

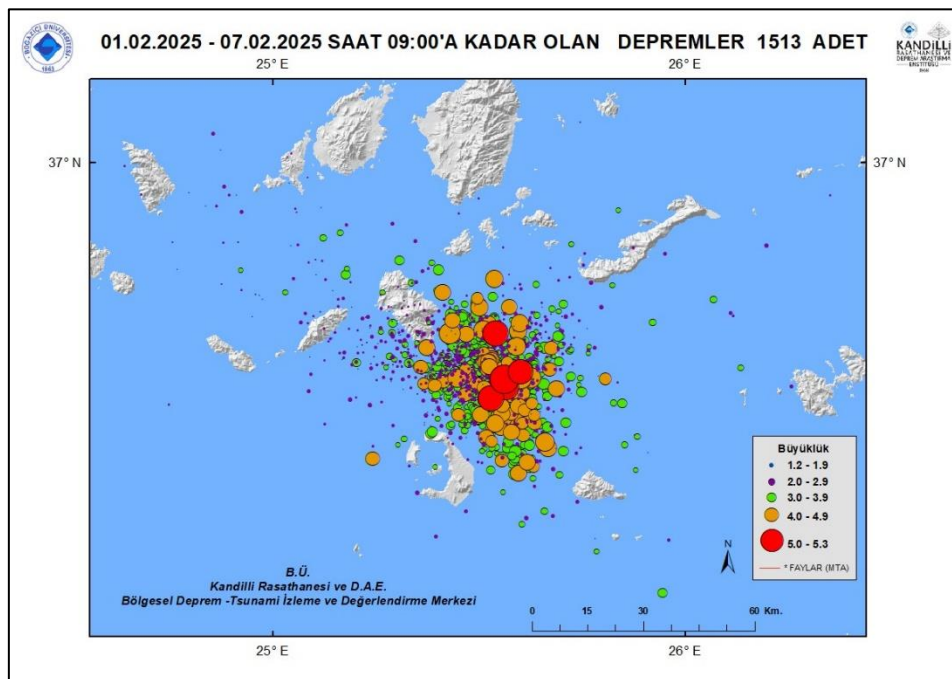


Santorini Adası - Ege Denizi Deprem Etkinliği

BOĞAZIÇI ÜNİVERSİTESİ
KANDİLLİ RASATHANESİ ve DEPREM ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
BÖLGESEL DEPREM-TSUNAMI İZLEME ve DEĞERLENDİRME MERKEZİ

1. Bölgenin Tektoniği

Santorini Adası'nın kuzey doğusunda; yaklaşık 2500 km²'lik alan içerisinde 31 Ocak 2025 tarihinde başlayan ve halen devam eden sismik aktivitedeki belirgin artış dikkat çekmektedir. Kandilli Rasathanesi (KRDAE-BDTİM) gerek Ege Denizi-Akdeniz havzası gözlem alanı içerisinde kendi işlettiği deprem istasyonları gerekse gözlem alanımızdaki diğer sismoloji merkezleri ile yapılan uluslararası protokoller ile verisi gelen istasyonlarla bölgedeki deprem aktivitesini 7/24 gerçek zamanlı olarak kaydederek değerlendirmektedir. 31 Ocak-07 Şubat (saat 09:00 itibari ile) tarihleri arası bölgede aletsel büyüklükleri $1.2 \leq M \leq 5.3$ aralığında değişen yaklaşık 1513'e yakın deprem kaydedilmiştir. Depremlerin en büyüğü M 5.3 olup, 108 adet depremin büyüklüğü $M \geq 4.0$ üzerindedir. Depremlerin odak derinlikleri çoğunlukla 10 km altı olup sığ odaklıdır.

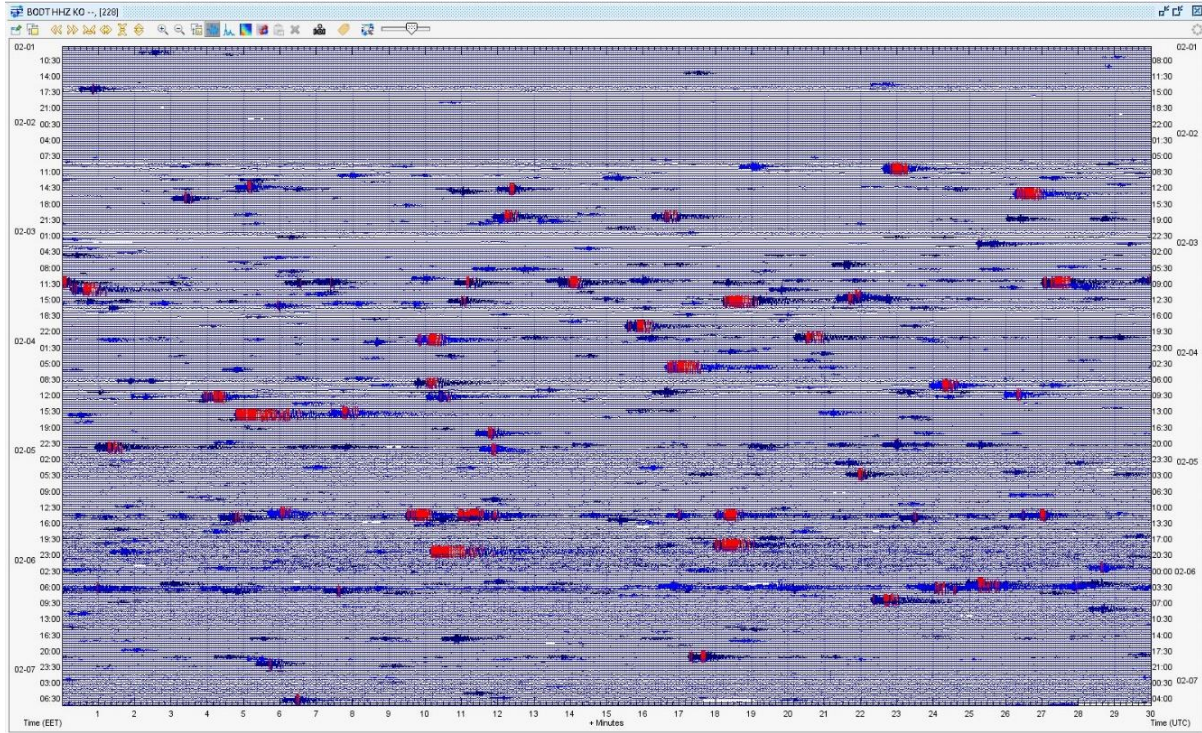


Şekil 1. Santorini-Ege Denizi deprem etkinliği (1-7 Şubat 2025) .

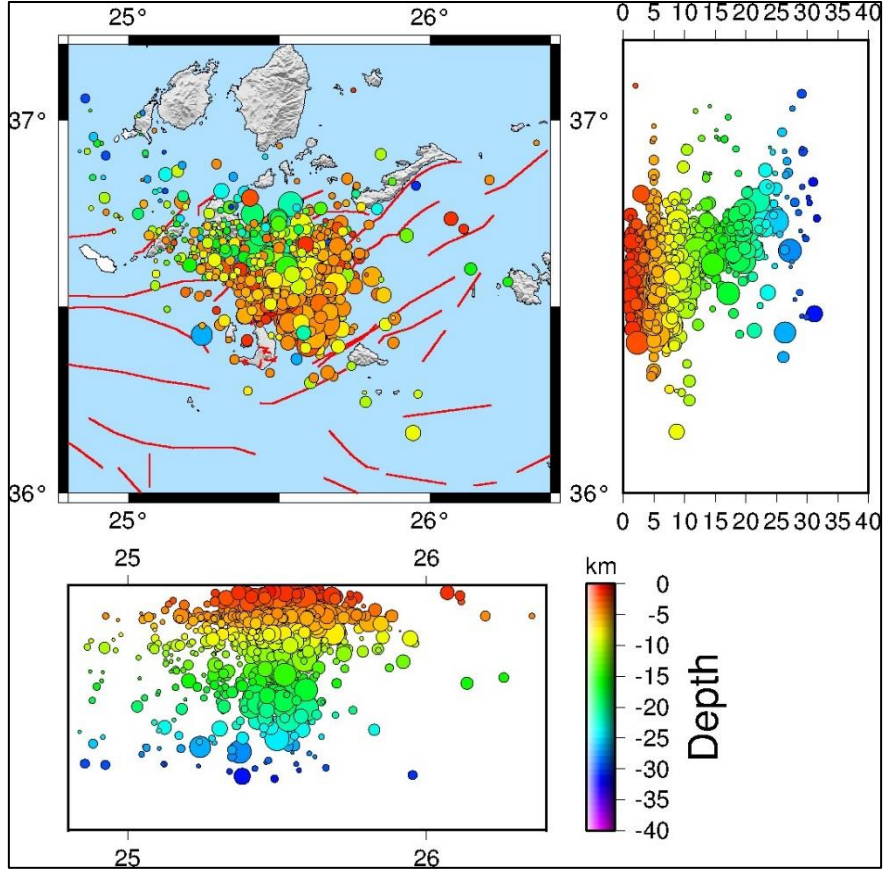
Ege Denizi'nin güneyinde yer alan Hellenik Yayı, Afrika plakasının Avrasya plakasının altına dalması nedeniyle oluşan aktif bir dalma-batma zonedir. Bu tektonik süreç, Ege Volkanik Arkı'nı oluşturmuş ve özellikle Santorini ve Kolumbo gibi volkanların oluşmasına yol açmıştır. Santorini, tarih boyunca birçok büyük patlamaya sahne olmuş ve bazıları büyük tsunami olaylarını da tetiklemiştir. 1707-1711, 1866-1870 ve 2011-2012 yıllarında kaydedilen volkanik aktivite dönemleri, bölgenin sürekli bir jeodinamik hareketlilik içinde olduğunu göstermektedir. Kolumbo volkanı, Santorini'nin yaklaşık 7 km kuzeydoğusunda yer alan ve 1650 yılında büyük bir patlama gerçekleştiren aktif bir denizaltı volkanıdır. Son yüzyıldaki aktivitesi, bölgedeki sismik hareketlerle doğrudan ilişkilidir. Volkano-tektonik mikredepremlerin ($M < 3$) yoğun olarak Kolumbo ve Santorini'nin doğusunda olduğu gözlemlenmiştir.

Magma odalarının hareketliliği ve hidrotermal aktivitenin sismik olayları tetikleyebileceği belirtilmiştir. Kolumbo'daki gaz çıkışları ve deniz tabanı deformasyonları, büyük bir jeotermal sistemin varlığını göstermektedir. 1956 Amorgos Depremi (M7.7), bölgedeki en büyük depremlerden biri olup tsunami oluşturmuştur. Santorini-Amorgos fay sisteminin, aktif magmatik süreçlerle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Dimitriadis vd., 2009).

Bölgenin Güncel Sismisitesi



Şekil 2. 1-7 Şubat 2025 tarihleri arasında Bodrum deprem istasyonunda Santorini-Ege Denizi deprem etkinliğine ait depremlerin görünümü.



Şekil 3. Santorini-Ege Denizi Deprem Etkinliği ve derinlik kesiti (01-07 Şubat 2025).

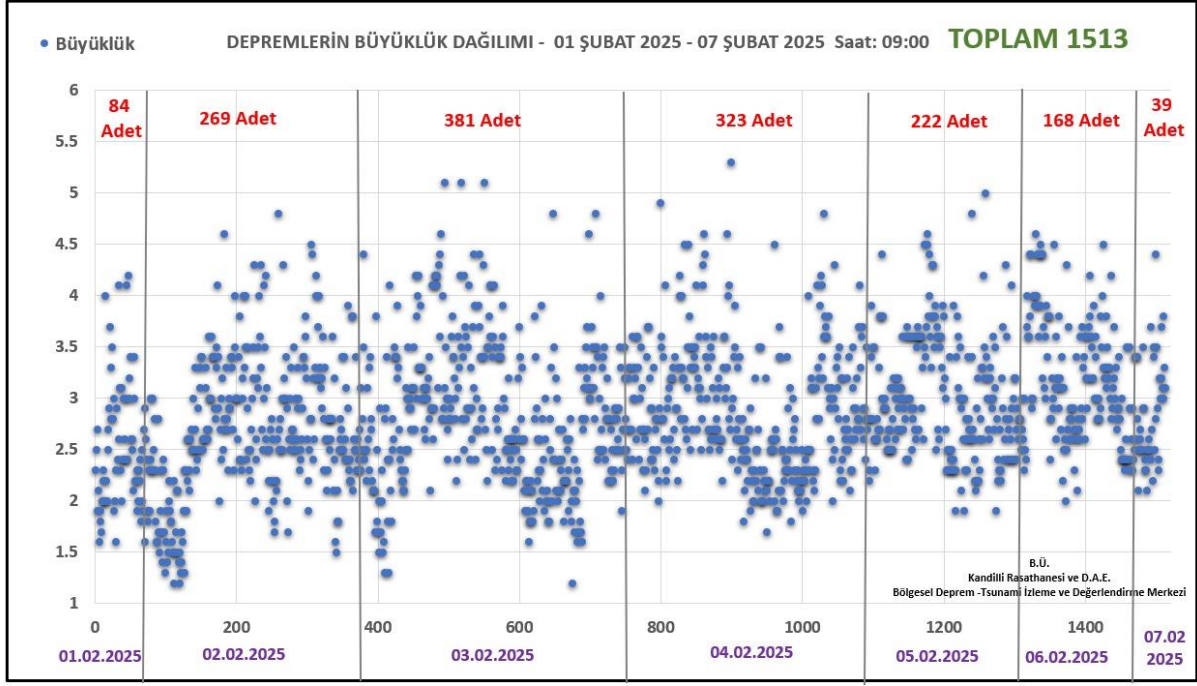


Şekil 4. 1.02.2025-07.02.2025 tarihleri arasında büyüklüğü $M \geq 4.5$ olan depremlerin odak mekanizması çözümü.

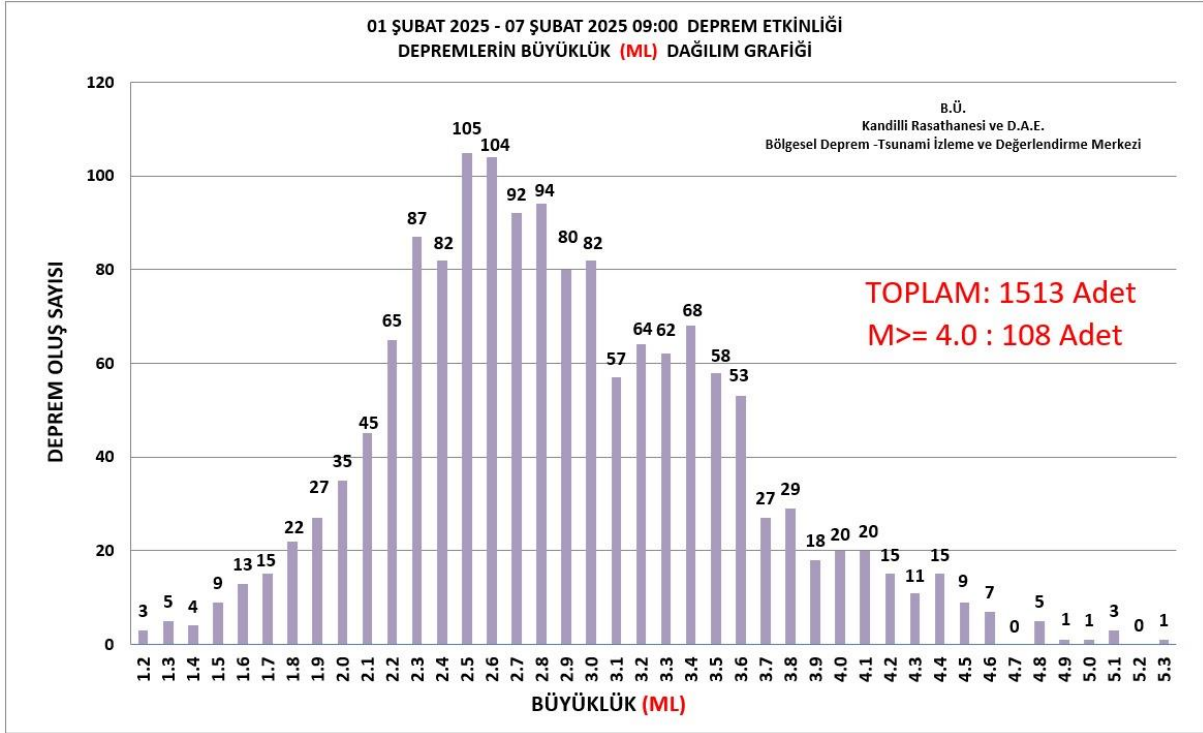
Bölgede meydana gelen $M \geq 4.5$ üzeri depremlerin odak mekanizması çözümleri ve sismik aktivitenin dağılımı bölgede normal faylanma mekanizmasının hakim olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. $M \geq 4.5$ ve üzeri depremler için odak mekanizması parametreleri

Tarih	Saat (GMT)	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik (km)	Mw	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Atım (°)	Deprem No
02.02.2025	07:22	36.55	25.57	10	4.4	40	52	-99	1
02.02.2025	12:55	36.56	25.56	10	4.8	38	43	-103	2
02.02.2025	17:41	36.62	25.62	11	4.6	37	41	-117	3
02.02.2025	17:45	36.58	25.58	10	4.7	39	40	-100	4
03.02.2025	08:26	36.54	25.70	10	4.8	47	39	-95	5
03.02.2025	09:29	36.59	25.66	10	5.0	68	35	-72	6
03.02.2025	12:17	36.59	25.56	10	5.0	59	33	-80	7
03.02.2025	17:45	36.66	25.65	10	4.7	33	40	-113	8
03.02.2025	20:19	36.63	25.63	12	4.9	48	38	-97	9
03.02.2025	20:39	36.64	25.52	10	4.7	64	39	-74	10
04.02.2025	02:46	36.60	25.56	13	4.9	54	45	-92	11
04.02.2025	06:09	36.68	25.61	10	4.6	64	50	-75	12
04.02.2025	06:53	36.69	25.60	12	4.3	221	57	-91	13
04.02.2025	09:03	36.66	25.63	11	4.5	41	41	-104	14
04.02.2025	09:09	36.67	25.52	10	4.5	48	37	-92	15
04.02.2025	12:36	36.57	25.62	11	4.6	34	52	-111	16
04.02.2025	13:04	36.53	25.69	10	5.3	43	43	-95	17
04.02.2025	17:10	36.62	25.54	10	4.5	22	41	-135	18
04.02.2025	20:00	36.65	25.51	10	4.8	40	37	-108	19
05.02.2025	10:35	36.74	25.71	13	4.6	19	49	-135	20
05.02.2025	11:08	36.66	25.54	10	4.7	49	32	-85	21
05.02.2025	11:33	36.66	25.62	10	4.5	46	38	-107	22
05.02.2025	17:47	36.71	25.53	10	4.8	44	27	-92	23
05.02.2025	19:09	36.68	25.63	10	5.1	55	34	-90	24
06.02.2025	02:54	36.56	25.54	10	4.6	49	32	-106	25
06.02.2025	03:23	36.57	25.65	10	4.6	19	43	-143	26
06.02.2025	03:36	36.60	25.65	10	4.4	23	39	-137	27
06.02.2025	05:51	36.66	25.60	10	4.6	24	46	-141	28
06.02.2025	18:16	36.57	25.63	10	4.4	26	61	-151	29
07.02.2025	07:16	36.58	25.59	10	4.9	24	44	-130	30



Şekil 5. Santorini- Ege denizi Depremlerinin Büyüklük Dağılımı

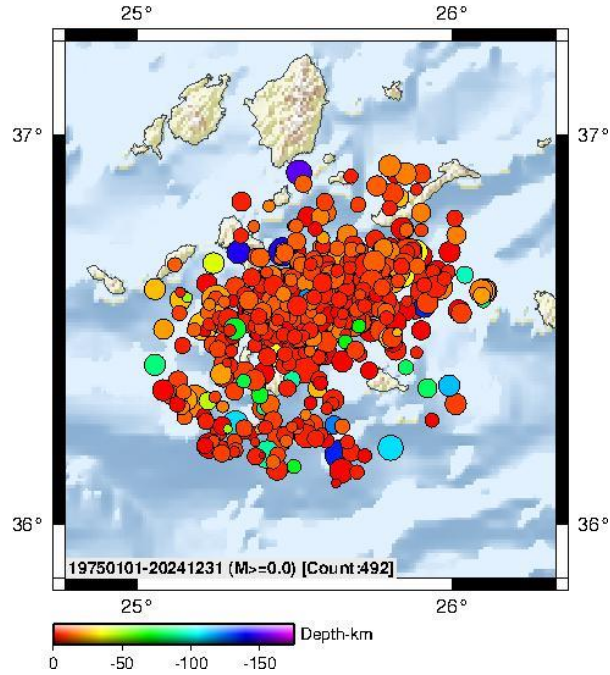


Şekil 6. Santorini- Ege denizi Depremlerinin Büyüklük Dağılımı.

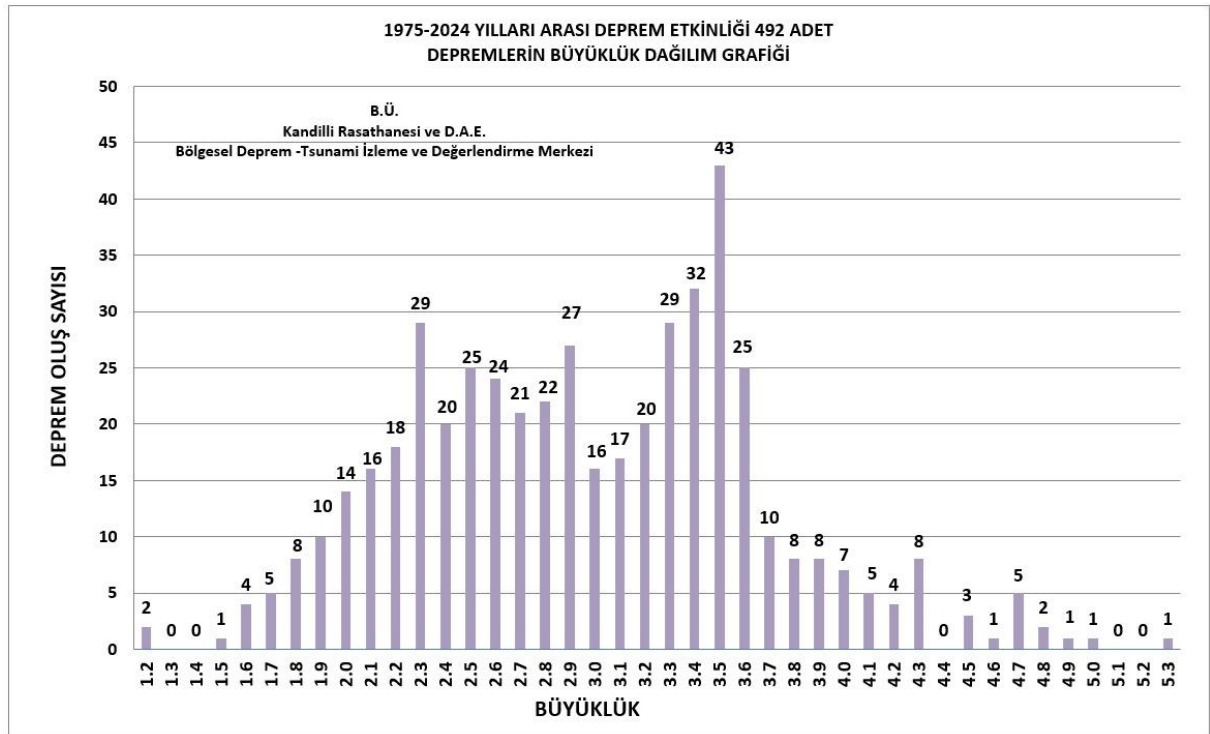
Not: Grafikte kullanılan büyüklük; Lokal Büyüklük (M_l), Tablo 1 de kullanılan büyüklük çeşidi Moment büyüklüğüdür (M_w).

2. 1975-2024 yılları arası bölgenin son 50 yıllık deprem etkinliği:

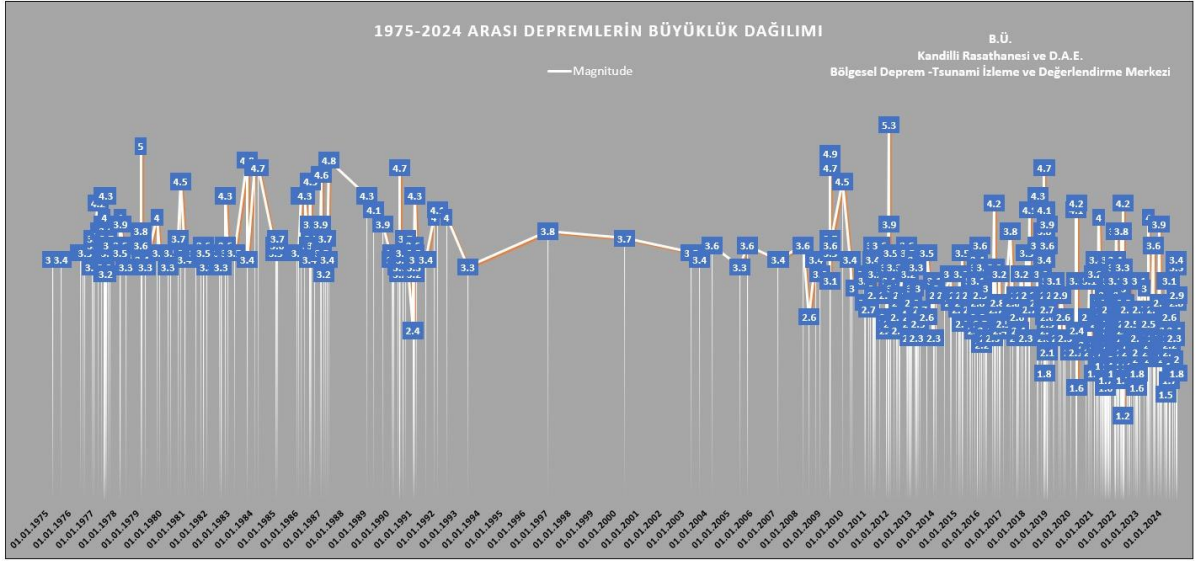
Son elli yılda bölgede yaklaşık 2500 km²'lik alan içerisinde aletsel büyüklükleri M 1.2-5.3 aralığında değişen yaklaşık 492 adet deprem kaydedilmiştir.



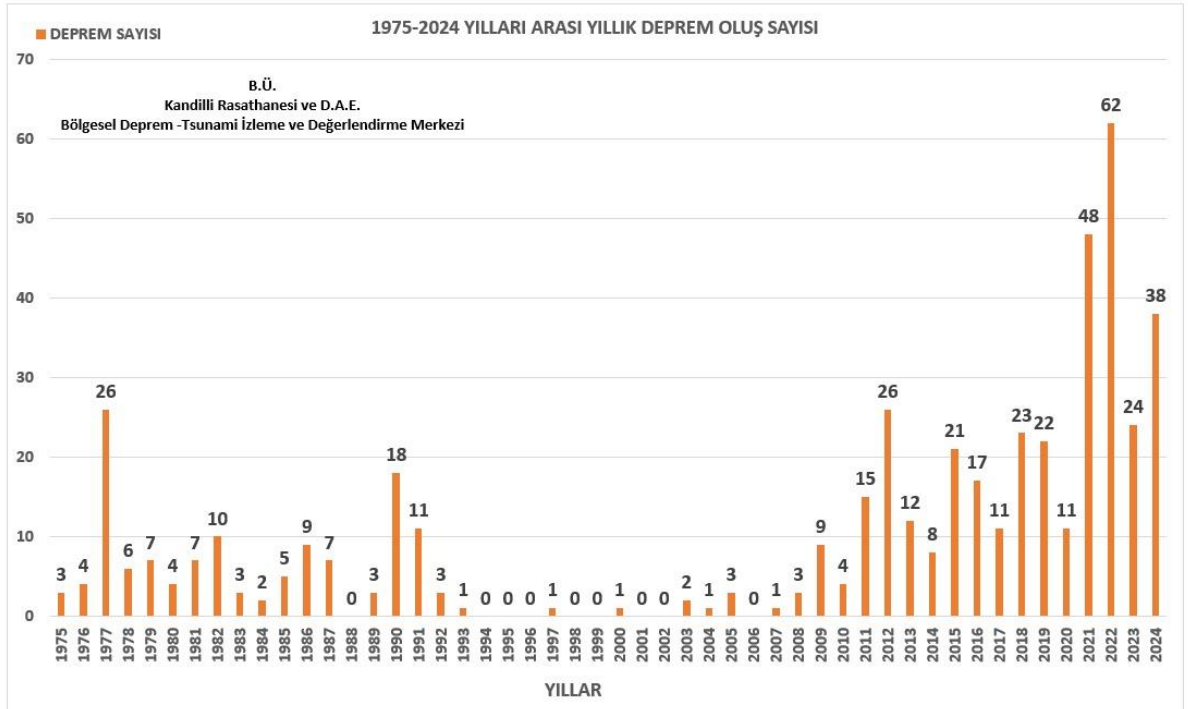
Şekil 7. Bölgenin son 50 yıllık deprem etkinliği.



Şekil 8. Deprem-Büyükük Dağılımı (1975-2024).



Şekil 9. Yıllara göre Deprem-Büyükölçü Dağılımı (1975-2024).



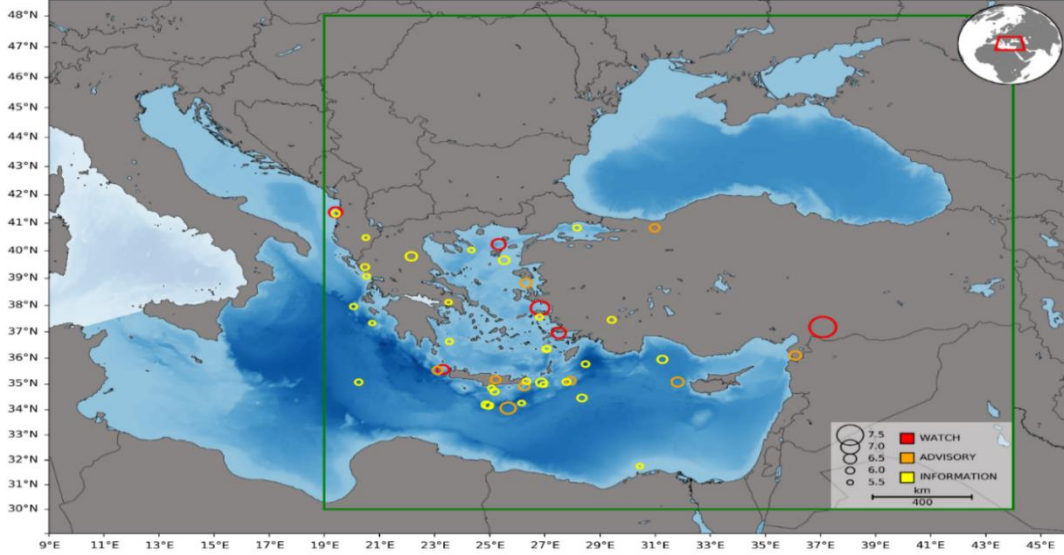
Şekil 10. 1975-2024 Yılları Arası Deprem Oluş Sayısı (1975-2024).

3. Ege Denizi Tsunami Potansiyeli Hakkında Kandilli Rasathanesi Yaklaşımı

Ege Denizi'nde bir süredir devam etmekte olan sismik aktivite, tsunami oluşumu açısından önemli riskler taşımaktadır. Depremler, özellikle deniz tabanında meydana geldiğinde, su kütlelerini yerinden oynatarak tsunamilere yol açabilmektedir. Ayrıca, aktif volkanik yapının sebep olduğu denizaltı heyelanları da tsunami oluşumunu tetikleyebilmektedir.

MÖ 16. yy'da gerçekleştiği kabul edilen Ege Denizi'nde Santorini volkanının patlaması nedeni ile oluşan kaldera çökmesi tsunamiye yol açmış, oluşan dalgalar tüm Doğu Akdeniz'de etkisini hissettirmiştir. MÖ 496 ve MS 1949 yılları arasında 20 adet orta ölçekte deprem meydana gelmiş, bunlardan 1389, 1856, 1866, 1881 ve 1949 tarihli olanlar tsunami oluşturmuşlardır. 1956 yılında Güney Ege'de meydana gelen Amorgos depreminde Kilimli (Kalimnos) adasında 2.5m yüksekliğinde dalga, kıyından 1,5 km yatay mesafede su baskın alanı ve Ünye (İos), İncirli (Nisyros), Batnaz (Patnos), Papazlık (Tilos) ve Lipsi (Lipsos) adalarında ciddi maddi hasar gözlemlenmiştir. Tsunami dalgası Fethiye'de 1m'ye ulaşmış, su baskın mesafesi 250m olarak gözlemlenmiştir. Günümüzde, Santorini ve çevresinde gözlemlenen sismik aktivite, bölgedeki potansiyel tsunami riskinin devam ettiğini göstermektedir.

Kandilli Rasathanesi Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), UNESCO- Hükümetler arası Oşinografi Komisyonu - Kuzey-Doğu Atlantik, Akdeniz ve Bağlantılı Denizler Tsunami Erken Uyarı ve Zarar Azaltma Sistemi Hükümetler arası Koordinasyon Grubu (ICG/NEAMTWS) çatısı altında Tsunami Servis Sağlayıcı ve Ulusal Tsunami Uyarı Merkezi olarak görev yapmaktadır. 2012 yılından beri sorumluluk alanları Karadeniz, Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz'i kapsayacak şekilde ülkemiz ve çevresinde meydana gelen tüm depremleri ve denizlerde meydana gelebilecek deniz seviyesi değişimlerini gözlemleyerek ilgili ulusal ve uluslararası kurumlara **Deprem Bilgi Mesajı ve Tsunami Erken Uyarısı** yayımlamaktadır. Kandilli Rasathanesi 2012 yılından bugüne kadar toplam 46 deprem için tsunami (31 Bilgi, 9 Tavsiye, 6 Uyarı) mesajı yayınlanmıştır.



Şekil 11. KRDAE tsunami gözlem alanında Tsunami uyarı mesajı yayınlanan depremler.

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'nde Sisam adasının kuzeyi ile Doğanbey-İzmir açıkları arasında (37.9020 Kuzey, 26.7942 Doğu) yerel saat ile 14:51'de büyüklüğü Mw=6.9 olan deprem özellikle Seferihisar ilçesi Sığacık ve Akarca bölgeleri ile Urla ilçesi Zeytineli bölgelerinde etkili olan bir tsunami meydana getirmiştir. Meydana gelen tsunami, Ege kıyılarının kuzeybatısında Çeşme-Alaçatı'dan başlayarak, güneydoğu tarafında Gümüldür'e kadar uzanan bir alanda etkili olmuştur. Sığacık'ta tsunami nedeni ile 1 kişi hayatını kaybetmiş;

bölgede çok sayıda konut, iş yeri ve araç zarar görürken, balıkçı barınakları ve marinalarda pek çok tekne sürüklenmiş, batmış, karaya oturmuş ve kıyı yapıları da hasar görmüştür. Tsunaminin en çok etkili olduğu ve hasar yarattığı bölgeler Sığacık Körfezi ve Akarca Mevkii olmuştur. Gerçekleştirilen saha araştırmasında Akarca mevkiinde 3,82 m tsunami tırmanma yüksekliği, Sığacık Körfezi'nde ise 2,31 m tsunami baskın yüksekliği; Sığacık'ta 415 m, Teos Antik Kent bölgesinde ise 552 m su baskın (taşkın) uzanımı raporlanmıştır. Alaçatı-Azmaç'ta ise dere yatağı boyunca ~2490 m su baskın uzanımı raporlanmıştır.

Kandilli Rasathanesi Tsunami konularındaki bilimsel araştırma kapasitesini geliştirmek üzere çok çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Enstitümüz Jeofizik AnaBilim Dalı'ndan Dr. Öcal Necmioğlu'nun doktora çalışmasında Karadeniz, Ege ve Doğu Akdeniz için deprem kaynak parametreleri ile ilgili mümkün olduğu kadar kaynaktan yararlanılarak depremlerin bölgesel olarak tsunami analizleri için bir senaryo veri tabanı oluşturmak üzere depremlerin kaynak parametreleri tayin edilmiştir. Bu parametreler kullanılarak kapsamlı bir tsunami tehlike analizi yapılabilmesi amacı ile çalışma alanında sığ (0-40 km; tüm çalışma alanı için) ve orta derinlikte (40-100 km; sadece Güney Ege ve Doğu Akdeniz için) depremler için $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ büyüklüğünde düzenli olarak tanımlanmış alancıklarda 6.5 ve literatür taraması sonucu elde edilen M_{wmax} büyüklükleri aralığında fay parametreleri atanmış ve her bir alancıkta 0.1 Mw artırımla MOD2-TR tsunami senaryo veri tabanı üretilmiştir.

Bu veri tabanında yer alan 2415 senaryonun değerlendirilmesi sonucunda; Ege ve Doğu Akdeniz'de $M_w \geq 6.5$ büyüklüğünde sığ depremlerin kıyılarda 0.5m dalga yüksekliğinde tsunamiye neden olabileceği ve derin depremlerde ise bu yüksekliği M_w7 büyüklüğündeki bir depremle meydana geleceği anlaşılmıştır.

En büyük dalga yüksekliklerinin incelenmesi sonucunda; Kuzey Ege'de 1 m'ye varan tsunamilerin görülebileceği . Girit, Güney Ege, Kuzey- Doğu Libya ve İskenderiye (Mısır) arasında kalan bölgede ise, tsunami dalga yüksekliklerinin $H_w > 3$ m olabileceği sonuçları elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda Orta ve Doğu Akdeniz ve Ege Denizi'nde Helen yayı, çevresi ve ona dik olan Güney Akdeniz ve Kuzey Afrika sahillerinde tsunami tehlikesinin yüksek ($H_w > 3$ m) olduğu, Güney Ege, Trablusgarp, Doğu Sicilya ve Güney İtalya, Batı Yunanistan, Kıbrıs'ın batı ve güney kıyıları, Türkiye'de Kaş yarımadası ve Antalya körfezi ile Lübnan-İskenderiye (Mısır) arasındaki bölgede dikkate değer ($1m < H_w < 3$ m) seviyede tsunami tehlikesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler, depremler sonucu meydana gelebilecek tsunami yükseklikleri olup, depremlerin tetikleyebileceği denizaltı heyelanlarının oluşturabileceği tsunamiler çalışılmamıştır.

DEĞERLENDİRME

Santorini ve çevresindeki Hellenik Dalma-Batma Zonu, yoğun volkanik aktivite, deprem riski ve tektonik gerilmeler ile karakterize edilen karmaşık bir jeolojik bölgedir. Bölgede gözlemlenen sismik hareketlilik ve magma dinamikleri, geçmişte yaşanan büyük patlamalar ve depremlerle doğrudan ilişkilidir. Santorini-Amorgos fay hattı, büyük yıkıcı depremlere neden olabilecek potansiyele sahiptir. Kolumbo Denizaltı Volkanı ve Santorini'deki magma sistemleri, aktif hidrotermal süreçlerle desteklenmektedir ve yeni patlamalar için risk taşımaktadır.

Gelecekte, hem sismik hem de volkanik olayların gerçekleşme olasılığı yüksek olduğundan, bu bölge çok disiplinli bir izleme sistemi ile sürekli gözlemlenmelidir. Deprem ve volkanik tehlikelerin önceden tahmin edilebilmesi için daha fazla jeofizik, jeokimyasal ve jeodezik araştırmalara ihtiyaç vardır. Özellikle Kolumbo ve Santorini'de denizaltı volkanizması ve hidrotermal aktivitelerin yakından takip edilmesi, bölgedeki yerleşim alanları için kritik bir güvenlik önlemi olacaktır.

Tarihsel kayıtlar ve modern gözlemler, Santorini ve çevresindeki diğer aktif fay hatlarının ve/veya bölgede tetiklenebilecek bir heyelanın ile tsunami yaratma potansiyelini barındırdığını göstermektedir. Bölgedeki deprem aktivitesi ve deniz seviyesi değişiklikleri sürekli olarak izlenmektedir. Bölgede meydana gelebilecek deprem, heyelan vb. kaynaklarla tetiklenebilecek tsunamiye karşı gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır.

Son 50 Yılda Yaşanan Durumlarla Günümüzü Karşılaştırma

<u>Yıl</u>	<u>Olay Türü</u>	<u>Büüklük</u>	<u>Sonuçlar</u>
1956	Amorgos Depremi (M7.7-M7.8)	Büyük	Tsunami + büyük hasar
1989-1991	Deprem Serisi	Orta	Büyük kırılma yok
2002-2003	Ege Deprem Serisi	Orta	Gerilim birikimi devam etti
2011-2012	Deprem fırtınası ve volkanik aktivite	Orta	Büyük patlama olmadı
2024-2025	Devam eden deprem etkinliği	Bilinmiyor	Büyük kırılma veya patlama?