

1999 İzmit Tsunamisi

Leonardo Da Vinci, 1504 yılında tamamladığı "Teknik Notlar"ında, "Bindörtüyükseksendokuz yılı idi, Adalya Körfezi'nde deniz yarıldı, sular çekildi, sonra ilerledi. Oluşan büyük dalgalar kıyılara geldi. Denizin çalkantısı bir süre devam etti." biçiminde bir ifade kullanmıştır. Bu ifade, tsunamiyi anlatmaktadır. TÜBİTAK desteği ile, ODTÜ, Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Japonya Tohoku Üniversitesi ortaklığında yürüttüğümüz çalışmaların Ege kıyılarında gerçekleşenlerinde, tarihsel tsunamilere ilişkin elde ettiğimiz birçok bulgunun yanında, Vinci'nin ifade ettiği 1489 yılındaki olayın izleri de Dalaman kıyılarında bulunmuştur. Deniz, o yıllarda bir kez, bir doğal afet etkisi ile, Dalaman deltasının bir bölümünde, kıyıdan 250 m kadar içeriye ilerlemiştir. Bu doğal afetin tsunami olduğu da, alınan örnekler üzerinde Japonya'da yapılan ayrıntılı analizler sonucunda belirlenmiştir.



Fotoğraf:Arasolu - Afet

DEPREM büyüklüğünü tanımlayan ölçeğin sahibi Richter, 1958 yılında yayımlanan *Temel Sismoloji* isimli kitabında, 1939 Erzincan depreminin Karadeniz'de tsunami yarattığını, oluşan tsunaminin güneyde Fatsa ve kuzeyde Sivastopol ve Yalta'da etkili olduğunu yazar. Tadd

Murty'nin, 1977'de yayımlanan *Tsunami* isimli kitabı da aynı konuyu işlemiştir. 1939 Erzincan depremiyle Karadeniz'de tsunami oluşabilmesi için ya deprem sırasında Karadeniz'de de fay kırılması olmuş ya da Karadeniz'in bir bölgesinde, depremle tetiklenen bir zemin kayması ya da göçmelerden kaynaklanan tsunami oluşmuş olması olasıdır.

Ambraseys'in 1962'de yayımlanan makalesine göre, son 1000 yılda, Marmara'da 11, Ege'de 35 ve Doğu Akdeniz'de ise 17 tsunami olduğu anlaşılmaktadır. Bu değerlendirmeye göre 1999 İzmit depremi ile oluşan tsunami, Marmara için son bin yılın on ikinci tsunamisi.

Sularda gözlenen dalgalar, denize geçen enerjinin, su ortamında yayılma

Denizin kıyıya Taşdığı Felaket Tsunami

Tsunami her zaman olmaz ve genellikle de can almaz. Ancak, tarih boyunca can ve mal kaybı konusunda hatırı sayılır sayıda önemli sabıkası olduğundan, onu iyi tanımak ve ona karşı dikkatli olmakta yarar vardır.

Enerji su ortamı içerisinde dalga hareketi ile ilerleyebilmektedir. Rüzgâr enerjisinin sürtünme yoluyla denize geçişi, Dünya ile Ay ve Güneş arasındaki çekim kuvvetlerinin zamansal değişimi, limanlar ya da küçük körfezlerde gemilerin ortaya çıkardığı etki, ve sualtındaki çeşitli tektonik hareketlerle enerjinin suya geçişi gibi olaylar, deniz ve göllerde çeşitli biçimlerde dalgalar ya da salınımlar oluşturmaktadır. Bu dalgaların hemen hepsi, onları yaratan enerjinin özelliklerine göre farklı davranış gösterirler.

Japonya'da "liman dalgası" anlamına gelen tsunami sözcüğü okyanus ya da denizlerin tabanında oluşan deprem, volkan patlaması ve bunlara bağlı taban çök-

mesi, zemin kaymaları gibi tektonik olaylar sonucu denize geçen enerji nedeniyle oluşan uzun periyotlu deniz dalgasını temsil eder.

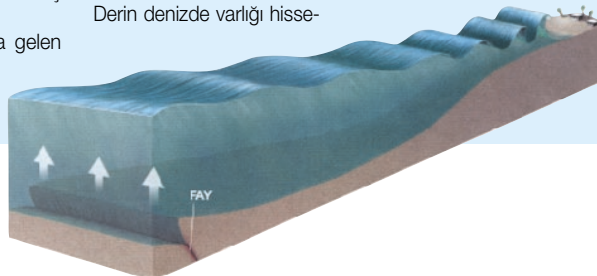
Tsunami sözcüğü, dünya dillerine 15 Haziran 1896'da sonra girmiştir. O yıl, 21 000 can kaybına neden olan Büyük Meiji Tsunamisi sonrasında, Japonların dünyaya yaptıkları yardım çağrıları içinde yer alan bu sözcük, dünya dillerinin birçoğuna kendiliğinden yerleşmiş olup, belki de her dilde aynı söylemi olan ve aynı anlama gelen ender sözcüklerden biridir. Belki de tek sözcüktür.

Özgün bir dalga olan tsunamiye, Pasifik Okyanusu'nda çok sık, diğer okyanus ve denizlerdeyse ender olarak rastlanmaktadır. Fay kırılmasıyla oluşan tsunaminin dalga yüksekliği, derin denizde bir insan boyu kadar küçük, dalga boyuysa yüzlerce kilometre kadar uzundur. Bu dalganın diğer tip deniz dalgalarından farkıysa su zerreciklerinin sürüklenmesi sonucu hareket kazanmasıdır. Derin denizde varlığı hisse-

dilmezken, sığ sulara geldiğinde dik yamaçlı kıyılarda ya da V tipi daralan körfez ve koylarda bazen 30 metreye kadar tırmanarak çok şiddetli akıntılar yaratabilen bu dalga, insanlar için deprem, tayfun, yangın, çığ ya da sel gibi bir doğal afet haline gelebilmektedir.

Tsunami uzun periyotlu dalgalar sınıfına girer. Hareket ederken, denizlerde derinlik farklılaşması etkisiyle sapmaya uğrayarak ve karşılaştığı engeller (adalar) nedeniyle dönerek yoluna devam eder. Kıyılara geldiğinde, taban sürtünmesi ve yansımadan etkilenerek taban eğiminin özelliklerine göre tırmanır. Tsunami ilk oluştuğunda tek bir dalga halindedir. Kısa bir süre içinde üç ya da beş dalgaya dönüşerek çevreye yayılmaya başlar. Bu dalgaların birinci ve sonuncusu çok zayıf olup, diğerleriyle etkilerini kıyılarda şiddetli biçimde hissettirebilecek enerjilere sahiptirler. Bu nedenle depremden kısa bir süre sonra kıyıda görülen yavaş ama anormal su düzeyi değişimi ilk dalganın geldiğini gösterir. Bu değişim arkadan gelecek olan çok kuvvetli dalgaların ilk habercisi de olabilir.

Tsunami araştırmaları son on yılda bü-



biçimidir. Okyanuslar, denizler ve göllerde her zaman gözlenen dalgalar, rüzgâr enerjisinin suya geçerek oluşturduğu, küçük genlikli dalgalar sınıfındaki “rüzgâr dalgaları”dır. Güneş, Ay ve Dünya’nın çekim kuvvetleri etkisiyle okyanus ve denizlerde belirgin olarak var olan, 6 ya da 12 saat periyotlu, yani uzun dönemli dalgalar ise “gel-git dalgası” olarak tanımlanmıştır. Dalga periyodu sınıflandırmasına bakarak yapılan tanım içinde tsunami, bu iki tür dalga arasında yer alır ve uzun periyotlu dalgalar sınıfına girer. Uzun periyotlu dalgaların en çarpıcı özelliği, içinde bulunduğu su ortamının sürüklenmesi biçiminde, yani akıntılarla ilerlemesidir. Bu tür dalgalar derin sularda pek hissedilmez. Ancak sığ sulara geldikçe şiddetlenen akıntılar ve suyun bazı durumlarda aşırı tırmanması nedeniyle çok şiddetli biçimde kendilerini gösterirler. Gemi pervaneleri etkisi ile limanlarda ya da kıyılarda gözlenen dalgaların tsunamiden farkı, hem küçük olmaları hem de tsunamilere göre daha kısa periyotlu olmalarıdır.

Bunlardan başka, kapalı havzalarda İngilizce’de “seiche” olarak bilinen ve henüz Türkçe bir karşılık koymadığımızdan “salınım” olarak adlandırabileceğimiz dalga türüyle, kapalı denizler, körfezler, göller gibi, yani kapalı basenlerde rüzgârlarla ya da yer sarsıntılarıyla oluşan çalkantılarla ortaya çıkan küçük genlikli kısa periyotlu dalgaların, kıyılardan karşılıklı yansımaları so-



nucu, kapalı basen içinde gelişen uzun periyotlu bir dalgadır. Bu dalganın periyodu, basenin geometrisiyle ilişkili olan, basenin öz salınım periyotlarından biriyle aynı olursa, bu durumda dalga kıyılarda büyür. Bunun olması için de kıyılarda yansımanın yüksek verimli olması ve denize geçen enerjinin su ortamında bir süre dolaşması gerekir. Küçük genlikli küçük periyotlu dalgalar, uzun periyotlu dalgalara göre kıyılardan kolay yansıyamaz ve enerjilerinin büyük bölümünü yitirirler. Hepsinden önemlisi, bahsettiğimiz biçimde salınım oluşması zaman ister. Denize yakın merkezli her depremden sonra çalkantı oluşabilir. Bunu özellikle balıkçılar daha iyi gözlemlerler. Bu tür çalkantılar ya durulur ya da

bir süre içinde salınıma dönüşür. Salınıma dönüştüğünde hemen durulmazlar. Salınım ile tsunami arasındaki farklarsa, tsunaminin hemen oluşması, 4-5 dalgadan ibaret olması ve salınıma göre daha kısa sürede etkisini kaybetmesidir. Salınım daha geç oluşur; daha fazla sayıda dalgadan ibarettir; daha uzun süre etkili olur.

1999 İzmit depremi İzmit Körfezi’nde çalkantı yaratmıştır. Bu çalkantı, sonradan salınıma dönüşmüş müdür? Bu sorunun cevabını yazının ileriki bölümlerinde verelim.

Hazır uzun periyotlu dalgaları tanımlamaya başlamışken “soluğan” konusunu da kısaca açmakta yarar var. Rio’da yaz mevsiminde dalga sörfü yapmak isteyenler, o sırada kış mevs-

yük bir ivme kazanmıştır. Son 7 yılda dünyada oluşan tsunamilerin hepsi bilim adamlarınca seçilen özel bir grup tarafından en kısa zamanda yerinde incelenmiştir. Bu çalışmalar tsunamilerin oluşumu konusunda daha ayrıntılı bilgiler elde etmemizi sağlamıştır. Buna göre, son yıllardaki tsunamilerin yarıya yakınının oluşumunda sualtı zemin kayması ya tamamen ya da kısmen etkindir. 1998’de Papua Yeni Gine’de 10 dakika aralıkla iki kez gerçekleşen 7’den büyük depremden sonra bir tsunami oluşmuş ve Sissano köyünde 3000 kişinin ölümüne neden olmuştu. Bu tsunaminin oluşumunun nedeni, sualtı zemin kayması olduğu bu yılın başında bölgede yapılan ayrıntılı deniz ölçümleriyle saptanmıştır. Bu sonuçlar, 1956 Güney Ege tsunamisinin ve başka tarihsel tsunamilerin oluşumu konusunda da yeni araştırmalar için yol göstericidir.

Tarihsel verilere göre, Ege Denizi için tsunami oluşma olasılığı 35 yılda biridir. Bu olasılık Marmara için 100 yılda bir, Doğu Akdeniz içinse 60 yılda biridir. Tsunami Ege Denizi’ni güney-kuzey doğrultusunda en çok üç saatte geçebilir. Marmara Denizi’nde doğu-batı doğrultusunu geçme süresiye

50 dakika kadardır. Ancak bu iki kapalı denizde de çalkantının uzun süre devam etmesi ve yansıyan dalgaların sonradan da salınıma dönüşerek etkili olması beklenmelidir. Ege için, adalar ve karmaşık kıyı düzeni nedeniyle tsunami enerjisinin bir ölçüde sönmüleneceği beklense de, enerjinin, V tipi körfezlerde oluşacağı yansımalarından dolayı beklenmedik noktalarda odaklanarak, çok şiddetli akıntılar oluşturması ve özellikle küçük tekne limanlarında etkili olması, böylece de hasara yol açması beklenmelidir.

"İnşallah olmaz" demek bir korunma yöntemi değildir. Deniz tabanına özel ölçüm aygıtları yerleştirilerek "Tsunami Uyarı Sistemleri" kurmak da şimdilik ekonomik bir korunma yöntemi sayılmaz. Ancak günümüze kadar yaşanmış çeşitli deneyimlerin anlatılması ve tsunami hakkındaki temel bilgilerin açıklanması ve yayımlanmasıyla özellikle kıyılarda yaşayanları bu konuda bilgilendirdiğimiz sürece, tsunami yaşasak bile can kaybını en aza indirmemiz olasıdır.

Bilinmelidir ki, tsunami çok zayıf bir depremin tetiklediği sualtı zemin kaymaları nedeniyle de oluşabilir. Deniz kıyısından hissedilen her deprem

sonrasında tsunami gelme olasılığı (çok zayıf da olsa) vardır. Kıyıya tsunaminin ilk gelişi su düzeyinin anormal biçimde (10-15 dakika içinde) yükselmesi ya da çökmesiyle kendini belli eder. Tsunaminin bu ilk öncü dalgası, aynı zamanda arkadan gelecek olan iki ya da üç kuvvetli dalganın habercisidir. Okyanuslarda, tsunaminin derin denizden gelişi sırasında gökgürültüsünü andıran uğultular duyulmuştur. Bu sesler bir süre sonra kıyıya varacak olan dalgaların şiddetini önceden haber verirler. Bu durumda yapılacak tek şey kıyından uzaklaşmaktır. Teknede bulunanlar kıyından uzaklara, derin sulara giderek dalganın kendilerine ve tekneye vereceği zararı azaltabilir, hatta önleyebilir. Karada olanlar içinse denizden uzağa gitmek zorunludur. Böylece dalgayla sürüklenme ve yaralanma tehlikesi ortadan kalkar.

Bunların dışında yapılması gereken en önemli şey, her konuda olduğu gibi bu konuda da araştırma yapmak, bulguları uygulamak ve kişileri bu konuda eğitmektir. Tsunami için halen yapılacak en uygun araştırma biçimi de geçmiş yıllardaki tsunamileri bilgisayar modeli kullanarak inceleyip tanımlamaktır.



mini yaşayan İngiltere’de şiddetli fırtınalar olmasını beklerler. İngiltere’deki şiddetli fırtınalarla oluşan dalgalar güney yarımküreye doğru yola çıkarlar. Bu dalgalar arasında kısa periyotlu olanlar güçsüz olduklarından çeşitli etkenlerle enerjilerini yitirerek kaybolurlar. Ancak periyotları 10-15 saniyeden uzun olanlar yollarına devam ederek birkaç günde güney yarımküredeki kıyılara ulaşabilirler. Örneğin Rio’da hiç fırtına yokken uzun kıyılarda gelen uzun periyotlu dalgalar üzerinde insanlar dalga sörfü yapabilirler. Bu tür dalgalara dilimizde “soluğan” denir. Kıyılarımızda da yaşanır.

Tsunami, depremle oluşan fay kırılması, zemin çökmesi, zemin kayması ya da volkan patlaması gibi olaylarla su ortamına geçen enerji nedeniyle oluşan dalgadır.

Sismik etki ile doğrudan tsunami oluşması için, deniz tabanında depremle beraber, normal atımlı fay kırılması olmalıdır. Normal atımlı fay demek, fay kırığının olduğu çizginin bir yanındaki zeminin, diğer yandakine göre bir miktar düşey olarak yükselmesi ya da alçalması demektir. Böylece fay kırılmasıyla denize dik yönde gelen etki tsunami oluşturabilir. Yanal atımlı fay kırılmalarında zemin, fayın her iki tarafında aynı düzeyde kaldığından, bu biçimde yüzey değişimi pek olmaz. Buna bağlı olarak, yanal atımlı faylar, denize dik yönde önemli bir etki veremediğinden tsunami yaratamazlar. Ancak, yanal atımlı fayların başladığı ya da sona erdiği noktalardaki zemin hareketi, tsunami oluşturabilecek nitelikler göstermektedir.

Su ortamına hızla geçen enerji, tsunami olarak ilerlerken, kendi doğası gereği, suyun sığ olduğu yerlerden yansımaya çalıştığından, derin sulara doğru yönelmek durumunda kalır. Bu nedenle, tsunamiyle taşınan enerjinin

önemli bölümü, öncelikle çevresindeki derin sulara doğru ilerlemeye başlar. Bu konu 1999 İzmit depremiyle oluşan tsunaminin hareketinde de aynen gerçekleşmiştir.

Marmara ve Körfez’de Neler Oldu?

İlk belirlemelere göre yanal atımlı olduğu saptanan fay kırılması, Kavaklı, Gölcük, Yüzbaşılar, Değirmendere ve Halidere arasındaki bölgede kıyıya çok yakın geçmiş ve Değirmendere’den sonra nerede devam ettiği şu ana kadar tam olarak tanımlanmamıştır. Depremin yarattığı hareket, katı ve sıvı ortamların birbiriyle önemli etkileşimlerine neden olmuş ve birbirini tetikleyen yer hareketi, sıvılaşıma, kayma, göçme ve heyelan biçiminde hareketler yaratmıştır. Her biri ayrı birer ender doğa olayı sayılan bu olaylar, bilinen doğal afetlerin hemen hemen hiçbirinde, yerleşim merkezlerinin hemen yanında bir arada ortaya çıkmamıştır. Öyle ki; hiçbir film yapımcısı ya

da senarist, hiçbir roman yazarı, böylesine doğa üstü bir olayı bir arada hayal edememiştir.

Kısa süre içinde deniz ve kara arasında ortaya çıkan bu etkileşim, deniz ortamına enerji aktardığından, pek tabii olarak da bu enerji, deniz ortamında taşınacaktır.

İzmit Körfezi’nde ve Marmara’da, deprem sonrası oluşan dalga ve akıntı hareketlerine ve bu hareketlere bağlı olarak kıyılarda kalan izlere bakarak denizde ne olduğunu ve bunun ne biçim bir dalgalanma olduğunu açıklayabiliriz.

1992 Nikaragua tsunamisiyle, dünyadaki tsunamibilimcilerinin çalışma düzenine bir yenilik gelmiştir. O tarihten sonra, her önemli deprem ve tsunamiyi incelemek üzere bölgeye uzmanlar gönderilmiş ve ayrıntılı raporlar hazırlanmıştır. Uzmanlardan oluşan bu ekiplerin hemen tümünde görev alan Prof. Synolakis ve araştırma görevlisi Jose Borrero’nun bulunduğu ekibe başkanlık yapmak üzere, Japonya Tohoku Üniversitesi Afet Kontrol Araştırma Merkezi tarafından görevlendirildim. Önceki tsunami araştırmalarında uygulanan yöntemler izlenerek, yerinde yaptığımız incelemeler, bulgular üzerinde ölçüm ve tanımlamalar ve görgü şahitleri ile görüşmeler sonucunda olayı tanımlayacak bilgilere ulaşıldı.

Tsunami araştırmaları sondan başlar. Yani tsunamiden etkilenmesi beklenen ya da tsunaminin etkilediği kıyılardan başlar ve tsunamiyi oluşturan etkenleri saptama aşamasında da tsunaminin olduğu yerde, jeolog, jeoteknik ve jeofizikçilerin çalışmalarıyla

Son Yıllardaki Tsunamiler

Costas E. Synolakis
Jose Borrero
Güney California Üniversitesi

Son yüzyıl içinde en çok etki bırakmış tsunamileri tarih sırasına göre şöyle sıralayabiliriz. 1883 Karakatau, Endonezya (36 000); 1896 Honshu, Japonya (21 000); 1933 Sanriku, Japonya (3000); 1976 Mindanao, Filipinler (8000); 1998 Papua Yeni Gine (3000).

1992 Nikaragua tsunamisi ile tsunami araştırmalarında yeni boyutlar ortaya çıkmıştır. O tarihten sonra tsunami olayları bilimadamları tarafından zaman geçirmeden yerinde incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarla 1992’de, biri hariç diğerleri Pasifik Okyanusunda ol-

mak üzere, toplam 10 tsunami yaşanmıştır. Bu veriler içinde 1999 İzmit Tsunamisi son yıllardaki onbirinci tsunami olup, bu dönemde Pasifik dışında yaşanan ikinci tsunamidir.

Son yıllardaki tsunamiler hakkındaki kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

Yer	Tarih	Deprem Büyüklüğü	Tımanma En Yüksek	Yüksekliği Ortalama	Can Kaybı
Nikaragua	2.9.1992	7,2	9,9 m	6-9,9 m	170
Flores, Endonezya	12.12.1992	7,5	5,6 m	2-5,2 m	1690
Japonya					
Hokkaido/Okushiri	12.7.1993	7,6	29 m	10-16 m	250
Doğu Java	3. 6.1994	7,2	14 m	5-10 m	223
Kuril Adaları	2.10.1994	8,1	9 m	1-3 m	9
Mindoro, Filipinler	14.11.1994	7,0	9 m	1-5 m	62
Skagway Alaska	4.11.1994	Zemin göçmesi	9 m	1-4 m	3
Mondorillo Meksika	9.10.1995	8,0	10,9 m	1-5 m	40
Blak, Irian Jaya, Endonezya	17.9.1996	8,1	7 m	1-3 m	108
Papua Yeni Gine	17.7.1998	7,8	10 m	1-5 m	3000

la buluşur. Bu nedenle de çalışmamız, kuzeyden, Yarımca Körfez ve Hereke arasındaki kıyı şeridinden başladı. Yarımca Körfez demiryolu istasyonu kıyından 35 metre uzaktadır. İstasyonun hemen yanındaki köprüünün altına dalgalarla deniz suyu dolmuş durumdaydı. Deprem sırasında kıyıda bulunan görgü şahitleri, depremden sonra denizin önce çekildiğini ve sonra da kabarak ilerlediğini ifade etmişlerdir. Kıyıda restoranın masa ve sandalyelerinin sürüklenmiş olması, çevrede karaya atılmış, balık dahil, birçok deniz canlısının bulunması, kıyından uzak bahçelerdeki sabit kuru çalılarda denizin sürükleyerek taktığı yosunların bulunması tsunaminin açık izleri sayılmaktadır.

O gece 03:00 civarında, rıhtıma 20 metrelik teknesi ile yanaşmakta olan kaptan Ahmet Akdağ, deprem olduğunu hissetmemişse de, o sırada hızlıca çekilen denizle sığılaşan suda teknesi beklenmedik biçimde tabana vurmuş ve ardından tekne açığa doğru sürüklenirken 15-20 saniye içinde kabaran denizle kıyıya savrulduğunu hissetmiştir. İşte o anda, her gün defalarca yanaştığı rıhtımın yanında bulunan 3 m yüksekliğindeki kulübenin o zamana kadar hiç görmediği damını ve damın üzerinden de arkadaki zemini ilk kez böylesine yüksek yerden görebilmesinin şaşkınlığını unutamamaktadır. Kaptanlık becerisini uygulayarak tam tornistanla tehlikeyi zorlukla zarsız atlatabilmiştir.

Aynı tür dalganın depremden birkaç dakika sonrasında, kıyından içerde bulunan Hereke karakolunu da etkilediği görevli emniyet mensupları tara-



findan anlatılmıştır. Aynı bölgedeki görgü şahitlerinin verdiği bu ve buna benzer birçok bilgi, Körfez'de depremden sonra oluşan dalganın tsunami olduğunu göstermektedir. Bu tsunaminin gözlenen periyodu bir dakikadan kısadır. Bu özellikte olan tsunamilerse, Papua Yeni Gine'de ya da son yıllardaki başka birkaç tsunami örneğinde olduğu gibi, zemin kayması ve göçmesiyle oluşan tsunamilerin karakteristik özelliğini yansıtmaktadır.

1999 İzmit tsunamisi Yarımca Körfez ve Yalıkent arasındaki kıyılarda 2,52 m düzeyinde tırmanma yaratmıştır. Biraz açarsak, "dalga tırmanma"sı tanımı, dalga yüksekliği olmayıp, dalganın kıyılarda tırmandığı yüksekliktir. Bu tırmanma düzeyi kıyı boyunca yer yer farklılıklar göstermektedir. Bu normaldir; çünkü, kıyı ve deniz taban topografyası her yerde aynı değildir. 1993 Japonya Okushiri tsunamisinde ve diğer birçok tsunami olayında da böyle olmuştur.

Dalga tırmanma yüksekliği ve etkisi, İzmit Körfezinin kuzey kıyılarındaki Şirinyalı, Hereke ve batıya doğru gidildiğinde azalmaktadır. Yine kuzeydeki Yarımca Körfezi'nden ve İp-

raş'tan doğuya doğru gidildiğindeyse daha çok azalmaktadır. Dalga genel olarak Tütünciftlik ile Hereke arasında etkili olmuştur.

Bu duruma göre tsunami oluşturan odağın dar olması gerekmektedir. Şimdi onu arayalım.

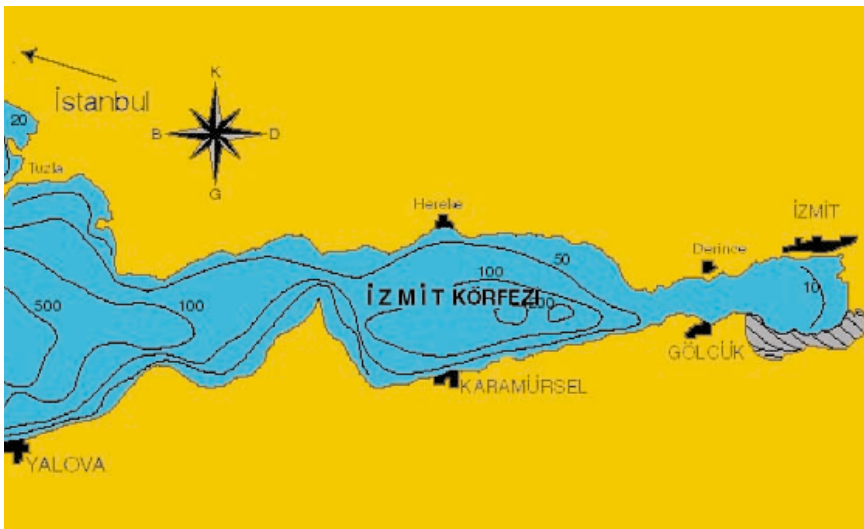
Nerede Oluşmuş Olabilir?

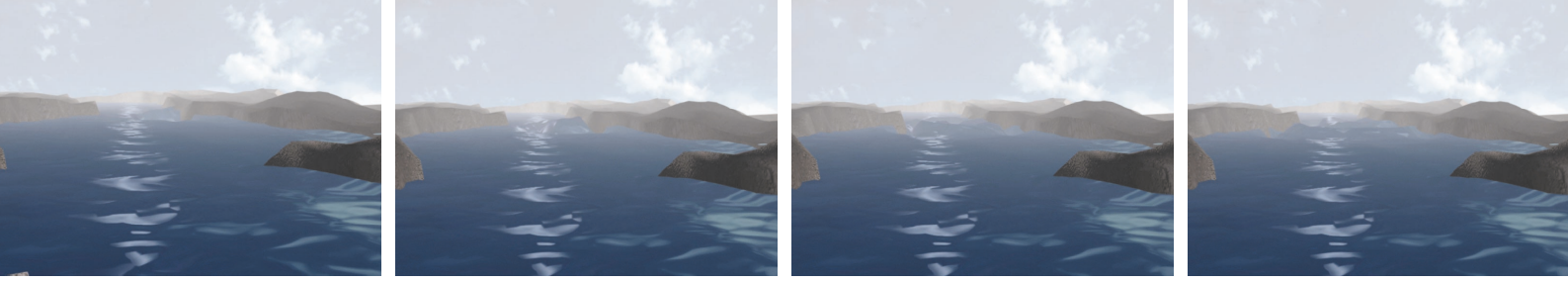
Sonuçlardan yola çıktığımızda, tsunaminin zemin kaymasından ya da çökmesinden kaynaklandığı olasılığı ağır basmaktadır. Sadece 20 km uzunluğundaki kıyı boyunca yer yer etkisini belirgin göstermiştir.

1998 Papua Yeni Gine, 1896 Japonya Büyük Meiji Tsunamisi gibi tsunamiler genellikle denizin dibindeki göçmelerden oluşmuşken, 1992 Flores, 1994 Skagway ve 1994 Mindoro örneklerindeyse kıyıda dik zeminin kayması ve bunu izleyen ya da sebep olan göçmeler tsunami yaratmıştır.

Kavaklı ile Halidere arasındaki kıyı çizgisinde depremlerle beraber ortaya çıkan değişim, yok olan kıyı yapıları ve bazı binalar, kuzeyde izlerini bulduğumuz tsunamiyi oluşturan etkenleri tanımlamak için yol göstermektedir.

Tsunami oluşumuna şahit olan kişi sayısı, Mindoro'da bir, Skagway'da iki ve Flores'teyse üçtür. Bunlar olayı uzaktan izlemiş kişiler olup böylesine önemli bir olayın tek şahitleriydiler. Tarihte hiçbir tsunami 1999 İzmit tsunamisinin olduğu biçimde, yerleşim merkezlerinin kıyısında ve hemen önündeki denizin dibinde, yani insanların gözü önünde, onlarca can alarak oluşmamıştır. İşte bu dikkat çekici özelliğiyle, 1999 İzmit tsunamisi doğal afetler tarihine geçmiştir. Ulaşlı ile Kavaklı arasındaki kıyı şeridinde yakın bulunan bazı evlerde tsunami oluşumu





Körfeze batı yönünden bakıldığında, tsunaminin oluşumu ve hareketi (Düşey eksen büyütülmüştür).

ya da etkileri yaşanmıştır. Evlerin alt katlarından toplanan balıklar, caddelerin bazı yerlerde arda kalan deniz canlıları da bu olayın büyüklüğünü anlatmaktadır.

Nasıl Oluşmuş Olabilir?

Tsunaminin nasıl oluştuğu sorusuna cevap vermek için Körfez'in güney kıyılarında deniz taban topoğrafyası-

nın ölçümlerini almak, taban malzemesinin zemin özelliklerini ayrıntılı olarak incelemek ve jeoloji, jeofizik ve jeoteknik uzmanlarının bu konudaki görüşlerini beklemek gerekmektedir. Ancak, incelemekte olduğumuz bu olay, şu anda ABD'de üzerinde ayrıntılı olarak çalıştığım Alaska Skagway fiyorduna 1994 tsunamisine hidromekanik özellikleri bakımından çok benzemektedir. O tsunami üzerinde son 5 yıl çalışılmıştır; sözkonusu tsunaminin de yıllar sürecektir araştırılmala-

ra gebe olduğunu söyleyebiliriz. Buna rağmen, geçmiş yıllardaki örneklere de dayanarak bir değerlendirme yapılabilir. Bu değerlendirme deniz taban ölçümleri alındıktan sonra geliştirilecektir.

Değirmendere Çınarlık mevki, üzerindeki çınarlar, otel, restoran ve önündeki gemi yanaşma iskeleleri ile beraber göçmüş durumdadır. Bu göçmenin nedeni, sarsıntı, sıvılaşma, zeminin yatay dikey hareketleri olarak görülebilir. Bu göçmenin deniz tabanında başlaması gerekmektedir. Buna göre, Değirmendere önünde denizin tabanı da göçmüştür. Bu göçmenin başladığı yer Değirmendere'ye göre kuzeybatıda kalan, İzmit Körfezi'nin en derin yeri ya da o doğrultuda bir yerde olması olasıdır.

Sadece kıyıdaki göçmeyi ya da deprem sırasında kıyıların dikey hareketlerini değerlendirsek bile, İzmit Körfezi'nde tsunami oluştuğunu söyleyebiliriz. Deprem sırasında denizde olan Değirmendere'li balıkçılardan birinin, "Her zaman 20 dakikada ulaştığım kıyıya 2 dakikada gelmişim." demesi de tsunami ile oluşan akıntılardan şiddetini belirtmektedir.

Nasıl Davranış Göstermiştir?

Tsunaminin en temel karakteristiği hızıdır. Tsunaminin hızı derinlikle ters orantılıdır. Derin yerlerde hızlı gider. Su derinliği değişimlerine göre sapmaya uğrayarak yoluna devam eder.

Tsunaminin oluşum ve davranışını izlemek için en uygun yol, matematiksel model kullanmaktır. Bu konuda dünyada en gelişmiş olan modelde, Japonya Tohoku Üniversitesi Afet Kontrol Araştırma Merkezi'nce hazırlanmış olmaktadır. Aynı model 1992 yılından beri TÜBİTAK, ODTÜ İn-

Deprem ve Tsunami Habercileri

Dr. Philip Watts
California Teknoloji Enstitüsü (CALTECH)

Depremler önceden tahmin edilebilir mi? sorusu birçok kişi tarafından bilim adamlarına yöneltilmektedir. Bu sorunun katı bir bilimsel değerlendirme içindeki yanıtı "hayır"dır. Ancak bu yanıtı karşıt olarak, bilim adamlarının da dikkatini çeken ve deprem habercileri olarak da nitelenebileceğimiz bazı ilginç olaylar depremler öncesinde de gözlenmiştir. Bu yazıda, bazı depremler öncesinde yaşanmış olanlar hakkında bilgiler verilmektedir. Okuyucular da burada verilenlerden farklı olan gözlemlerini deprem konusunda çalışan ulusal kuruluşlara aktarmalıdır.

Çok büyük kara kütlelerinin hareketleri jeologların ilgi alanına girer. Bu konuda uygulanan yöntemlerden biri, uygun teknik aygıtlar yardımıyla, yer kabuğunun hareketini yıllar boyunca gözlemektir. Yer kabuğu bazı yerlerde yılda santimetreler düzeyinde hareket etmektedir. Bu hareket kolayca ölçülebilmektedir. Ancak birkaç araştırmacı, büyük depremlere yakın küresel konum ölçme aygıtlarını kullanma şansına sahip olmuşlar; depremin ani hareketiyle son bulan ve ondan birkaç gün önceden başlayan, günde birkaç santimetre civarındaki hızlı yer hareketini ölçmüşlerdir.

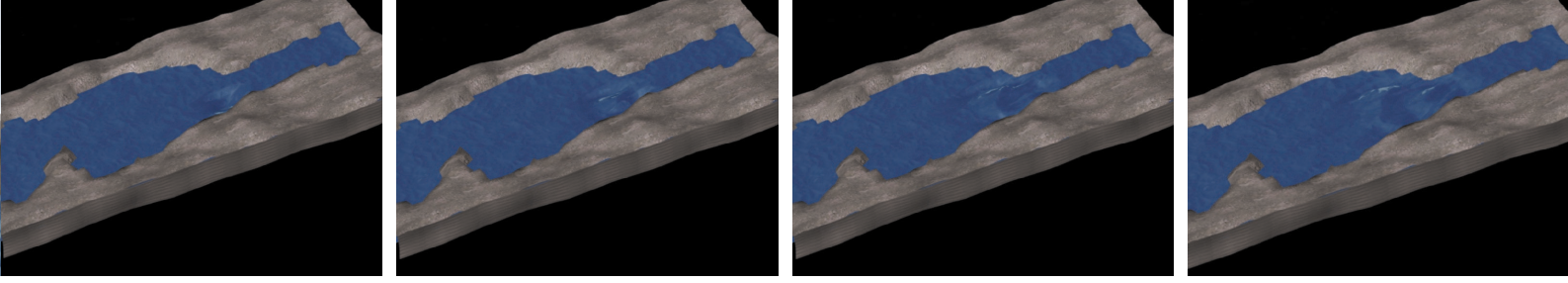
Depremden önceki yer kabuğunun her hareketi, kabuğun büyük bir bölümünde bulunan çeşitli katmanlar, kayalar, hidrokarbonlar ve suyun üzerinde basınç oluştuğunu gösterir. Basıncın artması, yeraltı sularında değişiklikler yaratır. Çünkü, yeraltı sularındaki kimyasal tepkimeler sıcaklık ve basınç değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Kobe'deki deprem felaketinden bir gün önce de, yeraltı sularının iyon derişimlerinde değişimler gözlenmiştir. İzmit depremi öncesinde de bölgedeki sıcak su kaynaklarının bazılarında

böyle değişimler gözlenmiş olduğu da söylenmektedir. Bu tür jeotermal kaynaklar kullanan işletmelerin kullandıkları sıcak sular yer kabuğunun derinliklerinden gelir; ve böylece depremlerle ilgili bazı bilgileri de önceden getirebilirler.

1998 yılında Papua Yeni Gine'nin kuzey kıyıları açıklarında oluşan deprem ve tsunami, başka bir deprem habercisini bize tanıtmıştır. Depremden bir gün önce artan basınç yer altında bir cepteki doğal gazı sıkıştırmış ve deltanın alüvyon zemininden fıskırmasına neden olmuştur. Balıkçılar, kıyıda 5 km uzakta 100 m çapında bir alanda büyük kabarcıklar gözlemişlerdir. Bu alana çok yaklaşan meraklı bir balıkçı teknesi ile batma tehlikesi geçirmiştir. Teknenin su üzerinde yüzebilir ama su ve gaz karışımı olan bir ortamda yüzemez!

İzmit kıyılarında yaşayan bazı kişiler, deprem öncesindeki hafta içinde garip dalgalar gözlediklerini anlatmaktadırlar. Yerin hızlanan hareketi, depremden önce Marmara Denizi'nde birkaç sualtı göçüğü tetiklemiş ve bu göçüklere de, depremin ardından oluşan tsunaminin habercisi olmuş olabilirler. Bu kısa özet içinde, büyük depremler için, dört önemli deprem habercisi verilmiştir. Bunlar, hızlanan yer kabuğu hareketleri, sularındaki kimyasal değişiklikler, zeminden gelen gaz kaçakları ve garip dalgalarıdır. Bu habercilerin oluştuğu birçok durumdan sonra deprem olmadığı da bir gerçektir. Bu nedenle, bu tür habercilere rastlandığı durumlarda hem duyarlı hem de huzurlu olmak gerekmektedir.

Türkiye gibi büyük ülkelerde, bu tür habercileri izlemek ve gruplandırmak zahmetli çalışmalar gerektirir. Ancak, görevliler ve vatandaşlar rastladıkları bu tür gariplikleri deprem konusunda çalışan resmi kuruluşlara, doğru biçimde, gecikmeden iletebilirlerse, araştırmalara önemli katkılar sağlamış olacaklardır.



Körfeze güney yönünde tepeden bakıldığında, tsunaminin oluşumu ve hareketi (Düşey eksen büyütülmüştür).

şaat Mühendisliği Bölümü Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Japonya Milli Eğitim Bakanlığı (MOMBUSHO) tarafından desteklenen projelerle, Türkiye'nin çevresindeki denizlere uyarlanmıştır. Bu model şimdilerde yine benim yönettiğim projelerle, ABD Kaliforniya kıyılarına da uygulanmaktadır.

Model, girdi olarak deniz taban topoğrafyası, fay kırılması, ya da zemin kaymasıyla ilgili parametreleri alarak, dalga oluşumu ve davranışını bulmak üzere su düzeyi değişimlerini ve akıntıları, yer ve zamana bağlı olarak hesaplar. Bu sonuçlar ayrıca görsel olarak iki ya da üç boyutlu resim ya da film halinde hazırlanabilmektedir.

1999 İzmit tsunamisi için yapılan model çalışmasında elde edilen ilk sonuçlar bu sayfalarda görsel malzeme olarak, dikey eksen büyütülerek sunulmuştur.

Görgü şahitlerinin verdiği bilgilere göre tsunami, Körfez'in kuzey kıyılarındaki bazı yerlere ve Güzelyalı kıyılarına depremden birkaç dakika sonra ulaşmıştır. Salınım olsa, bu kadar kısa sürede olgunlaşmaz. Güney kıyıların dikey hareketleri ve çökmesinden kaynaklanan tsunami de kuzey kıyılarda Yarımca ve batısına da bu kadar kısa sürede ulaşamaz. Kuzey kıyıların deprem sırasındaki dikey davranışlarıyla oluşan, tsunami olsa bile o zaman da bu kadar geç gelmez.

Buna göre, tsunami oluşturan odağın yerini ararken, Güneyde Yüzbaşılar ile Ulaşlı arasındaki kıyılara çok çabuk, kuzeyde ise Yarımca ile Yalıkent arası kıyılara ve güneyde Güzelyalı'ya birkaç dakikada ulaşılacak bir merkez aramamız gerekmektedir. Bu merkez de Ulaşlı'nın batısındaki Kestane Burnu açıklarındaki Körfez'in en derin yeriyle Değirmendere kıyısı arasında ki doğrultu üzerinde olmalıdır.

Şimdi diğer bir ipucuna gelelim. Görgü şahitlerinin birçoğu depremden sonra denizin önce çekildiğini gözlemişlerdir. Yani hissedilen ilk dalga suyun çekilmesidir. Aslında tsunaminin ilk dalgası zayıf olur. Onu deprem felaketinin hemen sonrasında gece farketmemiş olmak normaldir. Ancak onlar, çok önemli bir ipucunu yakalamışlardır. Tsunaminin etkili olan öncü dalgasının ön bölümü su düzeyinin göçmesi biçimindedir. Bu biçim, elimizdeki verilere göre, kuzeyde Yarımca, Yalıkent ve Darıca'da, güneydeyse Güzelyalı'da aynıdır. Tsunaminin kuzeye, batıya ve güneybatıya giden yayılmasında göze batan, öncü bölümünün düşük olması, onun taban çökmesiyle oluştuğunu anlatmaktadır. İşte bu nedenle tsunaminin oluşma odağını Değirmendere'deki göçmeye neden olan deniz tabanındaki hareketlerin nerede ve nasıl olduğunda aramak gereklidir. Ancak tsunaminin tipi ve kıyılara ulaşma zamanına baktığımızda, Değirmendere kıyısında kayma ve göçmeyle biten, ama deniz tabanında başladığını tahmin edebileceğimiz çökme ya da fay kırılmasıyla oluştuğu kanısına varabiliriz. Bu görüşü, jeoloji, jeofizik ve jeoteknik uzmanları birlikte değerlendirecektir. Bu yazı içinde de belirtildiği gibi, tsunami araştırmacıları, tsunaminin oluştuğu yerde jeoloji, jeofizik ve jeoteknik uzmanlarıyla buluşurlar.

Modelde gösterilen tsunami hareketinden başka, Marmara Denizi kıyılarındaki hemen hemen her balıkçı barınağı, ya da limanda, deprem sonrasında özellikle küçük teknelerde bulunanların hissettikleri dalga ve akıntı olayları da olmuştur. Küçükçekmece Gölü'nün denizle bağlantısı olan giriş ağzı, Ataköy Marina, Boğaz'da Yeniköy kıyısı ve Göksu ırmak ağzı, Bandırma ve başka kıyı yerleşim merkezlerindeyse, İzmit Körfezi'nde

gözlenen daha uzun periyotlu dalga ve akıntı hareketleri tesbit edilmiştir. İzmit Körfezi'ndeki tsunamiden farklı bir dalga periyoduna sahip olan bu hareketler, fayın Marmara Denizi'nde sonlandığı yerde, sismik etkiyle oluşan bir başka zayıf tsunaminin izleri olabilir. Ya da, yukarıda anlattığımız salınım da olabilir. Bu konunun daha ayrıntılı açıklanabilmesi için, öncelikle jeofizikçilerin fay konusunda yapmakta olduğu çalışmalar ve onların yorumlarından yararlanmak gerekecektir.

Tekrar Olur mu?

Çok sayıda doğal afetin böylesine bir arada ortaya çıkması çok enderdir. Tarih boyunca denizlerimizde ender de olsa tsunamiler oluşmuştur. Ancak, kıyılarındaki yerleşim merkezlerinin ve nüfusun artıyor olması, bu konuda duyarlı olmamızı gerektirmektedir. Zayıf bir deprem sonrasında bile, denizde oluşabilecek anormalliklerden uzak kalmaya çalışmalı, karadaysak kıyıda biraz uzağa ve yükseğe çıkmalı, denizde teknedeysek derin sulara çekilmeliyiz.

Yaşamımızda hiç tsunami olmayacakmış gibi huzurlu, bir gün olabilir diye de dikkatli olmamızda yarar vardır.

*Araştırmalara katkı sağlamak için; 1999 İzmit Depremi sonrasında İzmit Körfezi'nde ve Marmara Denizi'nde gözlediğiniz deniz olayları konusunda bilgi vermek ve bilgi almak üzere <http://cwis.usc.edu/dept/tsunamis/turkey>
E-posta: tsunami@metu.edu.tr
Posta: Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçın
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA*

Bu çalışmanın gerçekleşmesi ve yazının hazırlanmasında deneyimleri ve danışmanlığından yararlandığım, Prof. Dr. Nobuo Shuto, Prof. Dr. Costas Synolakis, Doç. Dr. Fumihiko Imamura, Araş. Gör. Jose Borrero, İnş. Müh. Salim Pamukçu, Dr. Philip Watts, Prof. Dr. Jean Pierre Bardet, Prof. Dr. James Dolan, Prof. Dr. Ali Rıza Günbak, Prof. Dr. Adnan Akyarlı, Jeofizikçi Uğur Kuran, Prof. Dr. Yalçın Yüksel, Araş. Gör. Serüben Güler, Met. Müh. Gökhan Türe, Sosyolog Levent Yüksel, Engin Aygün ve Ümit Sakmar'a teşekkür ederim.

*Ahmet Cevdet Yalçın
Doç. Dr., ODTÜ ve Güney California Üniversitesi*