

## Türkiye Çevresi Denizlerde Depreşim Dalgası Oluşma Olasılığı Bulunan Bazı Bölgeler

Bedri Alpar<sup>1</sup>, Uğur Kuran<sup>2</sup>, Ahmet Cevdet Yalçiner<sup>3</sup> Yıldız Altınok<sup>4</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü

<sup>2</sup> Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı

<sup>3</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Deniz Müh. Araştırma Merkezi

<sup>4</sup> İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

### Giriş

Depreşim dalgası olaylarının başlıca nedenleri deprem, sualtı heyelanları, volkanik patlamalar veya krater çökmeleri, denizaltı yada kıyılarda zemin kaymaları, meteor çarpmaları, patlatmalardır. Tarihsel veriler M.Ö. 1500 yılından günümüze kadar geçen 3500 yıllık süre içinde Türkiye kıyılarında yüzden fazla depreşim dalgası etkilerinin oluşunu göstermektedir.

İç denizlerde de tsunami oluşabilir. Tarihsel kayıtlarda Karadeniz’de 20 kadar tsunami olayına rastlanmıştır. Karadeniz kıyılarında etkili olan depreşim dalgaları arasında bazı kıyılarda dalga tırmanmasının 10 metreye vardığı görülse bile genel olarak bunların şiddetleri fazla olmamıştır (Ranguelov, 1996). İlk bilinen tsunami M.Ö. 1. yüzyılda Varna kuzeyinde Kavarna’dadır. Benzer bir tsunami 104 senesinde bir Yunan kolonisi olan Calatis’i (Mangalia) vurmuştur. 853 depreminde Varna’da sular 6.5 km kıyı içine sokulmuş, nehir boyunca 30 km ilerlemiştir. 31 Mart 1901 depremi Varna’da 3 m boyunda depreşim dalgaları oluşturmuştur. 1927 Kırım tsunamisinin dalga yüksekliği 0.8 metre olarak rapor edilmiştir. Depreşim dalgalarının kaynakları %90 oranda deniz içindeki depremlere bağlı olsa da, farklı durumlar yaşanabilmektedir. Merkez üstü deniz ortamında olmamasına rağmen 1939 Erzincan depremi sırasında Rus mareografları tarafından Karadeniz’de depreşim dalgalarının oluştuğu saptanmıştır. Karadeniz’de gözlenen depreşim dalgalarının genellikle Kırım ve Anadolu’da oluşan depremler sırasında özellikle 2000 metre derinliğe kadar ulaşan yamaç bölgelerinde ortaya çıkabilen sualtı heyelanlarına bağlı olarak geliştikleri düşünülebilir (Yalçiner ve diğ., 2004).

Bir iç deniz olan Marmara Denizinde yaşanmış ve sayıları otuzu aşan tsunamiler ile ilgili depreşim dalgası modellemeleri değişik çalışmalara konu olmuştur (Ambraseys, 2002; Yalçiner ve diğ., 2002; Hébert ve diğ., 2005). Marmara kıyılarında en fazla etkilenen alanlar Kapıdağ Yarımadası (120/128), İzmit Körfezi (358, 447, 553, 557, 740, 989, 1754, 1999), İstanbul (477/480, 553, 557, 740, 989, 1344, 1509, 1646, 1766, 1894), Trakya kıyıları (1344), Mudanya (1766, 1763), Marmara Adası (1935) bölgeleridir (Soysal, 1985; Altınok ve diğ., 2000, Yalçiner ve diğ., 2002). Depreşim dalga gözlemlerinin belli yerlerde daha fazla olması yerleşimlerin yoğunluğu ve dolayısıyla tanıkların daha fazla olmasıyla ilgilidir. Yerleşimin fazla olmadığı ve tarihsel kayıtlara geçmemiş yerlerde yapılan hendek çalışmalarında rastlanılan tsunami tortulları bu düşüncüyü desteklemektedir. Elde mevcut tarihsel verilerden bir değerlendirme yapacak olursak; her Marmara depreminin depreşim dalgasına neden olmadığı, günümüze nakledilen vakaların kısmen küçük ölçekli su hareketleri şeklinde, kısmen ise

kıyılarda büyük dalga yükselmelerine neden olabilecek şekilde orta şiddette olduğu değerlendirilebilir. Marmara Denizinde oluşan önemli yakın-alan depreşim dalgalarının esas nedeninin özellikle deprem sırasında oluşabilen sualtı heyelanları olduğu düşünülebilir. Deprem sırasında geometrik olarak Kuzey Anadolu fay kuşağının kuzey koluna bağlı ve kıta yamaçlarının morfolojileri ile bütünleşik olan dekolmanlar harekete geçmekte ve kıta yamaçları üzerinde önemli sualtı göçmeleri oluşturmaktadır. Marmara Denizi içinde kaydedilen sismik kesitlerde kıta yamaçları üzerinde önemli heyelan yapıları gözlenmiştir. Bunların en belirgin olanları Tuzla Körfezi açıklarında, Armutlu Yarımadası kuzey sahillerinde ve Batı Tekirdağ çukurluğunda olanlardır (Yalçın ve diğ., 2001; Altınok ve diğ., 2003). Bu sualtı heyelanlarının yarattığı depreşim dalgaları en fazla 5 dakika içinde ulaşabildikleri yakın kıyı alanlarında etkili olabilmektedir.

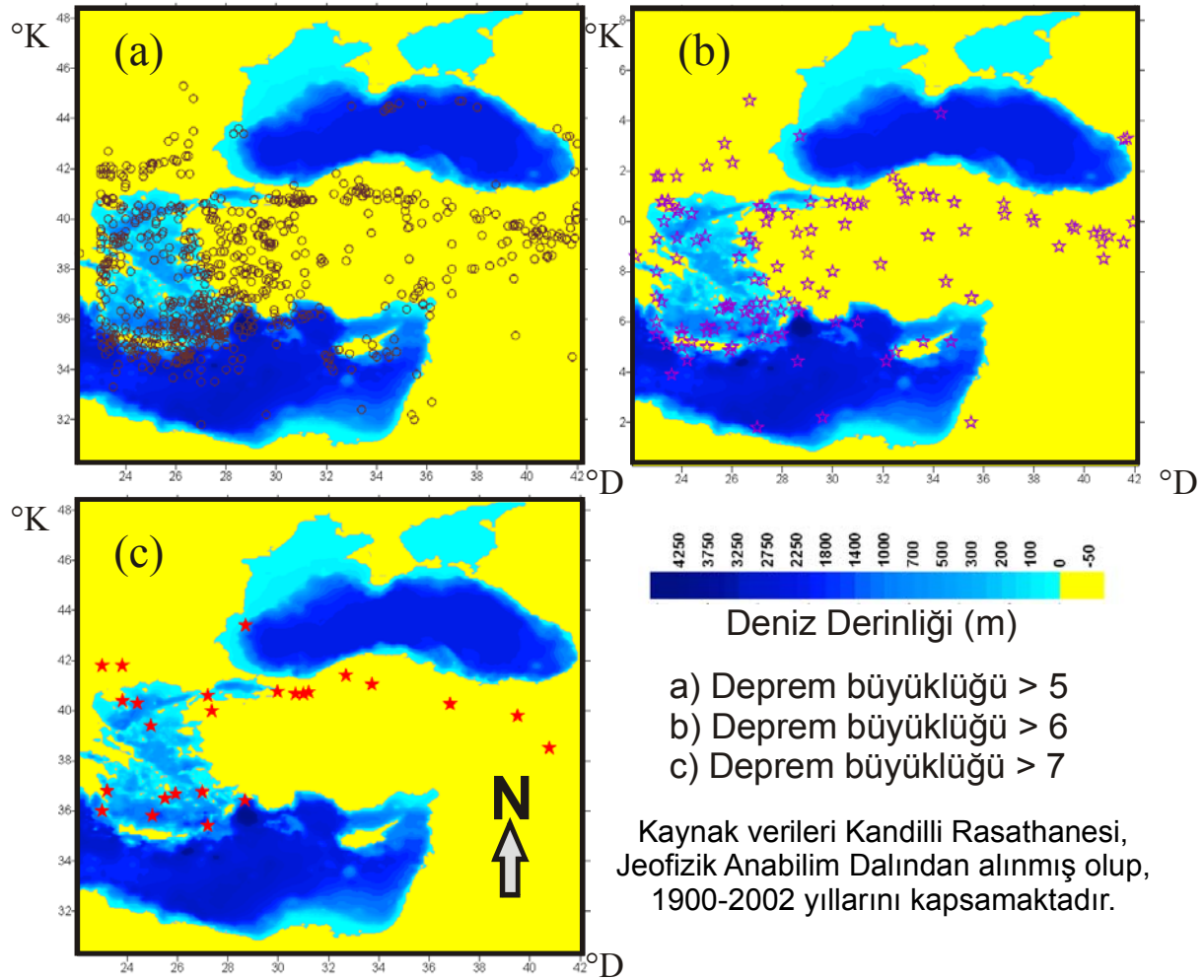
Türkiye'nin Ege ve Akdeniz kıyılarında da önemli ve zarar verici tarihsel tsunamilerin oluştuğu bilinmektedir (Ambraseys, 1962; Altınok ve Ersoy, 2000; Altınok ve diğ., 2005). Akdeniz genelinde M.Ö. 1300 yılından günümüze kadar 300 den fazla tsunami oluşmuştur. Bunların en şiddetlileri Güney İtalya ve Doğu Akdeniz'de yer alır. İtalya'daki depreşim dalgalarının yarıya yakını volkanik kökenlidir. Akdeniz depremlerinin %7 si hasar yaratabilen depreşim dalgaları oluşturmaktadır. Bu oran Ege Denizinde %30 a kadar çıkmaktadır ve bu deniz için 70 kadar tsunami hadisesi tarihsel kayıtlardan bilinmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye ve denizlerinde kaydedilmiş makro düzeyde ( $M > 5$ ) olan depremlerin Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Jeofizik Anabilim Dalı tarafından hazırlanmış olan veri tabanları sınıflandırılarak incelenmiştir. Depreşim dalgası oluşturması olası depremlere ilişkin veriler mevcut tektonik bilgiler ışığında mekan dağılımlarına göre gruplandırılmış, olası sismik boşluklar belirlenmiş, öncelikle Ege Denizi, güneyindeki Helenik dalma batma kuşağı, Kaş, Antalya ve Doğu Akdeniz yörelerinde etkili olabilecek depreşim dalgalarını oluşturabilecek olası aktif bölgeler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

### **Deprem Verilerine Göre Depreşim Dalgalarına Kaynak Oluşturabilecek Aktif Bölgeler**

Kandilli Rasathanesi'nin aletsel dönem verileri değerlendirilerek hazırlanan ve Türkiye çevresinde 23-42° Doğu boylamları ile 30-48° Kuzey enlemleri arasında kalan bölgede oluşan depremlerin merkezlerini gösteren haritalar deprem büyüklüklerine göre sınıflandırılarak hazırlanmıştır (Çizim 1). Burada en belirgin özellik büyük depremlerin kuzeyde Avrasya plakası, güneyde Afrika ve Arap plakaları, doğuda Doğu Anadolu bloğu ve batıda Ege bloğu tarafından çevrilmiş Anadolu plakasının sınırları boyunca dizilim göstermesidir.

Bu haritalarda deniz alanlarında yer alan deprem merkezlerinin bulunduğu bölgeler olası depreşim dalgası oluşturan bölgeler olarak dikkate alınmalıdır. Bu konuda isabetli yorumlar yapabilmek için bölgelerin genel tektonik özelliklerinin, dip yapılarının ve morfolojilerinin detaylı bir biçimde bilinmesi gereklidir.



**Çizim 1.** Türkiye çevresinde oluşan depremlerin büyüklüklerine göre dağılımı.

### Ege Denizi ve Doğu Akdeniz'in Genel Yapısal Özellikleri

Ege Denizi Batı Anadolu'da gözlenen K-G gerilme rejiminin ürünüdür. Kuzey Ege çukurluğunda ayrıca Kuzey Anadolu fay kuşağının da etkisi vardır. Ege'de hakim olan belli başlı tektonik kuvvetler; Helenik yayı boyunca dalan levhanın çekme kuvveti, yay ardı gerilmenin yarattığı kuvvet ve Anadolu levhasının batıya kaçmasıyla ilişkin kuvvetlerdir. Böyle bir rejim üst Miyosen'den beri süregelen aktif tektonik hareketlere neden olmaktadır. Oluşan deformasyonlar sonucu incelen ve çöken kabuk üzerine günümüz Ege Denizi yerleşmiştir.

Ege tektoniğinin en belirleyici özelliği birbirleriyle ilişkili birkaç on kilometre uzunluğundaki yapılardan oluşmuş, büyük atımlı normal veya listrik fayların temsil ettiği uzantılardır. Bu fay uzantıları Kuzey Ege'de Türkiye tarafında KD-GB, Yunanistan tarafında KB-GD, Orta Ege'de KB-GD, Girit havzasında D-B ve KB-GD doğrultusundadır. Batı Anadolu kıyılarında genelde D-B doğrultusunda normal faylarla sınırlanmış graben havzaları yer alır. Sismik veriler Ege havzalarında oluşan çökmelerin yüksek atımlı normal faylarla sınırlandırıldığını ve K-G gerilme rejiminin günümüzde de devam ettiğini göstermektedir. Su altında kalmış gerilme yapıları ve graben sistemleri Ege Denizi'nin karmaşık taban jeomorfolojisine neden olmaktadır.

Akdeniz kıyılarımızın tektonik yapısı Alpin kıvrım kuşağı genel nitelikleri yanında kendine özgü jeolojik özellikleri de içerir. Kuvaterner dışında kalan bütün stratigrafik seriler son 70-80 milyon yıl boyunca çeşitli orojenik evreler geçirmiş, dolayısıyla birkaç kez kıvrılmış, kırılmış, ileri derecede deforme olmuştur (Ketin, 1983). Türkiye'nin en genç kıvrımlı dağlarının oluşması Pliyosen başlarında tamamlamıştır. Kuvaterner'de oluşan bugünkü görünüm, genel anlamda Türkiye için Neotektonik dönemin başlangıcı olan Orta Miyosen'den günümüze kadar süren, deformasyonları henüz dengelenmemiş blok hareketleri ve faylanmalar ile belirginleşen neotektonik safhanın bir eseridir. Anadolu bloğunun batıya kaçması neticesinde Akdeniz Bölgesindeki en önemli faylardan olan Doğu Anadolu Fayı oluşmuştur. Bu harekete cevap olarak, Helen Yay sisteminin doğu yarısı doğrultu atımlı faylanmaya dönüşmüştür (Le Pichon ve Angelier, 1979).

Helen ve Kıbrıs dalma-batma kuşakları arasında ve Güney Ege'de Tortoniyen'den başlayarak yoğunlaşan volkanizma ve artan topografik yükselilerin ardından yanal yönde yayılmalar başlamıştır. Neotektonik safhada meydana gelen bu büyük ölçüdeki deformasyonlar, bu kesiminde yerkabuğunun izostatik dengeden uzak olması ve süregelen sıkıştırma kuvvetleri Türkiye'nin aktif bir deprem alanı olmasının da başlıca nedenlerini teşkil eder. Kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika ve Arap Plakaları, doğuda Doğu Anadolu Bloğu ve batıda Ege Bloğu tarafından çevrilmiş Anadolu Plakasının yıllık 23 milimetrelik hızla batıya hareket etmesi ile günümüzde Ege Bloğu; Rodos-Girit Adaları ile Mora Yarımadasının güneyini izleyen Helenik dalma batma zonu boyunca Afrika Plakasının üstüne yıllık 35 milimetrelik bir hızla binmektedir (Ambraseys ve Jackson, 1998; Kelling ve diğ., 1987; Barka ve Reilinger, 1997; Ergün ve Oral, 2000).

### **Ege Denizi ve Doğu Akdeniz'de Tsunami Oluşabilecek Bölgelerin Araştırılması**

Ege Denizi ve Akdeniz'de depreşim dalgasına oluşmasına yol açabilecek yerlerin bulunmasına amaçlı ayrıntılı deniz araştırmaları yapılmış değildir. Bölge ile ilişkili yapılmış olan sismolojik ve jeofizik çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, Batı Anadolu genişleme bölgesi, Ege Denizi, Helenik dalma batma zonu, başta Antalya, Fethiye ve Kaş yöreleri ile İskenderun Körfezi olmak üzere Doğu Akdeniz Miyosen'den beri, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Ege Hendeği'nin kontrolünde gelişen hareketler sonucunda parçalanarak şekil değiştiren aktif sismik bölgeler olduğu ortaya çıkar. Böyle bir sismojenik ortamda ve diğer tarihsel kayıt ve verilere göre ortalama bir insan ömrü içinde Türkiye kıyılarında 2 kez depreşim dalgası gözleme şansı vardır. Bu nedenle kıyılarımızda oluşabilecek olası depreşim dalgalarının kayıtları, fiziksel parametreleri ve bu dalgaların hangi kıyılarda ne biçimde davranacağı çok sık gözlemlenemeyeceğine göre, olası sonuçlar ancak doğru giriş parametreleri belirlenerek yapılacak sayısal modellemeler ile anlaşılabilir.

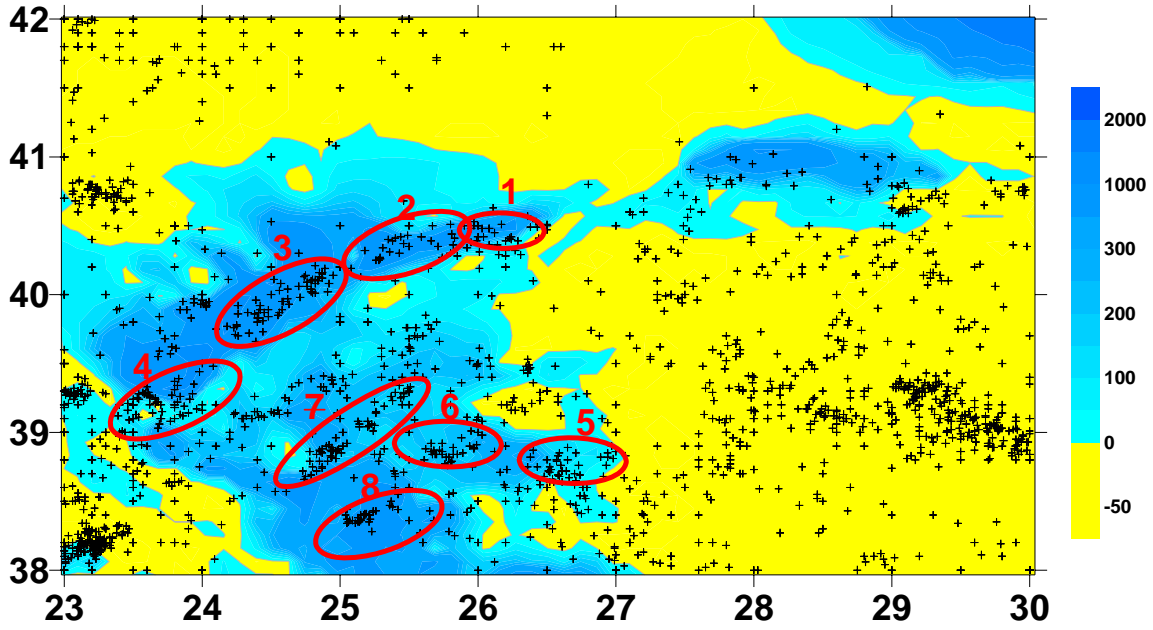
Depreşim dalgası modelleme sürecinin birinci basamağı söz konusu dalganın oluşumunun modellenmesidir. Dalganın ilk biçimi onu yaratan etkenlere doğrudan bağlıdır. Bu etkenler çoğu zaman depremlerle ilişkilidir. Tsunami dalgası oluşumu jeofizik, jeoloji, sismoloji, geoteknik, dalga mekaniği ve hidrodinamik alanlarında çalışan uzmanları ortak ilgilendiren bir konu olduğundan, geniş kapsamlı bir işbirliğini gerektirir. Deniz tabanındaki bir fayın kırılması yada bir sualtı heyelanı veya göçme gibi kütle hareketlerinin oluşması sırasında deniz ortamına geçen enerjinin oluşturduğu akıntılar ve su düzeyi değişimleri, başlangıç dalgasının özellikleri

üzerinde etkilidirler. Başlangıç dalgası, yakın kıyı veya uzak alan modelleme işlemlerinde başlangıç koşulu olduğundan yer ve biçim olarak doğru tanımlanması gereklidir.

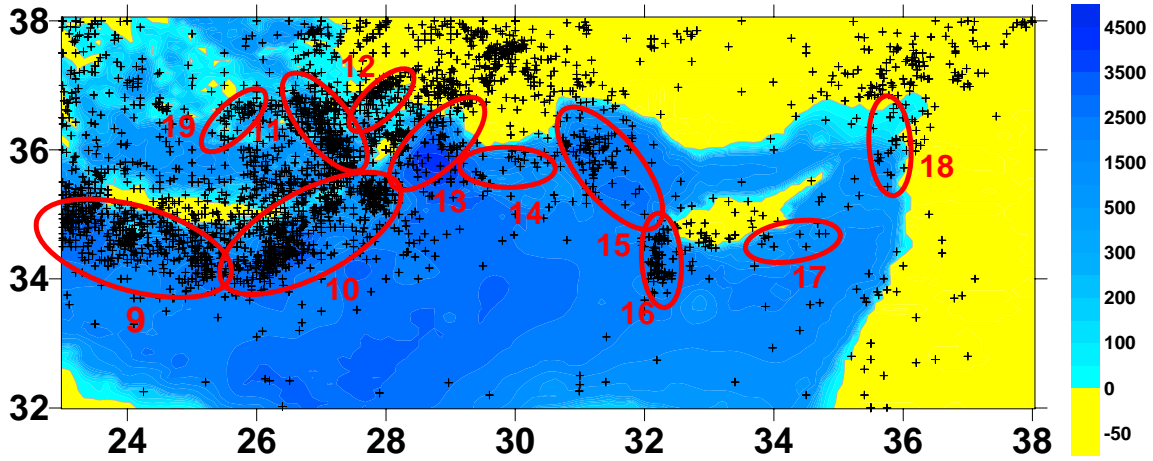
Tarihte yaşanmış ve gelecekte yaşanabilecek olası depreşim dalgalarının oluşabilecekleri yerlerin saptanması için deprem merkezlerini içeren veriler çok önemlidir. Bu çalışma kapsamında Kandilli Rasathanesi, Jeofizik Anabilim Dalı verileri (Çizim 1) kullanılarak, Türkiye batı ve güney kıyılarını doğrudan yada dolaylı olarak etkilemesi olası depreşim dalgalarının tahmin edilen oluşma bölgeleri oluşturulmuştur. Ege Denzinde 8 ayrı alanda yoğunlaşma gösteren bölgeler Kuzey Ege çukuru ile orta Ege çukurlarında gruplaşmalar göstermektedir (Çizim 2). Akdeniz kıyılarını doğrudan yada dolaylı olarak etkilemesi olası depreşim dalgalarının tahmin edilen oluşma bölgeleri ise Helenik yay üzerinde ve Kıbrıs adası çevresinde 10 farklı bölgede yoğunlaşmalar göstermektedir (Çizim 3). Tarihsel tsunami kaynaklarının bu bölgeler içinde oluştuğu kuvvetle muhtemeldir ve gelecekte ortaya çıkabilecek olası depreşim dalgalarının kaynaklarının da yine bu bölgelerde oluşabileceği beklenebilir.

Ege Denzindeki deprem merkezlerinin dağılımları ve olası depreşim dalgası oluşum bölgeleri, Kuzey Ege'de Saros Körfezinden başlayıp güney batıya yönelen ve Kuzey Ege çukurluğunu izleyen fay kuşağı (Bölge 1-4), Midilli adasının batısı (Bölge 6 ve 7), Karaburun yarımadası güney ve batısı, (Bölge 5-8), Santorini, Astypalaea ve Amorgos adaları üçgeni içinde kalan bölge (Bölge 19) ve Rodos adasının kuzeyi (Bölge 11 ve 12) olarak sayılabilir

Akdeniz'de ise, Girit ve Rodos'un Güneyinden Akdeniz'in en derin yerini geçerek Fethiye Körfezine yönelen Girit hendeği yada Helen yayı (Bölge 9, 10, 13) tektonik özellikleri nedeniyle depreşim dalgası oluşturması bakımından en riskli alanların başında gelmektedir. Kaş açıkları (Bölge 14), Kıbrıs hendeği üzerinde Antalya ile Kıbrıs adası arası (Bölge 15), Kıbrıs adasının batısındaki yanall atımlı faylanma bölgesi (Bölge 16), Kıbrıs adasının güneydoğusunda Kıbrıs hendeğinin kuzeydoğu uzantısı (Bölge 17) ve İskenderun Körfezi güneyi (Bölge 18) Akdeniz'deki diğer olası depreşim dalgası oluşum bölgeleri olarak değerlendirilmiştir.



**Çizim 2.** Ege kıyılarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemesi olası depreşim dalgalarının son yüzyıldaki deprem merkezleri kullanılarak tahmin edilen oluşma bölgeleri.



**Çizim 3.** Türkiye'nin Akdeniz kıyılarını doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemesi olası depreşim dalgalarının son yüzyıldaki deprem merkezleri kullanılarak tahmin edilen oluşma bölgeleri.

### Sonuç

Ege ve Akdeniz için olası depremler belirlediğimiz bölgelerde ve bu bölgelerde yer alan muhtemel sismik boşluklarda yer alabilecektir. Bölgede bilinen fayların karakterleri ileride oluşacak depremlerin depreşim dalgası oluşturabilecek nitelikte fay hareketine neden olabileceğini göstermektedir. Ancak oluşacak fayın doğrultu, atım özellikleri, deprem bölgesinde heyelana dönüşebilecek taban eğimi ve zemin malzemesinin bulunup bulunmaması depreşim dalgasının oluşumu için önemli parametrelerdir. Bu veri eksikliklerine rağmen eldeki mevcut jeolojik bilgiler ve jeofizik veriler değerlendirildiğinde, bu bölgelerin hemen hepsinde, ancak öncelikli olarak Güney Ege ve Akdeniz'deki bölgeler içinde, düşey atımlı faylanma beklemek yanlış olmayacaktır.

Sismik kesitlerde Doğu Akdeniz havzası içinde gözlenen onlarca km uzunluğunda geniş heyelan depoları, killi yamaç sistemlerinin Messiniyen sonrası ilerlemeleri sırasında tekrarlı bir biçimde oluşan sualtı heyelanlarının sonucudur. Bölge tektoniğinde önemli yeri olan büyüme faylarının neden olduğu yamaç dikleşmesi, depremler ve gaz göçmeleri bu çökellerin sualtı heyelanları şeklinde kaymalarına ve dolayısıyla depreşim dalgalarının oluşmasına neden olurlar.

Depreşim dalgası hareketinin modellenmesi çalışmalarında, deniz taban hareketine bağlı olarak tanımlanan başlangıç dalgası özellikleri kullanılarak sayısal çözüm yolu ile dalganın denizde ve sığ sularda ve karadaki dalga hareketlerinin hesaplanmasıdır. Çok sığ sularda ve karada tsunami hareketi, su kütlelerinin çok şiddetli akıntılar biçimde davranması olduğundan, başka parametrelerin etkilerini de kapsamakta olup daha karmaşık bir çözüm yolu gerektirir. Değişik nümerik modeller (örneğin AVI NAMI, TUNAMI-N2, TUNAMI-F1 ve TWO LAYER) kullanılarak faylar veya denizaltı heyelanları sonucu depreşim dalgası oluşumu, bu dalgaların uzak alanda yayılması, yakın kıyı hareketleri ve kıyılarda yarattığı düşey ve yatay su düzeyi değişimlerinin hesaplanması güncel çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

## **Kaynaklar**

- Altınok, Y., Ersoy, Ş. 2000. Tsunamis observed on and near Turkish coasts. *Natural Hazards*, 21, 185-205.
- Altınok, Y., Yalçiner, A.C., Alpar, B., Ersoy, Ş., 2000. Tarihsel veriler ışığında Marmara Denizinde depreşim dalgaları (tsunamiler). III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Çanakkale, Cilt 1, 33-44.
- Altınok, Y., Alpar, B., Yalıtırak, C., 2003. Şarköy-Mürefte 1912 earthquake's tsunami, extension of the associated faulting in the Marmara Sea. *Turkey, Journal of Seismology*, 7(3), 329-346.
- Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N., Gazioğlu, C., 2005. 1881 and 1949 Earthquakes at the Chios-Cesme Strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 717-725.
- Ambraseys, N.N., 1962. Data for the investigation of seismic sea waves in the eastern Mediterranean. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 52(4), 895-913.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J. A. 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International-Oxford*, 133, 390-406.
- Ambraseys, N.N. 2002. Seismic sea-waves in the Marmara Sea region during the last 20 centuries. *Journal of Seismology*, 6, 571-578.
- Barka, A., Reilinger, R., 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali di Geofisica*, 40(3), 587-609.
- Ergün, M., Oral, E.Z., 2000. Doğu Akdeniz'in genel tektonik elementleri ve etkileri. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (Bad-Sem 2000), 24-27 Mayıs 2000, İzmir. *Bildiriler*, 20-29.
- Hébert, H., Schindelé, F., Altınok, Y., Alpar, B., Gazioğlu, C., 2005. Tsunami hazard in the Marmara Sea (Turkey): a numerical approach to discuss active faulting and impact on the Istanbul coastal areas. *Marine Geology*, 215, 23-43.
- Kelling, G., Gökçen, S.L. Floyd, P.A., Gökçen, N., 1987. Neogene tectonics and plate convergence in the eastern Mediterranean: New data from southern Turkey. *Geology*, 15, 425-429.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış. İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1259, 591s.
- Le Pichon, X., Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and trench system: a key to the tectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.

Ranguelov, B., 1996. Earthquakes and tsunami hazards in the Black Sea. Abstract of the Congress of the Balkan Geophysical Society, September 23-27 1996, Athens, 44-45.

Soysal, H. (1985). Tsunami (deniz taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler. İ.Ü., Deniz. Bilimleri Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 2, 59-67.

Yalçiner, A.C., Alpar, B., Özbay, İ., Altınok, Y., Imamura, F. 2001. Tsunami generation and coastal amplification in the Sea of Marmara. NATO Advanced Research Workshop, Book of Abstracts, Istanbul, pp. 138-146.

Yalçiner, A.C., Alpar, B., Altınok, Y., Özbay, İ., Imamura, F. 2002. Tsunamis in the Sea of Marmara: Historical documents for the past, models for the future. Marine Geology, 190, 445-463.

Yalçiner, A.C., Pelinovski, E., Talipova, T., Kurkin, A., Kozelkov, A., Zaitsev, A. (2004). Tsunamis in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental, and numerical data. Journal of Geophysical Research-Oceans, 109 (C12): Art. No. C12023.