında kalan (istatistiksel güç) ve yöntemin kendi ölçütüyle güvenilir bulunmayan (yöntemin kendi güvenilirlik beyanı) 8 çözümleme raporlanmamış ve gerekçeleriyle birlikte ekteki raporlanmayan çözümlerler çizelgesinde listelenmiştir; örnekleme, belirsizliği ya da girdi verisi eşiğe yakın kalanlar elenmemiş, çekinceyle raporlanmıştır. Çekinceyle raporlanan çözümlerler şunlardır: Omori–Utsu artçı sönümü, Reasenber–Jones artçı dizisi oranı, yinelenme aralığı (nadirlik), mekanizma sınıflarının dağılımı (Frohlich üçgeni) ve artçı dönemi b değeri. Her çekincenin gerekçesi ve ölçüsü ilgili bölümde ve ekteki çekince çizelgesinde verilmiştir; bu çözümlerlerin değerleri bulgu olarak değil, belirtilen sınırla birlikte okunmalıdır. İstatistikler 24.04.2020 – 22.07.2025 döneminde, olay merkezli kutuda taranan 2.671 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, 24.04.2020 – 22.07.2025 dönemi için birleşik çok-kaynaklı arşivden sorgulanmıştır (AFAD, ISC, EMSC); sorgu kutusu ve tekilleştirme ölçütleri Veri ve Yöntem bölümünde verilmiştir. Fay katmanı ve yardımcı veri setlerinin künyeleri Kaynakça ile şekil altyazılarındadır. Katalog kayıtlarını üreten ağ ve bültenler: AFAD (Disaster and Emergency Management Authority, 1990), ISC (International Seismological Centre, t.y.) ve EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre, t.y.). Pencere kataloğunun kurumlarına ek olarak çalışma olayının kurum çözümlerinde GFZ (GEOFON Data Centre, 1993), GSI, INGV, NIEP (National Institute for Earth Physics, 1994) ve USGS (U.S.

Geological Survey, 2017); arka plan döneminin sorgusunda NOA (National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics, Athens, 1975) 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 kaydın moment tensörü (GCMT) ya da kurum raporlarındaki moment büyüklüğü, o da yoksa birleşik katalogun temsilci değeridir. Moment tensörleri Global CMT kataloğundandır (Dziewonski vd., 1981; Ekström vd., 2012). Tepki spektrumunun ivme kaydı KO ağının (Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, 1971) KO.SILV istasyonundandır. İstasyon zemin parametreleri (Vs30, zemin sınıfı) ivme istasyonuna en yakın AFAD TADAS istasyonundan (3404, 1,4 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 üretilmiş bir üründür; kaynakçada ayrı bir eser olarak listelenmez. Harita altlığı karoları için sağlayıcının istediği atf: “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 atf: “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). Dalga formu kaydı (KO.SILV) KOERI veri merkezinin FDSN dataset servisinden alınmıştır; istasyon, Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, Boğaziçi University (1971) künyeli KO ağına aittir (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) ilgili kurumların kendi yayım ve kullanım koşullarına tabidir; bu çalışma ham katalog kayıtlarının yeniden dağıtımını yapmaz, yalnız üretilmiş 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 yayımı — 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. 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.

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*	23.04.2025 09:49:10	40,8437°K	28,2154°D	4,9	6,2	Mw	—	22.08.2026 18:28
USGS	23.04.2025 09:49:11	40,8342°K	28,1897°D	12,7	6,2	Mww	gözden geçirilmiş	23.08.2026 16:53
EMSC	23.04.2025 09:49:11	40,8327°K	28,2267°D	15,2	6,2	Mw	—	22.08.2026 19:34
GFZ	23.04.2025 09:49:11	40,921°K	28,104°D	10,0	6,2	Mw	—	23.08.2026 16:17
ISC (ISK)	23.04.2025 09:49:09	40,8355°K	28,2307°D	12,1	6,2	Mw	aktarılmış çözüm	28.08.2026 16:40
ISC (NEIC)	23.04.2025 09:49:11	40,8342°K	28,1897°D	12,7	6,3	Mw	aktarılmış çözüm; konumu USGS ile özdeş	28.08.2026 16:40
INGV	23.04.2025 09:49:11	40,9148°K	28,2156°D	8,6	6,2	Mwp	uzak ağ çözümü	25.08.2026 01:02
NIEP	23.04.2025 09:49:10	40,8197°K	28,1708°D	10,0	6,2	ML	uzak ağ çözümü	24.08.2026 21:02
GSI	23.04.2025 09:49:10	40,8348°K	28,1729°D	7,6	6,2	MLv	uzak ağ çözümü	25.08.2026 02:49

Not: * benimsenen hiposantr (kurumun olay kimliği 658148). 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 kayıta yok). “Arşive alınma”, raporun birleşik arşive alındığı andır (sorgu anı 16.10.2026 09:36 UTC); sonraki güncellemeler çizelgede yoktur.

Tablo 3. Çalışma kutusu yayılımının geometrik ölçüleri.

Nicelik	Değer	Ölçüt / kaynak
Kutu yayılımı (uzun × kısa)	109,5 × 101,5 km	%95 ana bileşen açıklığı (PCA) · çalışma kutusu olayları (n = 2.671)
Artçı bulutu (uzun × kısa)	62,6 × 22,7 km	%95 ana bileşen açıklığı (PCA) · artçı bulutu (n = 1.037)
Derinlik bandı	0,0–17,4 km	%2,5–97,5 yüzdelik · çalışma kutusu olayları
Artçı bulutu ana eksen	86° (%95: 83–89°)	ana bileşen eksenini · artçı bulutu · uzama 2,19 (kovaryans elipsinin yarı eksen oranı)
Kesit eksenini (kutu yayılımının uzun eksenini)	104°	ana bileşen eksenini · çalışma kutusu olayları · kesitlerin izdüşüm eksenidir; pencere biçimine duyarlıdır, yapısal doğrultu değildir

Tablo 4. Statik Coulomb gerilme değişimi modelinin parametreleri, alan istatistikleri ve artçı sınaması.

Nicelik	Değer	Kaynak / açıklama
Kaynak mekanizması	83°/84°/–175°	GCMT odak mekanizması · NP1 düzlemi: diri fay izi doğrultusuna açı farkı 4°, öteki düzlem 86°
Kırılma uzunluğu L	20,2 km	Wells ve Coppersmith (1994) — doğrultu atımlı kol
Kırılma genişliği W	8,5 km	üst kenar 0,7 km, alt kenar 9,1 km derinlikte
Ortalama kayma ü	0,58 m	M ₀ = μ · L · W · ü denkliğinden; rijitlik μ = 30 GPa
Sürtünme katsayısı μ’	0,40	etkin sürtünme (gözenek basıncı dâhil)
Hesap derinliği	4,9 km	kaynak merkezinin derinliği; alıcı düzlem kaynak fayla eş yönelimli
Izgara	71 × 70	141 × 138 km
Ortanca ΔCFS	–0,019 bar	ızgara düğümlerindeki işaretli değerlerin ortancası (genlik ölçüsü değildir)
Ortanca ΔCFS	0,043 bar	düğüm değerlerinin mutlak değerce ortancası — alanın tipik genliği
%5–%95 aralığı	–0,63 ile 0,17 bar arası	düğüm değerlerinin merkezî %90’ı
%1–%99 aralığı	–4,7 ile 0,46 bar arası	kuyrukları da içeren aralık
ΔCFS > 0,1 bar olan ızgara düğümleri	%27	hesap ızgarasında ΔCFS yansız bant eşiğini aşan düğümlerin payı (yükleme ve gölge alanları birlikte)
Gösterim ölçeği	±3,0 bar	renk ölçeğinin doyum sınırı
Sınamaya giren artçı	1.037	nokta hesabı · 233 olay kaynak üstünde (sayım dışı)
Yük / gölge / yansız — kaynakla eş düzlem	482 / 211 / 111	alıcı: kaynak fayla eş yönelimli · n = 804 · yük %60, gölge %26
Yük / gölge / yansız — en uygun yönelim	548 / 169 / 87	alıcı: en uygun yönelimli düzlem · n = 804 · yük %68, gölge %21
— en uygun yönelim için bölgesel gerilme	SHmax 128° · şekil oranı 0,5 · 100 bar	doğrultu atımlı rejim; SHmax yönü ana şok mekanizmasından, şekil oranı varsayılan değer; diferansiyel gerilme varsayımdır
— diferansiyel gerilme 10 bar iken	684 / 43 / 77	duyarlılık · 138 artçının sınıfı değişir: en uygun yönelim sayımı bu varsayıma bağlıdır
— gerilme inversiyonu alanıyla	464 / 237 / 103	duyarlılık · SHmax 113°, şekil oranı 0,36: olay merkezli mekanizma popülasyonundan (n = 15) çalışma olayının Gardner–Knopoff kümesi (3 çözüm) dışlanarak yapılan inversiyon (n = 12); birincil alandan farkı 14,6° (127,8° ↔ 113,2°) · 139 artçının sınıfı değişir; birincil alan ana şok mekanizmasından alınmıştır

devamı izleyen sayfada

SAYISAL VERİ ÇİZELGELERİ (DEVAM)

Tablo 4 (devam). Statik Coulomb gerilme değişimi modelinin parametreleri, alan istatistikleri ve artçı sınaması.

Nicelik	Değer	Kaynak / açıklama
Yük / gölge / yansız — düğüm düzlemleri	3 / 0 / 0	alıcı: artçının kendi düğüm düzlemi · n = 3 · yük %100, gölge %0
Yük / gölge / yansız — boş model	245 / 183 / 371	uzamsal karşılaştırma modeli: olay öncesi sismisite, aynı uzamsal seçim · n = 799 · yük %31, gölge %23
— yalnız serbest derinlikli artçılar	344 / 101 / 77	kurum varsayılını derinlikler dışlandı · n = 522 · yük %66, gölge %19

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 dikdörtgen kaynak varsayımına dayanır; çok segmentli kırılmalarda uç bölgelerin deseni basitleşir. Artçı sınaması nokta hesabıdır: ΔCFS her artçının kendi konumunda ve derinliğinde hesaplanmıştır; yansız bant $|\Delta CFS| < 0,1$ bar; kaynak dikdörtgenine 2,0 km'den yakın olaylar (kaynak üstü) sayım dışıdır. Artçı konum belirsizliği sayımlara yansıtılmamıştır.

Tablo 5. Gözlenen yer hareketi azalımı: $\log_{10}PGA = a + b \cdot \log_{10}R$ (tek olay, en küçük kareler).

Kesişim a	4,14	$\pm 0,21$
Eğim b	-2,02	$\pm 0,10$
Açıklanan değişkenlik R ²	0,83	RMSE 0,30
Spearman ρ	-0,91	p < 0,001
Kayıt sayısı	92	
Uzaklık aralığı	27–379 km	1,2 onlu
PGA aralığı	0,03–16,81 %g	
Vs30 eşleşen istasyon	35	renk kodlaması bu alt kümede
Güven bandı	%95	t = 1,99

Not: Bu bir yer hareketi kestirim denklemi (GMPE) değildir; bu olayın gözlenen azalım eğimidir.

Tablo 6. Dalga formu kaydının künyesi — 23.04.2025 Mw 6,2 çalışma olayı, KO.SILV istasyonu, algılayıcı ivmeölçer (SARA SA10, 2G 100Hz / SL06), dış merkez uzaklığı 25,5 km, geri azimut 184,5°; istenen pencere oluş anından 60 s önce – 600 s sonra; süzgeç öncesinde konik pencereyle yumuşatılan iki ucun her birinden 33 s kırpılmıştır; çözümlenen kayıt oluş anından 28 s önce başlar ve 568 s sonra biter (596 s); süzgeç Butterworth bant geçiren, sıfır fazlı (ileri-geri) 0,025–8,0 Hz (mertebe 2, etkin 4); spektrogram Hann pencereli kısa zamanlı Fourier dönüşümüyle (pencere 2,56 s) hesaplanmıştır; kayıt Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute, Boğaziçi University (1971) künyeli KO ağına aittir ve KOERI veri merkezinin FDSN dataset servisinden alınmıştır.

Bileşen	Kanal	Örnekleme (Hz)	Süre (s)	Örnek sayısı	Tepe genlik (cm/s ²)
Z	HNZ	100	596	59.588	11,0
N	HNN	100	596	59.588	41,8
E	HNE	100	596	59.588	51,0

Not: Genlikler, cihaz yanıtı (kutup-sıfır aktarım işlevi) giderilerek cm/s² birimine çevrilmiştir.

Tablo 7. Pencere ile arka plan döneminin kıyası — arka plan: pencerenin hemen öncesindeki 5 yıl (26.04.2015 – 24.04.2020), aynı kutu; sayım ve oran satırları eşiksiz tam katalogdan, b satırı ortak Mc üstünden.

Nicelik	Pencere	Arka plan (5 yıl)
Kayıt sayısı	2.671	3.467
Oran (olay/gün)	1,39	1,90
Mc (dönemin kendi eşiği)	1,7	1,6
Eşik üstü olay sayısı (M ≥ 1,7)	1.417	1.356
$b \pm \sigma_b$ (ortak Mc = 1,7)	0,81 ± 0,02	1,03 ± 0,03
Derinlik ortancası (km)	7,0	7,0
Bağımsız olay (GK ayrıştırılmış)	881 (%33)	1.585 (%46)
Bağımsız olay oranı (olay/gün)	0,46	0,87

Not: Bağımsız olay satırları Gardner ve Knopoff (1974) uzay-zaman pencereleriyle ayrıştırılmış sayımdır; yüzde, ham kayıt içindeki payıdır. Arka plan döneminde kutuda M ≥ 5 bir deprem vardır (26.09.2019 M 5,7); Gardner-Knopoff penceresi (344 gün / 49 km) dönemin %12'sini kapsadığından bağımsız olay satırlarındaki fark ayrıştırmanın etkisini de taşır ve tek başına sismisite değişimi değildir.

SAYISAL VERİ ÇİZELGELERİ (DEVAM)

Tablo 8. Kurumlar arası büyüklük karşılaştırması.

Kurum	Büyüklük	Tür
NIEP	6,2	ML
GSI	6,2	MLv
AFAD	6,2	Mw
INGV	6,2	Mwp
USGS	6,2	Mww
ISC	6,2	Mw
ISC	6,3	Mw
EMSC	6,2	Mw
GFZ	6,2	Mw
GCMT (moment)	6,25	Mw

Not: Moment büyüklüğü ölçeğindeki 4 kurum değeri aynıdır (6,2). Aktarılmış çözümler (ISC Mw 6,2; ISK çözümünün aktarımı; ISC Mw 6,3; NEIC çözümünün aktarımı) başka bir kurumun çözümünü yinelediğinden ayrı kurum değeri sayılmamıştır. Öteki ölçek sınıflarındaki değerler ayrı niceliklerdir ve bu karşılaştırmaya katılmamıştır: NIEP ML 6,2 (yerel büyüklük; uzak ağ çözümü); GSI MLv 6,2 (yerel büyüklük; uzak ağ çözümü); INGV Mwp 6,2 (hızlı moment kestirimi; uzak ağ çözümü). 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	2.671	tekilleşmiş katalog
Ortanca derinlik	7,0 km	%50 yüzdellik · tüm kayıtlar (n = 2.671)
Ortanca derinlik (serbest)	8,2 km	0/5/7/10/33 km atamaları dışlandı · n = 1.586 (1.085 kayıt elendi)
Yoğunlaşma aralığı	4,2–15,3 km	%5–95 yüzdellik
Derinlik bandı	0,0–17,4 km	%2,5–97,5 yüzdellik · geometri çizelgesindeki bantla aynı ölçü
Ham uçlar	0,0 ile 35,2 km arası	en sık / en derin kayıt
Histogram tepesi	7–8 km	1.254 olay · 1 km'lik aralık
Sabit derinlik yığını	7,0 km · %36	958/2.671 olay
Varsayılan sabit derinlikler	127 olay	0/5/10/33 km · n = 2.671

Tablo A2. Çalışma alanındaki adı bulunan diri fay izleri — fay katmanının aynı adlı parçaları uçtan uca dikilerek kurulan 95 izden (4 ad) uzunluğa göre en uzun 8 tanesi, 1 ad altında; kaynak: MTA TDFH-2026 (Elmacı vd., 2026).

Fay / fay sistemi	Dış merkeze uzaklık (km)	İz uzunluğu, parçalar toplamı (km)	Parça	Kayma türü
Kuzey Anadolu Fay Zonu	0,8	207,5	8	SaD

Not: İz uzunluğu haritalanmış parçaların toplamıdır (parçalar arasındaki boşluklar sayılmaz); uzaklık, en yakın parçanın dış merkeze yatay uzaklığıdır. Şu ad tek bir fayın değil, izlerin bağlı olduğu fay sisteminin adıdır; satır o sisteme bağlı listelenen parçaları verir (aynı adı taşıyan izlerin kutudaki toplam uzunluğu ayrıç içinde): Kuzey Anadolu Fay Zonu (274,6 km). Kayma türü kodu: SaD sağ yönlü doğrultu atımlı.

Tablo A3. Çalışma alanı ve çevresindeki yayımlanmış odak mekanizması çözümleri — 39 çözümden Mw'ye göre en büyük 20 tanesi listelenmiştir (arama kutusu ±120 km genişletilmiş).

#	Tarih	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma (°)	Mw	Tip
1	17.08.1999	40,75	29,86	182	74	3	7,57	doğrultu atımlı
2	23.04.2025	40,83	28,19	83	84	−175	6,25	doğrultu atımlı
3	10.08.2025	39,37	28,02	305	42	−82	6,18	normal
4	05.07.1983	40,33	27,23	254	49	−173	6,08	eğik/karma
5	13.09.1999	40,71	30,05	268	59	−176	5,78	eğik/karma (eşiğe yakın)
6	26.09.2019	40,90	28,15	273	49	144	5,67	ters (eşiğe yakın)
7	11.11.1999	40,74	30,27	301	50	−175	5,63	eğik/karma
8	21.10.1983	40,13	29,38	217	90	180	5,41	doğrultu atımlı
9	28.09.2025	39,28	28,91	73	46	−142	5,34	eğik/karma
10	03.11.2010	40,42	26,33	254	85	−177	5,33	doğrultu atımlı
11	18.07.1979	39,67	28,66	111	34	−85	5,31	normal
12	24.04.1988	40,90	28,11	356	71	−11	5,28	doğrultu atımlı
13	06.07.2003	40,42	26,13	73	77	173	5,24	doğrultu atımlı
14	25.07.1999	39,31	28,00	250	67	−158	5,21	eğik/karma (eşiğe yakın)
15	29.09.1999	40,74	29,35	66	48	−171	5,16	eğik/karma

devamı izleyen sayfada

EK A — ÇİZELGELER (DEVAM)

Tablo A3 (devam). Çalışma alanı ve çevresindeki yayımlanmış odak mekanizması çözümleri — 39 çözümünden Mw'ye göre en büyük 20 tanesi listelenmiştir (arama kutusu ±120 km genişletilmiş).

#	Tarih	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma (°)	Mw	Tip
16	31.08.1999	40,71	29,95	329	33	−22	5,15	eşik/karma
17	19.08.1999	40,62	29,14	273	45	−120	5,13	normal
18	10.01.2023	39,47	26,25	330	52	−23	5,12	eşik/karma
19	23.04.2025	40,85	28,27	353	79	−11	5,12	doğrultu atımlı
20	20.02.2019	39,69	26,40	331	54	−42	5,11	eşik/karma

Not: Tip, P, T ve B eksen dalımlarına göre Frohlich ve Apperson (1992) sınıflandırır: B > 60° doğrultu atımlı, P > 60° normal, T > 50° ters; hiçbirini sağlanmazsa eşik/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 kaynaktandır: büyüklük ayrışabilir, iki konum eşleşen olaylarda en çok 14,3 km ayrışır (24.04.1988); iki çizelge aynı olayı iki kaynakla verir, çelişki değildir. Uzun-zaman bağımsızlığı: Gardner ve Knopoff (1974) pencereleriyle 27 bağımsız küme (en büyük küme 6 çözüm).

Tablo A4. Önceden tanımlı ölçütleri sağlamadığı için raporlanmayan çözümler.

Çözümleme	Kapı	Eşik · mevcut	Gerekçe
Mekanizma arama penceresindeki çözümler	istatistiksel güç	$n \geq 3 \cdot \text{mevcut } 2$	Çalışma olayı çevresindeki mekanizmalar, kırılan fay sisteminin kinematikini tek tek çözümlerden daha güvenilir gösterir; arama penceresi dizinin kendisi değildir ve zaman sınıfları (ana şoktan önce, ana şok, ana şoktan sonra) pencere kuralından gelir, öncü ya da artçı niteliyesi taşımaz. Bu olayda: kullanılan arşivde (GCMT) arama penceresinde bulunan mekanizma sayısının yetersizliği ($n = 2 < 3$).
Kayma yönlerinin ana fay doğrultusuna uyumu (kanallanma)	istatistiksel güç	$n \geq 3 \cdot \text{mevcut } 2$	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 ($n = 2 < 3$).
GNSS gerinim hızı alanı	istatistiksel güç	$n \geq 6 \cdot \text{mevcut } 3$	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 ($n = 3 < 6$).
Gerilme düşümü $\Delta\sigma$	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	—	Gerilme düşümü ancak kaynak boyutu bağımsız ölçüldüğünde (kayma modeli ya da kırık dörtgeni) ölçümdür; boyut büyüklükten ölçeklendiğinde değer ölçekleme bağıntısından yeniden ifadesidir. Artçı zonu yarıçapına dayanan dairesel çatlak kestirimi (Eshelby, 1957) yalnız duyarlılık olarak verilir. Bu olayda: kaynak boyutunun bağımsız ölçülmeyip büyüklükten ölçeklenmesi — değer ölçeklemenin yeniden ifadesidir, ölçüm değildir.
Hiposantr bulutuna düzlem oturtma (PCA)	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	—	Ana bileşen çözümlemesiyle 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: düzlem yataya yakın (eğim 2,3°); doğrultu sayısal olarak kararsızdır.
Geriye dönük öncü çözümlemesi (ters Omori)	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	$p \leq 0,05 \cdot \text{mevcut } 0,140$	Öncüler ancak ana şok 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 $p = 0,140 > 0,05$; taban 19 kutu).
Sismisite göç zarfı (doğrusal / difüzyif)	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	$ \Delta AICc \geq 2 \cdot \text{mevcut } < 2$	$\Delta AICc < 2$ iken model seçimi yapılamaz; bu durumda modellerden birini seçilmiş gibi sunmak veriyeye dayanmaz. Bu olayda: doğrusal ve difüzyif modellerin bu veriyeye ayırt edilememesi ($ \Delta AICc < 2$).
Hiposantr konum kalite notu	yöntemin kendi güvenilirlik beyanı	—	Konum kalite notu, kalite ölçütleri benimsenen hiposantrı 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: istatistiksel güç (örneklem ya da gözlem süresi bu çalışmanın raporlama eşiğinin altındadır) ve yöntemin kendi güvenilirlik beyanı (yöntemin kendi ölçütü sonucu güvenilir bulunamıştır). Örneklemi ya da belirsizliği sınırdan kalan çözümler elenmemiş, çekinceyle raporlanmıştır (çekince çizelgesi). Eşikler bu çalışmanın kendi raporlama eşikleridir; dayanağı gerekçe sütunundadır.

Tablo A5. Çekince düşülen çözümler.

Çözümleme	Çekince
Omori–Utsu artçı sönümü	Sönüm üsteli p ancak uydurma kısıtlıyken ölçümdür. Uydurma en az 20 artçıyla kurulur; değer 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 olmasıdır (işletimsel ölçütler; en büyük olabilirlik kestirimi için Ogata, 1983; Utsu vd., 1995). Bu olayda: uydurmanın ana şoktan başlaması ve ilk saatlerde tamlik eşiğinin benimsenen eşiğin üzerinde olması (ilk pencerede Mc 2,9 > 1,7; eşik benimsenen değere ana şoktan 5,1 saat sonra inmektedir) — ilk saatlerin olay sayısı eksik olduğundan c yukanı yanlış olabilir.
Reasenber–Jones artçı dizisi oranı	Dizi oranı modeli (Reasenber ve Jones, 1989) dizinin a, b, p ve c parametreleriyle kurulur; bu değerler dizinin kendisinden kestirilemediğinde oranın bu diziye betimlemediği bu çalışmanın değerlendirilmesidir. Bu olayda: bağlı olduğu Omori–Utsu sönüm parametrelerinin (p, c) çekinceyle raporlanması; b değerinin de ilk saatlerdeki katalog eksikliği nedeniyle aşağı yanlış olabilesi.
Yinelenme aralığı (nadirlik)	Yinelenme aralığı, çalışma olayı dışlanarak ve kataloğun tamlik 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). Tamlik dönemi saptanamadığında değeri çekinceyle raporlanır. Bu olayda: katalog tamlik döneminin saptanamaması (eksik katalog sayımı düşürür; T üst yanlış olabilir).
Frohlich kaynak-tipi üçgeni	Üçgen bir dağılım gösterimidir; birkaç mekanizmayla rejim ifadesi kurulamaz. Bu olayda: en sık sınıfa ilişkin oranın (doğrultu atımlı; 12/39, %31) %95 Wilson (1927) aralığının (%17–50; 27 bağımsız küme) işletimsel %45 eşiğini içermesi.
Artçı dönemi b değeri	Dizi b değeri kendi tamlik eşiğinde kestirilir; bulgu için eşiğin doğrulanması, Mc üstü N ≥ 50 ve göreceli belirsizlik $\leq 0,15$, çekinceli raporlama için N ≥ 30 ve göreceli belirsizlik $\leq 0,25$ aranır; üst kuyruk uyumunun binom olasılığı 0,01'in altındaysa raporlanmaz (işletimsel ölçüt). Ana şoku izleyen ilk saatlerde küçük olaylar kataloğa eksik girdiğinden tamlik 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: ana şoku izleyen ilk saatlerde tamlik eşiğinin benimsenen eşiğin üzerinde olması (zamana göre 50 olaylık kayan pencerede ilk pencerinin eşiği Mc 2,9 > 1,7; eşik benimsenen değere ana şoktan 5,1 saat sonra inmektedir) — tek eşikle kurulan b aşağı yanlış olabilir; ilk 5,1 saat dışlandığında b = 0,81 ± 0,04 (Mc 1,7; N = 498).

Not: Bu çözümlerlerin 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.

EK A — ÇİZELGELER (DEVAM)

Tablo A6. Çapraz-kaynak tekilleştirmede birleştirilen kayıt kümeleri.

Küme	UTC	Kaynak	Enlem	Boylam	M
1	29.04.2020 14:34:36	AFAD	40,904°K	28,429°D	ML 1,8
	29.04.2020 14:34:34	ISC (ISK)	40,853°K	28,290°D	ML 2,1
2	21.03.2021 21:33:56	ISC	40,553°K	28,158°D	ML 3,6
	21.03.2021 21:34:02	NIEP	40,771°K	27,712°D	ML 3,5
3	19.04.2021 06:48:30	AFAD	40,803°K	28,597°D	ML 1,8
	19.04.2021 06:48:29	ISC (ISK)	40,749°K	28,837°D	ML 1,5
4	01.05.2021 22:35:31	AFAD	40,766°K	28,550°D	ML 1,3
	01.05.2021 22:35:29	ISC (ISK)	40,839°K	28,717°D	ML 1,6
5	11.06.2021 14:49:42	AFAD	41,184°K	28,384°D	ML 0,8
	11.06.2021 14:49:37	ISC (ISK)	41,183°K	28,792°D	ML 1,1
6	13.06.2021 07:35:07	AFAD	40,868°K	28,279°D	ML 1,5
	13.06.2021 07:35:04	ISC (ISK)	40,920°K	28,023°D	ML 1,8
7	04.10.2021 03:12:10	AFAD	40,792°K	27,598°D	ML 1,5
	04.10.2021 03:12:10	ISC (ISK)	40,806°K	27,740°D	ML 1,5
8	04.10.2021 03:19:40	AFAD	40,794°K	27,692°D	ML 1,6
	04.10.2021 03:19:41	ISC	40,787°K	27,695°D	ML 1,7
9	21.12.2021 05:42:56	AFAD	40,854°K	27,988°D	ML 1,6
	21.12.2021 05:42:55	ISC (ISK)	40,830°K	28,126°D	ML 1,8
10	26.03.2022 19:11:56	AFAD	40,829°K	27,653°D	ML 1,1
	26.03.2022 19:11:53	ISC (ISK)	40,907°K	27,835°D	ML 1,4
11	04.04.2022 17:03:00	AFAD	40,841°K	28,668°D	ML 2,6
	04.04.2022 17:03:00	ISC (ISK)	40,845°K	28,699°D	ML 2,9
12	05.06.2022 11:51:06	AFAD	40,867°K	28,416°D	ML 1,3
	05.06.2022 11:51:04	ISC (ISK)	40,879°K	28,279°D	ML 1,7

Duyarlılık — düşen kayıt: 10 km → 134 · 20 km → 163 · 40 km → 179 · 70 km → 180

Not: İki kayıt (1) $\Delta t \leq 20$ s, $\Delta \text{konum} \leq 56$ km ve $\Delta M \leq 0,5$ ya da (2) $\Delta t \leq 5$ s ve $\Delta \text{konum} \leq 56$ km (büyüklük ölçüsü farkı gözetmeksizin) koşulunu sağladığında aynı olay sayılmıştır; konum toleransı kutu boyutuyla ölçeklenmiştir (56 km). Her küme bir fiziksel olayı temsil eder; ilk satır seçilen temsilcidir. Tekilleştirmede düşen 180 kaydın kümelerinden ilk 12 tanesi listelenmiştir. Koordinatlar her kaynağın bildirdiği ondalıkla verilmiştir. Alt bölüm: farklı konum toleranslarında düşen kayıt sayısı (duyarlılık).

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
- Anderson, E. M. (1951) The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain. Oliver & Boyd, Edinburgh, 206 s.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G. ve Barka, A. (2002) Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault? Terra Nova 14(2), 80–86. doi:10.1046/j.1365-3121.2002.00397.x
- 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
- Bohnhoff, M., Bulut, F., Dresen, G., Malin, P. E., Eken, T. ve Aktar, M. (2013) An earthquake gap south of Istanbul. Nat. Commun. 4(1), 1999. doi:10.1038/ncomms2999
- 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, S. 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
- 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
- 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., Öztürker, A. R., Karayazi, 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.
- Eshelby, 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
- 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
- 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
- Hergert, T. ve Heidbach, O. (2010) Slip-rate variability and distributed deformation in the Marmara Sea fault system. Nat. Geosci. 3(2), 132–135. doi:10.1038/ngeo739
- 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)
- 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
- Joyner, W. B. ve Boore, D. M. (1981) Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. Bull. Seismol. Soc. Am. 71(6), 2011–2038. doi:10.1785/BSSA0710062011
- Kalafat, D., Gürbüz, C. ve Üçer, S. B. (1987) Batı Türkiye’de kabuk ve üst manto yapısının araştırılması. Deprem Araştırma Bülteni 59, 43–64.
- 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
- Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çaçatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. ve Tok, B. (2001) The active Main Marmara Fault. Earth Planet. Sci. Lett. 192(4), 595–616. doi:10.1016/S0012-821X(01)00449-6
- 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
- Mathews, 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
- 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
- National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics, Athens (1975) Hellenic Unified Seismological Network. International Federation of Digital Seismograph Networks. doi:10.7914/SN/HL
- 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. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bull. Seismol. Soc. Am. 82(2), 1018–1040. doi:10.1785/BSSA0820021018
- Parsons, T. (2004) Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. J. Geophys. Res. 109(B5), B05304. doi:10.1029/2003JB002667
- 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
- 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
- Spearman, C. (1904) The proof and measurement of association between two things. Am. J. Psychol. 15(1), 72–101. doi:10.2307/1412159
- Stein, R. S., Barka, A. A. ve Dieterich, J. H. (1997) Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. Geophys. J. Int. 128(3), 594–604. doi:10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. ve Rangin, C. (2005) The North Anatolian Fault: a new look. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 33(1), 37–112. doi:10.1146/annurev.earth.32.101802.120415
- 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
- Tape, W. ve Tape, C. (2012) A geometric setting for moment tensors. Geophys. J. Int. 190(1), 476–498. doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05491.x
- 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
- 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. Solid Earth 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; moment tensörleri: GCMT).