İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TSUNAMİ OLUŞUMU, ETKİLERİNİN AZALTILMASI VE İSTANBUL UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ali İlker ULUSOY
(501941153)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

112276

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Kasım 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Aralık 2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL (Y.T.Ü.)

Doç.Dr. Bihrat ÖNÖZ (İ.T.Ü.)

ARALIK 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, depreşim sebepleri ile özellikle okyanuslarda ve denizlerde meydana gelen Tsunami dalgalarının oluşumu, etkilerinin azaltılması, Türkiye'de ve dünyada tarihteki Tsunami olayları incelenmiş, etkilerinin azaltılması için yapılabilecek çalışmaların neler olabileceği tartışılmıştır. Çalışmalara başlamamı sağlayan ve yürütülmesini sağlayan danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI'ya; Ankara'dan katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER'e, tüm risk haritalarının hazırlanmasını sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Dursun Zafer ŞEKER'e, arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Gülüm BİRGÖREN'e, ve özellikle Hidrolik konuları ile ilgili çalışmalara dikkatimi çeken Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkür ederim.

Aralık 2001 Ali İlker ULUSOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1.TANIMLAR	1
1.1 Dalga Nedir? Nasıl Oluşur?	1
1.2 Tsunami Nedir?	2
1.3 Tsunaminin Diğer Dalgalardan Farkı	2
2.TSUNAMİ OLUŞUM SEBEPLERİ VE MEKANİZMALARI	4
2.1 Depremsel Sebepler	6
2.1.1 Deprem Büyüklüğü Ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi	7
2.1.2 Deprem Geometrisi Ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi	9
2.1.2.1 Normal Faylanma	10
2.1.2.2 Ters Faylanma	10
2.1.2.3 Darbe Etkili Faylanma	10
2.1.2.4 Doğrultu Atımlı Faylar	11
2.1.2.5 Kırılma Şekli Ve Tsunami Doğrultusu	11
2.1.3 Deprem Derinliği Ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi	11
2.1.4 Deprem Sebepli Salınımlar (Seyşler – Seiches)	12
2.2 Toprak Kaymaları (Heyelanlar)	12
2.3 Volkanik Sebepler	14
2.4 Dünya Dışı Sebepler	15
3.TSUNAMİ HİDROMEKANİĞİ	16
4.TARİHTE TSUNAMİ	18
4.1 Dünya'da Tsunamiler	18
4.2 Türkiye'de Tsunamiler	23
4.3 Marmara Denizi'nde Tsunami	24
4.4 17 Ağustos 1999 Kocaeli Tsunami'si	24
4.4.1 Kocaeli Tsunamisi Kanıtları	26
5.TSUNAMİ ETKİLERİNİN AZALTILMASI	28
5.1 Riskin Belirlenmesi	28

5.1.1 Tarihsel Tsunami Bilgileri 28
5.1.2 Tsunami Sonrası Araştırmalar 28
5.1.3 Nümerik Modelleme 29
5.2 Uyarı Sistemleri 29
5.3 Hazırlıklı Olmak (Kaçış Planları) 30
5.4 Halk Eğitim 32
5.5 Tsunami Sırasında Yapılması Gerekenler 33

6. İSTANBUL UYGULAMASI 35
6.1 Tsunami Hacim Hesaplama Yöntemi 36
6.2 Kadıköy Bölgesi Risk Haritası Çalışması 37
6.3 Marmara Denizi 44
6.4 Kadıköyde Tsunami Senaryoları 45

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 51

EKLER 54

KAYNAKLAR 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Tsunami Oluşumu 4
Şekil 2.2 Batimetri Sebebi İle Tsunami'nin Dönmesi 5
Şekil 2.3 Tsunami Kırılması 5
Şekil 2.4 Dalma Batma Zonunda Tsunami Oluşumu 9
Şekil 2.5 Doğrultu Atımlı Faylarda Tsunami Oluşumu 9
Şekil 2.6 Normal Faylarda Tsunami Oluşumu 10
Şekil 2.7 Su Altı Heyelanı ile Tsunami Oluşumu (Çift Kutupsal Mekanizma) 13
Şekil 2.8 Kıyıdaki Heyelan ile Tsunami Oluşumu (Tek Kutupsal Mekanizma) 14
Şekil 3.1Tsunami Gelişi 16
Şekil 3.2 Tsunami Gelişi 17
Şekil 4.1 Pasifik Okyanusunda Tsunami Üretebilecek Depremsel Bölgeler 19
Şekil 4.2 MÖ 1410- MS1999 arasında, Türkiye Kıyılarında Meydana Gelmiş Olan Tsunamilerin Yerleşimleri. (Burada Verilmiş Numaralar Kronolojik Sıralamayı Gösterir) 21
Şekil 4.3 MÖ 1410-MS1999 Arasında Türkiye Çevresinde Meydana Gelmiş Olan Tsunami'lerin Kronolojisi 22
Şekil 4.4 Karadeniz'de Tsunami Dönemselliği 22
Şekil 4.5 Doğu Akdeniz Tsunami Dönemselliği 23
Şekil 4.6 Marmara Denizi Tsunami'leri 24
Şekil 4.7 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi İle Meydana Gelen Tsunamisi Tırmanma Yükseklikleri 27
Şekil 5.1 22 Mayıs 1960 Şili Tsunamisi İlerleme Hızı 32
Şekil 5.2 Tsunami Sırasında Alçalmakta Olan su Seviyesi 34
Şekil 6.1 Dalga Tırmanması 36
Şekil 6.2 Kadıköy İlçesi Yükseklik Haritası 37
Şekil 6.3 Tsunami Yayılma Şekli 38
Şekil 6.4 Kadıköy Bölgesinde Seçilen Çalışma Alanı Yükseklik Haritası 39
Şekil 6.5 Bölgenin Deniz Tarafından Perspektif Görünümü 41
Şekil 6.6 Kadıköy'de İskelelerin Görünüşü 42
Şekil 6.7 Kadköy Meydanı Otobüs Durakları 42
Şekil 6.8 Kadıköy Haydarpaşa ve Dolmuş Durakları 43
Şekil 6.9 Kadıköy Rıhtım Caddesi 43
Şekil 6.9 İskeleler Tarafından Haydarpaşa Tarafının Görünüşü 44
Şekil 6.11 Haydarpaşa Tarafından İskeleler Tarafının Görünüşü 44
Şekil 6.12 Marmara Denizi 45
Şekil 6.13 1.Durum (Yenikapı Güneyinde Heyelan Senaryosu) 46
Şekil 6.14 2. Durum (Marmara Ereğlisi Güneyinde Heyelan Olması Senaryosu) 46
Şekil 6.15 1. Durum İçin Kadıköy Bölgesi Risk Haritası 48
Şekil 6.16 2. Durum İçin Kadıköy Bölgesi Risk Haritası 50
Şekil 7.1 Tsunami Sebebi İle Zarar Görmüş bir Bina 51
Şekil 7.2 Tsunami Sebebi İle Meydana Gelen Erozyon 52
Şekil 7.3 Tsunami'den Sonra Bir Geminin Durumu 52

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1.1 Dalga Çeşitleri	1
Tablo 2.1 MS 1600 den İtibaren Oluşmuş Tsunamiler	6
Tablo 2.2 Volkanik Sebepler İlke Oluşmuş Tsunamiler	15
Tablo 4.1 İzmit Tsunamisi Parametreleri	25
Tablo 6.1 Seçilen Kadıköy Bölgesinin hacimleri	40
Tablo 6.2 Kadıköy Önünde Tsunami Hacimleri	47

TSUNAMİ OLUŞUMU, ETKİLERİNİN AZALTILMASI VE İSTANBUL UYGULAMASI
(ÖZET)

Tsunami Oluşumu, Etkilerinin Azaltılması ve İstanbul Uygulaması isimli bu çalışmada çeşitli sebepler ile meydana gelen Tsunami dalgalarının oluşum sebepleri, mekanizmaları, hidromekaniği rüzgar dalgalarından farkı, kıyı yerleşimlerinde yarattıkları etkiler, sosyal ekonomik sonuçları ile birlikte; etkilerinin azaltılması yöntemleri hakkında incelemeler yapılmış, dünyada olduğu kadar Türkiye'de de neler yapılabileceği hakkında tartışılmıştır. Tsunamiler, deniz tabanındaki hızlı düşey yerdeğiştirmeler ile meydana gelip, zaman zaman oldukça ciddi zararlar verebilmektedirler. Tsunami dalgalarının en belirgin özellikleri oluşum mekanizmaları sebebi ile rüzgar dalgalarından farklı olarak, suyun taşınması şeklinde hareket ederler. Bu hareket limanlar için oldukça tehlikeli olabilmektedir.

Türkiye de, okyanusa kıyısı olan Şili, Japonya gibi ülkeler kadar olmasa da, zaman zaman Tsunami deneyimleri yaşamıştır. Bunların en son örneği 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sebebi ile meydana gelen tsunamidir.

Tsunami etkilerinin azaltılabilmesi için yapılabilecek çalışmalar arasında, uyarı merkezleri kurmak, kıyı yerleşimlerinde yaşayan halkın tehlikenin farkında olmasını sağlamak amacı ile eğitimler düzenlemek ve kaçış planlarını önceden hazırlamak sayılabilir. Türkiye kıyılarında oluşabilecek bir Tsunami çok fazla zaman geçmeden kıyılarımıza ulaşacağından uyarı sistemleri çok pahalı olmakla birlikte etkili olmayacaktırlar. Ancak eğitim, önceden alınabilecek en yararlı tedbirdir. Eğitimin de iki aşamalı olarak düşünülmesi gerekmektedir : halk eğitimi ve belediyeler, polis, sivil savunma gibi birimlerin eğitimleri. Bunun yanısıra kaçış planlarının önceden belirlenmesi de gereklidir.

Marmara ve İstanbul'da tarihte Tsunami olaylarının gerçekleştiği bilinmektedir. Olası bir Tsunami için İstanbul ve Ege Kıyıları için çalışmaların önceden yapılması, aynı anda etkilenecek komşu ülkeler ile birlikte çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul Uygulaması için Marmara Denizinde meydana gelmesi muhtemel iki senaryo için Kadıköy'deki Tsunami etkisi incelenmiştir. Bu senaryolarda oluşabilecek tsunamilerin hacimleri hesaplanmış ve Kadıköy'deki tırmanma yükseklikleri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen tırmanma yükseklikleri ile de risk haritaları oluşturulmuştur.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TSUNAMİ GENERATION, MITIGATION AND APPLICATION FOR ISTANBUL
(SUMMARY)

In this study that its name is Tsunami Generation, Mitigation and Application For İstanbul, causes, impacts on the coastlines of Tsunami Waves and difference between wind waves and Tsunami that generated by various causes are examined. Also social and economical consequences and methods to mitigate the impacts are studied. Tsunamis are generated by rapid vertical displacement on the sea floor and they can be cause of big disasters. Their most important property is, because of their generation types, they move with the displacement of the water. This is major difference between wind waves. This can be very dangerous for harbours.

In our country, not as serious as in Chile, Japan etc, Tsunami events are occured. The last example is 17 August 1999, Kocaeli Tsunami.

For mitigation the impacts of Tsunami warning systems can be established, for public education catalouges and evacuation plans can be prepared. Warning systems are not effective for Turkey because Tsunami generated can come to our coasts in a few minutes, in addition to this they are expensive solutions. But education is very important for all disasters and the best method for mitigation. First step of education is public education and the second step is to educate police, civil defense and emergency rescue units. Also evacuation plans should be known.

We can know that there are some Tsunami events that occurred in Marmara Sea and Istanbul before. For preparedness, we must study about probable Tsunami in İstanbul and Aegean Sea. Furthermore some projects should be executed with the country that can be impacted about the Tsunami.

In this study for application of Istanbul, two different scenarios in the Sea of Marmara are examined. In these scenarios, volumes of the probable tsunamis arre calculated and run-up values are estimated. Based on the estimated values, risk maps are prepared.

1. TANIMLAR

1.1 Dalga Nedir? Nasıl Oluşur?

Bazı etkiler (rüzgar, ay ve güneş arasındaki çekim kuvvetlerinin zamansal değişimleri, deprem gibi) ile deniz suyu yüzeyi, ortalama su seviyesinden süreksizlik gösterir. Bu süreksizlik **DALGA** olarak isimlendirilir ve bu dalga, etkinin başladığı yerden itibaren bir enerji transferi şeklinde hareket eder.

Rüzgar etkisi ile oluşan dalgalar **"Ağırlık Dalgaları"** 'dır. Ağırlık dalgaları düşük enerjili ve kısa periyotlu dalgalardır. Tablo 1.1'de dalga çeşitleri ve oluşum sebepleri gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Dalga Çeşitleri

	PERİYOD	**SEBEP**
Kısa Periyotlu Dalgalar	T<30 sn	Rüzgar dalgaları
Uzun Periyotlu Dalgalar	30sn<T<saat	Deprem Dalgaları
Gelgit	T>saat	

Rüzgar dalgarları, açık denizde rüzgar hızının 1 m/s'nin üzerine çıktığında oluşmaya başlarlar. Su yüzeyinde önce küçük pürüzlükler oluşur. Rüzgarın şiddeti ve esme süresi arttıkça boyları ve periyotları artar ve diklikleri azalır. Bu oluşuma rüzgar hızı, feç uzunluğu, su derinliği ve rüzgar esme süresi etki eder.

Dalga gelişme bölgesinden çıktığında ve rüzgar kesildiğinde de yoluna devam eder. Sığ bölgelere yaklaştığında dalga taban etkilerini hissetmeye başlar. Sığ su etkisi ile yavaşlar, dalga boyları kısalır ve dikliği artar. Dalga dikliği, artık dalga stabil kalamayıncaya kadar artar ve bu aşamada dalga kırılır. Taban batimetrisi ile, dalga,

gidiş yönünden dalga cephesi taban batimetrisine paralel olacak şekilde sapar. Buna **dalga sapması** denir.

Dalga herhangi bir yapı ile karşılaştığında, yapının arkasına bir kısmı dönerek girer. Buna **dalga dönmesi** denir. Liman yapıları için önemlidir. (Kapdaşlı,1992)

1.2 Tsunami Nedir?

Japonca'da liman dalgası anlamına gelen tsunami, Tsu (liman) ve Nami (dalga) kelimelerinin birleşiminden oluşur. Okyanus ya da deniz tabanında oluşan deprem, volkan patlaması ve bunlara bağlı olarak oluşan taban çökmesi ve zemin kaymaları gibi tektonik olaylar ve meteor düşmeleri sonucu denize geçen enerji nedeni ile oluşan uzun periyotlu deniz dalgasını temsil eder.

İlk olarak, 15 Haziran 1896 günü Japonya' da meydana gelen ve yaklaşık olarak 21000 kişinin ölümüne sebep olan, Büyük Meiji Tsunami'si" afetinde, Japonya'nın dünyaya yardım çağrıları sebebi ile literatüre "tsunami" kelimesi olduğu gibi geçmiştir. (Yalçıner, 1994). Türkçe'ye ilk olarak "Deniz Taşması" şeklinde geçmiştir. Ancak bu tanımlama dalga hareketini yeteri kadar temsil etmediği için "tsunami" terimi kullanılmaya devam etmiştir. Ancak tanımı gereği "Depreşim Dalgası" terimi, hem fiziksel özellikleri temsil etmesi, hem de "deprem" kelimesi ile uyumluluk göstermesi açısından uygun görülmüştür (Yalçıner, 2000). Son zamanlarda da "Dev Dalga" benzeri doğru olmayan terimler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada terminoloji olarak "tsunami" kullanılacaktır.

1.3 Tsunaminin Diğer Dalgalardan Farkı

Rüzgar sebepli dalgalardan farklı olarak tsunamiler, uzun periyotlu ve uzun dalga boylu dalgalardır. Örnek olarak; California Sahili'nde bir rüzgar dalgası periyodu 10 saniye ve dalga boyu 150 metre olabilirken, aynı yerde bir tsunami periyodu 1 saat kadar ve dalga boyu 100 km olabilir. Uzun dalga boyları sebebi ile tsunamiler sığ su dalgası gibi hareket ederler. Sığ bölgelerde dalga hızı $C=(g.h)^{1/2}$ eşitliği ile hesaplanabilir. (Burada g=yerçekimi ivmesi; h=su derinliği). Buna göre Pasifik'te ortalama derinlik 4000 m civarında olduğuna göre burada oluşan bir tsunaminin hızı

700 km/saat olacaktır. Bu sebeple az bir enerji kaybı ile tsunamiler çok uzun mesafeler katedebilirler.

Dahası tsunami olayları, sadece 3. Dünya ülkelerinde meydana gelen felaketler değildir. Pasifik Kıyılarında bulunan Hawaii ve California diğer taraftan Japonya da Tsunami olaylarından etkilenen yerlerdir.

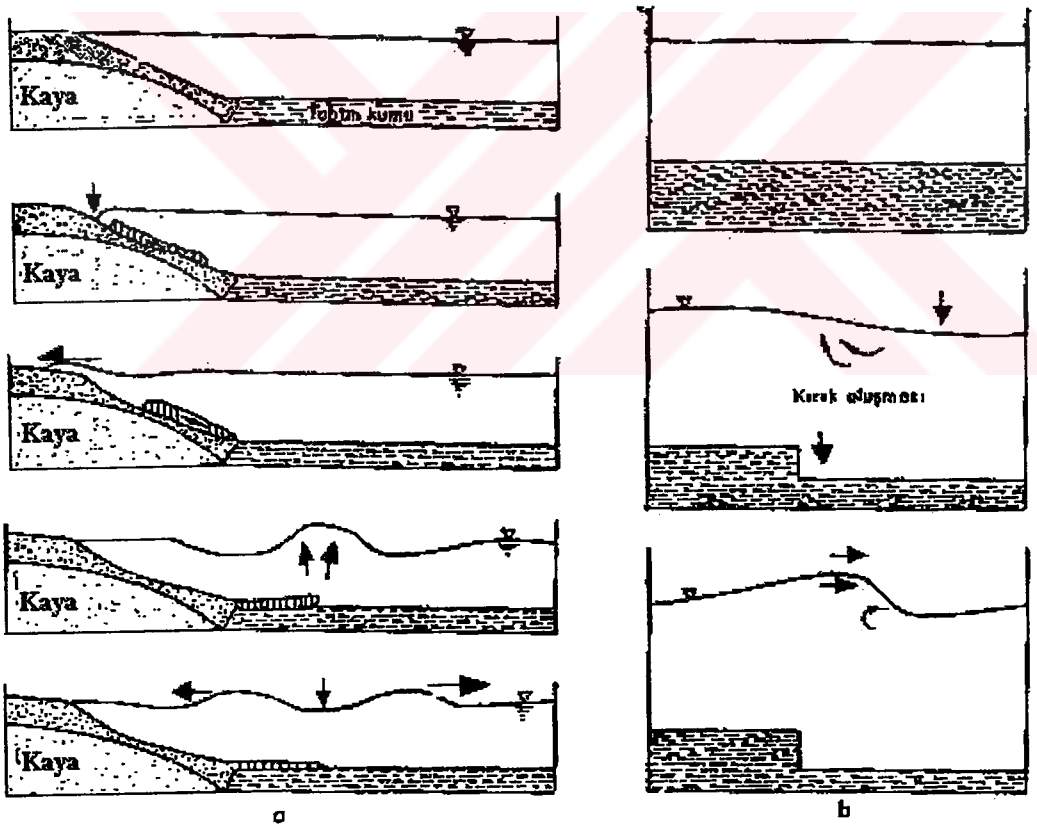
Ayrıca tsunamiler çok sık görülen olaylar değildirler.

2. TSUNAMİ OLUŞUM SEBEPLERİ VE MEKANİZMALARI

Temelde tsunami oluşumunun sebebi, deniz tabanında meydana gelen ani düşey yer değiştirme ile üzerindeki su kolonunun da düşey olarak yer değiştirmesidir. Bu sırada oluşan dalga yatay olarak da bir ivme kazanır.

Şekil 2.1a' da enerji kaynağı su altı zemin kayması, Şekil 2.1b'de ise fay hattındaki taban çökmesidir.

İlk anda tsunami, gemi dalgası zannedilebilecek boyutlarda ve tek dalga olacaktır. Bir süre sonra tsunami bir kaç dalgadan oluşan "Dalga Treni" halini alabilir.

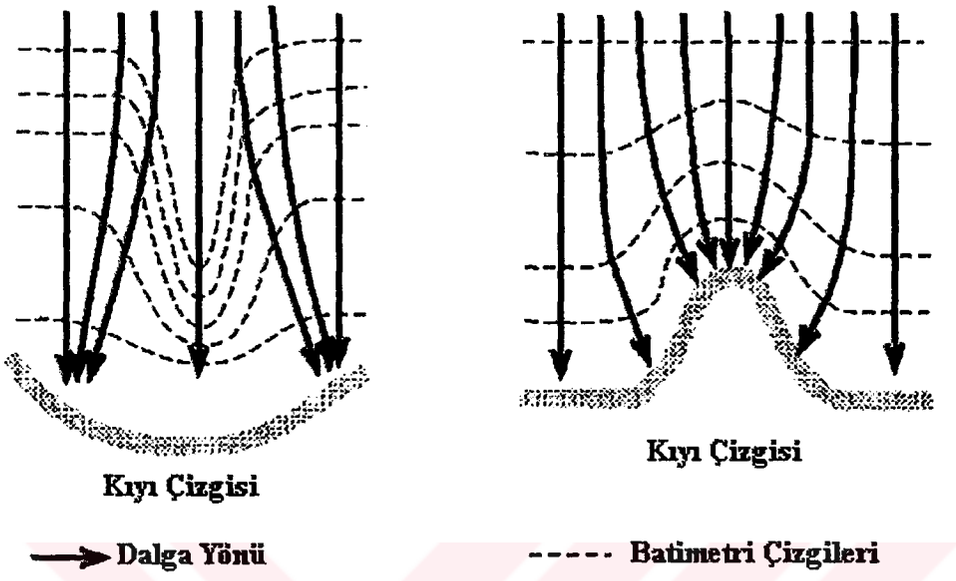


Şekil 2.1 Tsunami Oluşumu

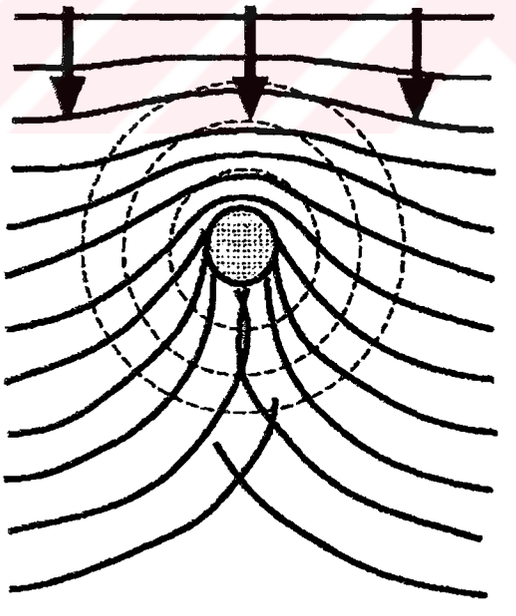
Çünkü dalgalar dalga boyunun yaklaşık yarısı kadar derinliklerde taban etkisini hissederler. tsunamilerin dalga boyu çok büyük olduğundan, taban etkisini hemen her

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

derinliklerde hissederler ve "Sığ Su Dalgası" karakterini gösterirler. Denizde derinlik değişimleri sebebi ile sapmaya uğrayarak ve karşılaştığı engeller (adalar) nedeni ile dönerek yollarına devam ederler. (Şekil 2.2, Şekil 2.3)



Şekil 2.2 Batimetri Sebebi İle Tsunami'nin Dönmesi



Şekil 2.3 Tsunami Kırılması

2.1 Depremsel Sebepler

Depremler de deniz tabanında ani çökmelere sebep olabildikleri için tsunami oluşturan sebeplerdendir. Tablo 2.1 de M.S. 1600 yılından itibaren depremsel sebepler ile meydana gelmiş tsunamiler ile ilgili liste verilmiştir.

Tablo 2.1M.S.. 1600'den İtibaren Deprem Sebebi İle Oluşmuş Tsunamiler

YIL (M.S.)	LOKASYON	KAYNAK LOKASYONU (FARKLI İSE)	MAKSİMUM TIRMANMA (m)	ÖLÜ SAYISI
1700	Sanriku kıyısı, Japonya	-	?	~100 000?
1737	Kamchatka	-	64 m?	>50
1755	Lizbon, Cadiz, Tangier, Madeira	Gorringe Bank, Atlantik Okyanusu*	25 m+	>25 000***
1863	Doğu Filipinler	-	?	~30 000?
1868	Pacific Rim (özellikle Şili, Peru)	Kuzey Şili	20 m	~25 000
1896	Sanriku kıyısı, Japonya	**	24 m	~26 000
1908	Messina, Italya	-	8 m	~6 000***
1933	Sanriku kıyısı, Japonya	-	20 m	~3 000
1946	Pasifik rim (özellikle Hawaii)	Aleutian arc, Alaska**	35 m	~200
1960	Pasifik rim (özellikle Şili, Hawaii, Japonya)	Merkez Şili	20 m	~2 500
1964	Alaska, Kalifornia	Alaska	20 m	115
1976	Doğu Filipinler	-	?	~3 000?
1983	Hokkaido, Japonya	Japon denizi	15 m	103
1992	Nikaragua	**	10 m	170
1992	Flores, Indonesia	-	26 m	~1 000
1993	Honshu, Japonya	Japon Denizi	20 m	230
1994	Java, Indonesia	Java trench	14 m	230
1996	Irian Jaya, Indonesia	North Irian Jaya	11 m	160
1998	Sissano, Papua Yeni Gine	*	20 m	~2000

* Kaynak Lokasyonu ve Tipi kesin değil; Denizaltı heyelanları, deprem tarafından tetiklenmiş.
** Muhtemel "Tsunami Depremleri".
*** Ölü Sayıları kesin değil, Deprem sebebi ile ölümler, Tsunami sebebi ile ölümler ayırt edilemez.

2.1.1 Deprem Büyüklüğü Ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi

Deprem büyüklüğü birkaç değişik şekilde ifade edilebilir. Deprem büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan temel ölçüm depremin enerjisinin bir fonksiyonu olan "Moment Magnitud" üdür.

Sismik Magnitud (M0) depremde fay yüzeyinde meydana gelen hareket miktarı (u), hareketin gerçekleştiği fay yüzeyi alanı (A), ve elastik kayma modülüne (μ) bağlı olarak değişmektedir :

$$M_0 = \mu v A \qquad 2.1$$

$$M_w = \frac{2}{3}\log_{10} M_0 - 6.0 \qquad 2.2$$

Elastik kayma modülü, depremin meydana geldiği üstmanto ve kabuktaki kayalar için çok az değişir. Bunun anlamı sismik magnitüd daha çok depremin olduğu alan ve hareket miktarının fonksiyonudur.

Depremin sismik momenti ile doğrudan ürettiği tsunami büyüklüğü arasında basit bir ilişki olması beklenir. Bununla birlikte derinlik ve geometrinin de etkisini hesaba katmak gerekir. Genel olarak Mw= 6.5~7.0 arasındaki depremlerin doğrudan tsunami ürettiği söylenebilir. Ancak daha küçük depremler de denizaltı heyelanlarına sebep oldukları için tsunami oluşturabilirler. Okyanus kıyılarında Mw>>9 olan en büyük depremler etkili biçimde zararlar verebilen tsunami meydana getirirler.

Ancak bu, depremin tsunami üretme potansiyelini, nerede ise gerçek zamanlı sismik kayıtlarını, derinlik ve geometrik etkilerini çok hızlı ölçebilen ve kaydedebilen birden fazla sismometre kullanılmasına rağmen, ölçmenin o kadar kolay olacağı anlamına gelmez.

Bunun sebebi; sismometrelerin çoğu depremin yaydığı sismik enerjinin yüksek frekanslarını ölçer. Sismik enerjinin büyük kısmı 0.01 Hz ya da daha az frekans ile yayılır. Bunun sonucu olarak deprem büyüklüğünün çeşitli aletsel tahminleri, yüzey sarsıntıları ile ilgili beklenen hassasiyette ölçümler yapabilirler. A ve u değerlerini

iyi tahmin edemezler. Bunun sonucu olarak da depremin tsunami üretme potansiyelini de iyi tahmin edemezler. Genel olarak 10 denizaltı depreminden yaklaşık olarak 1 tanesi beklenen aletsel tahminden 10-100 kat büyük tsunami üretir.

1 Nisan 1946 'da olan Alaska depremi Hawaii'de, Hilo'nun önemli bir bölümünü harap eden tsunami yaratmıştır. Bu depremin büyüklüğü 7.4 idi.

Bunun aksine küçük büyük depremler de küçük tsunami oluşturabilirler. Bu durumlar tsunami uyarı sistemlerinin "Yanlış Alarm"larına sebep olurlar.

"Tsunami Deprem"lerinin bir kısmı denizaltı heyelanlarını tetikleyen göreceli küçük depremlerdir. Ama bunların çoğu "yavaş" ya da "sessiz" depremlerdir.

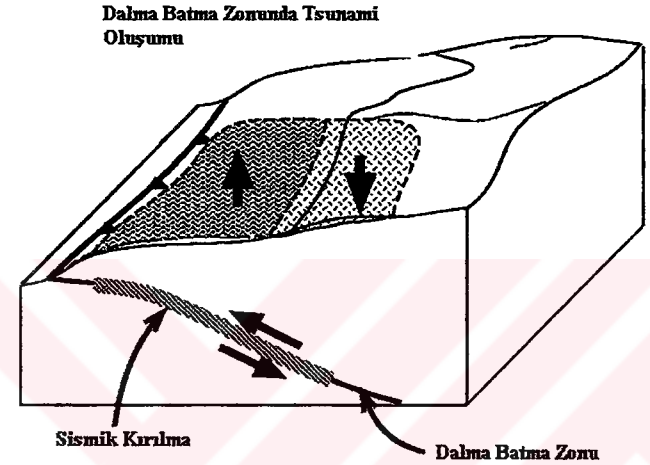
Depremin büyüklüğü ve tsunami üretme potansiyeli, moment büyüklüğü arasındaki karmaşık ilişki, oluşacak tsunaminin vereceği zarar seviyesini tahmin etmeyi güçleştirir. Bu bizi tam tersi yönde çalışmaya yöneltmiştir, şöyle ki : deprem büyüklüğünün tahmini için tsunami kayıtlarını kullanırız.

En Büyük Depremler ve Tsunami Üretme Potansiyelleri :

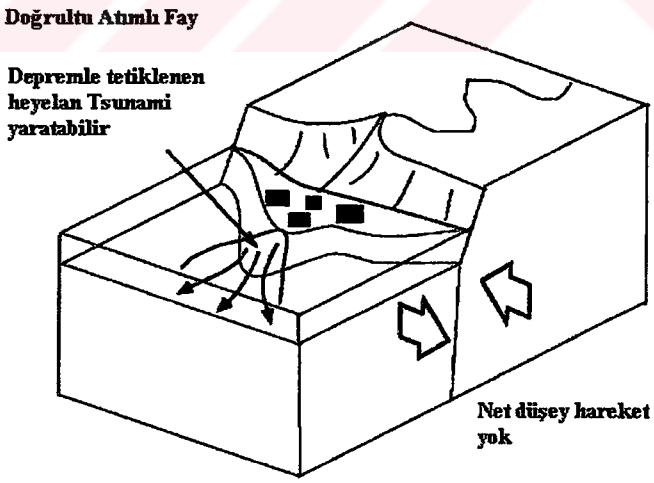
Genel olarak, Mw= 9-9,5 olan depremler, tipik olarak 100 000 km^2'lik bir fay kayma alanına ve 10m'lik kayma mesafesine (bazı yerlerde en fazla 20m'ye kadar çıkabilir.) sahiptirler. Bu yerkabuğunun yapısı ve herbir fayın uzunluğu ile limitlidir. Dolayısı ile bu büyüklükten büyük deprem olamaz. Bu depremler dalma batma zonunda oluşurlar ki; bu bölgede sismogenik katman en kalın seviyededir ve bunun sonucu tipik olarak etkili tsunami Dalgası üretebilen "Thrust" geometriye haizdir. Bu çok büyük depremlerin, derinlere kadar inen kırılma alanları vardır ve bu yüzden de "Tsunami Depremleri" ile sonuçlanan düşük kırılma hızları ile ilgili değildirler : İkinci tiplerin en büyükleri Mw= 8 civarındadır. Bu yüzden de 1964 Alaska Depreminde olduğu gibi deprem tarafından doğrudan üretilebilecek en büyük tsunamileri üretirler.

2.1.2 Deprem Geometrisi Ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi

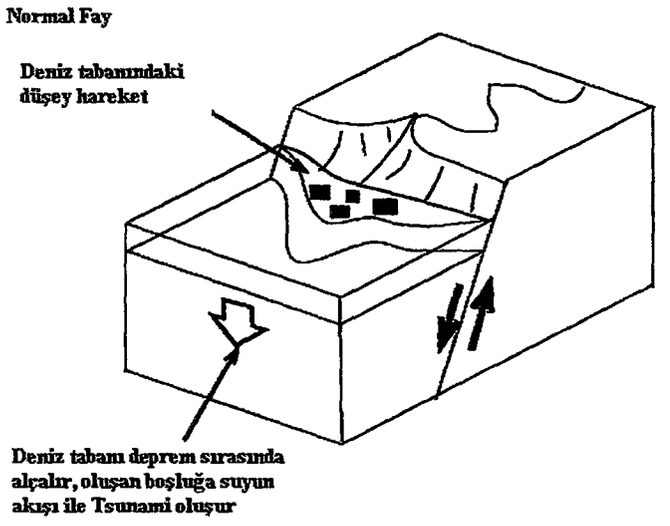
Depremin kayma yönü, kendisini yaratan fayın tipi ile ilgilidir ve sonuç olarak, denizaltında meydana gelen bir depremde faydaki kayma miktarı ile deniz tabanındaki düşey yerdeğiştirme miktarı arasında kolay bir ilişki yoktur. Anlaşılmasını kolaylaştırmak amacı ile tsunami oluşturan depremler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Bunların her biri tsunami yaratmak konusunda kendi karakteristiklerine sahiptirler.



Şekil 2.4 Dalma Batma Zonunda Tsunami Oluşumu



Şekil 2.5 Doğrultu Atımlı Faylarda Tsunami Oluşumu



Şekil 2.6 Normal Faylarda Tsunami Oluşumu

2.1.2.1 Normal Faylanma

Normal Faylanmada, hareketin yönünü belirleyen kayma vektörü, düşey ya da düşeye çok yakındır. Fay çevresindeki yüzeyin düşey hareketi toplam yerdeğiştirmeye benzer şekilde yüzeye yakındır. Bu tür fayların yarattığı depremler, oldukça etkin tsunami üreticisidirler. Şekil 2.6'da bu fayların nasıl tsunami ürettikleri görülebilir.

2.1.2.2 Ters Faylanma

Bu tip faylar da Normal Faylarda olduğu gibi, hareket ya düşey ya da düşeye oldukça yakındır. Dolayısı ile bu tip faylarda olan depremler de doğrudan tsunami üretebilirler.

2.1.2.3 Darbe Etkili Faylanma

Ters faylanmanın özel bir tipidir. Kayma vektörü yüzey ile küçük bir açı yapsa da, iki sebep ile tsunami üretmek konusunda önemlidirler. Birincisi en büyük depremler böyle faylar üzerinde oluşurlar. İkincisi bu fay üzerindeki deniz tabanı eğimi 10-25° kadardır. Böylece fay üzerindeki hareketin yatay bileşeni her bir noktada deniz tabanının düşey hareketine dönüşür. Bu düşey hareketin sonucu olarak tsunami olur.

2.1.2.4 Doğrultu Atımlı Faylar

Bu faylarda meydana gelen depremler nerede ise tamamen yatay hareketin sonucudurlar. Dolayısı ile doğrudan tsunami üretmezler, ancak denizaltı heyelanlarına sebep olmaları dolayısı ile dolaylı olarak tsunami üretebilirler. 17 Ağustos 1999 ,Kocaeli depremi bu çeşit bir depremdir ve dolaylı olarak tsunami meydana getirmiştir. Bu tsunami olayı ilerideki bölümlerde incelenecektir. Şekil 2.5'te Doğrultu Atımlı Faylarda tsunami oluşumu gösterilmiştir.

2.1.2.5 Kırılma Şekli ve Tsunami Doğrultusu

Tsunami üreten depremle ilgili olarak fay geometrisinin bir başka etkisi fay kırılmasının dairesel yerine boyuna olmasıdır. Bu en iyi, dalma batma zonu geniş olan depremlerde görülür. Bu depremler kendisine yakın kıyıya paralel ve uzunluğu 1200 km'ye kadar olan fay hareketi ile oluşurlar, ancak tipik olarak 100~200km kadar bölümleri kıyı çizgisine diktir. Bu depremler oluştuğunda meydana gelen "Su Yükselmesi" genişliğinden çok daha uzundur. Enerjisinin büyük bölümünü kaybettiğinde, kıyıya doğru ve kıyıdan uzaklaşan yönde ilk tsunami dalgasını oluşturur. Kıyıya paralel doğrultudaki dalgaların hareketinde nisbeten az enerji harcanır çünkü bunlar, deniz tabanı eğiminin ikincil tsunami dalgasının kırılmasına sebep olmasına rağmen, yükselen su kütlesinin başında ve sonunda bulunur.

Güvenlik gözönüne alındığında, bunun önemli bir sonucu da, belirli alanlar kıyıya yaklaşan ya da kıyıdan uzaklaşan tsunamiler için oldukça zayıftır. Mesela California ve Oregon'un Pasifik Kıyıları Alaska'da meydana gelmiş tsunami için oldukça korunmasızdır ve Alaska'da olmuş bir büyük depremin sonucunda oluşan tsunami ile hem Alaska'da hem de bu iki yerde kayıplar olması beklenebilir. Bir başka tsunamiden bu şekilde etkilenebilecek ikili Japonya ve Şili'dir. Bu arada Hawaii de kabaca dairesel olan Pasifik Okyanusu'nun yaklaşık olarak ortasında olması sebebi ile Pasifik Kıyılarında oluşan tsunamilerden etkilenir.

2.1.3 Deprem Derinliği ve Tsunami Büyüklüğü İlişkisi

Düşey hareketi olan depremlerin, yer yüzeyinde meydana getireceği düşey hareket miktarı, fayın kendi üzerinde gerçekleşen düşey hareket miktarından daha azdır. Çünkü, fayın kırılmasının etkisi yüzeye azalarak ulaşmaktadır. Düşey atımlı faylarda

bile, yüzeydeki düşey yerdeğiştirme, maksimum yer değiştirmenin yaklaşık olarak yarısı kadar olacaktır. Bunun sebebi fay üzerindeki yerdeğiştirmelerin, fayın merkezinden yüzeye doğru düzenli olarak azalmasıdır.

Bunun sonucu olarak, daha derinde meydana gelen depremler, birkaç 10 kilometre veya daha fazla derinde olanlar, çok geniş bir alanda etkili bir biçimde hissedilmiş olsalar bile, yüzeye yakın oluşan depremlere göre etkili tsunami kaynakları değildirler. Deprem kataloglarına göre yapılan tsunami zarar tahminleri, depremin odak derinlik dağılımı düzeltmelerini içermelidir.

2.1.4 Deprem Sebepli Salınımlar (Seyşler – Seiches)

Deprem sebepli tsunamiler, deniz tabanının kırılması ile kendisini meydana getiren deprem ile aynı yerde meydana gelirler. Ancak bazen göller ve lagünler gibi kapalı su alanlarında da tsunami benzeri su yüzeyi salınımı olur. Buna "SALINIM, SEYŞ" denmektedir (Yalçıner, 2001). Depremden oldukça uzak yerlerde görülebilirler. Oluşma sebepleri, sismik dalgaların deprem kaynağından itibaren yeryüzünde yayılırken, üzerindeki su kütlesini de kendi doğal frekansına eşit veya biraz daha fazla bir frekans ile hareket ettirmesidir. Bu salınımlar sadece birkaç metre yükseklikte olmalarına rağmen, genellikle bu tür suların normal su seviyesinde yerleşimlerin bulunması sebebi ile, oldukça zarar verici olabilirler. 1964 Alaska Depreminin sonucu olarak Meksika Körfezinde meydana gelen "salınım" zarar vermiştir.

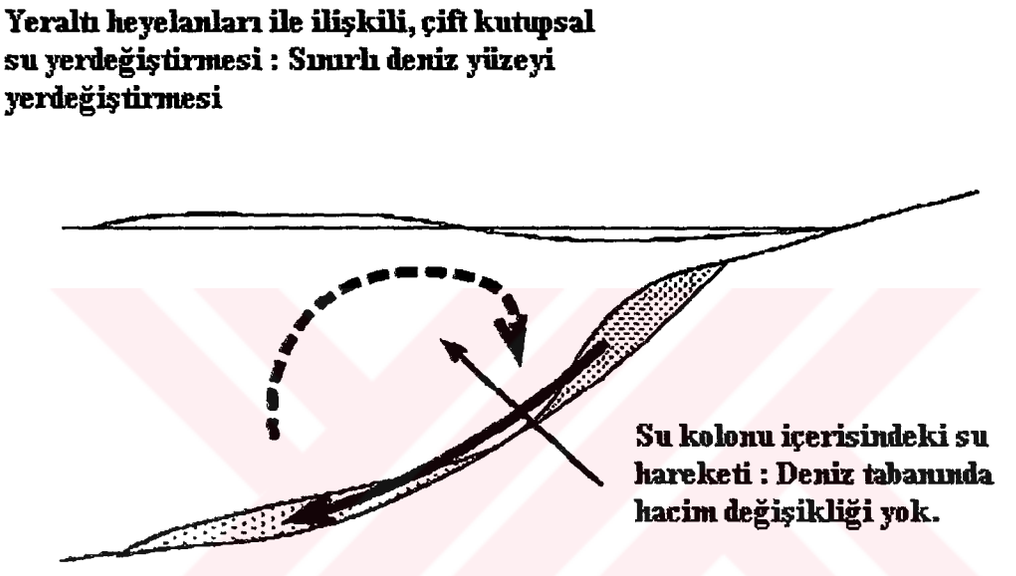
2.2 Toprak Kaymaları (Heyelanlar)

"Toprak kayması" terimi bu kategorideki bir çok olay için çok da uygun bir isimlendirme değildir, çünkü diğer durumlarda kayma alanlarındaki kütlenin hareketi tsunami üretmek için yeterli olmasına rağmen, heyelan veya su akışına daha yakın mekanizmalar ile katı madde ya da kaya kütlelerinin hızlı hareketini içerirler. "Denizaltı kütle hareketi" terimi de bazen kullanılsa da "heyelan" terimi daha uygundur.(Dawson ve diğ., 2000)

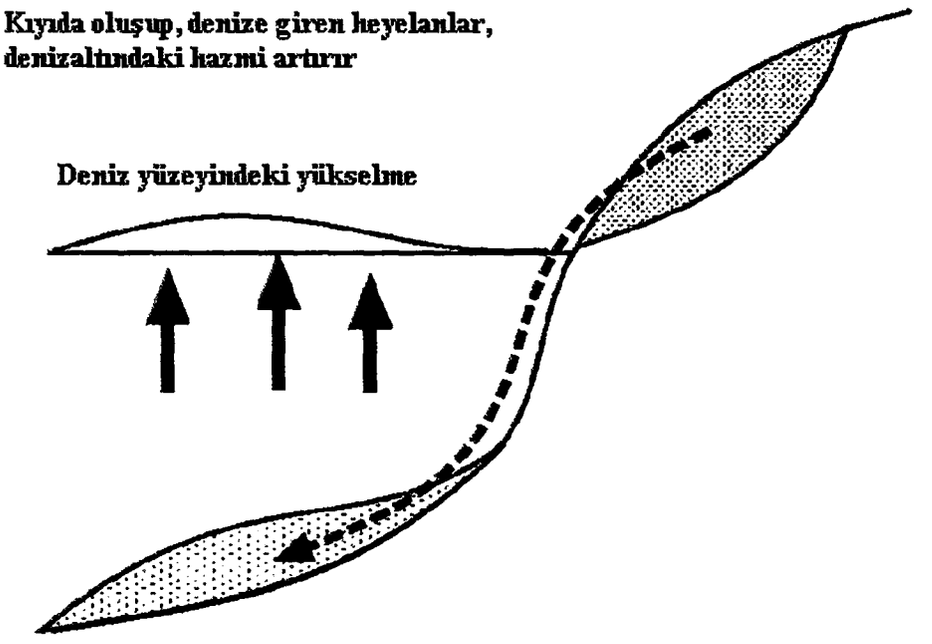
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Her ne kadar kütle hareketini içeren durumlar olsa da, iki ayrı tsunami oluşma mekanizması vardır.

Denizaltı heyelanları denizaltı materyallerininin bir yerden bir yere hareketini içerirken, aynı zamanda bu hareketin tersi yönde tsunami üretirler. (Dipole (Çift Kutupsal) Mekanizması). Şekil 2.7'de Su Altı Heyelanı ile Tsunami Oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Su Altı Heyelanı ile Tsunami Oluşumu (Çift Kutupsal Mekanizma)



Şekil 2.8 Kıyıdaki Heyelan ile Tsunami Oluşumu (Tek Kutupsal Mekanizma)

Diğer taraftan karadan denize doğru olan ve denizin içerisine doğru giren heyelanlar, suyu aynı yönde iterler (Tek Kutupsal (Monopole) Mekanizması) ancak hareket eden kütlenin, tamamen suya batması durumunda ters yönlü akış oluştururlar (Şekil 2.8 Kıyıdaki Heyelan ile Tsunami Oluşumu). Bu heyelanlar suya batma sırasında, suyu bu şekilde yatay olarak iterek tsunami üretirler ve oldukça etkilidirler.

2.3 Volkanik Sebepler

Denizaltı heyelanları ile oluşan birçok tsunami, kıyıdaki veya denizdeki volkanların faaliyete geçmelerinin sonucu ile oluşmuştur. Tablo 2.2'de tarihte volkanik sebepler ile meydana gelmiş tsunamilerin listesi verilmiştir.

Tablo 2.2 Volkanik Sebepler ile Oluşmuş Tsunamiler

YIL	ETKİLENEN BÖLGE	VOLKAN KAYNAĞI	MAKSİMUM YÜKSEKLİK	ÖLÜM
M.Ö. 1628 ?	Ege, Girit	Thira (Santorini)	Bir Kaç 10m?	Bilinmiyor, İhtimalen çok fazla
1815	Flores, Endonesya	Tambora	Bir Kaç 10m?	? 12 000
1883	Cook Inlet, Alaska	Augustine	6 m	-
1883	Java, Sumatra	Krakatau	35 m	~33 000
1902	Martinique	Pelee Dağı	8 m?	~100?
1952	—	Myojin-sho, Güney Japonya	?	~30

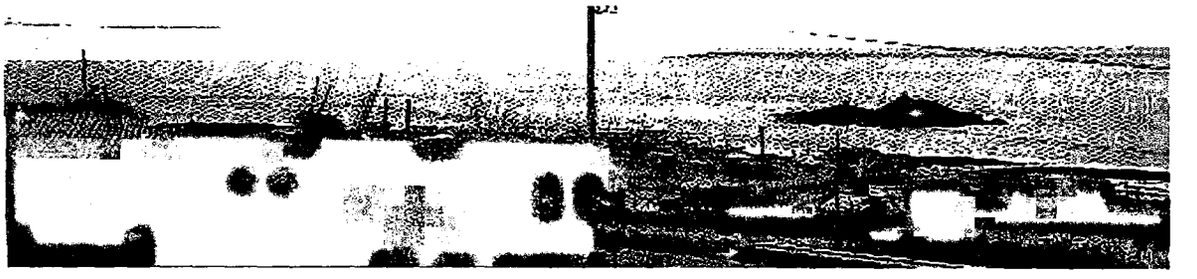
2.4 Dünya Dışı Sebepler

Meteorlar sebebi ile meydana gelen tsunamiler, oluşması muhtemel tsunamilerin en büyükleridir. Bu meteorların tsunami oluşturmalarının en temel sebebi okyanusda (ve belki de okyanus tabanında da) açtığı kısa süreli kraterdir. Büyük bir su kütlesinin, oluşan kraterden dışarı doğru fışkırması ve bu kraterin "duvarlarının" aniden çökmesi tsunami dalgası meydana getirir.

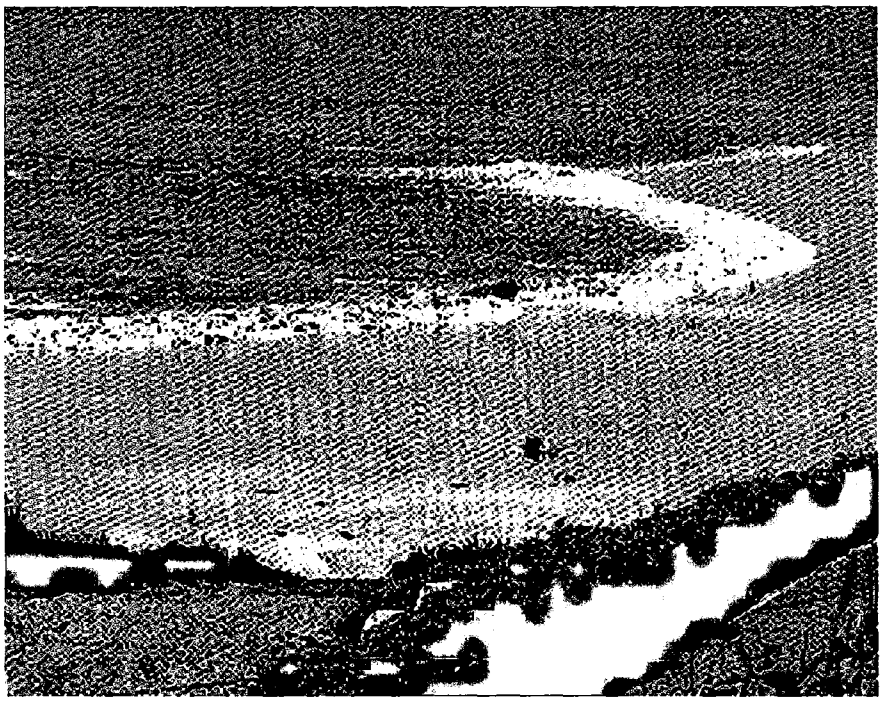
3. TSUNAMİ HİDROMEKANİĞİ

Rüzgar dalgalarında bir su hareketi yoktur. Dalganın altındaki su zerrelerinin dairesel hareketleri söz konusudur. Yani rüzgar dalgalarında su kütlesi taşınmaz, sadece enerji transferi meydana gelir. Ancak tsunamiler oluşum mekanizmaları gereği, su zerrelerinin birbirini itmesi şeklinde hareket ederler ve bir su kütlesi hareketi söz konusudur.

Tsunamiler rüzgar dalgalarına göre çok daha uzun periyotlu dalgalardır. Hızları ve çok uzun dalga boyları sebebi ile, her derinlikte sığ su dalgası gibi davrandıklarından, bulunduğu derinliğin karekökü ile doğru orantılıdır. İlk oluştuklarında tek dalga olmalarına rağmen, kısa bir zaman sonra bir kaç dalga haline gelirler ve genellikle ikinci ve üçüncü dalgalar etkilidirler. Kıyılara ulaşan tsunaminin etkisi; önce denizin çekilmesi veya karaya doğru ilerlemesi, ardından da karada dalga tırmanması ve su taşınımı şeklinde olur. (Yalçıner, 2000) Bunun sonucu olarak da kıyıda şiddetli akıntılar oluşur. Daha çok liman ve gemi barınaklarında etkili olabilmektedirler. Şekil 3.1 ve 3.2'de tsunami gelişi görülmektedir.



Şekil 3.1 Tsunami Gelişi (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)



Şekil 3.2 Tsunami Gelişi (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)

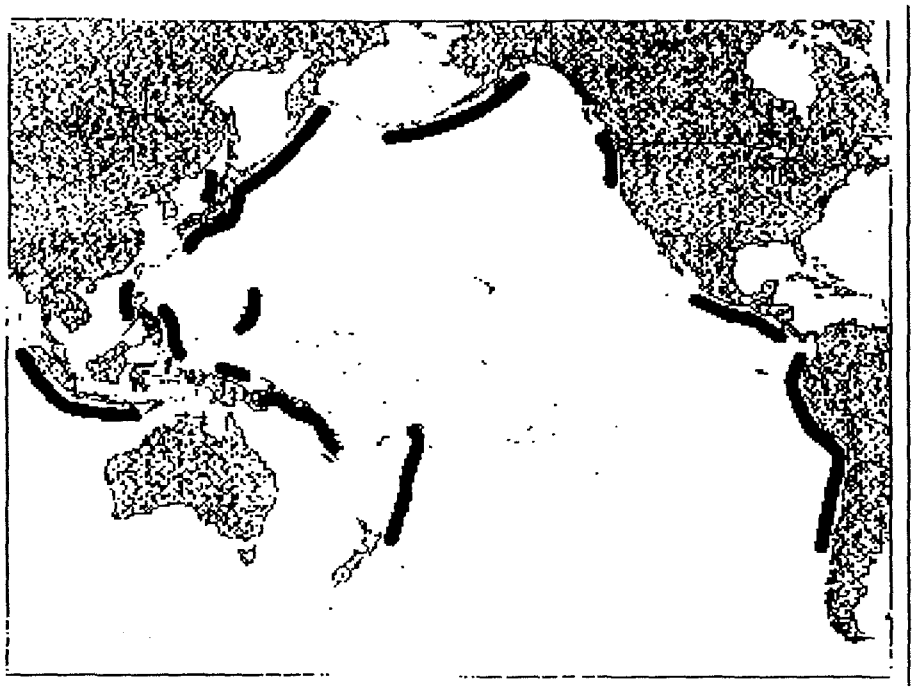
4. TARİHTE TSUNAMİ

4.1 Dünya'da Tsunamiler

Coğrafik dağılıma dikkat edilecek olursa, tsunami olaylarının genellikle Pasifik Okyanusunda meydana geldiği anlaşılacaktır. Gusiakov (1997)'e göre 684 ile 1994 yılları arasında Pasifik'te 800 tsunami olayı gerçekleşmiştir. Pasifik'teki son büyük tsunami olaylarından birisi olan Papua Yeni Gine'de 17 Haziran 1998'de meydana gelmiştir. Bu olay sonucunda yaklaşık olarak 3000 kişi ölmüş veya kaybolmuştur. Bu tsunaminin ortalama yüksekliği 7-10m arasında ve maksimum yüksekliği ise 15m kadar olmuştur.

Yıkıcı tsunamiler Pasifik'te olduğu kadar, Atlantik ve Hint Okyanusları'nda da olmaktadır.

Sonuç olarak denebilir ki, özellikle büyük denizlerin –Pasifik Okyanusu gibi- (Şekil 4.1) kıyılarında bulunan yerleşim merkezleri az ya da çok tsunami etkisi altında olabilir. Tsunami kaynağı ile etkili olduğu bölgenin de aynı olması zorunluluğu olmadığından bu daha da önem kazanır.



Şekil 4.1 Pasifik Okyanusunda Tsunami Üretebilecek Depremsel Bölgeler

4.2 Türkiye'de Tsunamiler

Türkiye de, 8333 km'lik kıyı şeridi uzunluğu ile, tarihte bir çok tsunami deneyimi yaşamıştır. Türkiye Kıyılarında, tarihi kayıtlarda 3000 yıllık bir periyotta 90'dan fazla tsunami olayına rastlanmaktadır.

Tarihi kayıtlarda MÖ 15.Yüzyılda Santorini (o zamanki adı ile Thera) Volkanı'nın faaliyete geçmesi ile, çok büyük bir tsunami oluşmuş ve Girit'teki Minoan uygarlığı oluşan bu tsunami sebebi ile yok olmuştur. Bundan başka da Doğu Akdeniz'de bir çok yıkıcı tsunami meydana gelmiştir. Doğu Akdeniz'de meydana gelen tsunamilerin çoğu Ege Denizi'nde meydana gelmiş ve tarihi kayıtlara göre, bu tsunamilerden Türkiye kıyıları ve çevresi de etkilenmiş ve kayıplar yaşamıştır. (Altınok ve Ersoy, 2000)

Türkiye Kıyılarında veya yakınlarında meydana gelmiş olan tsunamiler ile ilgili olarak bir liste verilmiştir (Tablo A.1, Sa.54). Bu liste, yayınlanmış olan çalışmalara dayanarak MÖ 1410∓100 ile MS 1999 yılları arasında Türkiye Kıyılarında veya yakınlarında meydana gelmiş, tsunami kayıtlarını içermektedir. Bu listede,

tsunamilerin olabilirliklerini anlatan, Iida Skalası, Soloviev (1990), ve Tinti ve Maramai (1996) tarafından geliştirilmiştir. (Altınok ve Ersoy, 2000)

Bu skalada;

(0) Olanaksız : Olay kayıtlara geçirilmiş ancak doğrulanması olanaksız ve genel kabul görmemiş.

(1) Şüpheli : Doğrulama için yetersiz bilgiler ve kanıtlar vardır.

(2) Kayıtlara geçmiş olağan tsunamiler, çeşitli katalog ve kaynaklarda verilmiş. Ancak kaynaklar çelişkili veya sadece bir kaynak ile şüpheli şekilde doğrulanmış.

(3) Kaynaklar özel ve inandırıcı ancak oluşma tarihi eski : Bazı katalog ve kaynaklarda çelişkiler var. İnandırıcı raporlar ancak sınırlı kaynaklar tarafından doğrulanıyor.

(4) Büyük kesinlikle olmuş tsunami olayları. Genellikle son zamanlarda gerçekleşmişlerdir. Çeşitli inandırıcı kaynaklar mevcut : tarihi kayıtlar, çeşitli yazarların el yazmaları, arşivler, biyografiler, özel yayınlar, magazin, raporlar.

Olarak tariflenmiştir.

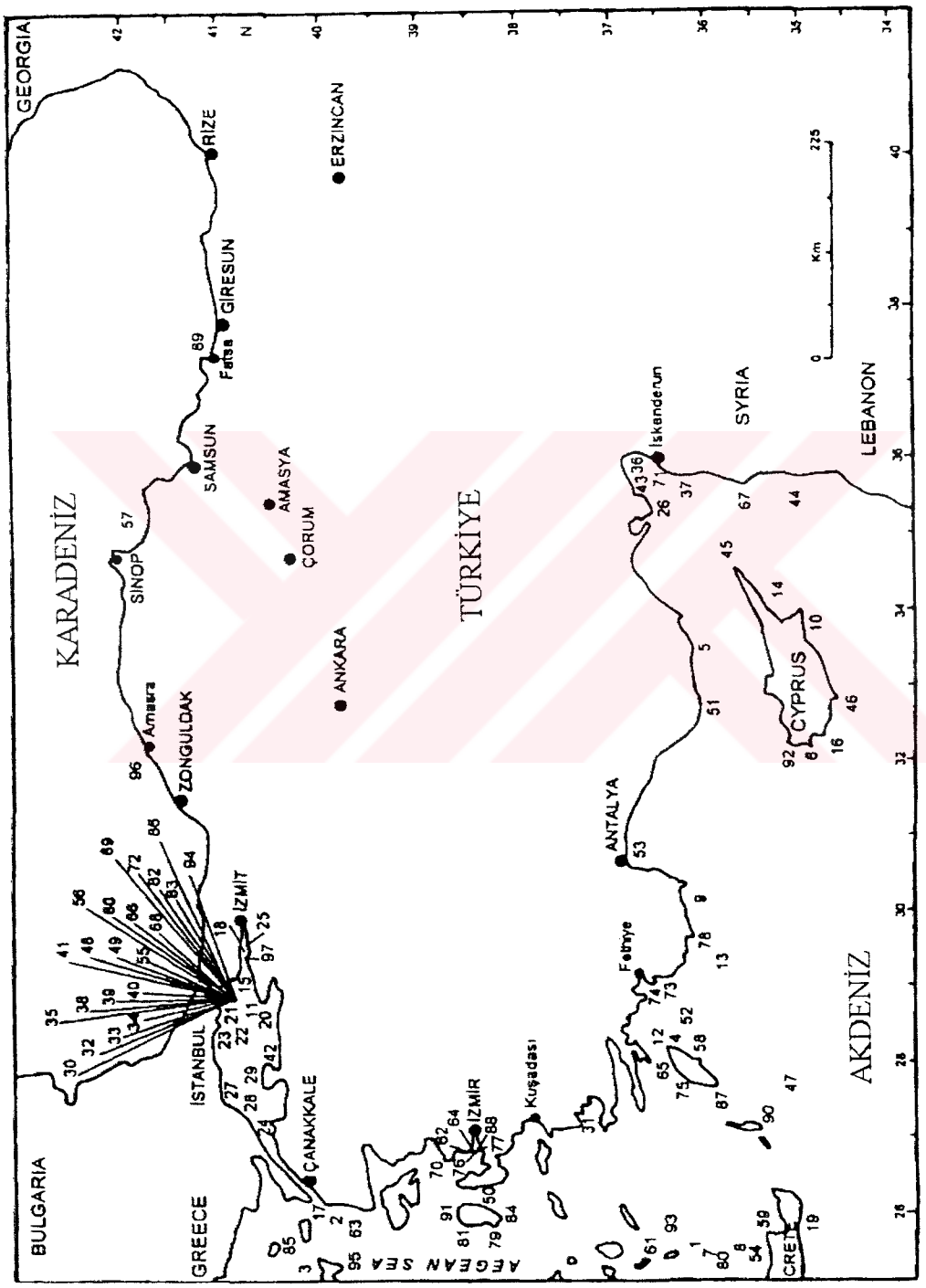
Tablo A.1'de listelenmiş olan tsunamilerin Şekil 4.2'de bir harita üzerinde pozisyonları görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere Türkiye çevresindeki tsunamilerin önemli kısmı Marmara Denizi'nde İstanbul ve İzmit Körfezi yakınlarında meydana gelmiştir. (Altınok ve Ersoy, 2000)

Şekil 4.3'de aynı tsunami olaylarının kronolojisi görülmektedir. Buradan kronoloji dikkatle incelenirse; 6. Yüzyılda meydana gelmiş olan tsunami olaylarının frekansının dikkate değer şekilde arttığı gözlenir. Bu açıkça farkedilen kümelenme, gerçek olaylardan çok, titizlikle tutulan kayıtların sonucu olmalıdır, çünkü 6. Yüzyıl bilimsel çalışmalar açısından Bizans döneminin en parlak zamanlarıdır.

19. yüzyıl'ın ikinci yarısı süresince de önemli miktarda tsunami olayı gözlenmektedir. Bu dönemde tsunami olaylarının en fazla göründüğü yer Ege Denizi Kıyıları'dır. 19. Yüzyılda görülen bu kümelenmenin sebebi, çok fazla ayrıntılı kayıtlar değil, daha çok gerçek olaylar gibi görünmektedir.

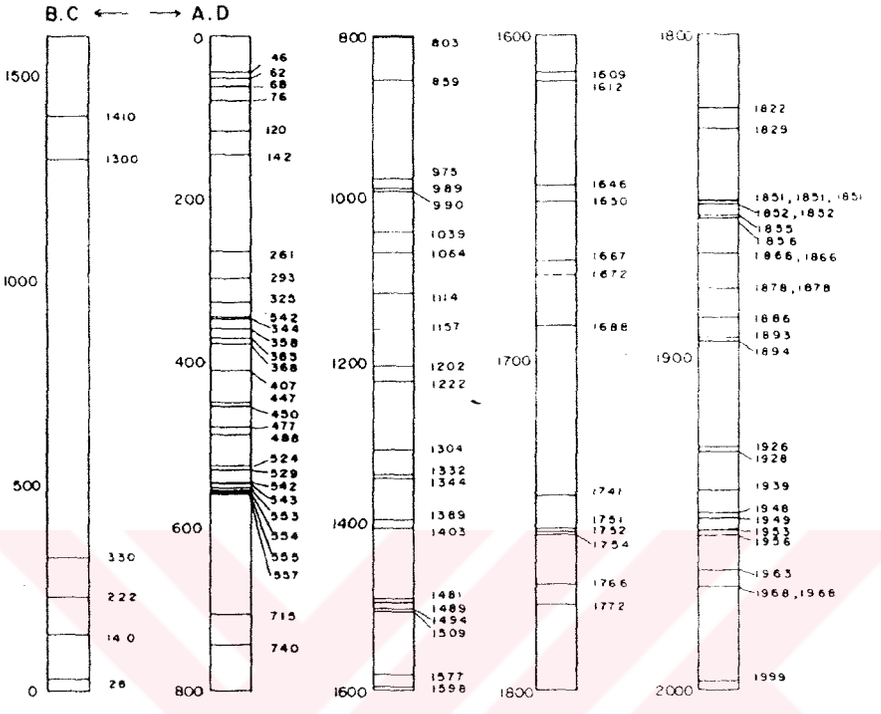
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Hem konumsal hem de dönemsel dağılım gösterir ki; Marmara Denizi tsunami olayları açısından önemlidir. Tarihsel dökümanlar gösterir ki tsunamiler İstanbul ve İzmit Körfezi yakınlarında yoğunlaşmaktadır. Oluşan tsunami olayları içerisinde, en detaylı bilgiler 10 Eylül 1509, 10 Temmuz 1894, 18 Kasım 1963 ve 17 Ağustos 1999 depremleri ile meydana gelmiş olan tsunamiler ile ilgilidir.

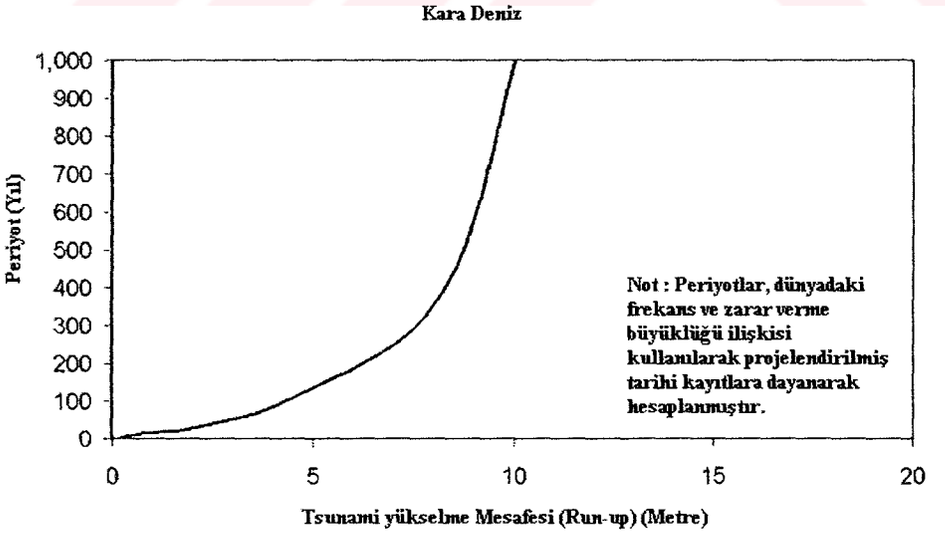


Şekil 4.2 MÖ 1410-MS 1999 Arasında Türkiye Kıyılarında Meydana Gelmiş Olan Tsunmilerin Yerleşimleri (Verilmiş Numaralar Kronolojik Sıralamayı Gösterir)

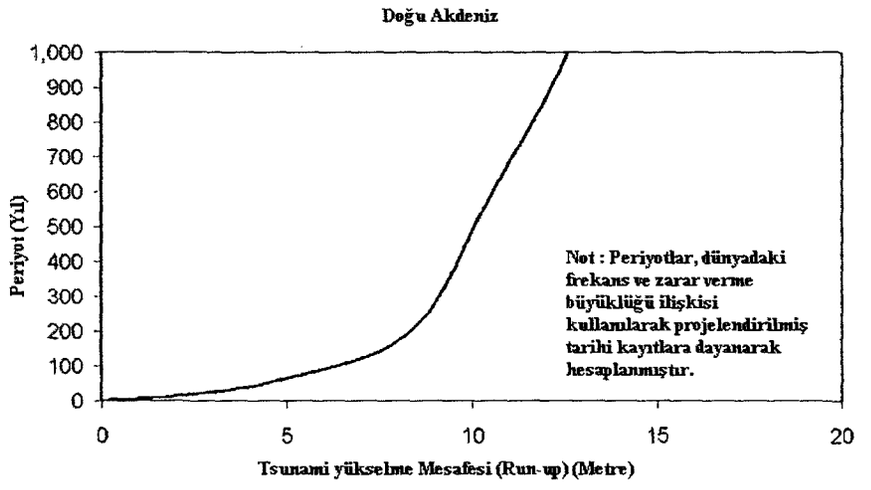
Tarihsel dökümanlar, Karadeniz'de meydana gelmiş en önemli tsunami olayları, 1598'deki Amasya Depremi ile tsunami, 1939 Erzincan Depremi ile oluşan Fatsa tsunamisi ve 1968 Bartın Depremi ile oluşan Amasra tsunamisi'dir.



Şekil 4.3 MÖ 1410-MS1999 Arasında Türkiye Çevresinde Meydana Gelmiş Olan Tsunami'lerin Kronolojisi



Şekil 4.4 Karadeniz'de Tsunami Dönemselliği



Şekil 4.5 Doğu Akdeniz Tsunami Dönemselliği

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 'de Karadeniz ve Doğu Akdeniz bölgelerine ait tsunami Dönemselliğini anlatan grafikler verilmiştir.

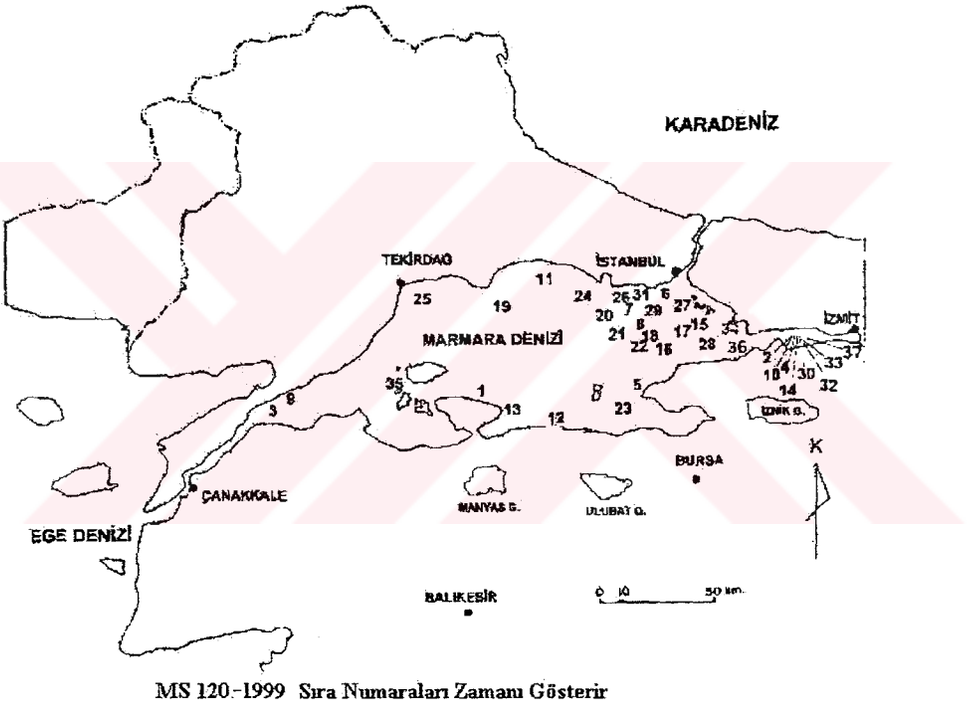
4.3 Marmara Denizi'nde Tsunami

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ile meydana gelen felaket, Marmara Denizi'nin depremselliğini bir kere daha güncel hale getirmiştir. Bu deprem; Erzincan' ın doğusundan başlayıp, Kuzey Anadolu'yu katederek, Marmara'ya ulaşan sağ-yanal doğrultu atımlı Kuzey anadolu Fay Zonu'nun Marmara'daki kuzey kolu üzerinde meydana gelmiştir. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri, aynı fay üzerinde Marmara'da meydana gelecek ve İstanbul'u etkileyecek deprem beklentisini artırmıştır. Bu beklentilerden en vahimi Le Pichon'a ait olan ve Marmara Denizi'nde hiç bir haritada görünmeyen, hafifçe konveks doğru-batı doğrultulu bir fayın olduğu ve bu fayın İstanbul'u da vuracak 8'e yakın büyüklükte bir deprem üreteceği görüşüdür. Bir başka görüş, 30 yıl içerisinde %62∓15 olasılıkla oluşacak ve büyüklükleri yaklaşık Kocaeli Depremi kadar olacak iki veya bir depremin olacağıdır. Bunlara karşılık Okay ve diğ. olası bir depremde Doğu Marmara'da öne sürdükleri aktif kuzey ve güney sınır fayları ile Armutlu fayından hangisinin kırılacağının önceden bilinemeyeceğini savunmuşlardır. (Altınok ve diğ., 2000)

Tarihsel depremlere bakıldığında ise görülebilir ki; MÖ2100-MS1900 yılları arasında Marmara ve çevresinde yaklaşık olarak 300 adet deprem meydana gelmiştir.

Bu depremler arasında büyüklükleri 7'yi geçen depremler de vardır. Bir bölgede gelecekte büyüklüğü en az geçmişte olmuş en büyük deprem büyüklüğü kadar olacak bir deprem oluşma çekincesi olduğuna göre, kaçınılması olanaksız gelecek Marmara Depremi'nin önemini ortaya koyar. (Altınok ve diğ. 2000)

Bu depremler sonucunda Marmara'da beklenecek olan tsunamilerin de olma olasılıkları önem kazanmaktadır. Türkiye Kıyılarında 3000 yılı aşkın bir süre içerisinde 90 kadar tsunami olduğu daha önce söylenmişti. İncelendiğinde bu tsunamilerin üçte biri kadarının Marmara çevresinde olduğu anlaşılır. Bunlardan MS120-1999 yılları arasında meydana gelenlerin kronolojik olarak numaralandırılmış olarak Şekil 4.6'da verilmiştir.



MS 120-1999 Sıra Numaraları Zamanı Gösterir

Şekil 4.6 Marmara Denizi Tsunami'leri

4.4 17 Ağustos 1999 Kocaeli Tsunamisi

17 Ağustos 1999'da Kocaeli Depremi sonucunda da İzmit Körfezi'nde tsunami oluşmuştur. 35 gözlem yerinde yapılan araştırmalarda tsunami bulgularına rastlanmıştır. Bu bulgulara göre İzmit Körfezi'nin her iki yakasında deniz önce çekilmiştir. Kuzey kısımda tsunami tırmanma yüksekliği 1m den 2.5 m'ye kadar ulaşmış, güney kısımda ise Kavaklı-Seymen arasındaki kıyının dışında Kılıç

Deltası'na kadar olan şeritte 1 m'den 2.5 m'ye kadar tırmanma yükseklikleri tespit edilmiştir. (Tablo 4.1; Şekil 4.7). Değimendere'de dalga yüksekliğinin 2,5 m'ye kadar ulaştığı anlaşılmaktadır. Meydana gelen tsunaminin periyodu 1 dakikadan daha azdır.

Tablo 4.1 İzmit Tsunamisi Parametreleri

No	Yer	Tırmanma Yüksekliği (m)	Karaya GirişMesafesi (m)	Çekilme Mesafesi (m)
1	Darıca	1+	4	
2	Eskihisar	1+	15	
3	Dilovası	2		
4	Tavşancıl	1,5	25,3	
5	Hereke	1,8	30	
6	Şirinyalı	1-2,5	15	
7	Kirazlıyalı	2,5		
8	Yarımca	2,5	35,6	15,2
9	Körfez	2,5	100	15
10	Tüpraş	2,5		
11	Derince Limanı	2-2,5		
12	Çene Suyu	2	60	80
13	İzmit Marina		25	40
14	Seymen		50	2
15	Kavaklı		300*	
16	Gölcük			
17	Değirmendere	2,5	35	150
18	Halıdere	0,8	60	15
19	Ulaşlı	2	5+	
20	Ereğli (Güzelyalı)	1,25	4	15
22	Defne Mahallesi	1,5	4	
23	Karamürsel	1,25		
24	Kaytazdere		15	
25	Hersek		30+	
26	Havuzdere			
27	Topçular	1+		
28	Topçular Açığı			

İzmit Körfezi'nde yapılan sığ sismik yansıma çalışmalarında, Kocaeli Depreminde kırılarak, İzmit Körfezini gevşeyen büklümler ile aşan doğrultu atımlı faya bağlı olarak gelişen normal faylanmaların da varlığı saptanmıştır. (Altınok ve diğ., 2000).

Bunların en önemlileri Hersek Deltasının doğu ve batısındaki sismik kesitlerde gözlenen normal faylanmalardır.

Kavaklı-Seymen arasındaki kıyı alanının bir bölümünün denize göçmesi ve denizin bu bölgede ilerlemesinin nedeni 2-2,5m lik düşey atım gösteren Kavaklı fayının varlığına bağlıdır. Kirazlıyalı, Halıdere, Ulaşlı ve Karamürsel'de oluşan kıyı heyelanları özellikle güney kıyıda tsunami tırmanma yüksekliklerinin saptanmasında sorunlar yaratmış olmakla birlikte, oluşan tsunaminin güney kıyıya yakın bir yerde geliştiği bulgular arasındadır. (Altınok ve diğ., 2000) Kocaeli Depremi ile İzmit Körfezinde gelişen tsunami dalgaları fazla büyük olmadığından kıyılarda da etkili hasarlar yaratmamıştır. (Yalçıner ve Altınok., 2000)

Tablo 4.1'de Kocaeli Tsunami'sinin parametreleri verilmiştir.

4.4.1 Kocaeli Tsunamisi Kanıtları

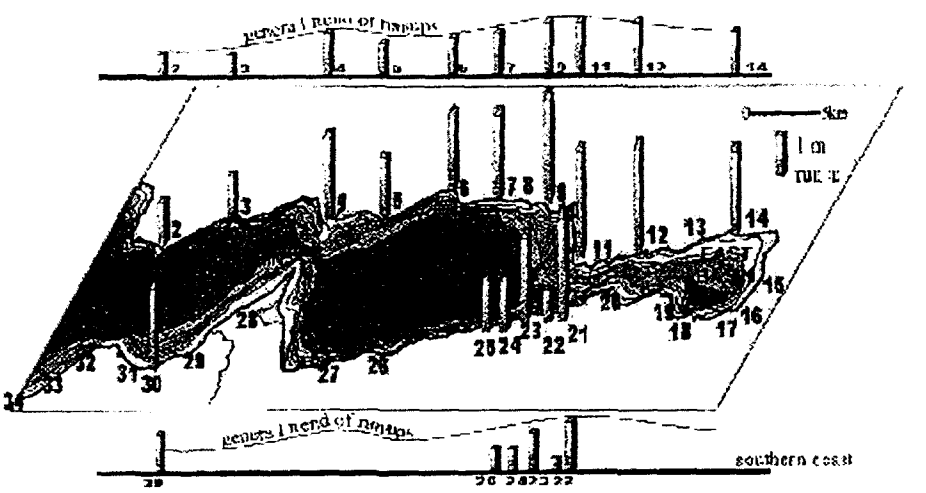
17 Ağustos 1999 İzmit Depremi ile tsunami oluşmadığı görüşleri ortaya atılmış olsa da, 18 Km uzunluğunda bir kıyı şeridi tsunamiden belirgin olarak etkilenmiş ve bu kıyı şeridinde tsunami tırmanma yükseklikleri 2,5m'yi geçebilmiştir. Tsunami meydana gelmediği şeklindeki görüşlerin dayanak noktalarından bazıları, bölgenin sığ ve kapalı basen olması ve Pasifik gibi okyanus özellikleri göstermemesi, dalganın uzun bir kıyı şeridinde etkili olması gerektiği biçimindedir. (Alpar ve diğ., 2000) Ancak kaynaklar incelendiğinde, önceki en yakın örnekler olarak 1994 Skagway, Alaska Tsunamisi ve 1998 Papua Yeni Gine Tsunamisi; İzmit Tsunamisi ile benzerliker göstermektedir. Skagway fiyordu yaklaşık olarak İzmit Körfezi derinliğindedir, Kasım 1994'de deniz tabanında başlayan heyelan 400m'lik kıyı bandının ve rıhtımın çökmesine sebep olmuş ve tsunami meydana getirmiştir. Temmuz 1998'de ise Papua Yeni Gine'de Sissano köyü açıklarında 10 dakika ara ile gerçekleşen 7,5 büyüklüğündeki iki deprem sebebi ile tsunami meydana gelmiş ve sadece 25km'lik bir kıyı şeridinde etkili olmasına rağmen Sissano köyündeki 2000 kişinin ölümüne sebep olmuştur. Bu dalga şiddet itibari ile İzmit tsunamisinden farklı olmasına rağmen; kıyıya ulaşma biçimi, etkili olduğu kıyı şeridi uzunluğu ve davranışları açısından benzeştir. (Alpar ve diğ.,2000)

Esasen, tsunami İzmit Körfezi ve Marmara Denizi gibi kapalı basenlerde de oluşabilmekte ve yansıma özellikleri ile şiddetli akıntılar yaratarak etkisi artabilmektedir.

Düşey hareket söz konusu olmadığından daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi doğrultu atımlı faylar –ki Kuzey Anadolu Fayı böyle bir faydır- doğrudan tsunami üretmeseler de fayların başladığı ve bittiği yerlerde ve eğri yaptığı bölgelerde tsunami oluşumunu sağlayacak düşey hareketler gerçekleşebilmektedir. Ayrıca bu depremler, sualtı heyelanlarını da tetikleyerek dolaylı olarak tsunami yaratabilmektedirler. (Altınok ve Alpar, 1999)

Tsunami tırmanma yüksekliği, suyun bıraktığı iz ve denizden getirdiği katı maddeler takip edilerek ölçülebilmektedir. Tırmanma yüksekliği, suyun karaya doğru ilerlediği meksimum yükseklik ile kıyı çizgisi arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

Sonuç olarak etkileri çok yüksek olmasa da tsunami İzmit Körfezinde 17 Ağustos Depremi sebebi ile meydana gelmiştir. Gelecekteki Marmara Denizinde ve İzmit Körfezi'nde meydana gelebilecek depremlerin zararlarının azaltılması çalışmalarında, depremin yan etkisi olarak denizaltı hareketleri, heyelanlar ve çökmeler ile oluşacak tsunamilerinde etkisi gözönüne alınmalıdır. (Yalçıner ve Altınok, 2000)



Şekil 4.7 17 Ağustos Tsunamisi Tırmanma Yükseklikleri

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

5. TSUNAMİ ETKİLERİNİN AZALTILMASI

5.1 Riskin Belirlenmesi

Etkili bir "Etki Azaltma" çalışmasının temel unsuru risk/zarar tahminidir. Bunun için; her kıyı halkı için tsunami zarar tahmini, risk altındaki insan nüfusunun, değerli ve önemli yapıların (limanlar, hastaneler, okullar, kışlalar vb.) , mallar ve üretim araçlarının (tarlalar, fabrikalar) miktarını bilmek ile riskin seviyesini tanımlamak gerekmektedir. Tahmin yapabilmek için olası tsunami kaynaklarını, olma olasılıklarını, etkili olabileceği bölgeleri ve karakteristiklerini bilmek gerekir. Bazı durumlarda daha önceki tsunamiler bu faktörleri belirlemeye yardımcı olabilirken birçok yer için ya çok sınırlı bilgiler vardır ya da hiç yoktur. Önceki tsunami bilgisinin olmadığı durumlarda da nümerik modellemeler yapılabilir. Ayrıca risk/zarar tahmininin sonuçları, iki etki azaltma unsurunun tasarlanması ve uygulamaya geçirilmesinde önemlidir : Uyarı ve Hazırlıklı Olma. (ITSU,1999)

5.1.1 Tarihsel Tsunami Bilgileri

Tarihsel bilgiler bir çok yerde, bir çok formda bulunabilmektedir. Bu bilgiler yayınlanmış kataloglar, alan araştırma çalışmaları, kişisel deneyimleri, gazete haberleri, video kayıtları olabilmektedir. Bu tipte çok geniş kayıtlar Honolulu Hawaii'deki Uluslararası Tsunami Bilgi Merkezi (ITIC-International Tsunami Information Center, http://www.shoa.cl/oceano/itic/itic.html), mevcuttur. Bir diğer kuruluş da Boulder, Colorado'daki Dünya Bilgi Merkezidir (WDC- World Data Center, http://www.shoa.cl/oceano/itic/itic.html). Bu merkezlerden Pasifik yerleşimleri için tarihsel tsunami bilgileri elde edilebilmektedir.

5.1.2 Tsunami Sonrası Araştırmalar

Son yıllarda, her önemli tsunami ardından saha keşifleri ve çalışmaları organize edilir. Bu çalışmaların amacı, tsunami tırmanma yüksekliği ve karaya giriş mesafesi

gibi ölçümler yapmak ve dalga sayısı, hangi dalganın en büyük olduğu gibi görgü tanıklarının verdiği bilgileri toplamaktır. Bu çalışmalar da ilgili disiplinlere dahil araştırmacılar tarafından gerçekleştirilir.

5.1.3 Nümerik Modelleme

Tarihsel bilginin yetersiz olduğu çoğu durumda potansiyel tırmanma yüksekliklerini, karaya giriş mesafelerini tahmin etmenin tek yolu nümerik modellemedir. Model, tsunami kaynakları için potansiyel en kötü senaryoları veya tırmanma yüksekliği ve karaya girme mesafeleri için en kötü senoryaları gerçekleştirecek şekilde çalıştırılabilir. Modeller, daha küçük etkilerde zararın büyüklüğünü anlamak için daha küçük kaynaklar fakat daha sık olaylar için de çalıştırılabilirler. Bu bilgi, yerleşimlerin boşaltılması için yapılacak harita çalışmalarına ve prosedürlerine de temel teşkil edecektir. Yeterli etkinlikteki modeller ancak son yıllarda mümkün olabilmişlerdir ve bu modeller detaylı batimetrik ve topografik bilgilerine ihtiyaç duyarlar.

5.2 Uyarı Sistemleri

Etkili bir "Etki Azaltma" çalışması için ikinci unsur, olması beklenen tsunamiyi tehlike altında olabilecek yerleşimlere alarm veren uyarı sistemleridir. Uyarı sistemleri ilk uyarı için deprem bilgilerine ve uyarıyı onaylamak veya iptal etmek için de su seviyesi bilgilerine dayanır. Uyarı sistemleri, aynı zamanda, depremsel bilgileri ve deniz su seviyelerini elde etmek için çeşitli iletişim kanallarına sahip olmalıdır. Uyarı sistemleri, potansiyel tsunami riski oluşmasından hemen sonra, mümkün olduğu kadar hızlı olmalı; tüm zarar verici tsunami olasılıklarında yanlış uyarıyı en aza indirmeli ve sistemin kullanıcılıları tarafından en anlaşılacak şekilde güvenilir olmalıdır. Uyarı sistemlerinin üç önemli özelliği bunlardır : hızlı, doğru ve güvenilir olmak.

Uyarı sistemlerinin yaptıkları çalışma, sismik ve deniz su seviyeleri bilgilerini, tarihsel tsunamileri ve deprem verilerini hızlı bir biçimde araştırır ve potansiyel tsunami tehlikesini haber verir, eğer tsunami gerçekleşmiş ise sorumluluk bölgesinde zarar görmesi muhtemel kıyı alanlarını belirler.

Bazı uyarı sistemleri, **Pasifik Wide System** (http://205.156.54.206/pr/ptwc) gibi, uluslararası uyarılar sağlayabilir. Depremin olmasından itibaren yarım saat ile bir saat arası değişen gecikme ile uyarı verirler ve deprem kaynağına yakın olmayan (bir kaç yüz km uzakta olan) yerleşimler için etkilidirler. ABD, Japonya, Rusya Federasyonu, Fransa ve Şili gibi ülkelerce yürütülen **Bölgesel Sistemler** ise, depremin ardından 10-15 dakika sonra etkili olabilmektedirler ki bu tip sistemler kaynak bölgeye daha yakın yerleşimler için etkilidirler. Japonya ve Şili tarafından yürütülen **Yerel Sistemler** 5 dakika ya da daha az bir zaman içerisinde, kaynaktan 100 km lik bir uzaklık içerisinde bulunan yerleşimler için etkili uyarılar gönderebilmektedirler.

Uyarı sistemleri ile ilgili bir başka önemli konu da; etkili bir dalga görülmemesi durumunda gene güvenli ve hızlı bir biçimde uyarılar iptal edilebilmelidir.

Dünyadaki bazı uyarı sistemleri arasında, Hawaii'deki Pasifik Tsunami Uyarı Merkezi, Alaska'daki West Coast/Alaska Tsunami Uyarı Merkezi, Rusya Federasyonu Tsunami Uyarı Merkezi, Japonya Tsunami Merkezi, Fransa Polonezya Tsunami Uyarı Merkezi ve Şili'deki Ulusal Tsunami Uyarı Merkezleri sayılabilir.

5.3 Hazırlıklı Olmak (Kaçış Planları)

Zarar/Risk tahminleri ve uyarıların ardından önemli olan konu yapılması gerekenlerin neler olduğunun tespitidir. Olması yaklaşmış tehlike için alınacak uygun önlemlerin belirlenmesinden önce, tsunamiden etkilenecek alanları gösteren Tsunami Haritası belirlenmeli; yerleşimlerin ne zaman boşaltılması ve ne zaman güvenli şekilde geri dönüleceği bilgilerinin de bilinmesi gereklidir. Halkın haberdar olması ve tsunami bilgilerine sahip olması temel konulardan birisidir.

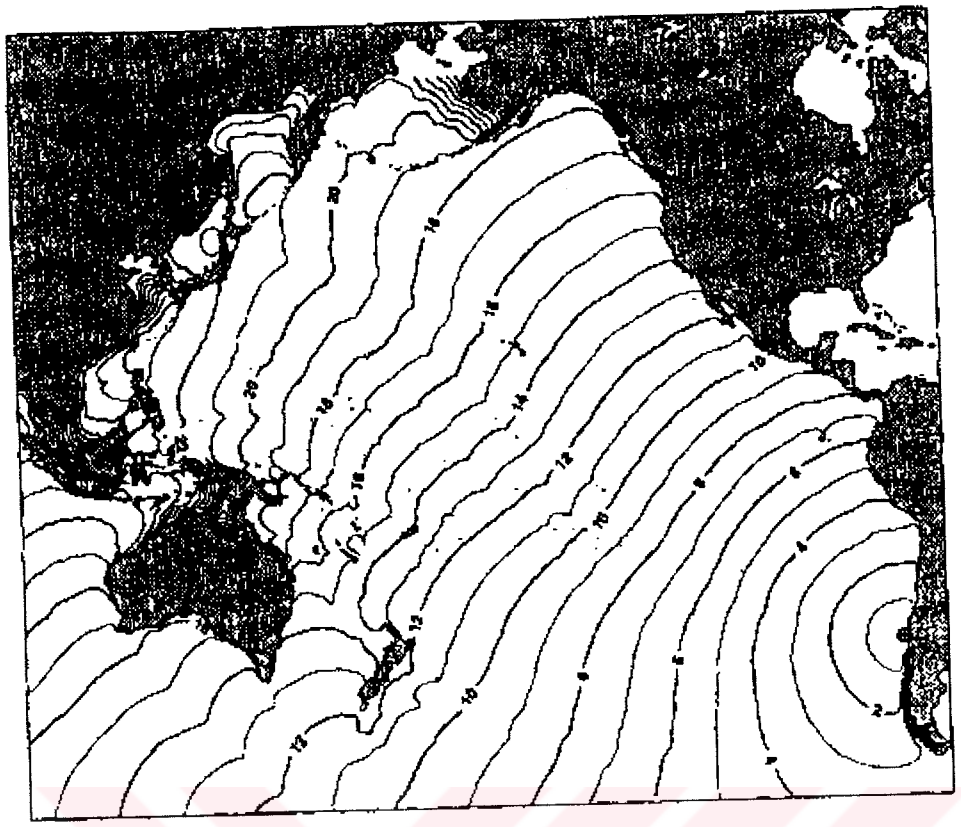
Hazırlıklı olmak için yapılması gereken bir başka şey, hastane, okul, itfaiye binaları gibi önemli yapıların, tsunaminin karada ilerlemesi muhtemel bölgede, planlanmaması olabilir.

Risk altındaki bölgenin boşaltılması için prosedürler ve planların geliştirilmesi için kıyı alanlarında yaşayan risk altındaki nüfusun belirlenmesi gereklidir. Yerel tsunamiler (deprem kaynağına yakın yerde meydana gelen tsunamiler) için

yerleşimlerin boşaltılması için gerekli uyarının yapılmasını sağlayacak zaman bulunmayabilir ve bu durumda tsunami etkisi depremin zararına eklenebilir. Uzak tsunamiler (deprem kaynağına uzak yerlerde etkili olan tsunamiler) için ise ilk dalganın gelmesinden önce hazır olmak için bir kaç saat zaman olabilir. Bu iki durum için yerleşimlerin boşaltılması için birbirinden farklı planlar ve prosedürler geliştirilmesi gereklidir.

Yerel tsunamiler için tek uyarı depremin yarattığı sarsıntı ya da denizde beklenmedik bir hareketlenmedir. Kişiler tehlike işaretlerini anlayıp; yüksek yerlere veya karada içeri doğru hızlı bir biçimde hareket etmelidir. Dalga bir kaç dakika veya daha az bir zamanda karaya ulamış olacaktır. tsunami tehlikesinin yanısıra, yıkılmış binalar, heyelanlar gibi depremin diğer etkileri insanların kaçışını engelleyebilir. Bu şekilde dolaylı ve hızlı şekilde gerçekleşen kaçışların etkili olması için, halkın eğitimli olması gerekmektedir. Bununla birlikte, tsunami sırasında güvenli kaçış yolları ve yerleri önceden belirlenmiş olmalıdır.

Uzak tsunamiler için yeterli miktarda zaman olacağı için daha organize kaçış planları gerçekleştirilebilir. Uyarı merkezinden tsunami meydana gelebileceği sinyali geldikten hemen sonra resmi birimler kaçış için gerekli kararları alabilirler. Bu kararlar tarihsel bilgilere veya modellere bağlı olmasının yanısıra uyarı merkezinden gelen tsunami hakkındaki bilgilere bağlıdır. Bu bilgiler ışığında insanların ne zaman, nasıl, nereye kaçacakları planlanabilir. Polis, itfaiye, sivil savunma gibi birimler de kaçış planlarının uygulanmasında yardımcı olabilirler. Şekil 5.1 de Şili'de oluşan tsunaminin yayılma hızı görülmektedir.



Şekil 5.1 22 Mayıs 1960 Şili Tsunamisi İlerleme Hızı

5.4 Halk Eğitimi

Tsunami zararlarının azaltılması çalışmalarının etkili ve devamlı olabilmesi için, halk ve belediyeler gibi yerel birimler tarafından tsunami karakteristikleri ve verebileceği zararların, riski azaltmak için alınabilecek önlemlerin neler olduğunun biliniyor olması gereklidir.

Eğitimler, iki ayrı kategoride ele alınmalıdır. Birinci kategori halk eğitimleridir. Bunun için özellikle okullarda gerçekleştirilecek eğitim programları ve bu programlar dahilinde uygulamalar geliştirilebilir. tsunami tehlikesi altında olabilecek kıyı yerleşimlerinde TV, radyo, gazeteler gibi yerel yayınlarda eğitim amaçlı programlar düzenlenebilir. Halk eğitiminin bir parçası olarak, tsunami karakteristikleri ve gerçekleşebilecek zararların anlatıldığı kataloglar ve broşürler dağıtılabilir. (Synolakis, 2000)

İkinci kategori olarak, kaçış ve önlem planlarını uygulayacak belediyeler, itfaiye, sivil savunma, acil kurtarma ekipleri gibi birimlerin eğitimleri düşünülmelidir. Bu

birimler ve ekipler, kaçış ve önlem alma strateji ve bu stratejilerin uygulanması hakkında bilgi sahibi olmalıdırlar. Bu birimlerin eğitimleri için, afet işleri ile çalışmaları sürdüren üniversiteler ve kuruluşlardan bilgi alınmalıdır.

5.5 Tsunami Sırasında Yapılması Gerekenler

Tsunami etkilerinin azaltılması amacı ile kıyı yerleşimlerinde yaşayan halkın, Tsunami hakkında bilmesi gereken bazı hususlar vardır :

- Tsunamiler genellikle depreme bağlı sebepler ile meydana gelirler ve yatık eğimli düşük kotlu kıyılarda, körfezlerde nehir ağızlarında ve liman içlerinde çok şiddetli akıntılar sebebi ile etkilidirler.

- Tsunami tek bir dalga değildir. Genellikle dört veya beş dalgadan oluşan dalga dizini (treni) şeklindedirler. İlk dalga centilmen dalgadır. İkinci ve üçüncü dalgalar etkilidirler. Devam eden dalgaların etkileri azdır.

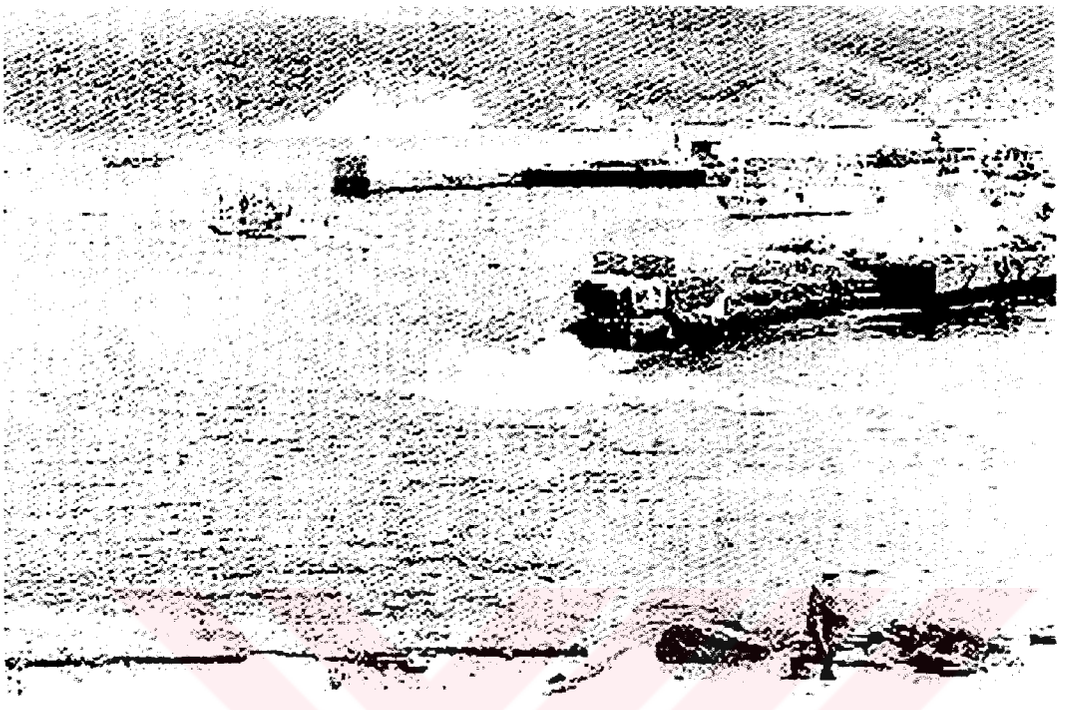
- Önde gelen centilmen dalga kıyıda bir kaç dakika içinde olağan dışı su yükselmesi veya alçalması yaratır (Şekil 5.2). Bu ilk dalga arkadan gelebilecek olan bir veya iki etkili dalga için haberci nitelik taşımaktadır.

- Tsunami farkedildiğinde veya uyarı alındığında en kısa zamanda kıyı çizgisinden uzaklaşmak gerekmektedir. Karada bulunanlar kıyıdan yeterli miktarda uzaklığa, denizde teknede bulunanlar ise su derinliği en az 50m olan yerlere doğru uzaklaşarak olası dalga ve akıntı etkilerinden kurtulmaları mümkündür.

- Dalga hızının insanın koşma hızından fazla olduğu unutulmamalıdır. Tsunami sebebi ile yaşamını yitirenlerin bir bölümü kıyıda kalıp gelen dalgayı izlemek isteyen meraklı kişilerdir.

- Tsunami konusundaki uyarıları ciddiye almak gerekir. 1960 yılında Hawaii Tsunamisinde 10 saat önceden uyarı verilmiş ve korunma yöntemleri tekrarlanmış iken 61 kişi yaşamını yitirmiştir.

- Deniz tabanında meydana gelen herhangi bir deprem ile tsunami oluşabilmektedir. Kıyıda iken depremin hissedildiğinde hızlı biçimde kıyı çizgisinden uzaklaşılmalıdır. (Yalçıner, 2000)



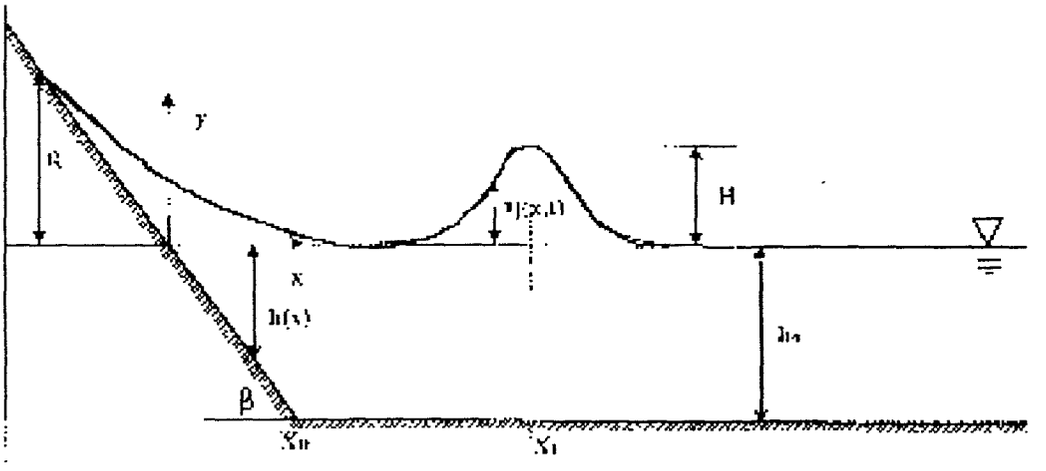
Şekil 5.2 Tsunami Sırasında Alçalmakta Olan su Seviyesi (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)

6. İSTANBUL UYGULAMASI

Genel olarak dalga kıyıya ulaştığında kendi özelliklerine olduğu kadar kıyının sürtünmesi, permeabilitesi gibi özelliklerine de bağlı olarak, kıyıda bir miktar tırmanır. Sakin su seviyesinden itibaren, dalganın karada ulaştığı son nokta arasındaki düşey mesafe "Dalga Tırmanması" olarak adlandırılır. (Şekil 6.1). (Shore Protection Manual, 1984). Dalganın tırmanma yüksekliği, kıyının eğimine de bağlı olacaktır. Dalgalar kıyıya yaklaştıklarında derinliğin azalması ile, taban etkileri ni de hissederler ve hızları azalırken, dalga boyları da kısalır. Bunun sonucu olarak da belirgin şekilde diklikleri, yani yüksekliklerinin boylarına oranı artar. Elbette tsunamiler de, kıyıya yaklaştıklarında aynı etkilere maruz kalırlar.

Tsunamiler kıyıya ulaştıklarında, daha yüksek enerjiye sahip olduklarından diğer dalgalara göre karada daha fazla ilerler ve ciddi zararlar verebilirler hatta insanların hayatını kaybetmelerine de sebep olabilirler. Haziran 1998'de Papua Yeni Gine Tsunamisi sebebi ile 2000'den fazla ölüm olmuştur. Tsunaminin verdiği zarar büyük ölçüde kıyıdaki tırmanma yüksekliği ve karada ilerlediği mesafe ile ilgilidir.

Anlaşılacağı gibi, tsunamilerin ve diğer dalgaların tırmanma şekillerini anlamak tırmanma yüksekliklerini olduğu kadar karada ilerleyeceği mesafeyi de doğru şekilde tahmin etmeye çalışmak, ve dalganın etkilerinin azaltılması çalışmalarında oldukça önemlidir.



Şekil 6-1 Dalga Tırmanması

Tırmanma yükseklikleri ve karada ilerleme mesafeleri doğru olarak bilindiğinde, tsunami riski altındaki bölgenin de risk haritasının çıkarılması ve gerekli önlemlerin kısa zamanda alınması mümkün olacaktır.

Daha önceki bölümlerde incelendiği gibi; tsunami, diğer dalgalardan farklı olarak, su kütlesinin taşındığı bir akıntı şeklinde ilerler.

Tsunaminin karada ilerleme mesafesi ve tırmanma yüksekliğini etkileyen önemli faktör kendi taşıdığı su kütlesinin hacmidir. tsunami, karada dik bir engel yerine, geniş ve çok düşük eğimli bir alan ile karşılaşır ise, taşıdığı su kütlesinin hacmi kadar bir hacmi kaplayacaktır. Nispeten dik engelle karşılaşır ise, bu engel önünde tırmanacak ve geriye yansıyacaktır. Birinci durum için tırmanma yüksekliği hesapları yerine tsunami hacminin karşılaşacağı hacim hesaplanarak tsunaminin karada ilerleyeceği mesafe ve tırmanma yüksekliği bulunmalı ve risk haritası bu değerlere istinaden oluşturulmalıdır.

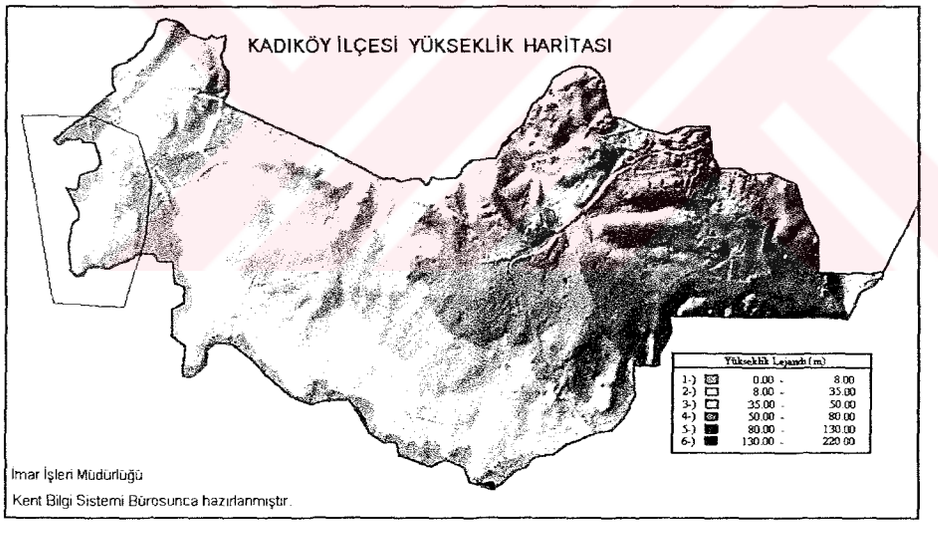
6.1 Tsunami Hacim Hesaplama Yöntemi

Daha önce incelendiği gibi oluşma anında tsunami profili, hemen hemen deniz tabanında oluşumuna sebep olan düşey hareketin profili gibidir. Dolayısı ile de tsunami hacminin, deniz tabanında gerçekleşen düşey yer değiştirmenin toplam hacmi kadar olduğu kabul edilebilir. (Yalçıner, 2001)

Ancak dalganın yayılması (dispersiyon) özelliği nedeni ile, ilerlemesi sırasında taşıdığı hacmin birim boydaki miktarı azalacaktır. Tsunaminin belli bir yönde, yarım daire şeklinde yayılacağı ve taşıdığı hacmin de yayılma şekli olan yarım dairenin çevresi oranında yayılacağı varsayılabilir (Şekil 6.3). Ayrıca, tsunaminin risk analizi yapılacak bölgedeki hacminin, ilk oluştuğu andaki hacmine oranı; bu bölgedeki etki genişliğinin, yayılması ile oluşan yarım dairenin çevresine oranına eşit olduğu da kabul edilebilir. (Kabdaşlı, 2001).

6.2 Kadıköy Bölgesi Rısk Haritası Çalışması

İstanbul Uygulaması için Kadıköy Sahili seçilmiştir. Bu bölgenin seçilmesinin nedeni, her gün çok sayıda insan nüfusunun burayı kullanması, otobüs duraklarının ve şehir hatları vapur iskelelerinin burada bulunmasıdır. Ayrıca sahil boyunca, çok sayıda insanın faydalandığı, çok sayıda çay bahçesi bulunmaktadır. Yani tsunami açısından kritik bir bölge konumundadır.

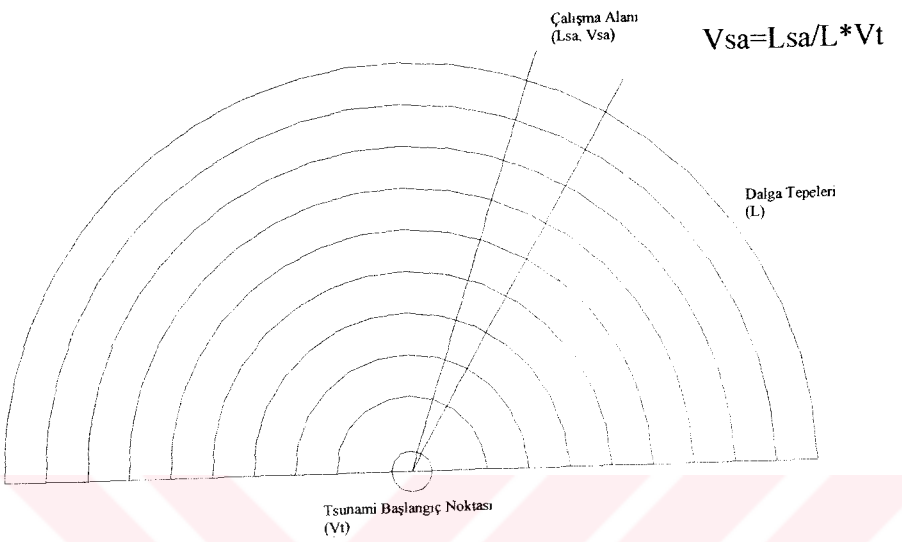


Şekil 6-2 Kadıköy İlçesi Yükseklik Haritası

Şekil 6.2'de tüm Kadıköy İlçesinin yükseklik haritası görülmektedir. İncelenen bölge Kadıköy İlçesinin, iskelelerin de bulunduğu, Şekil 6.2'de işaretlenerek gösterilen Kadıköy Meydanı'dır.

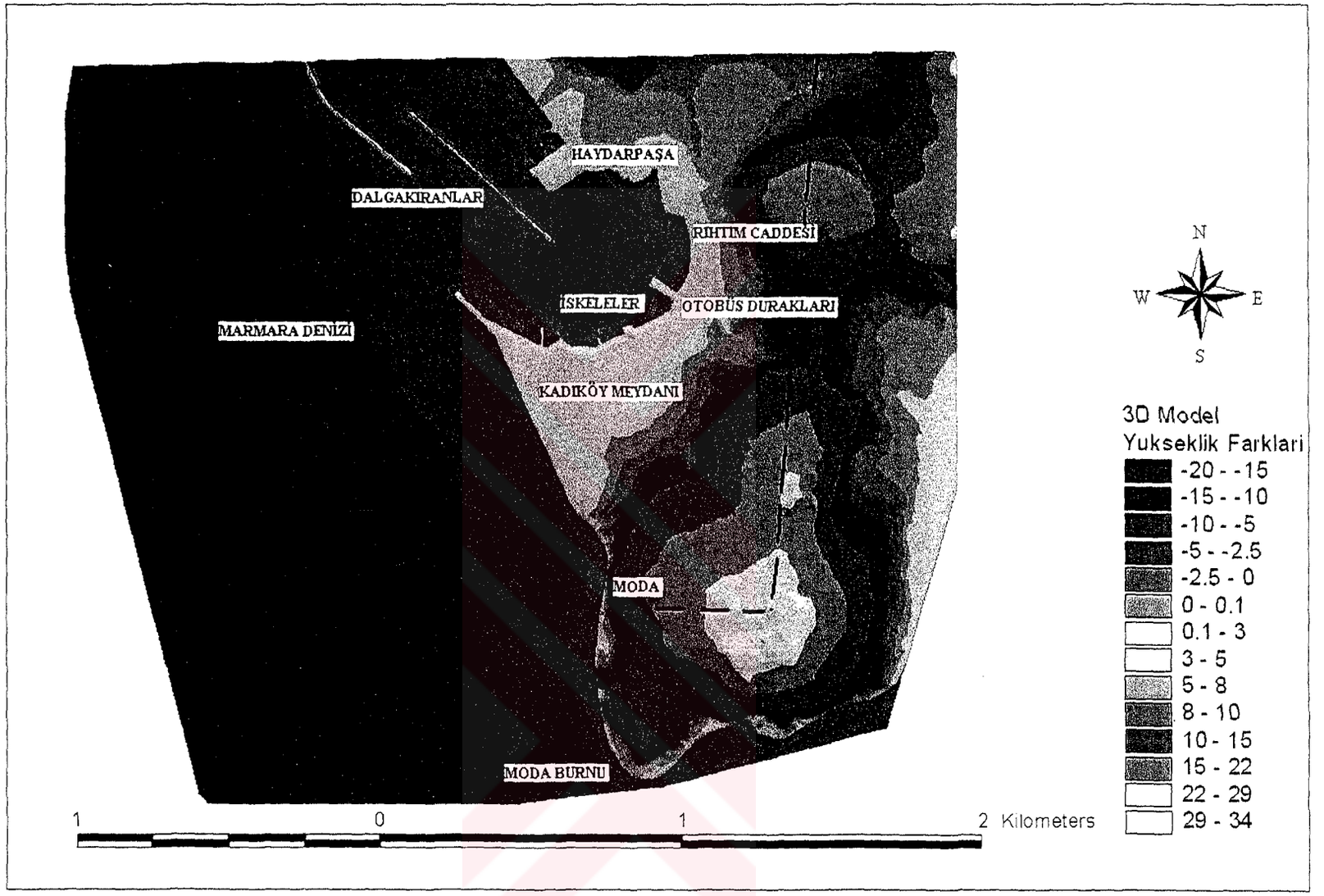
Çalışma alanı olarak seçilmiş olan ve Kadıköy Meydanı'nı kapsayan çalışma alanı, Şekil 6.3'te görülmektedir. Dalgakıranların arkasında Haydarpaşa İstasyonu bulunmaktadır. Onun sağında, Rıhtım Caddesi ve onu takiben de Kadıköy Meydanı

bulunmaktadır. Meydanın deniz kıyısında şehir hatları vapuru iskeleleri ve onların arkasında otobüs durakları mevcuttur. Kadıköy Meydanı'ndan sonra da Moda sırtları haritada görülmektedir. Aynı zamanda deniz tarafında, batimetrik değerler de belirtilmiştir.



Şekil 6-3 Tsunami Yayılma Şekli

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



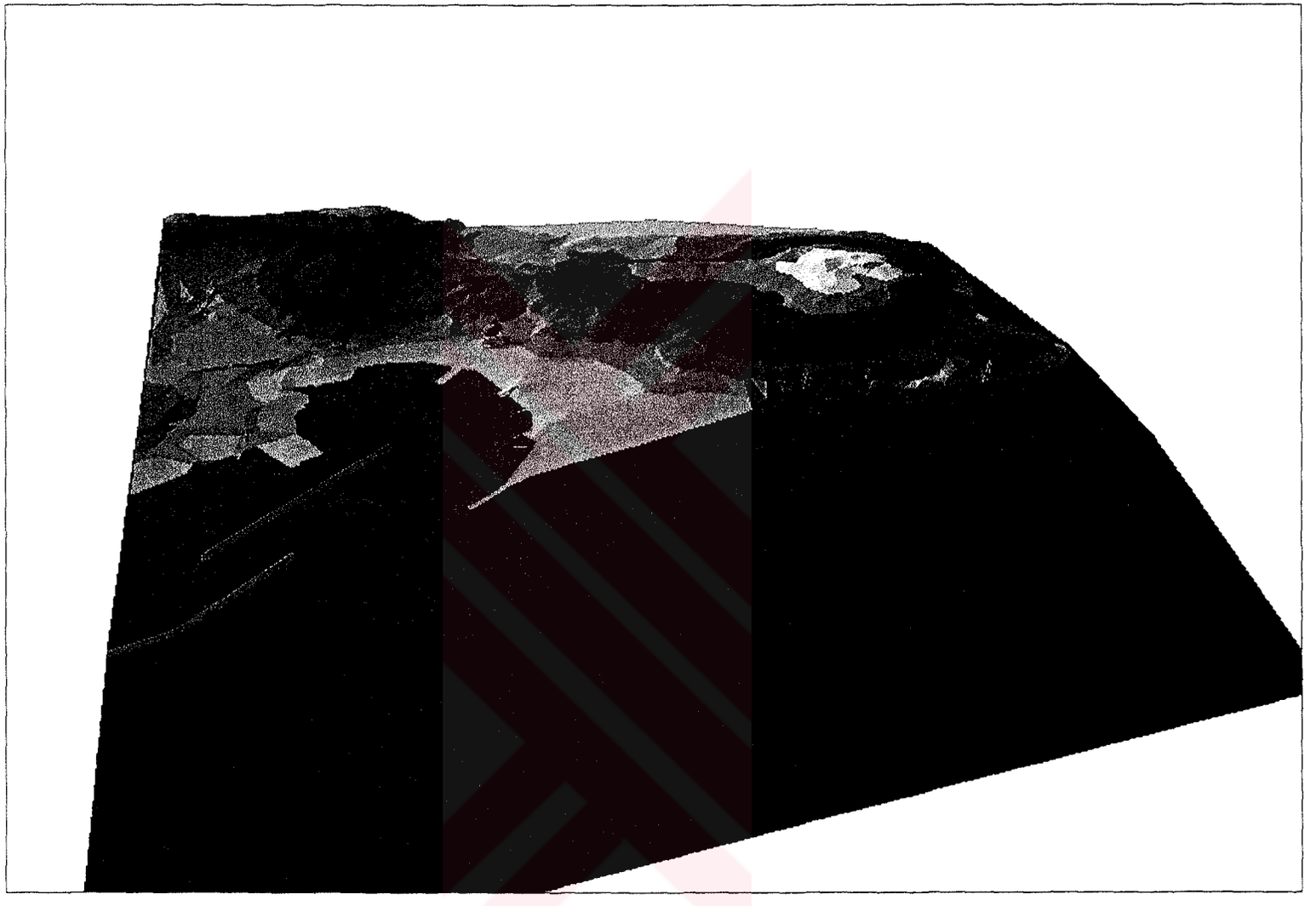
Şekil 6-4 Kadıköy Bölgesinde Seçilen Çalışma Alanı Yükseklik Haritası

Seyir ve Oşinografi Dairesi'nden alınan Marmara Denizi batimetrisinin ve İstanbul Büyük Şehir Belediyesi'nden alınan Kadıköy bölgesinin eşyükselti eğrilerini gösteren dijital bilgisayar dosyaları AutoCAD 2000 yazılımı ile birleştirilmiş ve hem batimeriyi hem de eşyükselti eğrilerini gösteren tek bir dijital dosya oluşturulmuştur. ArcView V3.2 yazılımı ile de Şekil 6.3, Şekil 6.4 de görülen bölgenin 3 boyutlu görüntüleri elde edilmiştir. (Şeker, 2001)

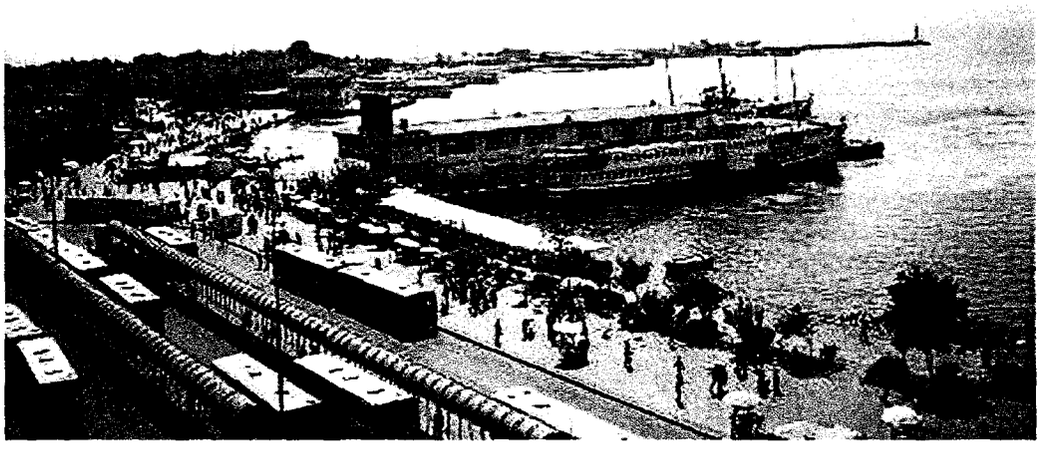
Elde edilen bu 3 boyutlu dijital haritalar üzerinde çalışma alanı olarak seçilen Kadıköy meydanının deniz seviyesi ile 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m ve 5m yükseklikler arası hacimler hesaplanmıştır. (Tablo 6.1). Bu hacim hesapları da gene ArcView yazılımı ile yapılmıştır. Hacimler Şekil 6.3'te gösterilen kesikli çizginin deniz tarafı için hesaplanmıştır.

Tablo 6.1 Seçilen Kadıköy Bölgesinin hacimleri (m^3)

Yükseklik (m)	Hacimler (m3)
0 - 0,5 Arası	624.736
0 - 1,0 Arası	1.218.432
0 - 1,5 Arası	1.784.481
0 - 2,0 Arası	2.333.525
0 - 2,5 Arası	2.807.192
0 - 3,0 Arası	3.272.619
0 - 5,0 Arası	4.845.490



Şekil 6-5 Bölgenin Deniz Tarafından Perspektif Görünümü



Şekil 6-6 Kadıköy'de İskelelerin Görünüşü

Şekil 6-7 Kadıköy Meydanı Otobüs Durakları

Şekil 6-8 Kadıköy Haydarpaşa ve Dolmuş Durakları

Şekil 6-9 Kadıköy Rıhtım Caddesi

Şekil 6-10 İskeleler Tarafından Haydarpaşa Tarafının Görünüşü

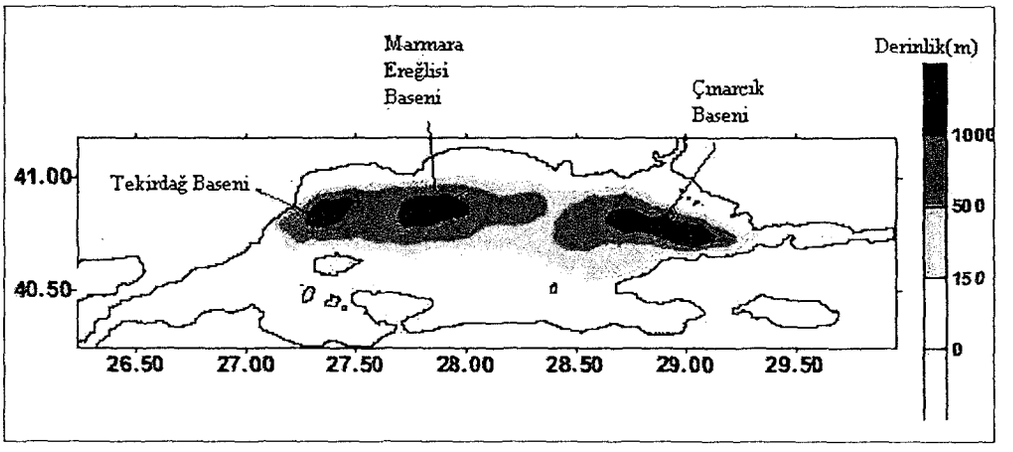
Şekil 6-11 Haydarpaşa Tarafından İskeleler Tarafının Görünüşü

Kadıköy'de seçilen bölge bilindiği gibi Marmara Denizinin Kuzey kısmında yer alır ve Marmara Denizinde meydana gelebilecek deprem ve hayelanlar ile oluşabilecek tsunamilerin etkisi altında olacaktır. Kadıköy meydanı, iskeleler, otobüs durakları Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da görülmektedir.

6.3 Marmara Denizi

Kuzey Anadolu Fayının batı kısmı Marmara Denizi tabanından Ege Denizine doğru devam etmektedir. Marmara Denizi tabanında bulunan faylar tam olarak tarif edilememiş olmakla birlikte, Kuzey Anadolu Fayı'nın bu bölgede üç kola ayrıldığı bilinmektedir. Güney kol, Yenişehir ile Edremit arasından geçmektedir. Orta kol Armutlu yarımadası kıyılarını, Bandırma'ya doğru takip ederek Ege Denizi'ne ulaşır. Kuzey kol ise İzmit Körfezi, Marmara Basenleri ve Saros Körfezi arasından Ege Denizine doğru uzanır.

Marmara Denizi üç büyük basenden oluşur. Tekirdağ, Marmara Ereğlisi ve Çınarcık Basenleri. (Şekil 6.11)



Şekil 6-12 Marmara Denizi

6.4 Kadıköy'de Tsunami Senaryoları

Daha önce incelendiği gibi, 3000 yıl içinde Anadolu kıyılarında meydana gelen 90 tsunami olayının 30 kadarı Marmara Denizinde gerçekleşmiş olduğu göz önüne alınır ise burada meydana gelecek bir deprem veya heyelan sonucu tsunami oluşması ihtimali göz ardı edilemez.

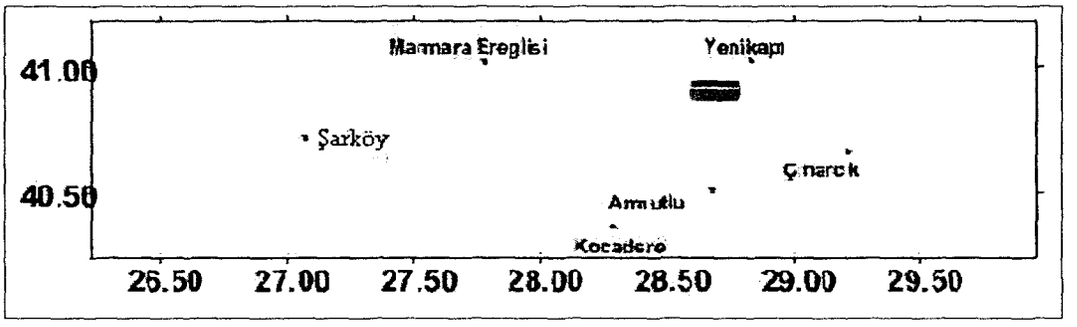
Kadıköy Bölgesinin risk haritasının çıkarılması amacı ile daha önce Yalçıner ve Özbay tarafından modellenmiş olan iki değişik senaryo sonucunda oluşacak tsunamilerin, Kadıköy kıyısı önündeki sonuçları üzerinde çalışılmıştır. (Özbay, 2001)

Marmara Denizinde modellenen tsunami senaryoları şunlardır :

- Yenikapı kıyılarının güneyinde heyelan olması

Bu senaryoda, Yenikapı kıyılarının güneyinde, Çınercık Baseni'nin kuzeybatı ucunda, 28,70°E ve 40,92°N koordintları arasında bir heyelan olacağı varsayılmıştır. Kaynak mekanizmasının olduğu yerde derinlik 400 m 'dir. Bölgenin genişliği Doğu-Batı doğrultusunda 10 km ve Kuzey-Güney doğrultusunda 1,8 km'dir. Denizaltı heyelanı 6m'lik bir katmanın güneye doğru hareketi ile olacaktır. Kayan kısım 3m yüksekliğinde 3,6km uzunluğunda ve 10km genişliğinde materyal içerdiği

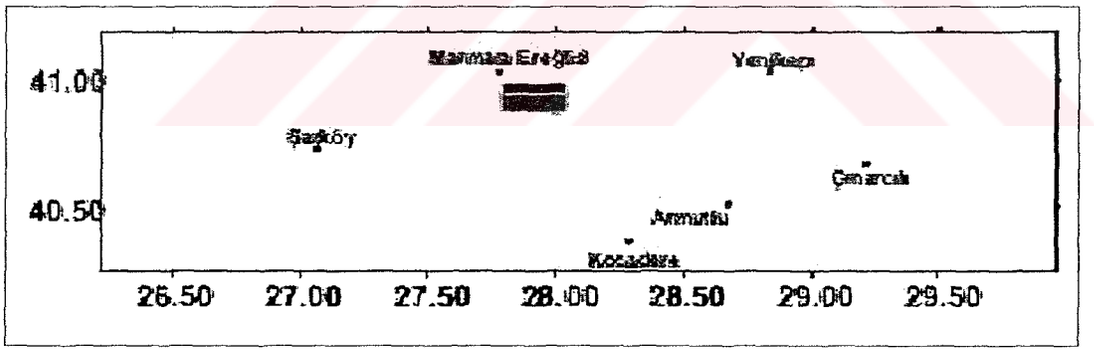
varsayılmıştır (Şekil 6.12). Bu durumda oluşan heyelanın dolayısı ile de tsunaminin hacmi, hesaplanabileceği gibi 108,000,000 m^3 olacaktır.



Şekil 6-13 1.Durum (Yenikapı Güneyinde Heyelan Senaryosu)

- Silivri kıyıları güneyinde heyelan olması

Bu senaryoda ise, heyelanın Silivri kıyılarının güneyinde 28,90°E ve 40,94°N koordinatları arasında olacağı,k aynak mekanizmasının derinliği 500m, Doğru-Batı doğrultusunda genişliği 10 km, Kuzey-Güney doğrultusunda uzunluğu 2km ve 6m'lik bir katmanın kayacağı varsayılmıştır. Kayan kısım 3m yüksekliğinde ve 4km genişliğinde materyal içerecektir. (Şekil 6.13) Bu durumda 1. Durumdakine benzer şekilde heyelan ve dolayısı ile tsunami hacmi 120,000,000 m^3 olacaktır.



Şekil 6-14 2. Durum (Marmara Ereğlisi Güneyinde Heyelan Olması Senaryosu)

Bu iki senaryo ile oluşan tsunamilerin, Kadıköy önündeki etki alanında hangi hacime ulaşacakları ve bu hacimde tsunaminin hangi yüksekliğe ulaşacağı Tablo 6.2'de verilmiştir. Kadıköy önünde tsunami etki uzunluğu 1730m olarak haritadan ölüçülerek bulunmuştur.

Tablo 6.2 Kadıköy Önünde Tsunami Hacimleri

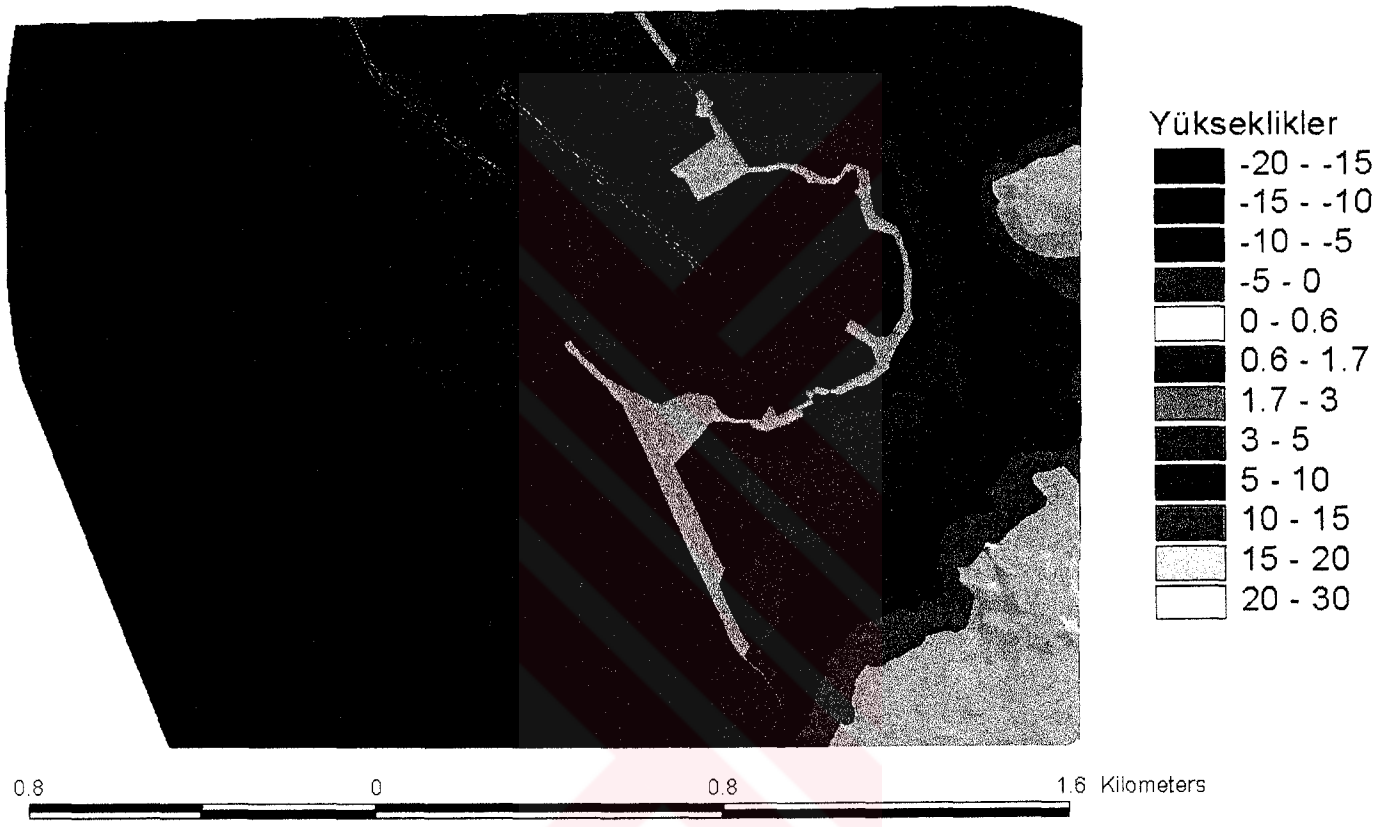
Durum	Tsunami Kaynağı ile Kadıköy Uzaklığı (m)	Oluşan Yarım Dairenin Çevre Uzunluğu (m)	Kadıköy'de Tsunami Etkisinin Uzunluğu (m)	Tsunami Oluştuğu Andaki Hacmi (m3)	Kadıköy Önündeki Etkili Hacim (m3)	Kadıköy Meydanında Tsunami Yükselmesi (m)
1	30.000	94.248	1.730	108.000.000	**1.982.434**	**1,7**
2	90.000	282.743	1.730	120.000.000	**734.235**	**0,6**

Tablo 6.2'de verilmiş olan hacimler, tsunami Hacim Hesaplama Yöntemi Başlıklı bölümde anlatıldığı gibi hesaplanmıştır.

1. durumdaki senaryo ile Kadıköy önüne ulaşan tsunami hacmi Tablo 6.2'deki gibi 1,982,434 m3 olacaktır. Tablo 6.1'den anlaşılacağı gibi tsunami yükselme mesafesi 1.5m'nin üzerinde olacaktır. Enterpolasyon ile bulunan değer 1,7 m'dir. Şekil 6.14'de seçilen bölgenin yükseklik haritası üzerinde risk bölgesi belirlenerek risk haritası oluşturlmuştur.

Şekil 6-15 1. Durum İçin Kadıköy Bölgesi Risk Haritası

1. durumdaki gibi senaryo ile benzer şekilde tablodan anlaşılacağı gibi 1,321,623 m3 olacak ve bu hacmin karşılık geleceği tsunami yükselme mesafesi ise 0,6 m olacktır. Bu ikinci senaryo için hazırlanmış olan Kadıköy risk haritası Şekil 6.15'te görülmektedir.



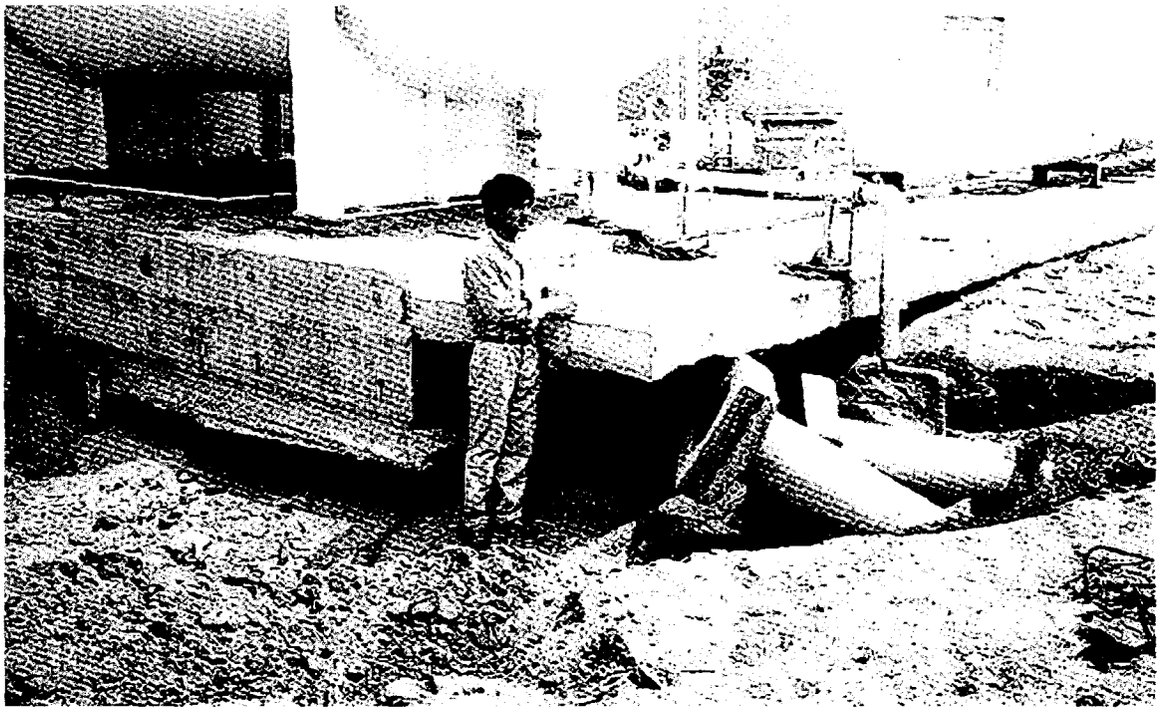
Şekil 6-16 2. Durum İçin Kadıköy Bölgesi Risk Haritası

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ne sebeple olursa olsun, oluşan tsunami, etkili olduğu bölgelerde, diğer tüm felaketlerde olduğu gibi, toplumsal hayatın devamını olumsuz olarak etkileyebilir. Felaketin sonucunda, enerji santrallerinin, yolların, iletişim altyapısının zarar görmesi kısa vadede yaşantıyı olumsuz etkileyen unsurlardır. Bunların dışında, yıkımın büyüklüğüne bağlı olarak, fabrikaların yıkılması, limanların ve yolların zarar görmesi sonucu ulaşımın aksaması gibi sebepler ile bazı iş alanlarının uzun süreli olarak durması da mümkün olabilmektedir. Ayrıca, evlerin yıkılması sonucu barınma problemleri, halk sağlığı problemleri gibi gene uzun vadeli sosyal problemler yaşanabilmektedir. Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3'te tsunamilerin verdiği çeşitli zararlar görülmektedir.

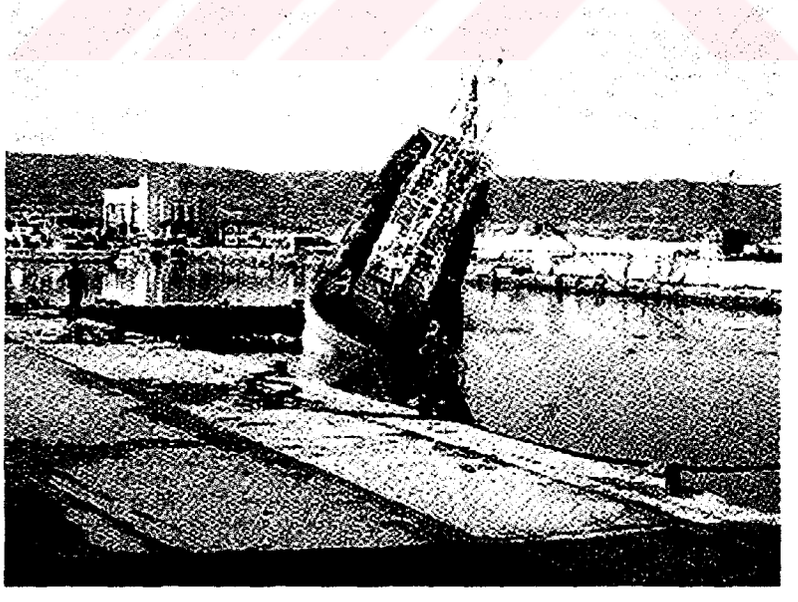
Şekil 7.1Tsunami Sebebi İle Zarar Görmüş bir Bina (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)

Ancak bütün bu olasılıkları gözönüne almak gerekliliği yanında, tsunami ile meydana gelebilecek bir felaketin, çok sık olmadığı da unutulmamalıdır.



Şekil 7.2Tsunami Sebebi İle Meydana Gelen Erozyon (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)

Gerçekleşmesi muhtemel tsunami felaketinden korunmanın yolları da uyarı sistemleri ve felaket için önceden alınmış önlemlerdir. Bu önlemler arasında öncelikle eğitim ve sonra yetkili birimlerce gerçekleştirilecek kaçış planları gibi yöntemler sayılabilir.



Şekil 7.3 Tsunami'den Sonra Bir Geminin Durumu (A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake)

Türkiye'de, en son örnek olarak İzmit tsunamisi olmak üzere, tsunami olaylarının gerçekleştiği bilinmekle birlikte, çok büyük bir felaket beklenmemelidir. Türkiye'de tsunaminin kendisinden daha fazla olarak gerçekleşmesine sebep olan depremin etkisinin daha fazla olması beklenmelidir.

Türkiye'nin kıyıları bulunan denizlerde meydana gelebilecek tsunamiler, kıyılarımıza çok kısa bir süre içerisinde ulaşacağından, bu denizlerde uyarı sistemlerinin kurulması çok anlamlı olmayacaktır. Ancak kıyı yerleşimlerinde yaşayan halkın ve bu yerleşimlerdeki belediyeler, sivil savunma, acil kurtarma ekipleri gibi birimlerin eğitimlerinin sağlanması ve bu bölgeler için güvenli kaçış planlarının yapılması gereklidir.

Acil kurtarma planları ve eğitimlerin aynı anda tsunami etkisinde olan ülkeler (Yunanistan gibi) ile birlikte yapılması etkili olacaktır. Bu ülkeler ile birlikte sadece kurtarma ve eğitim programları değil aynı zamanda tsunami ve deprem ile ilgili olarak bilimsel çalışmaların da ortak gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır.

Bu çalışmada, İstanbul uygulaması çalışması için Kadıköy Meydanını içeren bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Marmara Denizinde iki ayrı heyelan senaryosu sonucu oluşması ihtimali olan tsunamilerin başlangıçtaki hacimleri hesaplanmıştır. Kadıköy önünde etkili olacağı mesafa haritadan ölçülmüş ve bu mesafeye etki edecek tsunami hacmi tahmin edilmiştir. Akıllı haritaların kullanımı ile de çalışma alanına ait hacimler ile etkili tsunaminin hacmi karşılaştırılarak, Kadıköy meydanında tsunamilerin tırmanma yükseklikleri tahmin edilmiş ve bu değerlere bağlı kalarak Risk Haritaları elde edilmiştir.

Bundan sonra yapılması gereken çalışma bu risk haritalarından faydalanarak risk alanı içerisindeki okul, hastane, itfaiye gibi kritik yapılanın nerelerde bulunduğu; ne kadar insan nüfusunun hangi saatlerde bu alanı yoğun olarak kullandıkları bulunmalıdır. Bulunan değerlere bağlı olarak da kaçış planları hazırlanabilir ve diğer önlemler alınabilir. Ardından bu çalışma değişik senaryolar için ve değişik kıyı şehirleri için yapılmalıdır.

TabloA.1 MÖ1410∓100-MS1999 Arasında Türkiye Kıyılarında ve Yakınlarında Meydana Gelmiş Tsunamiler

No	Tarih	Yer	Olabilirlik
1	1410+/- 100 MÖ	Girit'in Kuzey Doğusu	3
2	1300	Çanakkale Bölgesi	2
3	330	Limnos Adasının Kuzey Doğusu	1
4	222	Rodos, Kıbrıs	1
5	140	Acre, Tyr-Syria	3
6	26	Kıbrıs	2
7	MS 46	Kuzey Girit, Santorini	1
8	53/62/66	Girit, Knosos	
9	68	Demre, Patara	2
10	76-78	Larnaka, Kıbrıs	2
11	120/128	Kapıdağ Yarımadası, İznik	2
12	142	Fethiye Körfezi, Rodos, Kos	
13	261-262	Anadolu'nun Güney Kıyıları	3
14	293-306	Kıbrıs	1
15	325	İzmit Körfezi	2
16	342	Paphos, Kıbrıs	2
17	344	Çanakkale Bölgesi	3
18	358.08.24	İzmit Körfezi, İznik, İstanbul	3
19	365.07.21	Doğu Akdeniz, Girit, Yunanistan, Adriatik Kıyıları, İskenderiye, Batı Anadolu	4
20	368.10.11	İznik ve İstanbul çevresi	2
21	407.04.01	İstanbul	0
22	447.11.08	Marmara Denizi, İstanbul İzmit Körfezi, Marmara Adaları, Marmara ve Çanakkale Kıyıları	3
23	450.01.26	Marmara Denizi, İstanbul	2
24	477/480.09.24/25/26	Gelibolu, Çanakkale, İstanbul, İzmit	2
25	488.09.26	İzmit Körfezi	2
26	524/525	Anadolu'nun Güney Kıyıları, Adana	3
27	529 Kışı	Marmara'nın Trakya Kıyıları	1
28	542 Kışı	Trakya'nın Batı Kıyıları, Bandırma Körfezi	2

29	543.09.06	Kapıdağ Yarımadası, Erdek, Bandırma	3
30	553.08.15	İstanbul, İzmit Körfezi	2
31	554.08.15	Anadolu'nun Güney Kıyıları, Kos adası, Mandalya Körfezi	4
32	555.08.15/16	İstanbul, İzmit Körfezi	4
33	557.12.14	İstanbul, İzmit Körfezi	2
34	715	İstanbul, İzmit Körfezi	1
35	740.10.26	Marmara Denizi, İzmit, İznik Gölü	3
36	803.12.19	İskenderun Körfezi	2
37	859.11	Suriye Kıyıları, Samandıra Yakınları	2
38	975.10.26	İstanbul, Trakya Kıyıları	3
39	989	İstanbul, Marmara Kıyıları	3
40	990	İstanbul, Marmara Kıyıları	1
41	1039.02.02	İstanbul, Marmara Kıyıları	0
42	1064.09.23	İznik Bandırma, Mürefte, İstanbul	3
43	1114.08.10	Ceyhan, Antakya, Maraş	3
44	1157.07.15	Hama-Homs, Chaizar Bölgesi	1
45	1202.05.22	Kıbrıs, Suriye Kıyıları, Mısır	4
46	1222.05	Paphos, Kıbrıs	3
47	1304.08.08	doğu Akdeniz, Girit, Rodos	4
48	1332.02.12	Marmara Denizi, İstanbul	2
49	1344.10.14	Marmara denizi, İstanbul, Trakya Kıyıları, Gelibolu	3
50	1389.03.20	İzmir, Lesbos Adası	4
51	1403.11.16	Güney Anadolu Kıyıları, Suriye Kıyıları	2
52	1481.05.03	Rodos, Güney Anadolu Kıyıları, Girit	3
53	1489	Güney Anadolu Kıyıları, Antalya	2
54	1494.07.01	Heraklion girit	3
55	1509.09.10	İstanbul Marmara Kıyıları	4
56	1577.07.17	İstanbul	1
57	1598	Amasya, Çorum	4
58	1609.04	Rodos, Doğu Akdeniz	4
59	1612.12.08	Kuzey Girit	2
60	1646.04.05	İstanbul	3
61	1650.09.29	Santorini, Patmos, Sikinos Adaları, Kuzey Girit	4
62	1667.11.30	İzmir Körfezi	2
63	1672.02.14	Bozcaada Kos adası	2

64	1688.07.10	İzmir Körfezi	3
65	1741.01.31	Rodos	4
66	1751.08.15	İstanbul	0
67	1752.07.21	Suriye Kıyıları	4
68	1754.09.02	İzmit Körfezi, İstanbul	1
69	1766.05.22	İstanbul Marmara Kıyıları	4
70	1772.11.24	Chios Adası, Foça	2
71	1822.08.13	Antakya, İskenderun, Kilis	4
72	1829.05.23	İstanbul Gelibolu	4
73	1851.02.28	Fethiye, Kaya Muğla, rodos	4
74	1851.04.03	Fethiye Körfezi	3
75	1851.05.23	Rodos, Dedocanese, Chalki	3
76	1852.05.12	İzmir	3
77	1852.09.08	İzmir	3
78	1855.02.13	Fethiye Körfezi	4
79	1856.11.13	Chios Adası	3
80	1866.01.31	Santorini Adası	2
81	1866.02.02	Chios Adası	3
82	1878.04.19	İzmit, İstanbul Marmara Denizi	3
83	1878.05.10	İzmit İstanbul Bursa	2
84	1886.08.27	Pylos, İzmir	4
85	1893.02.09	Kuzey Ege Kıyıları, Trakya Kıyıları, İskenderiye	4
86	1894.07.10	İstanbul	4
87	1926.06.26	Rodos, Güneydoğu Türkiye, Fethiye, Karpatlar, Heraklion	2
88	1928.03.31	İzmir	4
89	1939.12.26-27	Fatsa Karadeniz	4
90	1948.02.09	Karpatlar	4
91	1949.07.23	Doğu Akdeniz	4
92	1953.09.10	Güney Türkiye Kıyıları	1
93	1956.07.09	Yunanistan	4
94	1963.09.18	Doğu Marmara, Yalova, Karamürsel, Kılıç, Armutlu, Mudanya, Gemlik Körfezi	4
95	1968.02.19	Kuzey Ege Denizi	4
96	1968.09.03	Amasra Karadeniz	4
97	1999.08.17	İzmit Körfezi	4

KAYNAKLAR

A Report on the 1983- Nihonkai Chubu Earthquake

Alpar, B., Yalçıner, A.C., Özbay İ. 2000., Marmara Denizinde Potansiyel Heyelan Alanları ve Bunlara İlişkin Depreşim Dalgası (Tsunami) oluşum ve Hareketleri, *III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu,* Çanakkale, 5-6-7 Ekim

Altınok,Y., Alpar, B., 1999. Tsunami Generation of the Kocaeli Earthquake in İzmit Bay; Coastal Observations, Bathimetry and Seismic Data, T*urkish Journal of Marine Sciences,* 131-148

Altınok,Y. and Ersoy, Ş., 2000. Tsunamis Observed on and Near Turkish Coast, *Natural Hazards,* **21,** 185-205

Altınok, Y., Yalçıner, A.C., Alpar, B. 2000. Tarihsel Veriler Işığında Marmara Denizinde Depreşim Dalgaları (Tsunamiler), *III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu,* Çanakkale, 5-6-7 Ekim

Dawson, A., Day, S. Dominey-Howes, D, 2000. The Tsunami Risc Project, Natural Environment Research Counsil, Coventry U and Universitiy College, London, England.

ITSU, 1999. ITSU Tsunami Warning System in the Pasific Master Plan

Kapdaşlı, S., 1992. Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Kabdaşlı, S., 2001. Kişisel Görüşme

Ozbay I. 2000., Two-*Layer* Numerical Model for Tsunami Generation and Propagation. M. Sc., Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yalciner, A.C.

Shore Protection Manual, 1984, Coastal Engineering Research Center, Departmant of the Army Vicksburg, Mississipi

Synolakis, C., 2000. Kişisel görüşme.

Şeker D.Z., 2001., Kişisel Görüşme

Yalçıner, A.C., 2000. Tarihsel ve Güncel Örnekler ile Depreşim Dalgaları (Tsunami) ve Korunma Yöntemleri, *Sualtı Bilim Teknoloji Toplantısı* Ankara, 2-3 Aralık.

Yalçıner, A.C., Altınok,Y. 2000. Tsunami Waves in İzmit Bay After Kocaeli Earthquake, *Journal Earthquake Spectra,* Ch. 13

Yalçıner A.C., Kuran U, Akyarlı A., Imamura F. 1994., Ege ve Marmara Denizlerinde Tsunami Oluşumu ve Hareketinin Matematiksel Model Yardımıyla Araştırılması, TUBITAK, Proje No : TUBITAK-DEBAG-38

Yalçıner, A.C, 2001. Kişisel Görüşme.

ÖZGEÇMİŞ

Ali İlker ULUSOY, 1973 yılında Denizli'de dünyaya geldi. İlk eğitimini Aydın'da; Orta Eğitimini Konya'da tamamladıktan sonra, 1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başladı. 1994 yılında bu üniversitedeki öğrenimini tamamladı. Şu anda Bilgi Teknolojileri sektöründe faaliyet gösteren bir firmada çalışıyor.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ