

# 26 ARALIK 2004 GÜNEY ASYA DEPREMİ VE TSUNAMİSİNİN SAHA GÖZLEMLERİ (17-31 OCAK 2005)

Ahmet Cevdet YALÇINER<sup>(1)</sup>, Şükrü ERSOY<sup>(2)</sup>, Doğan PERİNÇEK<sup>(2)</sup>,  
Gegar S. PRESATEYA<sup>(3)</sup>, Rahmen HIDAYET<sup>(3)</sup>, Brian MCADOO<sup>(4)</sup>

## GİRİŞ

26 Aralık 2004 tarihinde Endonezya'nın Sumatra adasının batısında Richter ölçeğine göre 9.15 büyüklüğünde bir deprem meydana geldi. Hint Okyanusu'nda meydana gelen bu deprem bilim çevrelerince Güney Asya, Sumatra, Endonezya ya da Sumatra-Andaman Depremi olarak bilinir. Deprem oluşturduğu tsunami kıtalararası dolaşarak büyük can ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. USGS'ye göre depremde ve özellikle de tsunamiden 283.100 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu deprem yakın zamanın ya da yüzyılımızın en ölümcül depremi olarak bilinmektedir. Bu afetin adı Avustralya, Yeni Zelanda, Kanada ve Dünya basınında "Asya Tsunamisi" olarak adlanırken İngiltere'de o günkü spor faaliyetinden dolayı "Boks Günü Tsunamisi" olarak adlanır.

Bu depremden sonra oluşan tsunaminin etkilerini bilimsel olarak yerinde incelemek üzere UNESCO IOC (Uluslararası Okyanus Komisyonu) örgütünün de desteği ile oluşturulan Uluslararası Tsunami Araştırma Grubu, Endonezya Hükümetinin daveti ve ev sahipliği ile birlikte 16-31 Ocak 2005 tarihleri arasında Sumatra adası kıyılarında ve onun yakındaki küçük adalarda ön incelemelerde bulunmuşlardır. Bu Uluslararası Tsunami Araştırma Grubu'na Türkiye'den Yıldız Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi öğretim üyesi Prof. Dr. Şükrü Ersoy ve Prof. Dr. Doğan Perinçek ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi öğretim üyesi Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçiner Endonezya'dan davetli olarak katılmışlardır. Türkiye'den giden 3 kişilik bilim heyeti, 9 Japon, 9 Rus, 3 Amerikalı ve 6'nın üzerindeki Endonezyalı uzmanla birlikte uluslararası ortak çalışma grubu oluşturmuştur.

## BÖLGENİN TEKTONİĞİ

26 Aralık 2004 depreminin merkez üssü, üç levhanın kesiştiği noktaya yakın ve daha önce de büyük deprem ve tsunamilerin yaşandığı bir alanda meydana gelmiştir (Şekil-1). Indo-Avustralya levhasının Sunda hendeği boyunca Avrasya kıtasının altına daldığı yerdeki hendek, Myanmar (Burma)'dan, güneyde Sumatra ve Java'ya; oradan doğuda Avustralya'ya, küçük Sunda adalarına kadar uzandıktan sonra Timor yakınında sonlanır. 5500 km uzunluğundadır. Yüksek depremsellik özelliği gösterir. Dalma-batma kuşağı genel olarak yüksek depremselliğe sahip olsa da göreceli olarak her kısmı aynı derece deprem oluşturmaz (Chlieh, vd., 2005). Tarihte çok büyük şiddetli püskürmelerini bildiğimiz Krakatoa, Tambora ve Toba volkanları böyle bir tektonik kesişmenin olduğu yerde yer almışlardır.

Batıdan itibaren Sumatra, Java, Bali, Flores ve Timor gibi adalar topluluğundan oluşan Endonezya, kuzeydoğusunda adalar topluluğunun bulunduğu Pasifik Ateş Hattı denilen bölge ile güneyindeki Alp kuşağı arasında yer alır. 26 Aralık 2004 tarihindeki deprem Alp kuşağının en güneydoğu ucunda yer alan Sumatra adasının hemen batısında Hint Okyanusu içinde meydana gelmiştir. Çok geniş ölçekte bakıldığında deprem bölgesinin Indo-Avustralya ile Avrasya levhalarının çarpıştığı yerde bulunduğunu söyleyebiliriz. Bölgesel anlamda ise bu dalmanın güneydeki kıtanın Sunda levhası altına doğru olduğu söylenebilir.

Endonezya'nın da içinde bulunduğu dalma-batma kuşakları küresel anlamda Dünya'nın pek çok bölgesinde bulunmasına rağmen, bu kuşaklar jeolojik yapıları açısından birbirinden oldukça farklı özellikler gösterirler. Özellikle yaşlı okyanusal kabuğun diğer lavhanın altına daldığı bölgelerde deprem potansiyeli bir segmentten diğerine değişmekle birlikte genellikle küçük ve orta büyüklükteki depremler oluşur. Kretase-Paleojen yaşlı okyanusal kabuğa sahip Hint okyanusunda meydana gelen  $M_w=9.1$  büyüklüğündeki 2004 Endonezya depremiyle bu genel kural bozulmuş gibi görünmektedir. Bunların bazıları dik eğimli dalma-batma kuşakları olup dalma hızı yavaş-

<sup>(1)</sup> Doç. Dr., ODTÜ İnşaat Fakültesi Deniz Mühendisliği Araştırmaları Merkezi, Ankara

<sup>(2)</sup> Prof. Dr., YTÜ Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi, İstanbul

<sup>(3)</sup> Denizcilik ve Balıkçılık bakanlığı, Kıyı Afetleri Sakınım Direktörlüğü, Endonezya

<sup>(4)</sup> Vassar College, Jeoloji ve Coğrafya Bölümü, New York



tinde önemli bir enerji boşalması sonucu uzun süre büyük deprem meydana gelmesi beklenmemektedir (Şekil-2). Fakat bu büyük depremde kırılan fayın uç kısımlarında önemli bir stres yüklemesi meydana geldiğinden bu bölgelerin yeni depremler oluşturma-  
cağını söyleyebiliriz. Nitekim kırılan parçanın güney-  
doğu ucunda 3 ay sonra 28 Mart'ta meydana gelen  
Nias Depremi bunun açık kanıtıdır. 2004 Güney Asya  
Depremi, 1861 yılında kopan fayın kuzeybatı ucunda  
meydana gelmiştir (Subarya ve diğ., 2005).

## 26 ARALIK 2004 DEPREMİNİN ODAK ÖZELLİKLERİ

Depremi büyüklüğü başlangıçta Richter ölçeğine göre 8.6 olarak açıklandı. Pasifik Tsunami Uyarı Merkezi (PTWC) depremden kısa bir süre sonra 8.5 olarak belirtti. Deprem için en doğru büyüklüğü veren moment magnitüd ölçeğine göre, USGS depremin büyüklüğünü ilk olarak 8.5, sonra 8.9 ve 9.0 olarak verdi. Ek analizlerden sonra da bu değer 9.3'e yükseldi. Bu değer Pasifik tsunami Uyarı Merkezi tarafından kabul edilirken USGS verdiği büyüklük değeri olan 9.0'u değiştirmede. Son olarak en kesin tahmin 9.15 olarak kaldı.

Ana şokun koordinatları Sumatra adasının 160 km batısında, küçük bir ada olan Simeulue'nün ise tam kuzeyinde olmak üzere 3.316°N, 95.854°E (3°19'N 95°51.24'E) olarak belirlenirken, depremin derinliği başlangıçta 10 km, sonradan da ortalama deniz düzeyinin 30 km altında olarak değiştirildi. Deprem tsunamiden ayrı olarak Bangladeş, Hindistan, Malezya, Myanmar, Tayland, Singapur ve Maldivler'de hissedildi.

Son yüzyılda meydana gelen 1960 Şili Depremi (büyüklüğü 9.5), 1964 Alaska, Good Friday Depremi (büyüklüğü 9.2), yine Alaska'da 1957 Andreanof adaları Depremi (Aleutian adalarının bir parçası) (büyüklüğü 9.1), 1952 Kamçatka Depremi Pasifik Okyanusu'nda ve tsunami yaratan çok büyük depremler olarak kayıtlara geçmiştir. Kıtaların birinin diğerinin üzerinde megabindirmeler yarattığı, coğrafyanın ise büyük ölçüde değiştiği bu büyük depremlerdeki toplam can kaybı, 26 Aralık 2004'de Hint Okyanusu'ndaki meydana gelen Güney Asya Depremi'yle kıyaslanamayacak kadar azdır. Can kayıplarının yüksek olmasının nedeni sadece depremin büyüklüğü değil, aynı zamanda hızla artan gelişmekte olan ülkelerin nüfus yoğunluğudur.

Deprem alışılmadık bir coğrafik büyüklükte olmuştur. Depremde kırılan fay uzunluğunun ilk önce 1000 km olarak açıklanırken bu uzunluk daha sonra 1200 km olarak değiştirilmiştir. Türk Araştırma Ekibi bu depremde kırık uzunluğunun 1200 km olduğunu, fakat 600 km'lik kısmı tsunami oluşturduğunu düşünmektedir. Verilen bu uzunluğun Türk Araştırma Ekibi'nden Yalçiner'in Jeofizik Yüksek Mühendisi Uğur Kuran ve

İTÜ öğretim üyesi Prof. Dr. Tuncay Taymaz'ın deprem parametreleri yardımlarıyla oluşturduğu tsunami benzetim modeli ile uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır. Hindistan levhasının Burma levhası altına daldığı bu faylanmada 15-20 metrelik bir atım meydana gelirken, deniz tabanındaki yükselme miktarı 5 metreyi geçer. Yırtılma bir anda değil, birkaç dakikalık periyotta iki fazda meydana gelmiştir. Yırtılma, saatte 10 000 km saniye 2.8 km hızla olmuştur. Sismolojik ve akustik verilere göre yırtılmanın Aceh bölgesi açıklarında başladığı 100 saniyelik bir periyotta kuzeybatıya hareketle 400 km'nin kırıldığını; 100 saniyelik bir aradan sonra ikinci yırtılmanın kuzeyde Andaman ve Nicobar adalarına doğru devam ettiği ve 5 dakika sürdüğü belirtilmektedir. Faylanma dalma-batmayla başlamış doğrultu atımlı faylanmayla son bulmuştur (Wikipedia, the free encyclopedia).

## KIYILARDA GÖZLENEN ÖNEMLİ DÜŞEY TEKTONİK DEĞİŞİMLER

Büyük dalma-batma kuşaklarında oluşan depremler sırasında kıyılarda deniz tabanında önemli yükselmeler ya da çökmeler meydana gelebilir. Bu tür depremlerde kıyılardaki yer kabuğunun tektonik olarak düşey yönde ötelendiği pek çok örnek bulunmaktadır. 1964 Alaska ve 1960 Şili depremleri böyle bir kalıcı değişimin önemli tarihsel örnekleridir. Söz konusu bu depremlerde kıyılar yüzlerce kilometre boyunca tektonik değişime uğramışlardır. Bunlar deprem sırasında (ko-sismik) meydana gelen ani değişikliklerdir. Ayrıca deprem sonrasında (post-sismik) ve iki büyük deprem arasında (intersismik) da dalan levhanın üzerinde bazı yavaş değişimler olabilir (Şekil-2). Bu değişimler jeodezik yöntemlerin periyodik ölçümleriyle saptanabilir. Bu yöntemlerin kullanılması dalma-batma kuşaklarında meydana gelecek olası depremlerin yaklaşımının tahmin edilmesinde son derece önemli rol oynamaktadır. Çünkü elastik yamulma enerjisinin biriktiği inter-sismik dönemde dalan levhanın geçiş kuşağında bir kilitleme ya da sıkışma meydana gelir. Bunun sonucu üsteki levhada yavaşça bir yükselme meydana gelir. Bunu kıyılarda giderek çekilen deniz seviyesinden anlamak olanaklıdır. Deprem oluştuğunda dalan levhanın kilitli sıkışmış kısmı kurtulur ve üsteki levhada (ko-sismik) hareketlerde bir terslenme yani çıkan kısımlar çökerken diğer kısımlarda da yükselmeler meydana gelebilir ve deniz seviyesi tekrar yükselebilir.

2004 ve 2005 depremlerinden önce inter-sismik dönemde yapılan çalışmalar (Sieh ve diğ., 1994) Hint levhasının daldığı hendekten 80-130 km uzakta ve Sumatra adasının batısında dış yayın olduğu kısımda yer alan adaları çevreleyen mercanların oluşturduğu mikroatollerin gelişim yapıları bölgedeki yavaş bir çökmeyi işaret etmektedir. Bu çökme, kıtasal kabuğun deprem açısından elastik bir yüklemeye maruz kaldığını ve bir ya da birden fazla büyük deprem

oluşturabileceğinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Bunun yanında morfolojik çalışmalar ve radyokarbon ve U-Th tarihlendirme yöntemleriyle daha yaşlı mercanlardan elde edilen verilere göre en azından Orta Holosen'den beri, yani geçmiş birkaç bin yıl içinde birkaç kez olmak üzere çok az miktarlarda ani yükselmelere maruz kalmıştır.

26 Aralık 2004 Güney Asya Depremi sırasında üsteki levhanın hendeğe en yakın dış yay adı verilen kısmında tektonik yükselme oluşurken hendekten oldukça uzakta üst levhanın ada yayı denilen kısmında bir çökme meydana gelmiştir. Çöken ve yükselen kısım arasında sınır geçiş zonu olarak adlandırılır. Yükselen kısım dalma-batma zonunun depremden önce kilitlenmiş kısmının deprem sırasında kurtulmasıyla oluşur. Nitekim deformasyon yoğun olduğu dış yayda yer alan Simuelue ve Nias gibi adalar kısmi yükselmenin olduğu bölgeler iken Sumatra adasının kuzeyinde (ki burası yapısal olarak ada yayı konumundadır) Aceh bölgesindeki Banda Aceh, Meulaboh ve Calang gibi önemli yerleşim alanlarının kıyıları ise dalma-batma zonunun epey gerisindeki önemli çökme alanlarıdır. Bu değişim kosismik bir olaydır.

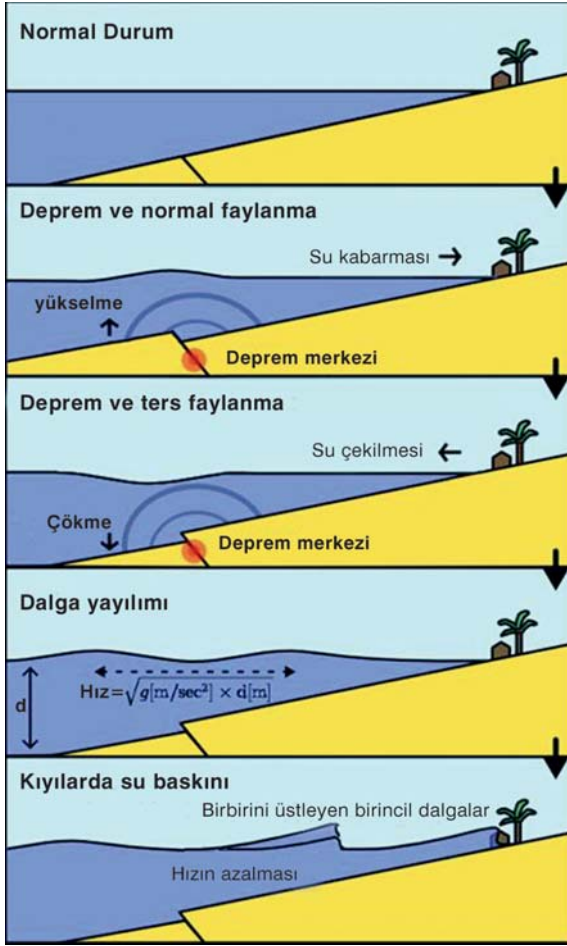
#### **TSUNAMİ DALGALARIN HİDRODİNAMİK ETKİLERİ VE TSUNAMİ ÇÖKELLERİN ÖNEMİ, ÖZELLİKLERİ VE TANINMASI**

Risk değerlendirmesi açısından deprem ile tsunami arasında farklılıklar olduğunu söyleyebiliriz. Depremi merkez üssünden uzaklaştıkça genelde hasar azalırken, tsunamide oluşan bölgeden binlerce kilometre uzaklıkta bile ciddi hasar meydana gelebilir. Sözelimi, Pasifik Okyanusu'nun etrafında herhangi bir yerde tsunami meydana gelse, çok uzak olmasına rağmen Hawaii adaları etkilenebilirlik açısından büyük risk taşır (Jaffe ve Gelfenbaum, 2002).

Halkın güvenliğinden sorumlu olan karar vericilerin daha iyi anlayabilmeleri için gelecekte oluşacak yıkıcı tsunamilerin nerede, hangi büyüklükte, hangi sıklıkta olabileceği ve tarihsel dönemde meydana gelmiş bu tür büyük tsunamiler konusunda uzmanlar tarafından bilgilendirilmeleri gerekmektedir. Bu tür bilgiler kıyıdaki yerleşim alanlarının planlanmasında, uzaklaştırma bölgelerinin seçiminde önemli rol oynar (Geist et al. 2000). Dünya'nın pek çok yerinde tsunami konusundaki yazılı kayıtlar çok kısırdır ve bir risk değerlendirmesi için yetersizdir. Eğer çökel tsunami tarafından biriktirilmiş ve korunmuşsa oluşan tsunaminin jeolojik kayıtları da korunmuş, demektir. Bu bilgiler risk değerlendirilmesi için önemlidir. Bir saha çalışması sırasında jeologlar bu çökellerin tane boyuna, fosillerine, matriksine, tanelerine, boyanmasına, derecelenmesine, çökel yapılarına, kalınlığına, alt ve üst sınır ilişkilerine, yanal değişimine, tabakalanmasına, tarihlendirilmesine bakarak geç-

mişteki bir tsunaminin varlığını ortaya koyabilir. Hatta bu çökeller, insanlık tarihi içinde gerçekleşmiş, fakat varlığı uzmanlarca bilinmeyen bir tsunamiye de ait olabilir. Bu jeolojik kayıtlar olmaksızın bilim insanları gelecekte yıkıcı, büyük bir tsunamini oluşabileceğini önceden kestirmeleri de olanaklı değildir. Bu bakımdan tsunamiler tarafından bırakılan birikimler, tsunami kayıtlarını tutmak ve bir risk değerlendirmesi yapmak için son derece önemlidir. Saha çalışmaları ve tsunami çökellerinin modellenmesi yardımıyla tsunami riski için tsunaminin büyüklüğü ve sıklığı gibi iki önemli faktör değerlendirilir. Son yıllarda bu çökellerin çalışmalarında artış risk değerlendirmeleri konusunda önemli gelişmelerin kaydedilmesine neden olmuştur.

Açık denizlerde dalga yüksekliğinin 1 metreyi geçmediği ve buna karşılık dalga boyunun 100 km yi aştığı, yüksek hızlı (500-700 km/saat) tsunami dalgaları kıyıya yaklaşırken yavaşlarlar. Hızı, derinliğin ve yerçekimin bir fonksiyonu olarak azalır (Şekil-3). Tsunami ile gelen çok güçlü dalgalar kıyının batimetrisine ve topografyasına bağlı olarak kara içlerine kadar soku- lurlar. Suların karanın içine girdiği son mesafe su basma (inundation) uzaklığı, tırmandığı en yüksek noktanın deniz seviyesine olan yüksekliği ise tırmanma yüksekliği (run-up) olarak adlanır. Tsunaminin dalga yüksekliği ise ayrı bir kavramdır. Bu arada denizin içinden özellikle kıyılardan taşıdığı kumları, çamurları, ağaç ve tahta parçalarını, çeşitli eşya, inşaat ve araba parçalarının oluşturduğu molozları karaların içlerine kadar taşır. Karanın birkaç kilometre içlerine kadar girebilen sular hızlı bir biçimde çekilirken de molozların bir kısmını denize doğru sürüklerler ve su tabanındaki kara alanını derin biçimde taşıyabilir. Eğer tsunami dalgalarına bir volkanik aktivite neden olmuşsa dalgaların taşıdığı malzemeler arasında volkanik kül ve yüzebile cürufumsu lavların da olması gerekir. Denizin karaları basması ve çekilmesi sırasında meydana gelen erozyon ve birikme olaylarıyla birlikte kıyılarda önceki halinden farklı bir şekilde önemli değişimler meydana gelebilir. Bu değişimler kalıcı değişimlerdir. Tsunamilerin ya da kasırgaların yarattığı dalgaların güçlü etkisi yabancı yaşam ortamlarının bulunduğu, binlerce yılda oluşan kıyıyı açık deniz etkilerinden koruyan kum barları ya da sedlerini de bozabilir, üzerlerinde yarıklar (gedikler) açabilir ya da tamamen ortadan kaldıracaktır. Ekvatora yakın Endonezya gibi ülkelerde sıcaklık hiçbir zaman 18 C°'nin altına düşmez ve bol yağış alan bu sıcak kuşaklarda yaygın olarak mercan resifleri gelişir. Genellikle yama ve sed resifleri şeklinde gelişen mercan kolonileri, 26 Aralık 2004 tsunamisinde su içinde derin ve sağlam kökleri bulunan mangrov ormanları ile birlikte kıyıları tsunaminin yıkıcı etkisinden koruyan önemli yapılar olarak dikkati çekmişlerdir. Yapılan gözlemlerde resiflerin ya da mangrov bitkilerinin bulunduğu kıyılarda tsunaminin tahripkar



Şekil 3 - Bir Tsunami Dalgası Deprem Sonrası Çekilme, Su Basması ve Dalganın Yükselmesi gibi Karakteristik Davranışlar Gösterir.

etkisi ya olmamıştır ya da zayıf olmuştur. Fakat ekosistemde önemli işlevleri olan bu yapıların kendileri tsunamini aşındırıcı etkisinden koruyamamış ve bu durum bir çevre felaketinin oluşmasına yol açmıştır. Bir mercan resifini yılda ortalama 0.5 cm büyüdüğü düşünülürse bu hasar büyüklüğü daha iyi anlaşılır. Sri Lanka, Phuket'teki ve Maldivler'deki resif ve atoller bu şekilde etkilenmişlerdir. Tsunami bu yapıların bulunmadığı kıyıları daha çok etkilemiştir. Bu erozyonel etki hem tsunami dalgalarının kıyıya vurduğu anda, hem de çekildiği sırada çok güçlü olmuştur. Kıyıların doğal şekli bozulurken, kıyı yapıları, tarım alanları ve ağaçlar kalıcı bir biçimde bozulmuştur. En büyük zararı da tsunami tarihinin en büyük can kaybını veren insanoğlu görmüştür. Tuzlu deniz suyu baskınları nedeniyle tarım alanları ve bitkiler üzerindeki etki uzun süreli olacaktır.

Tsunaminin aşındırıcı etkisi dışında kıyıda bıraktığı birikim etkileri hakkında da şunları söyleyebiliriz. Her şeyden önce tsunami dalgalarının su baskınına yol açtığı kara alanlarının nihai sınırları (inundation)

ve tırmadığı yüksekliği (run-up) ile getirdiği bu çökelleri (tsunamit) yerli yerinde incelemek deprem kaynaklı bir deniz dalgasının boyutlarının ve etkisinin anlaşılmasında son derece önemlidir. Bu kadar büyük bir tsunami izinin çok yaygın bir şekilde pek çok yerde izlenebilmesi ve incelenememesi aslında bu bilim insanları açısından büyük bir şans olmuştur. Türk ekibi olarak Endonezya'daki bu vaka jeolojisi ve stratigrafisini (event geology and stratigraphy) araştırmak Türkiye kıyılarına uygulamak adına bizlere büyük bir deneyim kazandırmıştır. Özellikle paleotsunami çalışmalarında, tarihsel tsunamilerin izleri bulmak için yapılan araştırmalarda yaşanan çeşitli sıkıntılar karşısında yerli yerinde canlı bir tsunaminin izlerini araştırmak büyük bir fırsattır. Bu zorlukların en başta geleni tsunamiyle gelen çökellerin iyi korunamamasıdır. Olay tarihinden belli bir süre sonra bu birikimler çeşitli olaylarla bulundukları yerlerden aşınabilir ve tsunaminin izleri ortadan kalkabilir. İkinci olarak kıyılarda her yerde birikim olmayabilir; bunun aksine erozyon meydana gelebilir. Üstelik dalgaların bıraktığı bu birikimler genellikle 10 cm geçmeyecek şekilde oldukça ince olabilir. Kıyı lagünleri, bataklıklar, eski nehir yatakları ile kıyıdaki bazı çukur alanlar tsunami çökellerinin bulunabildiği en gözde yerlerdir. Nitekim Endonezya'daki incelemelerimizde yukarıda sözünü ettiğimiz ortamlar izlerin korunabildiği en iyi yerler olduğu gözlemlenmiştir. Paleotsunamik çalışmalar sırasında kazılan hendeklerde tsunami çökelleri bulunsun bile bunların fırtına çökelleriyle karıştırılma olanağı vardır. Fırtına dalgalarının (storm surge) bıraktığı çökellere "tempestit" (Latince'de tempestus fırtına anlamına gelir) adı verilir. Tempestitler çökelin niteliğine göre çamurlu ve kumlu olarak ikiye ayrılırlar. Fırtına dalgaları hem gelgit düzlüğü üstü (supratidal) çökeller üzerinde; hem de gelgit düzlüğü altı (subtidal) ortamdaki kumun, ince tanelerin, çakılın, yosunun, çeşitli kabuk ve iskelet döküntülerinin karışmasında etkili olurlar. Fırtına azaldıktan ya da geçtikten sonra deniz suyunda asılı duran malzeme gelgit düzlüğü ortamda aşınmalı bir tabanla birikir. Fırtına çökelleri sadece kıyı çökellerinde değil, derin denizde de birikir (Einsele, 1992).

Tsunamitleri tempestitlerden ayırmak için ya da benzerlikleri için özetle şunları söyleyebiliriz. Her ikisi de erozyonel tabanlı ve dereceli tabakalanmaya sahiptir. Tsunami tabakalarının en ayırt edici özelliği alttaki ve üstteki daha ince taneli tabakalara kıyasla olağandışı bir biçimde kaba taneli boyuta sahip olmasıdır. Bu ince taneli tabakalar hem fırtına çökellerinde hem de daha derinde bulunabilir. Tsunamitlerin intraklastları ya da çakılları sığ sulardan, plajdan ve hatta suların bastığı kara alanlarından (ekszotik bloklar) türemiş olabilir. Bunun için tsunamitlerin fauna ve flora toplulukları ile kaya bileşenleri karışık kaynaklı olabilir. Kaldı ki tsunami dalgaları tek bir dalgadan çok bir dalgaın kıyıya vurmasından ve çekilmesinden

oluşur. Bunlar iki veya daha fazla tabakadan oluşur ve her biri kaba taneli bir tabanla başlar, ince taneli üst tabakayla biter (Shiki & Yamazaki, 1996).

Tsunamitler üzerine yapılan çalışmalar aslında çok yeni olup yaklaşık 10 yıllık bir süreci kapsar. Fakat olumlu araştırmalar çalışmaların hızla artmasına neden olmuştur Gelfenbaum et al. 2001, Jaffe et al. 1999, Jaffe et al. 1998, Minoura et al. 1997, Moore et al. 1996, Sato et al. 1995, Shi et al. 1995). Sözgelimi, Cascadia bölgesi (ABD) en çok çalışılan ve yayın üretilen bir bölge olup, çökellerin tanınmasında olumlu katkılar yapmıştır. Tsunaminin hidrodinamik özelliklerini yansıtan tsunami çökellerinin karakteristikleri tsunaminin büyüklüğünün anlaşılmasında da son derece önemli rol oynamaktadır.

Göreceli olarak derin sularda akıntının dönüşü sırasında oluşmuş tsunami tabakaları karada birikenlere kıyasla potansiyel olarak en iyi korunmuş olanlardır. Karadaki ve sığ sulardaki tsunamitler hem denizel, hem de karasal kökenli materyaller içerdiklerinden karışıkırlar. Kretase-Paleosen sınırı için çok karakteristik olan meteorit çarpması olasılıkla alışılmadık bir megatsunami dalgaları oluşturmuş ve 100-300 metre derinlerde içinde mikrotektitler ve metamorfize olmuş kuvars taneleri ile bol miktarda İridyum mineralinin bulunan tsunamit tabakaları meydana gelmiştir (Bourgeois vd., 1988; Alberto & Martins, 1996).

Uluslararası bir araştırma grubuyla birlikte yapılan Endonezya gezisi sırasında pekçok bölgede bulduğumuz tsunamitleri üçe ayırabiliriz. Bunlar, 1- *Masif kumlar*, 2- *Çamurlar* 3- *Tabakalı Çökeller*'den oluşur. Bu güncel tsunamitlerden ayrı olarak olasılıkla daha önceki tarihsel tsunami dalgalarına ait olduğunu düşündüğümüz paleotsunami çökellerine rastlanmıştır.

Masif kumlar, Sumatra adasının kuzeyindeki Medan, batısında Meulaboh ve Çalang; ile Simuelue adasının hemen hemen tüm kıyılarında gözlenmiştir (Şekil-4). En yaygın olarak bulunan tsunami birikimleridir. Sarı renkli tamamen deniz tarafından getirilmiş kaba taneli kumlardan oluşmaktadır. Tabakalanması hemen hemen yok gibidir. Çok dikkatlice bakıldığında ancak anlaşılmaktadır. Plajdaki hemen hemen aynı görünümlü kumlardan erozyonel bir tabanla ayrılmaktadır. Ayrıca, altaki yerli kumlar içindeki bulunan ot ve çeşitli bitki parçaları üsteki daha temiz tsunami kumlarından ayırmak için önemli bir özellik olmuştur. Kalınlığı çok değişkendir. Kalınlık sahile yakınlığına, kıyı topografyasına, deniz batimetrisine bağlı olarak değişmektedir. Birbirine çok yakın iki alanda farklı kalınlıkta tsunami çökellerine rastlanmıştır. Bu değişkenlik düşey yönde olduğu kadar yanal yönde de izlenmiştir. Maksimum kalınlığı 50 cm'dir. İncelenen bu kumların büyük çoğunluğu daha sonraki ay ve yıllarda gitgide aşınacak ve yok olacaktır. Bu bakımdan paleotsunami çalışmaları bu tür çökelleri bulmak oldukça güç bir iştir. Bu bakımdan bu çökellerin iyi korunabileceği ortamları araştırmak gereklidir.

Kıyı gerisindeki lagüner ortamlarda tsunamitlerin daha iyi korunabildiğini Türkiye kıyılarında yaptığımız paleotsunami çalışmalarından zaten biliyorduk. Türkiye'deki bu bilgilerimizi kontrol etmek amacıyla Endonezya kıyılarında, bu tür lagüner ortamlarda yaptığımız incelemelerde, gerçekten de gri renkli organik kökenli, kötü kokulu plastik kıvamlı lagüner çamurlarının üzerine keskin dokanakla tsunami kumlarını geldiğini gördük. Bu kumlar kara alanının hayli içlerine kadar uzanmaktadır. Bu uzaklık bazen bir kilometreyi bulmaktadır. Tsunami dalgaların nihai olarak eriştiği kısımda doğal olarak kumlar belli belirsiz olarak izlenirken buraya kadar taşınan denizel hayvan kabukları gözlemlerimizin daha güvenilir olmasını sağlamıştır.

İkinci tip tsunamitler ise çamurlardır (Şekil-5). Çamur tsunamitler her yerde yaygın olarak gözlenmemiştir. En yaygın olarak gözlemlendiği yer, Sumatra adasının batısındaki Meulaboh sahilleri olmuştur. Meulaboh yerleşim alanı, Banda Aceh'ten sonra Tsunami dalgalarının ve can kayıplarının en yüksek olduğu bir bölgedir. Depremin merkez üssünü direkt olarak görmektedir. Yerleşim alanı bir alüvyon düzlüğü üzerindedir. Yüksek dağlık kesim kıyıda birkaç kilometre geridedir. Tsunami dalgalarından kaçacak bir yer hemen hemen yok gibidir. Bu nedenle can kayıpları fazla olmuştur. Burada yaptığımız incelemelerde tsunami dalga yüksekliğinin yaklaşık 20 metre olduğu tarafımızdan saptanmıştır. Bu gözlemimizi, hem tsunamiden canlı kurtulan insanlarla yaptığımız konuşmalardan, hem de tsunami dalgalarının üzerinden geçtiğini saptadığımız bazen kurumuş ağaçlarda (özellikle Hindistan cevizi) yaptığımız incelemelerden elde ettik. Meulaboh'un özellikle doğu sahillerindeki köyler halen 80 cm'ye varan koyu kahve renkli, siyahımsı torflu masif çamurlarla kaplıdır. Tüm yapıların içi de dahil olmak üzere çamurlarla kaplı olduğundan evlerde oturmak ancak bu birikimlerin temizlenmesiyle olanaklıdır.

Üçüncü grup tsunami çökelleri ise tabakalı tsunamitlerdir (Şekil-6). Bu tür çökellere hemen hemen



Şekil 4 - Medan (Sumatra) Kıyılarında Tsunami Dalgalarının Getirdiği Masif Kum Çökelleri

sadece dere yatakların kıvrım yaptığı dirsek noktalarındaki düzlüklerde rastlanılmıştır. Bu tür tsunamitler çok karakteristik özelliklere sahiptir. Sınırlı kalınlıkları vardır. Toplam kalınlıkları 30-35 cm kadardır. Birbirini takip eden çok sayıdaki (yaklaşık 7) tsunami dalgasının ürünüdür. Tabaka kalınlıkları 1-2 cm'yi geçmez. Tsunami dalgalarının kıyıya vurduğu anda bıraktığı çökeller ile dalgaların dönerken bıraktığı çökeller renk ve doku bakımından birbirinden farklıdır. Gelen dalganın getirdiği malzemeler açık bej renkli ince taneli kum ve siltlerden oluşurken, dönen dalganın bıraktığı izler ise koyu kahve renkli çamurlardan oluşmaktadır. Çamur tabakaları bazen 1 cm'yi geçmeyen laminalar şeklindedir. Gerek düzenlilik açısından ve gerekse tane boyu açısından baktığımızda bu çökeltilerin diğer tsunamilere kıyasla daha sakin ve az enerjik bir şekilde biriktiğini söyleyebiliriz.

Saha çalışmaları sırasında güncel tsunami çökeltilerinin kalınlıklarını bulmak için çukurlar kazılmıştır. Kazılan çukurlarda tsunami çökeltilerinin tabanı tanınmamış malzemelerden oluşan ve genellikle de bitkisel toprak içeren bir birimle anlaşılmıştır. Simeulue adasının batı kıyılarında açılan çukurlarda bitkisel toprağın da altında tsunami çökellerine benzer genellikle kaba kırıntılardan oluşan açık renkli 10-15 cm kalınlıkta granüler bir birime rastlanılmıştır. Renk farkı, aşınmalı tabanlı ve kaba taneli oluşu, yanal devamsızlığı gibi özellikler bu birimin eski bir tsunami izi olabileceğini bize düşündürmektedir. Gerekli yaş tayinleriyle bu olasılı paleotsunami çökeltileri tarihlendirilebilirse aydınlatıcı olacaktır. Bu çökeltilerin 1907 tsunamisine ait olabileceğini düşünmekteyiz. Örnekler alınmıştır. Bu çalışma bu yazının kapsamı dışında tutulmuştur.

## TSUNAMI DALGALARININ YÜKSEKLİĞİ VE VARIŞ ZAMANLARI

**Medan:** 21 Ocak 2005'te Medan şehri yakınında Pantai Cermin ve Kualo Ruteri kıyı bölgeleri incelendi. Bu yerlere tsunami dalgası Sumatra adasının kuzeyindeki bir difraksiyon sonucu gelmiştir. Medan yakınındaki bu incelemelerle kıyıda ki sığlaşma, dif-



Şekil 5 - Meulaboh (Sumatra) Kıyılarında Tsunaminin Bıraktığı Çamurlar



Şekil 6 - Meulaboh (Sumatra) Kıyılarında Tsunami Dalgalarının Nehirlerin Dirseklerinde Bıraktığı Tabakalı Çökeller. Çökeller Kum ve Çamurlardan Oluşmaktadır.

raksiyon ve refraksiyon gibi hakkında önemli tsunami karakteristikleri hakkında veriler elde edilmiştir. Yukarıda sözü edilen tanıklarla yapılan konuşmalara göre ilk dalga depremden 4 saat sonra kıyılara varmıştır. 2-2.5 metre yüksekliğinde II. Dalga bunu takip etmiştir. Dalga yükseklikleri tsunaminin bıraktığı izlerden de direkt ölçülmüştür. Kıyıda ciddi erozyon yapıları ile düzensiz dağılan masif kum çökeltilerine rastlanmıştır. Maksimum su basma uzaklığı (inundation) 1 km kadardır.

**Simuelue:** Ada, Rus ve Amerikalı uzmanların da katıldığı ekibimiz tarafından 22-26 Ocak 2005 tarihlerinde araştırılmıştır. Laubang, Lantik, Tembuh, Barat, Salur, Busung, Lebuhan, Bakti, Belawan Port, Ganting, Sinabang Port, Senebu, Tanjun Raya incelenen kıyı alanlarıdır. Adanın kuzeyi Rus ekip tarafından ayrıca incelenmiştir. İnsanlarla yapılan konuşmalar ada halkının tsunamiyi çok iyi tanıdığı ve sakındığı anlaşılmaktadır. Bu deneyim 1907 tsunamisine dayanmaktadır. Hatta ada halkı tsunami yerine “Smong” adını kullanmayı tercih etmektedir. Adanın karşısındaki Meulaboh kıyılarındaki canlı tanıklara dayalı olarak denizin 10 dakika süresince 200-400 metre çekildiği ve çekilmenin ardından yaklaşık 30 dakika sonra ilk tsunami dalgasının geldiğini anlaşılmaktadır. Birinciden 50-60 dakika sonra 2. dalganın geldiğini ve maksimum dalga yükselişinin yaklaşık 3 metre olduğu anlaşılmaktadır.

**Meulaboh:** Sumatra adasının batısında tsunamin direkt geldiği kıyılardır. Hasarın ve can kaybının en fazla olduğu Banda Aceh'e 25 km uzaklıktadır. Tsunaminin karalar içinde sokulma (inundation) mesafesi 5 km kadardır. Bu mesafa Meulaboh şehrinin hem kuzey hemde güney kıyıları boyunca hemen hemen aynıdır. Tsunami dalgasının nehir yataklarından oldukça içerilere kadar girdiği anlaşılmıştır. Şehirdeki canlı tanıklarla yapılan konuşmalardan depremi takiben, 10 dakika sonra 500 metrelik bir çekilme meydana geldiği; yaklaşık 30 dakika sonra ilk yıkıcı dalganın kıyıya vardığı, ikinci yıkıcı dalganın

ise 50-60 dakika sonra kıyıya ulaştığı anlaşılmaktadır. Maksimum dalga yüksekliği 15 metreden fazladır. Bu yükseklik palmye ağaçlarındaki izlerden de kanıtlanmaktadır. Bu şehirde toplam 5 alanda inceleme yapılmıştır. Tsunaminin karaları bastığı alanın Meulaboh kıyılarından daha ilerde güneye gidildikçe azaldığı, hatta neredeyse sonlanmış olabileceği hem uydu resimlerinden, hem de ekibimizin uçaktan yaptığı araştırma ile gözlenmiştir.

Tsunamide dalga yüksekliği yerlere göre farklılıklar göstermiştir. Bu miktarlar araştırma gruplarının canlı tanıklarla yaptığı konuşmalara ve saha gözlemlerine göre dayanmaktadır. Tsunami dalga yükseklikleri çeşitli yerlerde bulunan gelgit ölçer istasyonlarında kaydedilmiştir. Fakat bu istasyonlar çok uzak mesafelerde bulunmaktadır. Zaten tsunami yaratan bölgeye yakın olan bu istasyonların çoğu da tsunamiden ciddi şekilde hasar görmüştür.

Depremden sonra ilk tsunami dalgasının varış zamanı Sumatra'da 10 dakika, Tayland'da 1 saat, Sri Lanka 2 saat, Hindistan 2 saat, Doğu Afrika ise yaklaşık 7 saattir.

Şubat 2005'de Kraliyet Denizcilik (Royal Navy) gemisi HMS Scott deprem bölgesinde deniz tabanı araştırmaları yaptı. Araştırmalara Sumatra adasının batısında 1000 ile 5000 metrelik deniz alanlarına denk gelmektedir. Araştırmada yüksek çözünürlüklü multi-beam sonar sistem kullanılmıştır. Bu araştırmaya göre deprem deniz tabanında büyük bir bindirme sırtı oluşturmuştur. Bu sırt yaklaşık 1500 metre yükseltisine denk gelmektedir. Çöken kısımlarda birkaç kilometrelik büyük heyelanlar bulunmaktadır. Tek bir heyelan kütlelerinin boyu 100 metre, uzunluğu ise km'dir.

## 2004 TSUNAMİSİNİN ENDONEZYA'DAKİ YIKICI ETKİLERİ

Depremi merkez üsünden 100 km uzakta bulunan Banda Aceh şehrinin kuzey ve batı kısımları kadar şehrin etrafındaki tüm küçük adalar 10 metreden yüksek tsunaminin getirdiği sular altında kaldılar. En sert etkilenen yer kuzey Aceh'dir. Sumatra'nın en kuzey ucuna iki dalga geldi. Malacca boğazını geçen dalgalar Medan şehri gibi kuzeydoğu bölgelere, hatta Lhokseumawe gibi en doğu bölgelere kadar erişti.

Resmi açıklamalara göre sadece Endonezya'da 167 000'e yakın insan hayatını kaybetti. 130 000 kişi halen kayıptır. Kuzey Sumatra'da 655 000 insan yer değiştirdi. 110 köprü yıkıldı. 5 liman, 2 havaalanı çok ciddi hasar gördü. Yolların yüzde 80'i bozuldu. Can kayıpları çok yüksek olan bölgedeki yerleşim yerlerine göre genel durum şöyledir.

**Banda Aceh**, Tsunami, Kuzey Sumatra'daki Banda Aceh şehrinin tüm alt yapısını yok etmiştir. Binlerce insan hayatını kaybetmiştir.

**Leupung**, Bende Aceh şehrine yakın Aceh Baser bölgesinde bir kasabadır. Tsunami kasabayı tamamıyla ortadan kaldırmıştır. 10 000 kişinin yaşadığı yerin hemen hemen tamamına yakını hayatını kaybetmiştir. 200 ya da 700 insanın sağ kaldığı tahmin edilmektedir.

**Gleebruk**, Banda Aceh'in tam güneybatısında Acer Besar denilen bölgede bir köydür. Dalgalar bütün köyü tamamıyla yok etmiştir.

**Teunom** (Batı Aceh), Aceh bölgesinin bir yerleşim yeri olan 18 000 yaşadığı kentte 8000 kişi hayatını kaybetmiştir.

**Calang** (Sumatra adası), edinilen bilgilere göre yerleşim yerinin merkezi tamamen yıkılmıştır. Nüfusun sadece yüzde 30'u sağ kalabilmiştir. Tsunamiden evvelki nüfusun 9 000-12 000 olduğu sanılmaktadır.

**Meulaboh** (Sumatra Adası), 7 büyük dalga gelmiştir. Dalga yüksekliği bazı yerlerde 20 metreye varmıştır. 120 000 nüfuslu kentte yapıların ve alt yapının çok büyük bir bölümü yıkılırken can kaybı 40 000 kişidir. 50 000 kişi evsiz kalmıştır.

**Simeulue adası**, 5 metreye varan dalgalardan etkilendi. Bu ada depremin merkez üssüne çok yakın olmasına rağmen ölü sayısı çok az olmuştur. Adadaki yapıların hemen hemen yüzde 90'ı depremden büyük hasar görmüştür. Can kayıplarının az olmasının nedeni ada halkının 1907 depremindeki yaşadığı acı deneyimin hafızlarda canlı tutulması olduğu kadar adanın deprem sırasında aniden yükselmesi de kayıpların az olmasını sağlayan önemli bir faktördür.

**Nias adası**, uluslararası araştırma grubundan olan bir Rus ekibin çalıştığı bölgedir. Depremden sonra yapısal hasarlar yanında can kaybı Simeulue adasına göre büyük olmuştur. Resmi kaynaklara göre can kaybı 122'dir. Resmi olmayan kaynaklara göre ise bu adada yaklaşık 600 kişi tsunamiden olmak üzere, toplam 1000 kişi hayatını kaybetmiştir.



Şekil 7 - Meulaboh (Sumatra) Şehrinin Kuş Bakışı Görünüşü. Asıl Merkezinin Yer Aldığı Bu Alanda Buruna Çarpan Tsunami Dalgaları Difraksiyon Yaparak Yapıların Tamamen Yıkılmasına ve Can Kayıplarının Yüksek Olmasına Neden Olmuştur.

*Can Kayıpları Açısından Tarihsel Tsunamiler*

| Can kaybı       | Yıl ve etkilediği ülkeler                                                                              |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 228,000–310,000 | 2004 Güney Asya Depremi, (Endonezya, Hindistan, Sri Lanka, Tayland, Somalia, Myanmar, ve diğer ülkeler |
| 100,000         | 1755 Lizbon Depremi, ölüm nedeni tsunami, deprem ve yangın. Portekiz ve Fas etkilendi                  |
| 70,000          | 1908, Messina, İtalya                                                                                  |
| 40,000          | 1782 Güney Çin Denizi, Can kayıplarına Tayvan da dahildir.                                             |
| 36,000          | 1883 Krakatoa (Endonezya) volkan patlaması                                                             |
| 30,000          | 1707, Tokaido-Nankaido, Japonya                                                                        |
| 27,000          | 1826 Japonya                                                                                           |
| 25,674          | 1868 Şili                                                                                              |
| 22,070          | 1896 Sanriku, Japonya (Tsunami adı bu olaydan sonra kullanılmaya başlamıştır)                          |
| 15,030          | 1792 Unzen Dağının neden olduğu tsunami, güneybatı Kyushu, Japonya                                     |
| 13,486          | 1771 Ryukyu Hendeği                                                                                    |
| 5,233           | 1703 Tokaido-Kashima, Japonya                                                                          |
| 5,000           | 1605 Nankaido, Japonya                                                                                 |
| 5,000           | 1976 Moro körfezi, Filipinler                                                                          |
| 4,000           | 1952 Borneo, Endonezya                                                                                 |
| 3,000           | 1998 Papua Yeni Gine                                                                                   |
| 3,008           | 1933 Sanriku, Japonya                                                                                  |
| 2,000           | 1960 Büyük Şili depremi. Şili, Hawaii, Filipinler ve Japonya                                           |
| 2,000           | 1607 Bristol kanalı su baskını, İngiltere                                                              |
| 165             | 1946 Aleutian Adası Depremi, Alaska, Hawaii, ABD                                                       |
| 122             | 1964 Good Friday Depremi, Alaska, Hawaii, ABD                                                          |
| 27 ya da 51     | 1929 Placentiya Körfezi, Newfoundland, Kanada                                                          |
| 23              | 1979 Nice, Fransa                                                                                      |

#### BATI SUMATRA'DAKİ TARİHSEL TSUNAMİLER

**1797 (Sipora-Pagai):** Batı Sumatra'nın merkezi kısmına yakın 8.4 büyüklüğünde bir deprem meydana geldi. Yarattığı tsunamide Padang sular altında kaldı ve 300 den fazla insan hayatını kaybetti.

**1833 (Sipora-Pagai):** Batı Sumatranın güney kıyılarına yakın bir yerde meydana gelen 8.7 büyüklü-

ğündeki deprem büyük bir tsunamiyi tetikledi. Batı Sumatra kıyılarının büyük bir kısmı sular altında kaldı. Çok sayıda ölü bulunmaktadır.

**1843 (Nias):** Güneydoğudan gelen tsunami Nias adasının kıyılarını sular altında bıraktı. Çok sayıda can kaybı.

**1861 (Nias):** Meydana gelen 8.5 büyüklüğündeki deprem tsunami yarattı ve batı Sumatra'nın hemen hemen tümü etkilendi. Birkaç bin can kaybı bulunmaktadır.

**1907 (Simeulue-Nias):** Birkaç bin kişi hayatını kaybetti.

#### GEZİ HAKKINDA GÖZLEMLERİMİZ VE GENEL SONUÇLARI

26 Aralık 2004 tarihinde meydana gelen depremden sonra oluşan tsunaminin etkilerini yerinde bilimsel olarak incelemek üzere UNESCO IOC (Uluslararası Okyanus Komisyonu) örgütünün de desteği ile oluşturulan Uluslararası Tsunami Araştırma Grubu'na katılan Türk ekibi, Endonezya Hükümetinin daveti ve ev sahipliği ile birlikte 16-31 Ocak 2005 tarihleri arasında Sumatra adası kıyılarında ve onun yakındaki küçük adalarda ön incelemelerde bulunmuşlardır. Bu Uluslararası Tsunami Araştırma Grubu'na Türkiye'den Yıldız Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi öğretim üyelerimizden Prof. Dr. Şükrü Ersoy ve Prof. Dr. Doğan Perinçek ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi öğretim üyesi Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçiner katılmışlardır. Türkiye'den giden isimleri yukarıda yazılı olan 3 kişilik Türk Araştırma ekibimiz, Java adasındaki Endonezya'nın başşehri Jakarta'ya gelen 9 Japon, 9 Rus, 3 Amerikalı ve 6'nın üzerindeki Endonezyalı uzmanla birlikte uluslararası ortak çalışma grubu oluşturmuştur.

Jakarta'da Endonezya Hükümeti'nin Deniz İşleri ve Balıkçılık Bakanlığı, Kıyı Afetlerinden Korunma Direktörlüğü'nde yapılan ilk toplantıda Endonezyalı uzman ve yetkililer meydana gelen tsunamî felaketinin verdiği zararlar konusunda ekibimize genel bir brifing vermişlerdir. Yüzlerce adanın bulunduğu Endonezya bölgesinde verimli bir araştırma yapabilmek için stratejik bir plan önerilmiş ve belli alanlara odaklanılmıştır.

Uluslararası tsunami uzmanları bu brifingden sonra tsunami afet bölgesi olan Sumatra adasının kuzey ve batı bölümü ile batıdaki adaları incelemek üzere Jakarta'dan ayrılmışlardır. Japon bilim adamları belirlenen bölgeler içinde o zamanlarda medyada adı çok yer alan Banda Aceh'te çalışmaya karar verirken, Türk ekibi iki bölüme ayrılan Rus ekibinin bir kısmı ve 1 Amerikalı uzman ile birlikte bilginin az olduğu kırsal kısımlar ile deprem merkezine en yakın yerleri tercih etmiştir. Daha sonra bu programa normal koşullarda tsunami etkisinin beklenmediği halde, tsunamiden

ciddi bir biçimde zarar gören Medan şehri de eklenmiştir. Bu anlamda, bir kıtanın diğerinin altına daldığı derin Hint okyanusu çukurda meydana gelen depremin merkez üssüne en yakın ada olan Simeulue adası Medan (Sumatra adasının doğusu) şehriden sonra Türk ekibinin incelemeye başladığı ilk alan olmuştur. Türk ekibinden Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçiner tarafından teknik olarak idare edilen ekip içinde 3 Türk, 5 Rus, 1 Amerikalı ve 2 Endonezyalı uzman eşlik etmiştir. Araştırma ekibi yerli halk tarafından çok büyük sevgi ve dostlukla karşılanmış, özellikle Türk bilimcilere her yerde herkes tarafından büyük yakınlık gösterilmiştir.

Sumatra adasının kuzeydoğu kıyısında yeralan Medan şehri ekibimizin birinci durak yeri olmuştur. Bu yerleşim alanı adanın arka kısmında yer aldığından tsunaminin direk etkisinden uzaktır. Fakat Sumatra adasını dolaşan tsunami dalgaları buralarda dolaylı olarak ciddi zarar ve can kaybına neden olduğundan bu kıyılarda da tsunami araştırması ve tanıklarla yapılan görüşmeler dalga'nın sapması, kırılması ve sığlaşma özellikleri açısından çok yararlı bilgiler sağlamıştır. Medan şehirde kıyından 1-1.5 km uzaklıktaki yerlerde bile tsunaminin izlerine rastlanmıştır.

Simeulue adası, depremin merkez üssüne çok yakın olmasına rağmen sadece 8 kişinin öldüğü ilginç bir bölgedir. Yaklaşık 80 000 kişinin yaşadığı bu adada bu kadar az insanın ölmesinin nedenleri arasında deprem sırasında adanın tektonik yükselmesinin rolü olduğu kadar, yerli halkın 1907 yılında yaşadığı acı tsunami deneyimi hafızalardan silinmemesinin de rol oynamıştır. 1907 yılındaki depremin tsunamisinde başlangıçta denizin çekilmesiyle birlikte karada kalan çok sayıda balığı seyretmek ve toplamak için sahile akın eden köylüler çekilmenin ardından belli bir süre sonra tekrar kıyıya gelen dev dalgalar sonunda kaçamayarak hayatlarını kaybetmişlerdir. Ada halkının büyük çoğunluğunun hayatını kaybettiği 1907 tsunamisi nesilden nesile anlatılarak bu acı deneyimin günümüz insanların hayalinde canlı kalması



Şekil 8 - Simeulue Adasının Batısında Tsunami Dalgalarının Oluşturduğu Moloz Yığından Bir Görünüm.

sağlanmıştır. Bu deneyim sonucu ada halkı deprem olduğunda kıyıya bakmaksızın dağlara kaçmaktadır. Bundan dolayı bu adada can kaybı azdır. Hayvanlar da depreme duyarlı olduğundan deprem sırasında kıyılardan uzaklaşmışlardır. Bilindiği gibi deprem dalgalarının hızı tsunami dalgalarının hızından fazladır. Bu nedenle insanlar, özellikle hayvanlar depremin titreşimini daha önce bunu hissedebilirler. Ardından tsunami gelmeden kaçma fırsatı doğabilir. Hayvanlar depremi insanlardan önce fark ederler, ardından tsunami gelmeden önce de gelen dalgaların mikrotitreşimlerini hissederler ve kıyından uzaklaşırlar. Simeulue adasının önemli morfolojik özelliklerinden biri de adanın iç kısmında kaçmaya uygun dağlık bir kısmın bulunmasıdır. Simeulue adası halkının bu deneyimi hemen güneyindeki Nias adası hakkında görme olanağı yoktur. Simeulue adasının güneyinde yer alan ve depremin merkezine 90 km uzakta yer alan Nias adasında ise tsunami nedeniyle can kaybı 1000 kişidir. Deprem merkezinden daha uzakta olmasına rağmen Nias adasındaki çok fazla can kaybının tek nedeni bilgisizlik ve hazırlıksızlık olmasıdır. Nitekim Aralık 2004 depreminden 3 ay sonra meydana gelen Nias adası depreminde göreceli olarak can kayıpları yüksek olmuştur. Zararlarının çok büyük olduğu Aceh bölgesinin merkezi olan Banda Aceh'te yaşayan bazı Simeulue adasından taşınmış insanlar deneyimleri sonucu diğer Banda Aceh'lilerden farklı olarak deprem sırasında kıyından uzaklaşarak tsunamiden korunmuşlardır.

Simeulue adasında yaşayan yerli halk, Mali dilinde süpüren dalga anlamına gelen "Smong" adını tsunami adından daha önce kullanıyor olmaları bu deneyimlerinin diğer bir kanıtıdır.

Ekibimizin 3. durağı Sumatra adasının kuzeybatı kıyısında yeralan ve dev deniz dalgalarını direk etkisine maruz kalmış bulunan Meulaboh ve Çalang şehirleri arasındaki kıyı bölgesi olmuştur. Güvenlik nedeniyle bazı bölgelerde kısa süreli çalışma şansı bulan ve bazı yerlerde de güvenlik kuvvetlerinin zorunlu olarak verdiği askeri korumalar eşliğinde karadan ve havadan yapılan incelemelerde tsunami dalgasının Meulaboh kenti kıyılarında hindistan cevizi ağaçlarının boyunu aştığı, kıyından 5 km kadar karaya ilerlediği, şehrin limanını ve liman çevresine büyük hasarlar verirken, nüfusun 2/3 kadarının hayatını kaybettiği ifade edilmiştir. Meulaboh kıyılarının kuzeyinde kalan Tanom ve Calang şehirlerinde can kaybının nüfusun yüzde 70'ine ulaştığı saptanmıştır. Daha kuzeydeki Banda Aceh kentinde ise şehrin limanı ve merkezinin yok olduğu, dalga'nın eriştiği en yüksek düzeyin 32 metre olduğu öğrenilmiştir. Bu şehirler arasındaki temel ulaşım kıyıya yakın kara yolu ve limanlar arası deniz taşımacılığıdır. Ancak tsunami etkisi ile hem limanlar hem de kıyıya yakın olan tüm köprüler yıkılmış olduğundan ulaşım yapılamaz haldedir. Liman ve köprülerden başka, kıyıdaki dolun

tesisleri ve havaalanı gibi önemli altyapı tesisleri de ciddi şekilde hasar görmüştür. Köprülerin yıkılması nedeniyle çok yere kara yoluyla ulaşılammamaktadır. Şehirde merkezi bir içme suyu ve atık su şebekesi bulunmamaktadır. İnsanlar su gereksinimlerini depremle kirlenmiş hijyenik olmayan kuyu sularından karşılamaktadır. Ülkenin sıcak olması bu ortamdaki mikrobik durumu arttıracağından salgın hastalıklara neden olabilir. Çöpler kokmakta olup tek çare yakmaktır. Çöp yakmak da rahatsız edici kokuyu artırmaktadır. Buralara yapılabilecek en iyi yardım temiz su temini, çöp toplama sisteminin kurulmasıdır.

Yerli halkla ve tanıklarla konuşmalar yapılarak oluşan deprem ve tsunami dalgaları hakkında bilgi alınmaya çalışılmıştır. Deprem çoğu yerde 3 ile 5 dakika arasında hissedilmiştir. Depremden hemen sonra hemen hemen her yerde deniz önce çekilmiştir. Çekilme çoğu yerde 200 metre kadar olmakla birlikte bu değer kıyı batimetrisine bağlı olarak değişmektedir. Çekilmenin ardından 15-20 dakika sonra tekrar gelen deniz bu kez normal deniz düzeyine göre daha yüksek dalgalar biçiminde gelmeye başlamıştır. Centilmen dalga olarak adlanan ilk dalgaların yüksekliği 50 cm ile 1 metre arasında değişmektedir. Belli bir zaman sonrasında gelen ikinci dalga her yerde yüksek ve şiddetli olmuştur. Dalga yüksekliği kıyının şekline bağlı olarak 3 metre (genellikle) ile 15 metre arasında değişmektedir. Hatta bazı yerlerde hindistan cevizi ağaçlarını (15 metreyi) aştığı yerler de saptanmıştır. Tsunami dalgaları bazı bölgelerde kıyıdan ancak 150-200 metre etkili olabilirken bazı yerlerde de kıyıdan (Meulaboh, Tanom, Calang ve Banda Aceh kentleri) 5 kilometre içerlere kadar girebilmiştir.

Tsunaminin etkili olduğu bu kıyı şeridindeki bitkiler deniz suyundaki tuz nedeniyle hızla kurumuştur. Bu etki tuza toleransı olmayan bitkilerde ve toprakta uzun yıllar devam edecektir. Dalganın 20 metreyi aştığı bazı yerlerde hindistan cevizi ağaçları tsunami dalgaları tarafından suyla örtüldüğünden en yüksekte olan yaprakları dahi tuzlu deniz suyu nedeniyle kurumuştur.

Depremde sonucu faylanmalarla bazı kıyılar kalıcı olarak yükselirken bazı kıyılarda da olarak çökmüştür. Bazı kıyılar ise ciddi bir şekilde erozyona uğramıştır. Bu kesimlerdeki yollar sular altında kalmıştır. Yükselen kıyılara artık tekneler ya da gemiler yanaşamamaktadır. Çöken yerlerde ise deniz kara alanlarını işgal etmiştir. Tektonik yükselme ve alçalmalar ayrı bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Kıyılarda tsunami dalgalarının sayısı ve bunlar arasındaki periyotlar birbirinden farklıdır. Bazı yerlerde tsunami dalgalarının belli aralıklarla 7 kez kıyılara geldiği izlenmiştir. Kıyıların bazı kesimlerinde mercan resiflerinin ve mangrov ağaçlarının bulunması tsunaminin şiddetini azaltan bir unsur olmuştur. Fakat bu yapıların bulunduğu ekolojik alanlar son derece tahrip



Şekil 9 - Simeuleu Adasının Güneydoğu Ucundaki Kıyılarda Tsunami Dalgalarının Yarattığı Erozyon İzlerinden Bir Görünüm

olmuştur. Küresel olarak hemen hemen 2.2 milyar insanın (Dünya nüfusunun üçte biri) 100 kilometrelik bir mercan resifi içinde yaşamaktadır Dünya resiflerinin dörtte birinin bulunduğu Güneydoğu Asya'da ve özellikle de Endonezya ve Filipinler'de büyük bir çeşitlilik (kıyılarda yaşayan tüm canlı topluluklarının yüzde 70'i) olduğunu ve sayısız diğer faydalarını da düşünürsek resiflerin insanoğlu için ne kadar önemli canlı topluluğu olduğunu belki algılayabiliriz ([http://www.iucn.org/en/news/archive/2005/12/cordio\\_iucn\\_report\\_2005.pdf](http://www.iucn.org/en/news/archive/2005/12/cordio_iucn_report_2005.pdf)).

Ekibimiz yaptığı incelemelerde çok önceki yıllara ait (olasılıkla 1907 yılı ve öncesi) tsunami izlerine rastlanmıştır. Bu izlerinin hangi tarihlere ait olduğunu anlamak için örnekler alınmıştır.

Saha incelemelerinin ilk sonuçları 31 Ocak'ta tüm ekiplerin bir araya gelmesiyle Jakarta'daki Bakanlık binasında yapılan toplantıda tartışılmıştır. Bu toplantıda bu çalışmalara devam edilmesi ve sonuçların Mart ayında Jakarta'da Endonezya hükümetinin organize edeceği bir kongrede tekrardan sunulması kararı alınmışsa da olanaksızlıklar nedeniyle bundan sonraki saha çalışmalarına katılma şansı olmamıştır. Hatta 28 Mart 2005 tarihinde meydana gelen ikinci büyük depremde (Nias depremi) oluşan zararları bilimsel olarak yerinde incelemek fırsatı bulunamamıştır. Bu depremde 3 ay sonra 28 Mart 2005 Nias Depremi'nin sonuçları Endonezyalı uzman arkadaşlarımız işbirliği sonucu elde edilebilmiştir.

100 yılın en fazla ölümcül tsunami felaketinde yol açan bu doğal afette can kayıplarının yüksek olmasının nedeni sadece depremin ve tsunaminin büyüklüğü değil, aynı zamanda ülkelerin fakir ve eğitimsiz olmalarıyla açıklanabilir. Erken uyarı sistemleri en büyük ve en gerekli teknolojik eksiklik olmakla birlikte, doğal afet kültürünün gelişmemiş olmaması da diğer önemli bir eksikliktir. Ülkemiz için de ciddi bir sorun olan tsunami eğitimi ve temel davranışları konusunda ciddi çalışmalar kaçınılmazdır.

## TEŞEKKÜR

Bu inceleme gezisi ODTÜ ve YTÜ Rektörlüklerinin izniyle gerçekleşmiştir. Organizasyonu UNESCO IOC (Uluslararası Okyanus Komisyonu) koordine etmiştir. Bu çalışmaların gerçekleşmesi sırasında Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı, Endonezya Hükümeti yetkilileri, Türk ekibine çeşitli kolaylıklar göstermiştir. Çalışmaya YTÜ Geoteknik Anabilim dalı Başkanı Prof. Dr. Kutay Özyayın, TMMOB Jeoloji ve İnşaat Mühendisleri Odaları ile YP İnşaat A.Ş., Yüksel Proje A.Ş., CESAS A.Ş., Mavi Jeans, Lafarge A.Ş., Hürriyet Gazetesinden Yalçın Doğan gibi ülkemizin önde gelen kişi ve özel kuruluşları inceleme gezimize önemli katkılar koymuşlardır. Bu desteklerinden dolayı tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Albertao, G.A. & Martins, P.P. (1996), *A possible tsunami deposits at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco, northeastern Brazil*. *Sedimentary Geology*, 104, 189-201.
- Bourgeois, J., Hansen, T.A., Wiberg, P.L. & Kaufmann, E. G. (1988), *A tsunami deposits at the Cretaceous-Tertiary boundary in Teksas*. *Science*, 241, 567-570.
- Chlieh, M., Avouac, J.P., Sieh, K., Natawidjaja, D. and Galetzka, J. (2005), *Investigating lateral variations of interseismic strain along the Sumatran subduction zone 2004*. 2005 AGU Joint Assembly, 23-27 May 2005
- Doyle, P & Matthew R. Bennett (1999), *Unlocking the Stratigraphical Record*. *Advances in Modern Stratigraphy*. John Wiley & Sons, 525p.
- Einsele, G. (1992), *Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget*. Springer, Berlin, Heidelberg an New York.
- Gelfenbaum, G., Jaffe, B., Nongkas, M., and Davies, H., (2001) *Sedimentary deposits from the July 17, 1998 Papua New Guinea tsunami International Tsunami Symposium*, 2001,
- Geist, E. L., Gelfenbaum, G. R., Jaffe, B. E., and Reid, J. A. (2000), *Helping coastal communities at risk from tsunamis—The role of U.S. Geological Survey Research*. USGS Fact Sheet 150-00, 4 p.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/2004\\_Indian\\_Ocean\\_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/2004_Indian_Ocean_earthquake)
- <http://ioc.unesco.org/iosurveys/index.htm>
- <http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/srilanka05/index.html>
- [http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/Lampuuk\\_deposits.html](http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/Lampuuk_deposits.html)
- <http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/research/sumatra2.html>
- <http://www.ess.washington.edu/tsunami/Sumatra.htm>
- [http://www.iucn.org/en/news/archive/2005/12/cordio\\_iucn\\_report\\_2005.pdf](http://www.iucn.org/en/news/archive/2005/12/cordio_iucn_report_2005.pdf).
- [http://www.pmel.noaa.gov/tsunami/indo\\_1204.html](http://www.pmel.noaa.gov/tsunami/indo_1204.html)
- <http://www.pmel.noaa.gov/tsunami/sumatra20041226.html#FSD>
- [http://www.tsunamiterror.info/effects\\_env.html](http://www.tsunamiterror.info/effects_env.html)
- Jaffe, B. E., and Gelfenbaum, G., 2002, *Using tsunami deposits to improve assessment of tsunami risk, Solutions to Coastal Disasters '02, Conference Proceedings*, ASCE, p. 836-847.
- Jaffe, B., Gelfenbaum, G., Nongkas, M., and Davies, H. 1999. *Tsunami Deposits from the July 17, 1998 Papua New Guinea Event*. In *Abstracts of Papers Presented at the STAR Session*, edited by Crook, K. and Rodda, P., SOPAC Miscellaneous Report 355, 34p.
- Jarrard, R. D. (1986), *Relations among subduction parameters*. *Rev. Geophys.* 24, 217-284.
- McCalpin, J. P. (1995). *Paleosismology*, Academic Pres, 588p.
- Minoura, K., F. Imamura, T. Takahashi, and N. Shuto. 1997, *Sequence of sedimentation processes caused by the 1992 Flores tsunami: evidence from Babi Island*. *Geology*, 25 (6), 523-526.
- Moore, A.L., F. Imamura, and T. Takahashi. 1996. *No landward fining in a tsunami deposit from Biak, Indonesia*. *EOS Trans. AGU*, 77.
- Plafker, G. (1972), *Alaskan Earthquake of 1964 and Chilean earthquake of 1960- implications for arc tectonics*. *J. Geophys. Res.* 77, 901-925.
- Sato, H.; Shimamoto, T., Tsutsumi, A., Kawamoto, E. 1995. *Onshore tsunami deposits caused by the 1993 Southwest Hokkaido and 1983 Japan Sea earthquakes*. *Pure and Applied Geophysics*, 144(3-4) 693-717.
- Shi, S., Dawson, Alastair G, and Smith, David E. 1995. *Coastal sedimentation associated with the December 12th, 1992 tsunami in Flores, Indonesia*. *Pure and Applied Geophysics*, 144(3-4) 525-536.
- Shiki, T. & Yamazaki, T. (1996), *Tsunami-induced conglomerates in Miocene upper bathyal deposits Chita peninsula, central Japan*. *Sedimentary Geology*, 104, 175-188.
- Sieh, K., Zachariasen, J., Bock, Y., Edwards, L., Taylor, F., Gans, P. (1994), *Active tectonics of Sumatra: GSA Abstracts with Programs* 26, No. 7, Sept. 1994.
- Subarya, B., Prawirodirdjo, Mc C., Sieh, K., Natawidjaja, G. (2005), *GPS Measurements of Coseismic and Postseismic Deformation for the Mw 9.0 2004 Sumatra Earthquake: Constraints on Seismographic Inversions of the Earthquake Source and Tsunami Models: 2005 AGU Joint Assembly, 23-27 May 2005*.
- Tucker M. E. (2001), *Sedimentary Petrology. An introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell Science. 262p.