

MARMARA DENİZİNDE POTANSİYEL HEYELAN ALANLARI VE BUNLARA İLİŞKİN DEPREŞİM DALGASI (TSUNAMİ) OLUŞUM VE HAREKETLERİ

Bedri ALPAR¹ Ahmet Cevdet YALÇINER² İlknur ÖZBAY²

¹ İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 34470, Vefa İstanbul

² ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531, Ankara

ÖZET

Uzun dönemli dalgalar sınıfında yer alan depreşim dalgaları (tsunamiler), Türkiye çevresi denizlerde de tarih içinde oluşmuşlardır. Son yıllarda dünyanın çeşitli yerlerindeki tsunami olaylarında yerinde yapılan incelemeler ve deniz araştırmaları, deprem sırasında deniz tabanındaki fay kırılmalarından başka, sualtı heyelanları, göçmeler, çökmeler gibi kütle hareketlerinin de depreşim dalgasının oluşumunda önemli rol oynadığı ortaya çıkmıştır. Bu durumda, deniz tabanındaki yamaçların denge durumları ve potansiyel kayma ya da göçme olasılıklarının değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Marmara Denizi içinde gerçekleştirilen çeşitli deniz araştırmalarının sonuçları heyelan ya da göçme izleri değerlendirilerek incelenmiş, elde edilen sonuçlar anlatılmış, olası heyelan alanları olarak tanımlanan iki bölge için iki ayrı depreşim dalgası oluşumu ve hareketi modellenmiş, kıyılardaki dalga tırmanma yükseklikleri bulunarak sunulmuştur

1. GİRİŞ

Deniz taban deformasyonu, çökmeler, oturmalar, zemin kaymaları, göçmeler, volkanik hareketler, meteor çarpmaları gibi etkilerin bir ya da birkaçı ile denizin herhangi bir bölgesinde yerel olarak oluşan depreşim nedeniyle ortaya çıkan dalgalar, Japonca'da tsunami olarak adlandırılmaktadır. Tsunami sözcüğü tsu (liman) ve nami (dalga) sözcüklerinin birleşiminden oluşarak, "liman dalgası" anlamında kullanılmaktadır. Bunun nedeni, zayıf bir tsunaminin bile kıyılarda ve sığ sularda şiddetli akıntılar oluşturması ve özellikle limanlarda hasara yol açmasıdır (Yalçiner ve diğerleri, 2000a).

Bu tür dalgalara Türkçemizde ilk kez "deniz taşması" biçiminde tanım Soysal (1985) ile getirilmiştir. Ancak bu tanım, gerek dalga hareketini tam temsil etmediğinden, gerekse

ülkemizde yakın geçmişte yaşanmış bir örneği olmadığından yaygın kullanım şansı bulamamış, bunun yerine “tsunami” sözcüğü kullanılır kalmıştır. Yukarıdaki tanım değerlendirilerek, denizin herhangi bir bölgesinde yerel olarak oluşan depreşim nedeniyle ortaya çıkan dalgalar için, “depreşim dalgaları” tanımlaması Yalçiner ve diğerleri (2000) de verilmiştir.

Marmara depremlerinden birinci derecede sorumlu olan Kuzey Anadolu fayı (KAF) kuzey kolunu bünyesinde bulunduran İzmit Körfezi ve Marmara Denizi, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında, oluşan depreşim dalgasına da güncellik kazandırmıştır.

Kocaeli depremi İzmit'in 11 km güneydoğusunda (40.7°N, 29.9°E) meydana gelmiştir. Bu bölge, 1939 Erzincan depreminden bu yana büyüklüğü 6.5 üzerinde olan depremlerin gerilimi 1-2 bar artırdığı yere karşılık gelmektedir (Stein ve diğ. 2000, Parsons ve diğ., 2000). Marmara Denizinde önümüzdeki 30 yıl içinde yüksek şiddette deprem olma olasılığı %63 olarak hesaplanmaktadır (Paersons ve diğ., 2000). Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü çözümlerine göre bu depremin moment büyüklüğü $M_w=7.4$, yüzey dalgası büyüklüğü $M_s=7.8$ olup, odak derinliği 17 km dir. Değişik çalışma gruplarının makrosismik gözlemlerine göre en büyük ötelenme 5 m kadardır. Yırtılma alanının uzunluğu denizel alan dışında 120 km kadardır. Sığ sismik çalışmalarda fayın körfez içindeki uzanımı Tuzla açıklarına kadar takip edilebildiğinden (Alpar ve diğ., 1999) yırtılma alanının 170 km olduğu söylenebilir. Depremde yenilen bu fayların yırtılma sahasında yarattığı gerilmelerin karmaşık dağılımı, depremi takip eden artçı sarsıntılarının (Çizim 1) ya ana fay parçaları üzerine yada gerilmenin en çok arttığı kırık ucu bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur (Özel ve diğ., 2000). Çınarcık 1963 depremi kırığı boyunca ise gerilme gölgesi etkisiyle artçı şok oluşmamıştır.

2. İZMİT KÖRFEZİ 1999 DEPREŞİM DALGASI

Deprem sonrası özellikle İzmit Körfezi ve Doğu Marmara'da değişik kurum (MTA, SHOD) ve üniversitelere (Dokuz Eylül, İstanbul) ait araştırma gemileri (Sismik-1, TCG Çubuklu, Koca Piri Reis, Arar) tarafından hızla denizel çalışmalar yürütülmüş ve bilinenlerin dışında bazı detaylı morfolojik ve yapısal özellikler de belirlenmiştir.

Bu depremde depreşim dalgası hareketlerinin oluşmadığı biçiminde görüşler de ortaya atılmıştır. Bu görüşlerdeki dayanaklardan bazıları, bölgenin sığ ve kapalı basen olması ve Pasifik gibi okyanus özellikleri göstermemesi, dalganın çok uzun kıyı şeridinde etkili olması gerektiği biçimindedir. Ancak, bilimsel kaynaklar incelendiğinde, en yakın örnekler olarak 1994 Skagway, Alaska tsunamisi ve 1998 Papua Yeni Gine tsunamisi İzmit körfezi tsunamisi ile benzerlikler göstermektedir. Şöyle ki; Skagway Fiyordu, yaklaşık olarak İzmit körfezi büyüklüğünde ve derinliğindedir. Kasım 1994'te fiyordun doğu kıyısının deniz tabanındaki eteklerinde başlayan heyelan, 400 m. lik kıyı bandının ve rıhtımın çökmesine neden olmuş, ve depreşim dalgası yaratmıştır (Plafker, 2000). Temmuz 1998'de Papua Yeni Gine'de Sissano köyü açıklarında 10 dakika ara ile meydana gelen yaklaşık 7.5 şiddetindeki iki depremle depreşim dalgası oluşmuştur. Oluşan dalga sadece 25 km. uzunluğundaki kıyı boyunca etkili olmuş ve bölge içinde yer alan kıyıda Sissano köyünde 2000 kişinin ölümüne neden olmuştur (Kawata ve diğ. 1999). Bu dalga, İzmit körfezinde sadece şiddet olarak farklı olup, kıyıya ulaşma biçimi, etkili olduğu kıyı şeridi uzunluğu ve davranışları ile benzeştir. İzmit Körfezindeki depreşim dalgası ise,

körfezin Tütünciftlik ve Hereke arasında bulunan kuzeydeki 18 km. lik kıyı çizgisinde belirgin olarak etkili olmuş ve 2.6 m. dalga tırmanması yaratmıştır.

Depreşim dalgası, İzmit Körfezi ve Marmara gibi kapalı basenlerde de oluşabilir ve kıyılardaki yansıma özelliklerine göre de özellikle şiddetli akıntılar yaratarak etkisi artabilir. Her ne kadar doğrultu atımlı faylar genel olarak depreşim dalgasına neden olamayacak ise de, bu tür fayların başladığı ve bittiği yerlerde ve eğri yaptığı bölgelerde dalga oluşumunu gerektiren zemin hareketleri gerçekleşir. Deprem sırasında körfezin güney sahili boyunca uzanan ana fayın Hersek deltasının doğusunda birbirine eşelon konumda oluşturduğu normal faylar ve bunlara bağlı sualtı heyelanları, İzmit Körfezinin orta baseninde depreşim dalgasının oluşmasına ve Tütünciftlik ile Hereke arasındaki kuzey kıyılara ulaşmasına neden olmuştur (Alpar, 1999).

Gölcük'teki deprem merkez üstüne 300-400 km uzaktaki kuyularda depremden yaklaşık 1.5 gün önceden başlayan ve birkaç dakika önceye kadar devam eden ani kuyu suyu düşmeleri (Yaltırak ve diğ., 2000b), depremden günler önce körfez kıyılarında gözlenen ve gemi dalgaları sanılan dalgalar, yine depremden hemen önce denizin çekilmesi (bir anlamda ani alçalması) depreşim dalgaları ve su düzeyi değişikliklerinin depremin habercisi nitelikler gösterebileceğinin de kanıtı durumundadır.

İzmit Körfezinde yaşanan son olay (Altınok, 1999; Altınok ve diğ., 1999; Yalçiner, 1999; Yalçiner ve diğ., 1999, Yalçiner, Altınok, Synolakis, 2000b) ve geçmişte Marmara kıyılarında olduğu (son bin yılda en az 10 kez, M.S. 120 den beri 30 kez) saptanan depreşim dalgaları (Soysal, 1985; Kuran ve Yalçiner, 1993; Altınok ve Ersoy, 1998) gelecekte de Marmara Denizi içinde yeteri büyüklükte bir deprem olması durumunda tekrar oluşacağına önemli bir göstergesidir.

3. SİSMİK ÇALIŞMALAR

Kocaeli 1999 depremi sonucu oluşan kırık ve karadaki fayların uzantılarına bakarak depremden sonraki ilk ay içinde İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, R/V Arar gemisi tarafından İzmit Körfezinde, Çınarcık çukurunda ve İstanbul şelfinde yüksek-çözünürlü tek-kanal sayısal sismik yansıma çalışması yapılmıştır. Enerji kaynağı, 30 elektrotlu 1.25 kJ sparker, alıcı ise 11 hidrofona 10 metre uzunluğundaki streamer'dır. Sismik atışlar 2 saniye aralıkla yapılmıştır. Sismik veriler kayıtla eş zamanlı gözlenebildiğinden, fay veya heyelan gibi jeolojik olayların dağılımı etüt sırasında kolaylıkla ve yüksek çözünürlükte takip edilebilmektedir. Kaynak dalga frekansına ve gemi hızına bağlı olarak, 1 metre düşey ve 4.1 metre yanal çözünürlük elde edilmiştir. Deniz tabanının altındaki ortalama 100-150 m derinliklerdeki çökellerin ve diğer tektonik elemanların detaylı bir şekilde görüntüleri elde edilebilmiştir (Alpar, 1999).

Çalışmada ayrıca diğer bazı güncel çalışmalarda (Okay ve diğ., 2000; Siyako ve diğ., 2000) yayınlanan orta-derin sismik kayıtlar da gözden geçirilmiş ve yeniden yorumlanmıştır. Yorumlanan sismik hatlardan yapısal bir blok diyagram (Çizim 2) üretilerek deniz dibi yapısal unsurları belirlenmiştir.

4. DENİZ DİBİ YAPISAL UNSURLARI

4.1. İzmit Körfezi

Armutlu sırtı (1105 m) kuzeyindeki güney yakası ile kıyıları doğuya doğru dikleşen kuzey yakası (650 m) arasında, en derin yeri Ulaşlı açıklarında 204 metre olan haliç görünümlü İzmit Körfezinin genişliği 1800 m (Tütünciftlik-Gölcük) ile 9800 m (Hereke- Karamürsel) arasında değişmektedir. En doğudaki sığ İzmit çukurundan ayrı olarak, biri Hersek burnunun batısında, diğeri ise doğusunda fay kontrollü iki derin deniz çukurundan oluşmaktadır. Güney kesimi kuzeyine göre daha eğimlidir. Çınarcık çukuru ise Marmara Denizinin en büyük havzasıdır.

1999 Kocaeli depreminde kırılan fay, İzmit Körfezine doğu ucundan (Başiskele) girmekte, Kavaklı önünden geçerek Gölcük'e uzanmaktadır. Fay Gölcük'te karaya çıkarak 5.3 metrelik bir ötelenme yaratarak ve batıya devam etmiştir. Güney sahili boyunca uzanan ana fayın Hersek deltasının doğusunda kuzeybatıya dönmesinin oluşturduğu gevşeyen büklüm birbirine eşelon konumda olan normal fayların gelişmesine neden olmuştur (Çizim 3). Hersek Deltasının batısındaki deprem sonrası alınan sismik kesitlerin yorumuna göre Hersek Deltası üzerinde yüzey kırığı gözlenmemesine rağmen Kocaeli 1999 depremi kırığının deltanın altından geçerek Çınarcık Çukurunda sonlandığı iddiası (Alpar ve diğ., 1999), gerek deltanın güneyindeki Marmara formasyonuna ait denizel depoların denizden 15 m kadar yüksekte bulunması, gerekse Wright ve diğ. (1999)'nin interferometry sonuçlarına göre kesinlik kazanmıştır. Fayın Hersek deltasında mostra vermemesi 0.6-1 m civarındaki yanal atımın delta killlerinde yırtılma yaratmamasıdır (Alpar ve Yalıtırak, 2000). Hersek deltasının da batısında yine kuzeye bükülen kesimde KB-GD uzanımlı ana faya 45 derece oblik kısa ve birbirine paralel faylar vardır. Bu bükülmenin güneyinde Hersek deltasının hemen batısındaki sismik kesitlerde ise eğimleri 20-30° arasında olan normal faylar vardır. Sığ sismik kesitlerde görüldüğü gibi, Darıca önüne kadar izlenen fay Çınarcık çukurunun çamurlu çökelleri içinde kaybolmaktadır.

4.2. Marmara Denizi

Marmara Denizinin morfolojisi ve tektoniği incelendiğinde, KAF boyunca uzanan ve derinlikleri 1100 metreden daha fazla olan üç büyük denizaltı depresyonu gözlenir. Şelf bölgelerinden aşağı dik kıta yamaçları ile inilen bu çukurlar birbirlerinden çevrelerine göre birkaç yüz metre daha yüksek olan eşikler ile ayrılmaktadır. Marmara Denizi çevresindeki depremlerden birinci derecede sorumlu olan KAF'ın ilk kestiği depresyon alanı İstanbul'un güneyinde yer alan ve 17 Ağustos Kocaeli Depremi ile ilgi odağı haline gelen Çınarcık Çukurudur.

Çekmece güneyinden Tuzla Burnuna kadar BKB-DGD doğrultusu ile uzanan kama görünümlü Çınarcık Çukuru, KAF'nın yaklaşık K45B yönlü Trakya-Eskişehir fayını (TEF) kesmesi sonucu oluşan ötelenmenin etkisiyle açılmıştır (Yalıtırak ve diğ., 2000a; Alpar ve Yalıtırak, 2000). Çınarcık Çukuru oldukça düz görünümlüdür, derinlikler 1150 ile 1270 metre arasında değişmektedir, en fazla derinlik ise 1289 metre ile basenin doğusundadır. Orta derin sismik kesitlere göre ise, havza içindeki derinlik trendi 0.2° ortalama eğim ile (3.5 m/km) batıya doğru yükselmektedir (Okay ve diğ., 2000). Sismik kesitlere göre, İzmit Körfezini gevşeyen büklümler yaparak aşan KAF kuzey kolu, Çınarcık Çukurunun güney kenarını takip etmekte ve kuzeye doğru hafif bir büklüm yaparak orta Marmara sırtının

üzerinden batıya uzanmaktadır (Çizim 2). Çınarcık çukurunun kuzey sınırını oluşturan fay ise kıta yamacı ile bütünleşik olarak güneye eğimli ve düşey atımlıdır. Çınarcık Çukurunun kıta yamaçları oldukça diktir; kuzeyde ortalama 17° , güneyde ise $7-10^\circ$. Yamaçların etek taraflarında eğimler en yüksek ($35-45^\circ$) olmaktadır. Kuzey kıta yamacının tabanında daha belirgin ve gelişmiş olmak kaydıyla, yamaç eteklerinde denizaltı heyelanları ile taşınan malzeme kümeleri yer almaktadır (Çizim 2, 5). Fiziksel özellikleri verilen bu yamaçlarla bütünleşik olan ve üzerlerinde artçı depremlerin olduğu kuzey ve güney sınır fayları (Okay ve diğ., 2000) aslında Anadolu levhasının batıya kaçıışı ile deforme olan dekolmanlardır (Alpar ve Yalıtırak, 2000). Bunlar, ortalarındaki ana fay ile derinde ortaderin sismik erişim limitleri dışında birleşmektedir. KAF kuzey kolu çalıştığında, ana faya bağlı bu dekolmanlar aktive olmakta, kıta yamaçları üzerinde göçmeler (slump) oluşmaktadır.

Sığ ve orta-derin sismik kesitlerde açıkça gözlenen bu göçmelerin yanal değişimleri Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından 2000 yılı içinde alınan multi-beam derinlik haritasında (Demirbağ, 2000; Ecevitoglu, 2000) gözlenebilmektedir (Çizim 5). Özellikle kıta yamaçları dibinde yer alan birikintilerin oldukça iyi görüntü vermelerine karşılık, derinliğin hızlı değiştiği yerlerde göçme yapıları yeterince belirgin değildir. Ancak, bu tür göçmelerin derinliğin hızlı değiştiği dengesiz sedimanlar bulunan yamaçlarda olması olasılığı göz ardı edilmemelidir.

Gerek sismik kesitlerde ve gerekse multi-beam haritasında gözlenen bu olaylar potansiyel heyelan alanlarının göstergesidir. Sediment kor örneklerine göre Marmara Denizinde ortalama sedimantasyon hızı şelf bölgelerinde 40, yükselimlerde 10 ve çukurluklarda 100-200 cm/ka verilmektedir (Çağatay ve diğ., 2000). Bu farklılığın nedeni dik kıta yamaçlarında oluşan sualtı heyelanlarının çukurlardaki yumuşak çamurlu çökellerin depolanma hızını artırmasıdır. Özellikle depremler sırasında geometrik olarak KAF kuzey koluna bağlı ve kıta yamaçlarının morfolojileri ile bütünleşik olan dekolmanlar harekete geçmekte ve kıta yamaçları üzerinde göçmeler oluşturmaktadır. Bu tür sualtı heyelanlarının yarattığı dalga hareketlerinin hidromekanik karakteristiklerinin araştırılması, Marmara kıyılarının depreşim dalgası tehdidinin tanımlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bilimsel kaynaklarda Marmara Denizinin yapısal çatısı hakkında en az 15 değişik model yer almaktadır. Bu modellerdeki normal veya oblik fayların bir kısmı (Çizim 2-3) depreşim dalgası hareketleri için yeterli büyüklükte deprem oluşturabilecek kapasitededir. Buna ek olarak, Marmara denizindeki çukurlukların çevresindeki dik yamaçlardaki çeşitli heyelan olasılığı tahmin edilen bölgeler, depreşim dalgası için potansiyel kaynak alanlar olarak değerlendirilmelidir. Çizim 6. da, Marmara Denizinin doğu bölümü ve Çınarcık çukurluğu çevresinde tesbit edilen olası heyelan alanları gösterilmektedir.

Marmara Denizinin tektonik çatısı ve potansiyel heyelan alanları dikkate alınarak, depreşim dalgası oluşum ve hareketleri incelenebilir. Sonraki bölümde, iki ayrı uygulama verilmiştir.

5. MODEL VE UYGULAMA

Yakın zamana kadar uzun dönemli dalgaların hareketlerini tanımlayan denklemlerin, deniz tabanı ve kıyı özellikleri gibi çeşitli sınır koşullarında sayısal yollarla çözümleri için başlangıç koşulları olarak depreşim dalgasına benzeyen su düzeyi seçilmekte idi (Yalçiner ve diğ., 1995). Ancak, deniz taban hareketinin, fay kırılmasının ya da heyelan, göçme gibi olayların oluşması sırasında deniz ortamına geçen enerjinin oluşturduğu akıntılar ve su düzeyi değişimleri, başlangıç dalgasının özelliklerine etki edebilmektedir. Bu durumda, deniz taban hareketinin de kuramsal ve sayısal yaklaşım içinde yer alması önem kazanmıştır. Bu amaç için Japonya Tohoku Üniversitesi Afet kontrol Araştırma Merkezinde geliştirilen kuramsal ve sayısal çalışma ile sonucunda yeni bir bilgisayar modeli hazırlanmıştır (Imamura ve Imteaz, 1995). TWO-LAYER isimli bu yeni model ODTU İnşaat Mühendisliği Bölümü Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından kullanılmaya başlanmıştır (Özbay, 2000). Bu model, öncelikle çeşitli deniz ve kıyı şartları, fay kırılmaları ve heyelan durumlarına göre çeşitli testlerden geçirilmiş, geliştirilmiş ve ilk olarak bu çalışmada Marmara Denizi için iki ayrı uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda, 26.2277°E ile 29.96°E boylamları ve 40.2416°N ile 41.18°N enlemleri arasında kalan ve Marmara Denzini kapsayan bölge, yatay ve dikey doğrultularda 300 m. aralıklı olarak elde edilen noktalardaki su derinlikleri kullanılmıştır. Bu alan içinde iki ayrı sualtı heyelanı senaryosu uygulanmıştır.

Birinci uygulamada İstanbul Yenikapı'nın güneyinde, 28.70°E 40.92°N koordinatlarına rastlayan 400 m. su derinliği olan bölgede Doğu Batı doğrultusunda 10 km uzunluğunda, Kuzey Güney doğrultusunda ise 1.8 km uzunluğundaki yamacın ortalama 6 m. kalınlığındaki kısmının su altı heyelanı olarak hareket etmesi ve güneye doğru akarak (kuzey güney doğrultusunda) 3.6 km uzunluğundaki (yaklaşık 900 m. derinlikteki) alana ortalama 3 m.lik katman olarak yayılması modellenmiştir (Çizim 6). Heyelan boyutları ve biçimi, kayan malzemenin fiziksel özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Örnek olarak düşünülen bu birinci senaryo deniz taban malzemesinin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler elde edildiğinde yeniden değerlendirilebilir.

İkinci uygulamada Silivri'nin güneyinde, 28.90°E 40.94°N koordinatlarına rastlayan 500 m. su derinliği olan bölgede Doğu Batı doğrultusunda 10 km uzunluğunda, Kuzey Güney doğrultusunda ise 2 km uzunluğundaki yamacın ortalama 6 m. kalınlığındaki kısmının sualtı heyelanı olarak hareket etmesi ve güneye doğru akarak (kuzey güney doğrultusunda) 4 km uzunluğundaki (yaklaşık 1000 m. derinlikteki) alana ortalama 3 m.lik katman olarak yayılması modellenmiştir (Çizim 7). Örnek olarak düşünülen bu ikinci senaryo deniz taban malzemesinin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler elde edildiğinde yeniden değerlendirilebilir.

Her iki senaryo, yukarıda tanımlanan düzenler uyarınca yeni bilgisayar modeline (TWO-LAYER) girdi olarak verilmiş, depreşim dalgasının oluşumu, 90 dakika süre içindeki hareketi, kıyılarına erişme zamanları, ve kıyılarındaki tırmanma yükseklikleri bulunmuştur. Çizim 6 ve 7'de depreşim dalgasının her iki senaryo için Marmara denizinin kuzey ve güney kıyılarındaki tırmanma yükseklikleri dağılımı ve deniz içinde erişilen en yüksek su düzeyleri dağılımları ayrı ayrı verilmektedir.

Birinci senaryoda, dalğanın kuzey kıyılarına (Yenikapı) erişme zamanı 5 dakika, Güney kıyılarına (Armutlu Yarımadası) erişme zamanı ise 10 dakika olduğu saptanmıştır. Bu

senaryoda, dalganın kıyılardaki tırmanma yükseklikleri, Kuzey kıyılarda 8 km. den uzun kıyı şeridinde 3 m.'yi, Güneyde ise Armutlu yarımadasının kuzey kıyılarında 2.5 m, yi geçmektedir (Çizim 6.).

İkinci senaryoda, dalganın kuzey kıyılara (Silivri ile Marmara Ereğlisi arası) erişme zamanı 5 dakika, Güney kıyılara (Kapıdağ Yarımadası) erişme zamanı ise 12 dakika olduğu saptanmıştır. Bu senaryoda, dalganın kıyılardaki tırmanma yükseklikleri, Kuzey kıyılarda 12 km. den uzun kıyı şeridinde 3 m.'yi, Güneyde ise Kapıdağ yarımadasının kuzey kıyılarında 2.5 m, yi geçmektedir (Çizim 7.).

Çizim 6 ve 7'nin ortasında yer alan Marmara Denizi haritası üzerinde, koyu renkle gösterilen alanlar, depreşim dalgası hareketi sırasında su düzeyindeki yükselmelerinin 2 m. yi aştığı yerlerdir. Bu bölgelerin özellikle 20 m. su derinliğinden daha sığ olan kısımlarında depreşim dalgasının etkili olması beklenebilir.

Depreşim Dalgasının tırmanma yüksekliğinin 2 m. yi geçmesi durumunda küçük tekne barınaklarında çok şiddetli akıntılar nedeniyle hasarlar ve önemli düzeyde mal kaybı beklenmelidir. Japonya'da elde edilen deneyimler ve gözlenen örnekler değerlendirildiğinde, tırmanma yüksekliğinin 2.5 m. yi geçtiği yerlerde mal kayıplarının artması ve ek olarak can kayıpları da olmaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Marmara Denizi içinde gerçekleştirilen çeşitli deniz araştırmalarının sonuçları denizaltı heyelanları ya da göçme izleri değerlendirilerek incelenmiş, elde edilen sonuçlar, olası heyelan alanları da düşünülerek değerlendirilmiştir. Marmara Denizi içinde her hangi bir bölgede meydana gelebilecek heyelan durumuna göre depreşim dalgası oluşumu ve hareketi için iki ayrı senaryo, bilgisayar modeli (TWO LAYER) kullanılarak olarak irdelenmiştir. Bu çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi İzmit körfezinde depreşim dalgası yaratmıştır. Bu dalga özellikle orta basende belirgin olarak hareket etmiş, Kuzey kıyılarda Tütünçiftlik ile Hereke arasında, Güney kıyılarda ise Değirmendere ile Karamürsel arasında etkili olmuştur.
2. Marmara Denizinin Doğu bölümündeki, sığ ve orta-derin sismik kesitlerde açıkça gözlemlendiği üzere çeşitli sualtı göçmelerinin izleri vardır. Özellikle kıta yamaçları dibinde yer alan birikintiler belirgin görüntü vermektedir. Derinliğin hızlı değiştiği yerlerde göçme yapıları multibeam verilerinde yeterince belirgin olmamasına karşın, sismik verilerde belirgin durumdadır. Bu tür sualtı göçmelerinin gelecekte de gerçekleşme olasılığı göz ardı edilmemelidir.
3. Marmara Denizi tabanında bulunan üç ayrı derin baseni (Çınarcık, Marmara Ereğlisi ve Tekirdağ basenleri) çevreleyen yamaçlarda heyelan olması ve buna bağlı depreşim dalgası oluşması durumu göz ardı edilmemelidir.
4. Deniz altında ortaya çıkan heyelan ile oluşan depreşim dalgasının kıyılardaki etkileri, dalgayı oluşturan mekanizmanın büyüklüğü ve niteliği, kıyılardaki deniz taban topoğrafyası ve kıyı alanındaki kara topoğrafyasının biçimi, kıyılarda bulunan yapıların önemi ve özellikleri ile doğru orantılıdır. Marmara denizinde depreşim dalgası oluşması durumunda, bu dalga 5 dakika içinde kuzey kıyılara ulaşabilecektir. Dalganın

etki biçimi, sığ sularda şiddetli akıntılar, özellikle küçük tekne barınaklarında akıntılar ve su düzeyi değişimleri olarak görülecektir. Bu etkiler, yoğun olarak yapılaşmış ve yüksek düzeyde nüfus tarafından kullanılan Marmara kıyıları için önem verilmesi gereken tehlikeler arasında düşünülmelidir.

5. Bu çalışma, depreşim dalgasının Marmara denizinde sadece heyelan kaynaklı depreşim nedeniyle oluşması durumunu (iki ayrı senaryo düşünülerek) incelemektedir. Bu iki senaryo uyarınca, depreşim dalgası kuzey kıyılara 5 dakikada, Güney kıyılara ise 10 dakikada ulaşabilecektir.
6. Ayrıntılı deniz araştırmaları kullanılarak, başka senaryoların da saptanması ve denenmesi, faylanma ile dalga oluşumu da düşünülerek senaryolar değerlendirilmesi daha ayrıntılı sonuçlara ulaşmamıza yardımcı olacaktır

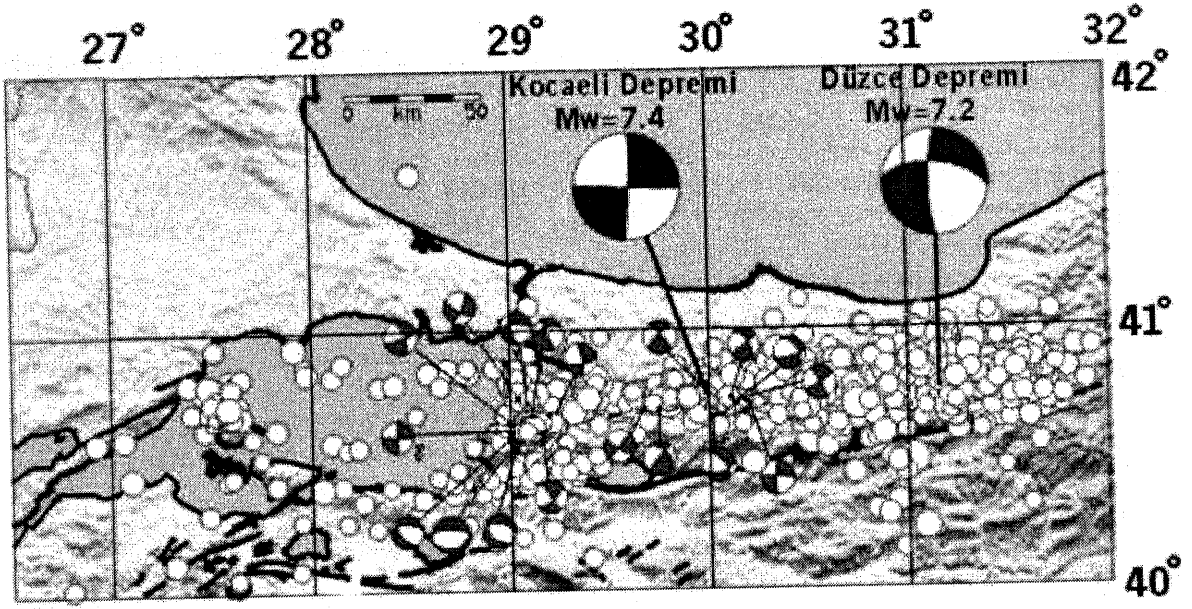
KATKI BELİRTME

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, TÜBİTAK-INTAG-827 Proje ve Tohoku Üniversitesi Afet Kontrol Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar Prof. Dr. Fumihiko Imamura'ya model çalışmalarına olan katkılarından dolayı teşekkür ederler.

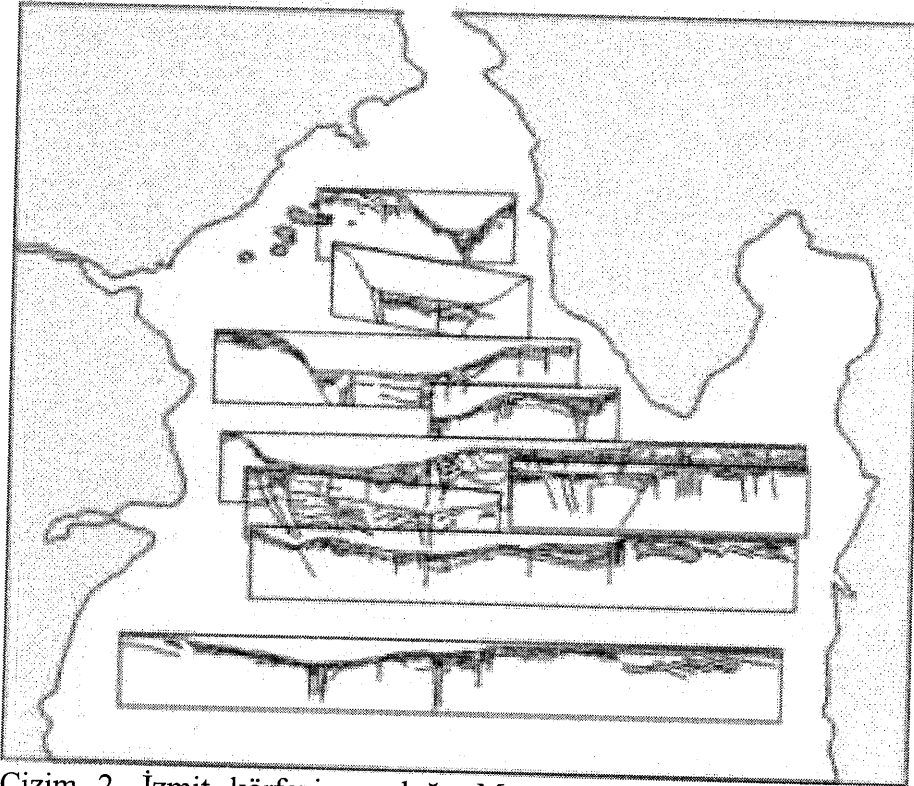
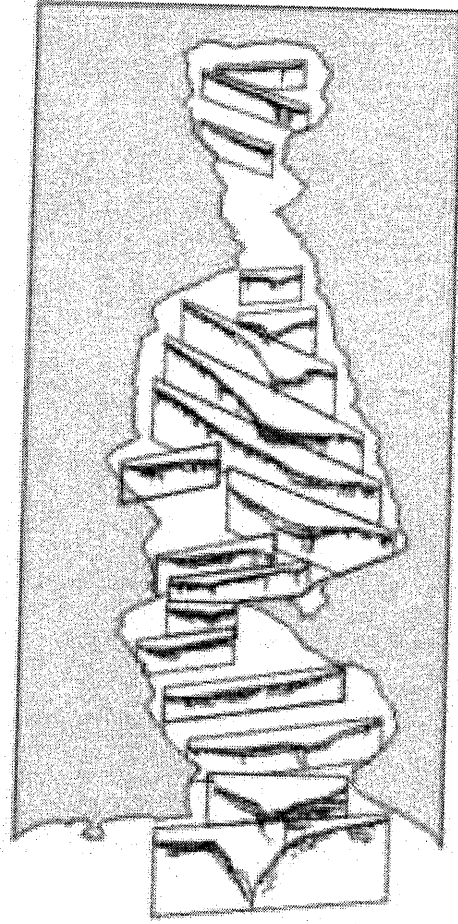
KAYNAKLAR

- ALPAR, B., (1999), Underwater signatures of the Kocaeli Earthquake (August 17th 1999), *Turkish Journal of Marine Sciences*, 5(3):111-130.
- ALPAR, B., YALTIRAK, C., AKKARGAN, Ş., (1999), Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 17 Ağustos 1999 Depreminin İzmit Körfezi ve Marmara Çıkışı genç çökelleri üzerindeki etkileri, Aktif Tektonik Araştırma Grubu Üçüncü Toplantısı, Bildiri Özetleri Kitapçığı, s.9, 4-5 Kasım 1999, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- ALPAR, B., YALTIRAK, C., (2000), Tectonic Setting of the Eastern Marmara Sea, NATO Advanced Research Seminar, Integration of Earth Sciences Research on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research, 14-16 Mayıs 2000, Abstracts, pp. 9-10, Istanbul, Turkey.
- ALTINOK, Y., ERSOY, Ş., (1998), Tsunamis observed at Turkish coasts and near surroundings, 7th International Symposium on Natural and Man-Made Hazards, Hazards 98, May 12-22, 1998, Crete, Greece.
- ALTINOK, Y., (1999), Körfezde tsunami oldu ve can aldı, Cumhuriyet Bilim Teknik, Sayı: 660: 14-15.
- ALTINOK, Y., ALPAR, B., ERSOY, Ş., YALÇINER, A.C., (1999), Tsunami Generation of the Kocaeli Earthquake (August 17th 1999) in the İzmit Bay: coastal observations, bathymetry and seismic data, *Turkish Journal of Marine Sciences*, 5(3): 131-148.
- ALTINOK, Y., ALPAR, B., ERSOY, Ş., YALÇINER, A.C., (2000), Tarihsel Veriler Işığında Marmara'da enizinde Depreşim Dalgaları (Tsunamiler), 3. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 5-7- Ekim, 2000, Çanakkale (baskıda)
- ÇAĞATAY, M.N., GÖRÜR, N., ALGAN, O., EASOE, C., TCHAPALYGA, A., ONGAN, D., KUHN, T., KUŞÇU, İ., (2000), Late-Glacial-Holocene palaeoceanography of the Sea of Marmara: timing of connections with the Mediterranean and the Black Seas, *Marine Geology*, 167: 191-206.
- DEMİRBAĞ, E., (2000), Multi-channel seismic and multi-beam acoustic surveys in the Marmara Sea for exploration of active faults: a review of the methods and results, Nato Advanced Research Seminar, Integration of Earth Sciences on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research, Abstracts, 14-17 May 2000, Istanbul, 62-63.
- ECEVİTOĞLU, B., (2000), Marmara deniziçi jeofizik görüntüleri, Marmara'da Deprem ve Jeofizik Toplantısı Bildiri Kitabı, 28 Haziran 2000, Istanbul, pp. 20-23.
- İMAMURA, F., İMTEAZ, M. A., (1995), Long Waves in Two Layer, Governing Equations and Numerical Model, *Journal of Science of Tsunami Hazards*, Vol.13, No.1, pp.3-24
- KAWATA, Y., BORRERO, J, WILLIAMS, P, LETZ, J. N., Tsunami in Papua New Guinea, Was an Intense as First Thought", *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, Vol: 80, No: 9, March, 2, 1999, pages: 101, 104-105.

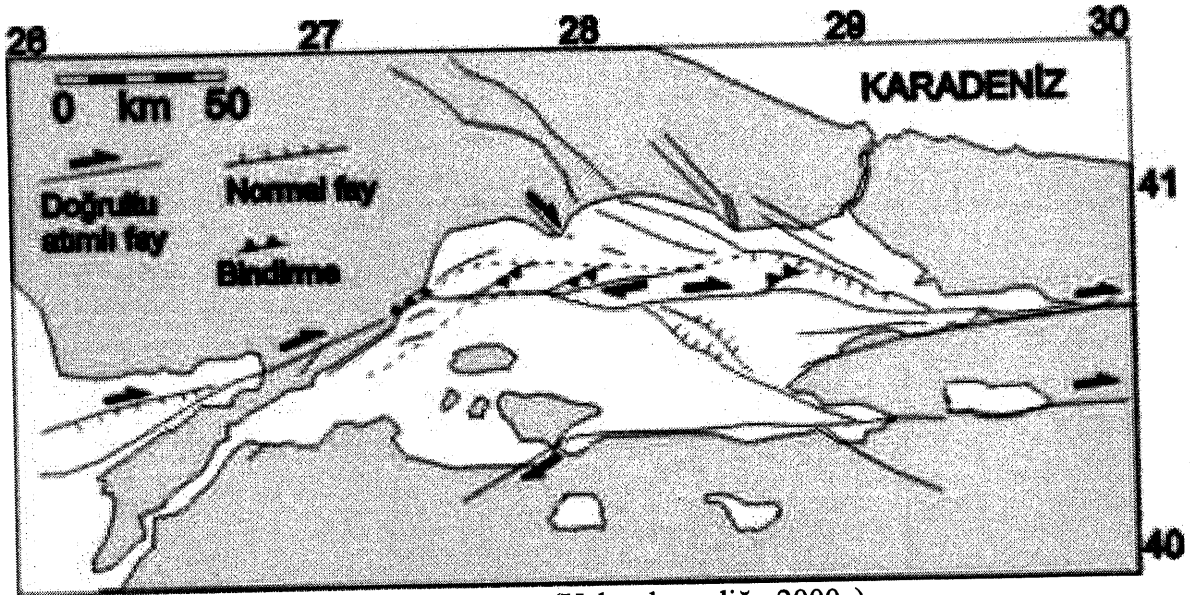
- KURAN, U., YALÇINER, A.C., (1993), Crack propogations earthquakes and tsunamis in the vicinity of Anatolia, in S. Tinti (Ed.) Fifteenth International Tsunami Symposium, 1991, Tsunamis in the World, Kluwier Academic Publishers, pp. 159-175.
- OKAY, A.I., KAŞLILAR-ÖZCAN, A., İMREN, C., BOZTEPE-GÜNEY, A., DEMİRBEĞ, E., KUŞÇU, İ., (2000), Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics*, 321: 189-218.
- OZBAY, İ, (2000), "Two Layer Model for Tsunami Generation", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, (hazırlanmakta)
- ÖZEL, N., KALAFAT, D., PINAR, A., HORASAN, G., KARA, M., ÖĞÜTÇÜ, Z., IŞIKARA, A.M., GÜLEN, L., (2000), Aftershock Analysis of the August 17, İzmit (Mw=7.4) and November 12 Düzce (Mw=7.2) Earthquakes in Western Turkey, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 2, 2000 25th General Assembly, Nice, France.
- PARSONS, T. STEIN, R.S., BARKA, A., and DIETERICH, J.H., (2000), Heightened Odds of Large Earthquakes near Istanbul; An Iteraction-based Probability Calculation, *Science Magazin*, April, 28, 2000, pp: 661-665.
- PLAFKER G., (2000), "1994 Skagway Tsunami and Generation Mechanism", Workshop on the Prediction of Underwater Landslide and Slump Ocuurences and Tsunami Hazards off of Southern California by National Science Foundation, Los Angeler, USA, March 10-11, 2000
- SİYAKO, M., TANIŞ, T., ŞAROĞLU, F., (2000), Marmara Denizi aktif fay geometrisi. *Bilim ve Teknik*, 388: 66-71.
- SHUTO, N., GOTO, C. ve IMAMURA, F., (1990), Numerical Simulation as a Means of Warning for Near Field Tsunamis, *Coastal Engineering in Japan*, V. 33, No:2, pp:173-193, (1990).
- SOYSAL, H., (1985), Tsunami (deniz taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler, İ.Ü., Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 2: 59-67, İstanbul.
- STEIN, R.S., BARKA, A., TODS, S., PARSONS, T. and DIETERICH, J.H., (2000), The role of stress transfer in earthquake occurrence on the North Anatolian fault, *Nato Advanced Research Seminar, Integration of Earth Sciences on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research*, Abstracts, 14-17 May 2000, İstanbul, p.102.
- YALÇINER, A.C., (1999), 1999 İzmit Tsunamisi, *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, 383: 34-39.
- YALÇINER, A.C., SYNOLAKIS, C.E., BORRERO, J., ALTINOK, Y., WATTS, P., IMAMURA, F., KURAN, U., ERSOY, Ş., KANOĞLU, U., TINTI, S., (1999), Tsunami Generation in İzmit Bay by 1999 İzmit Earthquake, *Proceedings of International Conference on Kocaeli Earthquake*, İTÜ, Dec. 2-5, 1999, İstanbul, pp. 217-221
- YALÇINER, A.C., KURAN, U., AKYARLI, A. and IMAMURA F., (1995), "An Investigation on the Generation and Propagation of Tsunamis in the Aegean sea by Mathematical Modeling", Paper in the Book, "Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning", in the book series of *Advances in Natural and Technological Hazards Research* by Kluwier Academic Publishers, (1995), Ed. Yashuito Tsuchiya and Nobuo Shuto.
- YALÇINER, A., KURAN, U., MINOURA, K., IMAMURA, F., TAKAHASHI, T., PAPADOPOULOS, G, (2000a), Ege Kıyılarında Depreşim Dalgası Dalgası (Tsunami) İzleri, *Batı Anadolunun Depremselliği Sempozyumu*, MTA, 23-27, Mayıs, 2000, İzmir, sayfa : 256-266.
- YALCINER, A.C., Altinok, Y., Synolakis , (2000b), Tsunami Waves in İzmit Bay after the Kocaeli Earthquake" Chapter 13 in the Book on Kocaeli Earthquake, published by EERI, (Earthquake Engineering Research Institute, USA), Special issue of *Earthquake Spectra*. (in press)
- YALTIRAK, C., ALPAR, B., SAKIBÇ, M., YÜCE, H., (2000a), Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean – Marmara incursion, *Mar. Geol.* 164/3-4, 139-156 with erratum 167, 189-190.
- YALTIRAK, C., YALÇIN, T., BOZKURTOĞLU, E., (2000b), Ground water level changes prior to and after Agust 17, 1999 İzmit and November 12, 1999 Düzce Earthquakes (NW)Turkey), and the role of the tectonic pattern. *Tectonophysics*, (baskıda).



Çizim 1. Kocaeli 1999 depremi ve artçı şoklarının dağılımı. Fokal mekanizma çözümleri Tübitak-MAM tarafından yapılmıştır.



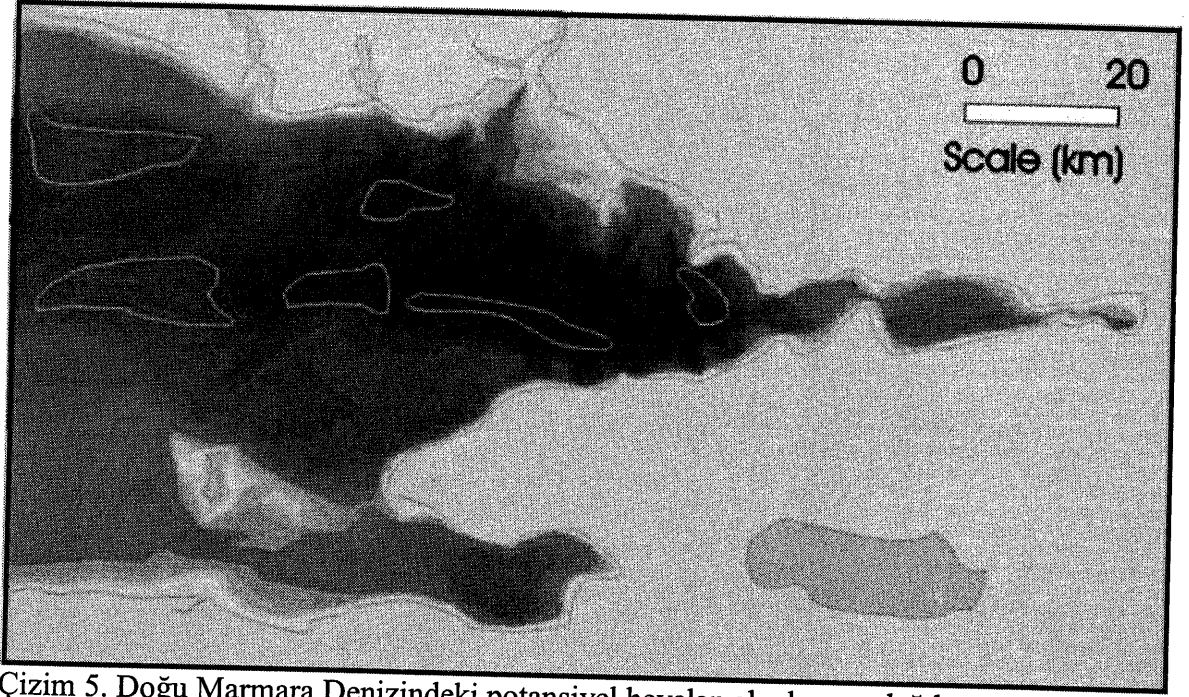
Çizim 2. İzmit körfezi ve doğu Marmara Denizi sismik blok diyagram (Alpar ve Yaltrak,(2000))



Çizim 3. Marmara Denizi tektonik yapısı (Yalırak ve diğ., 2000a)

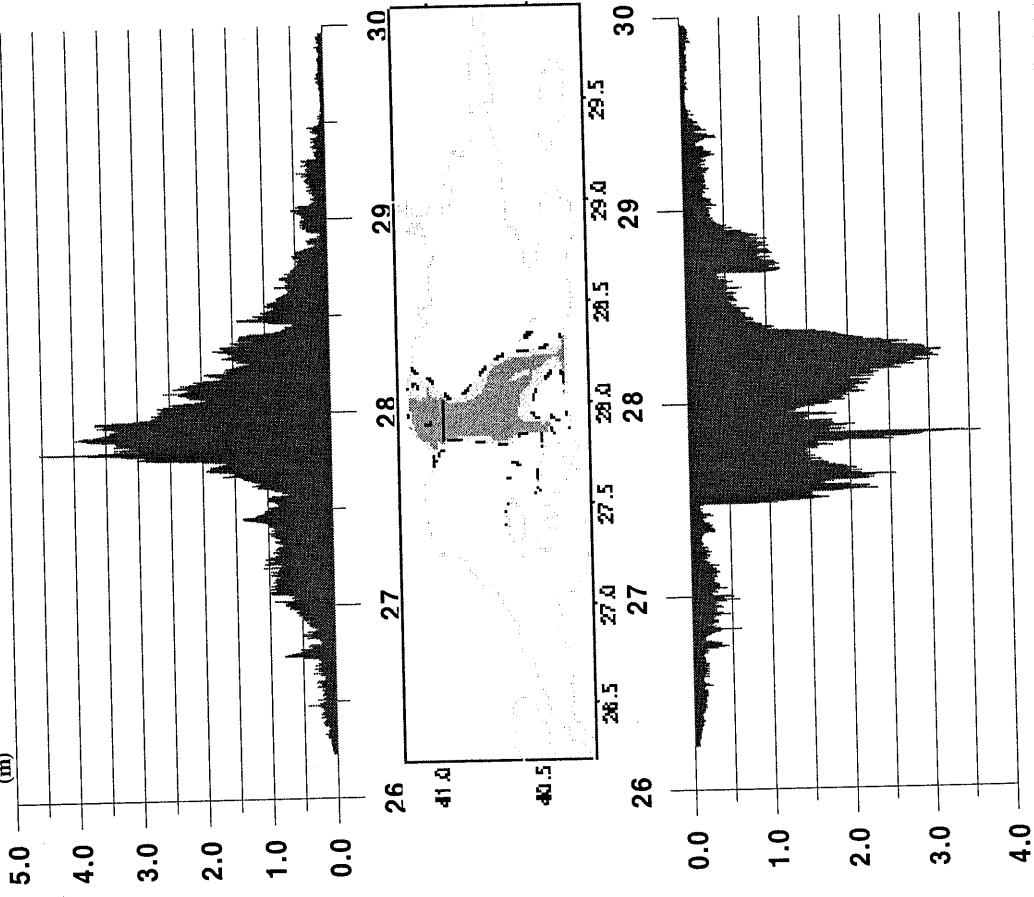


Çizim 4. Multi-beam data (Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi, Demirbağ, 2000; Ecevitöglu, 2000 den değiştirilerek alınmıştır).



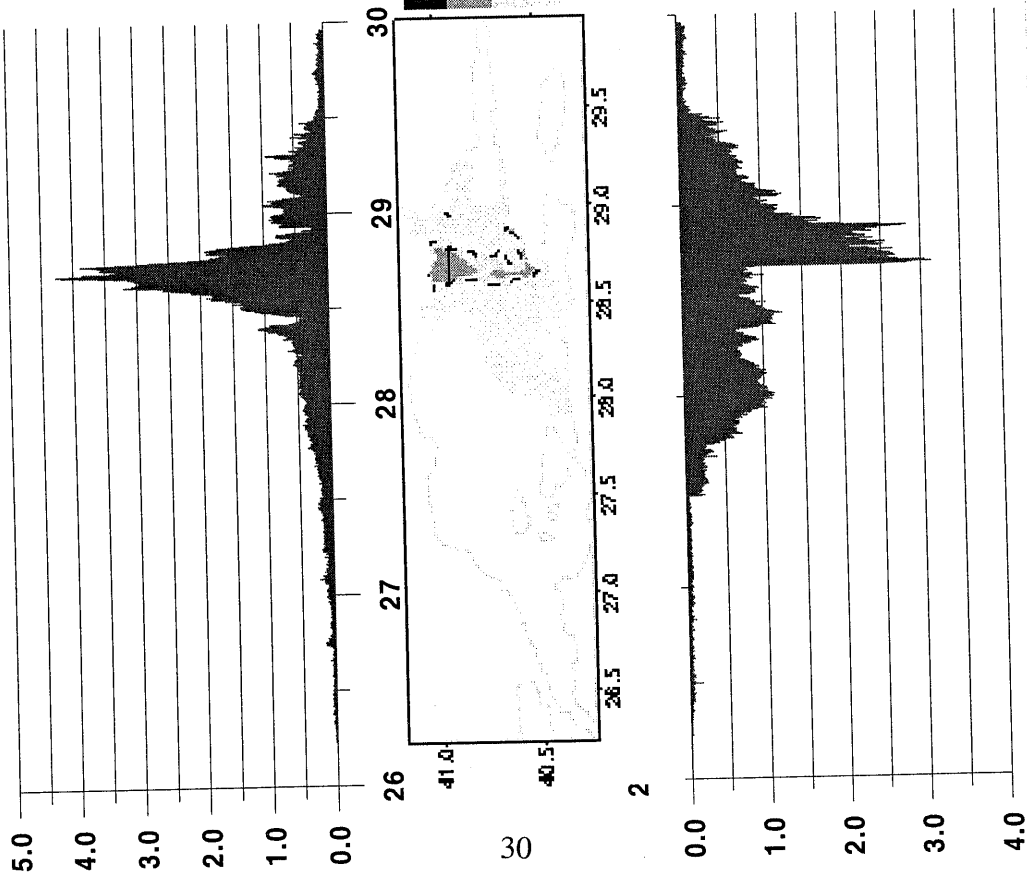
Çizim 5. Doğu Marmara Denizindeki potansiyel heyelan alanlarının dağılımı

Tirmanma
Yüksekligi
(m)



Cizim 7. Depresim Dalgasinin Kiyilarda
Tirmanma Yuksekligi Dagilimlari
Dalga Olusum Merkezi: (Heyelan Yeri 2)

Tirmanma
Yüksekligi
(m)



Cizim 6. Depresim Dalgasinin Kiyilarda
Tirmanma Yuksekligi Dagilimlari
Dalga Olusum Merkezi: (Heyelan Yeri 1)

ABSTRACT

Using shallow and deep seismic reflection data, some potential geologic source areas that may be responsible for tsunami generation is investigated. The areas which may have tsunamigenic features in the sea of Marmara especially east part are detected. In case of earthquakes or slumps occurred in these areas, tsunami waves may be generated. In this study, the generation, propagation and coastal amplifications of tsunamis related to two different underwater landslide scenarios are tested by using new tsunami model TWO-LAYER. The runup distribution along the north and south coasts of the sea of Marmara according to these scenarios are obtained, discussed and presented.

