

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**17 AĞUSTOS 1999 İZMİT DEPREMİNDEN SONRA
AVCILAR AÇIKLARINDA GELİŞMİŞ OLABİLECEK
DENİZ İÇİ HEYELANI OLASILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeofizik Müh. Aslıhan ŞAPAŞ
505991043**

101386

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Berkan ECEVİTOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri: Doç.Dr. Aysun GÜNEY (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Bedri ALPAR (İ.Ü.)

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı'na, yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.

Çalışmanın her aşamasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım, danışmanım Doç Dr. Berkan Ecevitoğlu ve Doç Dr. Aysun Güney'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması sırasında her konuda yardımcı olan başta Onur Tan ve Turgay İşseven olmak üzere İ.T.Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine ve meslektaşım Atakan Aşçı'ya teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım multibeam verilerin temininde yardımlarını esirgemeyen Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı ve mensuplarına, Avcılardaki yer büyütmesi Araştırma raporu sonuçlarını sağlayan TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü mensuplarına teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarımnda maddi manevi her türlü desteği sağlayan aileme sonsuz sevgilerle...

Aslıhan ŞAPAŞ

Haziran 2001

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. BÖLGENİN GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	2
2.1. Bölgenin Jeolojisi	2
2.1.1 Gürpınar Formasyonu	2
2.1.2 Çukurçeşme Formasyonu	3
2.1.3 Güngören Formasyonu	4
2.1.4 Bakırköy Formasyonu	4
2.2 . Kütle Hareketleri	7
2.2.1 İnceleme Alanındaki Kütle Hareketleri	7
2.3 Zemin Özellikleri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	11
2.3.1 Bölgede Yapılan Sismik Yansıma Çalışmaları	12
2.3.2 Sismik Yansıma Yöntemi	13
2.3.3 Sismik Veriye Uygulanan Veri İşlem Aşamaları	14
2.3.4 Zemin Hakim Peryodunun Hesabı	16
2.3.5 Yerin Büyütme Etkisi	18
3. AVCILAR'DA DENİZ İÇİ HEYELANI	21
3.1 Multi-Beam Echosounder Verileri	21
3.2 Avcılar ve Avcılar Önü Deniz İçi Görüntüleri	22
3.3 Depremlerin Tetiklediği Heyelanlar	24
4. 17 AĞUSTOS 1999 İZMİT DEPREMİ İLE AVCILAR AÇIKLARINDA HEYELAN OLMUŞ MUDUR?	25
4.1 Heyelana İlişkin Hesaplar	25
4.2 Yer İvmesi ve İvme Kayıtları	28
4.2.1 YPT ve ARC İvme Kayıtlarına İlişkin Çalışmalar	32
4.2.1.1 Heyelan ile İlişkili Olduğu Düşünülen Depremin Zamanı	32
4.2.1.2 Heyelan ile İlişkili Olduğu Düşünülen Depremin Frekans İçeriği	33
4.2.1.3 Heyelan ile İlişkili Olduğu Düşünülen Depremin Büyüklüğü	36
4.2.1.4 Heyelan ile İlişkili Olduğu Düşünülen Depremin Lokasyonu	37

5. AVCILAR'DA DEPREMLE GELEBİLECEK HEYELAN TEHLİKESİ	39
6. SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 Tarihte en büyük yıkımları yaratan, depremlerin tetiklediği heyelanlardan bazıları	24
Tablo 4.1 Zaman hesaplamasında kullanılan uzaklıklar	32



Sayfa No

vi

ÖZET

17 AĞUSTOS 1999 İZMİT DEPREMİNDEN SONRA AVCILAR AÇIKLARINDA GELİŞMİŞ OLABİLECEK DENİZ İÇİ HEYELANI OLASILIĞININ ARAŞTIRILMASI

17 Ağustos 1999 depreminin yaratmış olduğu yıkım ve kayıpların en yoğun olarak görüldüğü bölgelerden birisi Avcılardır. Deprem bölgesine yakın olan kesimlere göre fazla yıkım ve zarara uğramıştır. Deprem sonucu gözlenen yer hareketi birçok parametre tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar depremin kaynak özellikleri, yüzey jeolojisi, ortamın sismik dalga yayılım özellikleri, topoğrafya ve zemin özellikleri gibi koşullardır. Bu konulara ilişkin farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada aynı sorun farklı bir açıdan ele alınmaktadır. Avcılar bir heyelan bölgesidir. Güncel heyelanlar karada görülmektedir. Deniz içinde de kıta şelfinden sonra başlayan ve 18°'lere ulaşan eğimlerin bulunduğu, heyelanların gerçekleştiği kesimler vardır. Bu çalışma kapsamında, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin tetiklediği deniz içindeki bir heyelanın, Avcılar'daki yıkımın artmasına sebep olmuş olup olamayacağı konusunda araştırma yapılmıştır. Araştırmada, daha önce yapılmış mühendislik jeolojisi çalışması (İ.T.Ü., 1997), yer büyütme etkisi (TÜBİTAK-MAM 2000) araştırması, multi-beam verisi (SHOD, 2000), sismik yansıma verisi (2001) ve İzmit depremi ivme kayıtları (Kandilli Rasathanesi) incelenerek olası heyelanı oluşturan kütlenin modellemesi yapılmış ve oluşturacağı etki hesaplanmıştır. Sonuçta, çıkan enerji deprem yaratabilecek büyüklükte olduğu için, bunun etkisinin ivme kayıtlarında görüleceği düşünülmüş, eldeki ivme kayıtlarında, hesaplanan heyelanın izi görülmeye çalışılmıştır. Hesaplanan zamanlarda, ivme kayıtlarında küçük bir olay görülmüştür. Fakat görülen olayın büyüklüğü ile hesaplanan büyüklük uyuşmamıştır ve olayın geldiği yön konusunda net bir sonuca ulaşılammıştır. Bu verilerin ışığında, modellemesi yapılan ve yıkımın etkisini arttırmış olabileceği düşünülen heyelanın varlığı doğrulanamamıştır.

Avcılar bölgesi potansiyel heyelan alanı olduğundan, içinde bulunduğu sismik açıdan aktif bölgedeki yakın zamanda oluşabilecek bir depremin yaratacağı yatay ivmenin etkisiyle tetiklenebilecek heyelanlar konusu üzerinde de durulmuştur. Bu konuya ilişkin yapılan hesaplamalar sonucunda, 40 km uzaklıkta oluşacak 7 büyüklüğünde olası bir depremin, bölgedeki yer büyütme etkisi de göz önünde bulundurularak 0.32g'lik bir yatay ivme yaratacağı ve 10 milyon m³ lük bir kütleyi harekete geçirerek hasara sebep olabileceği bulunmuştur.



SUMMARY

INVESTIGATION OF A PROBABLE UNDERSEA LANDSLIDE NEAR AVCILAR AFTER 17 AUGUST 1999 İZMİT EARTHQUAKE

Avcılar is one of the worst damaged areas after the 17 August 1999 İzmit earthquake although it is further from the earthquake than less damaged areas. Ground motion resulted from the earthquake controlled by many parameters such as source parameters, surface geology, site response, etc. There are many different studies about this subject.

In this study, the same problem is examined from a different point of view. Avcılar is a potential landslide area and occurrence of recent landslides is visible on land. Landslide occurrence continues within the sea near the continental shelf with a slope of 18° . Within the study the probability of a landslide in the sea, triggered by 17 August 1999 İzmit earthquake, and its effects on the earthquake damage in Avcılar are investigated. The primary studies of TÜBİTAK, geological studies of İ.T.Ü and multibeam data of SHOD were used as well as KOERI İzmit earthquake strong motion records in order to make a model of landslide in the coast of Avcılar. The trace of the landslide was inspected from strong motion records. The calculated occurrence time of inspected-landslide coincided with strong motion records of KOERI. But the magnitude of the event did not coincide with the calculated earthquake magnitude of landslide and the location was not clearly obtained from the records. Under the lights of those data, the existence of landslide in the coast of Avcılar could not be proved. Since Avcılar is a potential landslide area and located in a seismically active region, horizontal peak acceleration of an earthquake to cause a landslide in Avcılar was also studied. Consequently, horizontal peak acceleration of a 7 magnitude earthquake was calculated as 0.32 g for the distance of 40 km.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 İzmit depremi yakın geçmişte yaşanmış, büyük can ve mal kaybına yol açmış bir depremdir. Bu depremde en çok hasar gören bölgelerden birisi de Avcılar olmuştur. Bu tez çalışmasında Avcılar'ın bir heyelan bölgesi olmasından yola çıkılarak, İzmit depreminde Avcılar'daki aşırı yıkımın nedeni, olası bir heyelan modeliyle ilişkili olarak incelenmeye çalışılmıştır.

Avcılar ve civarının jeolojik ve zemin özelliklerinin anlaşılabilmesi için önceden yapılmış jeoloji ve yer büyütme etkisi çalışmalarından yararlanılmış, buna ek olarak bölgede sismik yansıma çalışması yapılarak, zemin hakim periyodu hesaplanmıştır. Heyelan modelinde, deniz içinde gerçekleşen heyelanda düşen kütlenin miktarı, düşme süresi ve hızı, düşünce açığa çıkaracağı enerji ve bu enerjinin bir bölümü çeşitli şekillerde kayıplara uğradığı zaman oluşturacağı depremin büyüklüğü hesaplanmıştır. Düşen kütlenin boyutlarıyla ilgili kabuller, multi-beam verisinden yola çıkılarak yapılmıştır. Heyelanın açığa çıkarttığı enerjinin, 17 Ağustos 1999 İzmit depremi üzerine binerek, oluşan hasarı arttırıcı yönde etki yapmış olabileceği düşünülmüştür. Yapılan hesaplamalardan, heyelanın çıkaracağı enerjinin yaklaşık 5.2 büyüklükte bir deprem yaratacak kadar büyük bir enerji olduğu hesaplanmıştır. Bu büyüklükte enerji çıkartmış olabilecek bir olayın izlerini aramak için ise, ivme kayıtlarından yararlanılmıştır. İvme kayıtları üzerinde görülen küçük bir izin heyelanla ilişkilendirilmesi düşünülmüş, bu amaçla ivme kayıtları üzerinde yapılan işlemler sonucu olayın büyüklüğü, geliş mesafesi ve yönüne bakılmıştır. Gerçekleşmesi durumunda önemli bir tehlike arz eden böyle bir heyelan modellendikten sonra, modele gerçekte rastlanıp rastlanılmadığının anlaşılabilmesi amacıyla yapılan hesaplama ve araştırmalara ilerleyen bölümlerde yer verilmektedir.

2. BÖLGENİN GENEL YER ÖZELLİKLERİ

2.1 Bölgenin Jeolojisi

Bu tez kapsamında inceleme alanında ayrıntılı bir jeolojik çalışma yapılmamıştır. Ancak bölgenin heyelan oluşumuna elverişli olup olmadığının araştırılabilmesi için daha önce yapılmış çalışmalardan (Şekil 2.1) yararlanılmıştır (Yüzer ve diğ, 1997). Ayrıca zemin koşullarının anlaşılabilmesi için daha önce yapılmış yer büyütme etkisi çalışmasına yer verilmiş ve sismik yansıma çalışması yapılarak elde edilen verilerden zemin hakim periyodu hesaplanmıştır.

İnceleme alanındaki en yaşlı stratigrafik birim Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonu'dur. Düşük açılı bir diskordansla bu birim üzerinde yeralan Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu ile onun da üzerindeki Güngören ve Bakırköy Formasyonları, özellikle akarsu yataklarını şekillendiren ve yine bir diskordansla tüm yaşlı birimleri üstleyen en genç litolojik birim görünümündeki kuvaterner yaşlı alüvyon ve güncel dolgu malzemesi tarafından örtülmüştür (Şekil 2.2).

2.1.1 Gürpınar Formasyonu

Bu formasyona Avcılarda, daha çok doğuda Küçükçekmece kıyılarında rastlanmaktadır. Yaklaşık KD-GB uzanımlı geniş bir zon içinde yayılım gösteren Gürpınar Formasyonunun alt düzeylerinde açık kahve-sarı, gri-kirli beyaz renkli, elemanları magmatik ve metamorfik kayalardan türemiş, yerel kil araseviyeli, gevşek çimentolu kumlu konglomeratik bir zon bulunur. Bunun üzerine gelen litolojik birimin tane boyları giderek incelmekte ve yerel çakıl araseviyeleri görülmekle birlikte, esas olarak kumlu-siltli killi bir istif egemen olmaktadır. Özellikle kumtaşlarının çimentosu niteliğinde karbonatların miktar olarak artması sonucunda, beyazımsı bej renkli, genellikle ince bazen orta kalınlıkta düzgün tabakalı, toplam kalınlığı birkaç metreyi geçmeyen kireçtaşları da görülmektedir.

Ortamdaki kil miktarının artışıyla üst seviyelere doğru formasyonun kil ağırlıklı bir görünüm kazandığı, kireçtaşı seviyelerinin yanısıra marn araseviyeleri de içerdiği izlenmektedir. Formasyonun orta ve üst yüzeyini oluşturan killeri, ayrışma nedeniyle yeşilimsi gri-mavi renklidir. İnceleme alanında mostra veren en yaşlı litostratigrafik birim olan Gürpınar Formasyonu, bölgede bulunan tüm formasyonların tabanında açılı uyumsuzlukla bulunmakta, kuzeyden güneye Marmara Denizi yönünde giderek kalınlaşmaktadır.

2.1.2 Çukurçeşme Formasyonu

Çukurçeşme Formasyonu esas olarak çok gevşek kil çimentolu veya çimentosuz olan, içerdiği demir oksit nedeniyle de çoğunlukla sarımsı kahve ve sarı pas renkli görülen, seyrek ya da bazen sık kil-silt-çakıl araseviyeli ve bol kuvars ve mika mineralli, çok çeşitli türden kayaç elemanlı yer yer omurgalılara ait kemik ve diş kalıntılı kumlardan oluşan bir formasyondur. Formasyonun hakim jeolojik birimini oluşturan ve merceklenmeler, kamalanmalar, ve çapraz tabakalanmalar şeklinde yerleşmiş olan silis kökenli, ince iri taneli kumlarla diğer değişik boyutlu ayrı taneli çökeller arasında yanal ve düşey geçişlere sıkça rastlanılmaktadır. Tabanındaki Gürpınar Formasyonu'na geçiş oluşturan kesimlerde yer yer görülen büyük çukurluklar içerisinde çakıl boyutlu yerel çökelimlerin de yer aldığı bilinmektedir. Gürpınar Formasyonunu bir diskordansla üstlemekte ve Güngören Formasyonu tarafından küçük bir açılı uyumsuzlukla üstlenilen bu formasyon Üst Miyosen yaşlıdır.

2.1.3 Güngören Formasyonu

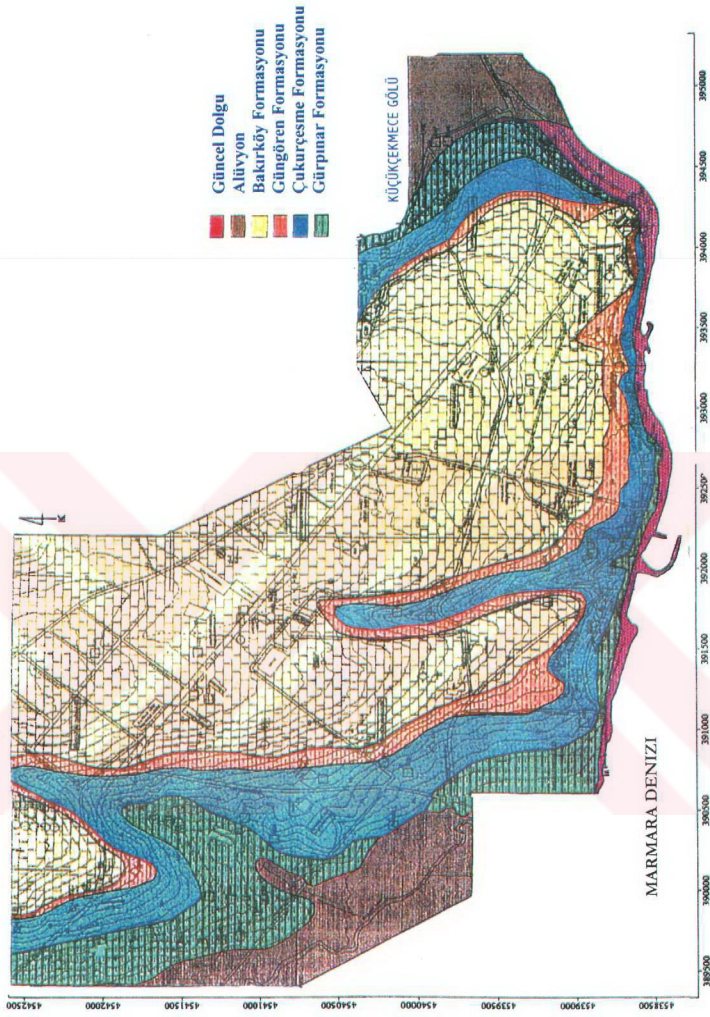
Bu formasyon, Avcılar yoğun yerleşim alanının doğusunda Küçükçekmece Gölü'ne bakan yamaçlarda genişleyip daralan bir zon şeklinde yüzeylenir. Güneydeki Marmara Denizi'ne bakan yamaçlarda ve yamaç üstlerinde daha çok Bakırköy Formasyonu'na geçişlidir.

Mavimsi açık yeşil, yeşilimsi gri-kahve, beyaz ve yer yer bej renkli, az siltli, yerel ince çakıllı ve siltli kum bantlı, ender olarak karbonatlı, silt-kum ve orta kesimlerinde bazen maktra fosilli marn-killi kireçtaşı aratabakalı, yer yer fissürlü, şişme basıncı

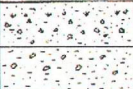
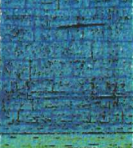
yüksek, orta, plastik, orta katı-katı killeri hakim litolojiyi oluşturur. Güngören Formasyonu, düşük açılı bir uyumsuzlukla tabanındaki Çukurçeme Formasyonu üzerine gelmekte ve üst seviyelerine doğru artan karbonat içeriğine bağlı olarak kil araseviyeli marnlarla giderek kireçtaşlarının baskın olduğu Bakırköy Formasyonu'na uyumlu bir geçiş göstermektedir. Bölgedeki ortalama kalınlığı 10m dolayındadır.

2.1.4 Bakırköy Formasyonu

Formasyon genel olarak yeşil renkli killeri ve içerisinde seyrek rastlanan beyaz renkli marn ve killi kireçtaşı ile başlamakta, daha sonra da, yeşilimsi-gri renkli karbonatlı killeriyle kahverenkli kil aratabakaları içeren ve kalınlığı birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişen, kirli beyaz-bej renkli, karstik erime boşlukları seyrek ve düzensiz şekilli süreksizlikler içeren, bol maktra fosilli karakteristik görünümlü kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Güngören Formasyonu üzerine geçişli olarak gelen Üst Miyosen yaşlı Bakırköy Formasyonu, bölgesel olarak daha genç çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir.



Şekil 2.1 Avcılar jeoloji haritası (Yüzer ve diğ., 1997)

S E N O Z O Y İ K						ZAMAN	DEVİR	DEVRE	Formasyon	Kalınlık(m)	LİTOLOJİ	ACIKLAMA
T E R S İ Y E R	Kuvaterner	Neojen								2		Güncel dolgu ve bitkisel toprak
										20		Alüvyon
	Paleojen	Üst Miyosen							Bakırköy	20		Orta-kalın tabakalı, yer yer erime boşluklu, kirlili beyaz maktra fosilli kireçtaşı İnce kil araseviyeleri içeren marl
									Gölgören	10		Yeşil, kireçtaşı araseviyeli mavimsi yeşil plastik kil
									Çukurcesme	20		Güncelle sarı, bol mikali, seyrek çakıl araseviyeli, kil meroekli, yer yer çapraz tabakalı, çakıllı ince kum
	Oligosen	Gürpınar								220		Açık kahve-bej, üst seviyeleri kuvars çakıl ve bloklu, yer yer değişik boyutta kireçtaşı, çakıllı, seyrek kum ve silt araseviyeli, karbonat topaklı çok katı -sert kil

Şekil 2.2 Avcılar ve dolayının genelştirilmiş stratigrafik kesiti (Yüzer ve diğ., 1997)

2.2 K t le Hareketleri

K t le hareketleri yerçekiminin etkisiyle yamaçlardan aşağıya doğru oluşan ve gelişen k t leli  ekil ve yer değiştirmeler olarak tanımlanır. K t le hareketleri, yer yüzünün az veya çok eğimli yüzey (yamaç) lerinde ya da insanlar tarafından meydana getirilen eğimli yüzeylerde ( ev) oluşurlar. Bu nedenle mühendislik i lerinde, yamaçların duraylığı ve  evlerin duraylığı söz konusudur.

K t le hareketleri olayın meydana geldiği yere, hareket eden malzemenin türüne, hareket eden malzemenin hızına, şekline, hareket yüzeyinin olup olmamasına, hareket yüzeyinin şekline göre türlere ayrılabilirler. Eğim, yeraltısuyu ve kaygan toprak k t le hareketlerinin oluşumuna zemin hazırlayan etmenlerdir. K t le hareketlerini tetikleyen unsurlar ise şöyledir:

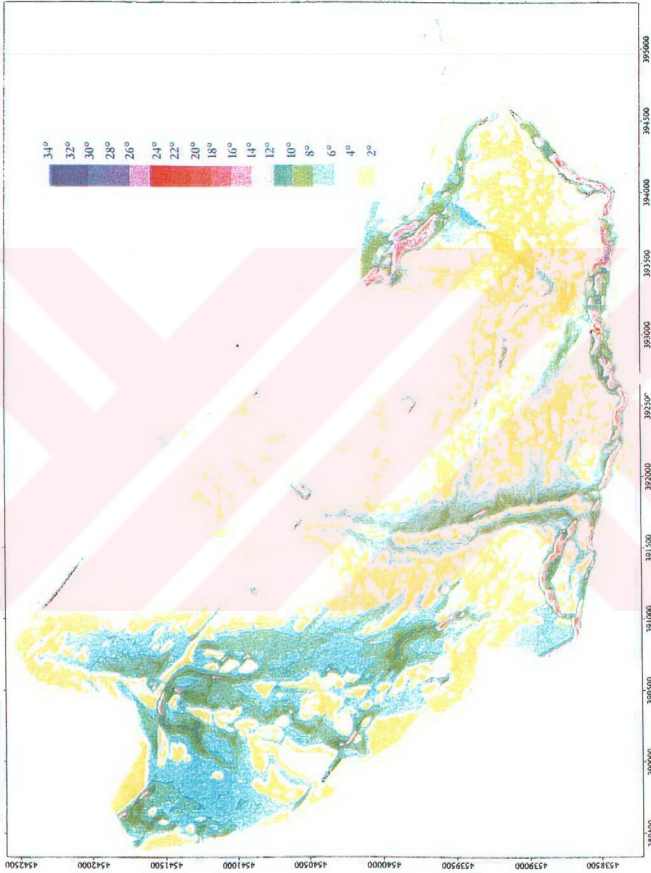
1. Yağış
2. Yükleme
3. Hafriyat-Yer Dengesini Bozma
4. Depremler-Doğal Sarsıntı
5. Patlatma-Yapay Sarsıntı

2.2.1 İnceleme Alanındaki K t le Hareketleri

Bölgedeki k t le hareketlerine ilişkin daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler şöyledir:

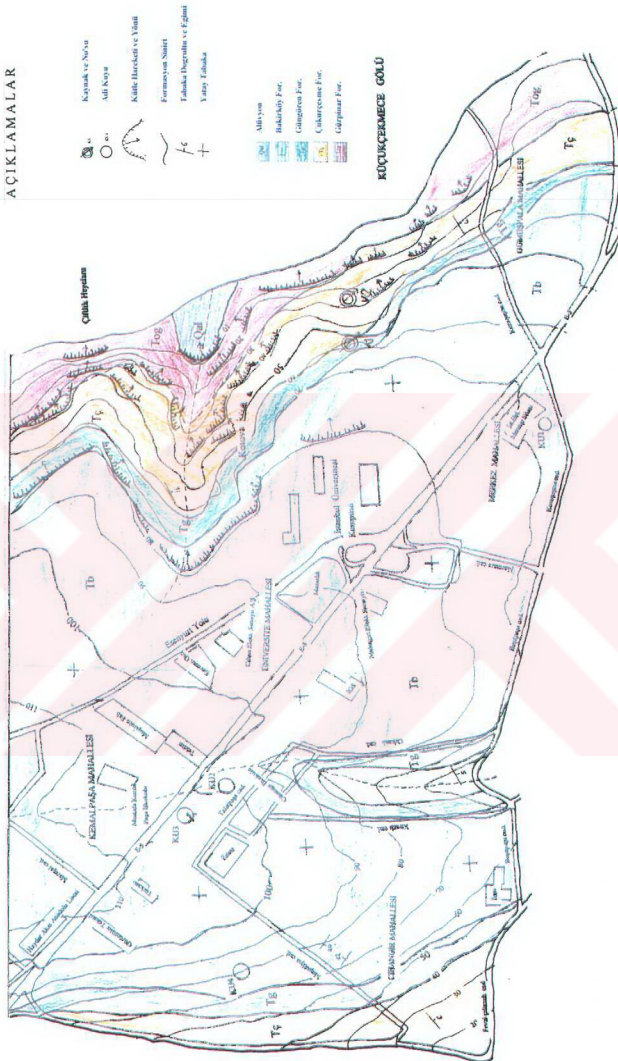
İstanbul  niversitesi kampüs alanında Kodova Deresi'nin kuzeyinde iki adet büyük boyutlu hareket bulunmaktadır. Heyelan olarak nitelendirilen k t le hareketlerinden Kodova Deresi'ne yakın olanın ( iftlik) yaklı k boyu 400m dir. Bu heyelanın kuzeyindeki K         Gölü'nün batı yamacında, yaklı k 800m uzunluğu ile Firuzköy heyelanı bulunmaktadır. Her iki heyelan alanında eğimler çok değişken olup, basamaklı yapı belirgindir. Heyelanların g l sınırında şiddetli kıyı erozyonu nedeniyle falezler oluşmuştur. Kodova deresinin güneyinde ise Avcılar heyelanı bulunmaktadır. Yamaç eğimlerinin %15'in üzerinde olduğu alanlarda k t le hareketleri yaygın olarak gelişmektedir ( ekil 2.3.a ve 2.3.b). Heyelan aynalarından sahile doğru olan yamaçlarda heyelan morfolojisinin karakteristik özelliklerinin yanı sıra, inceleme alanında stratigrafik olarak istiflenen tüm birimleri yanyana görmek mümkündür. Özellikle Gürpınar killeri ile Bakırköy kireçtaşları mostraları bu ilişkiyi

sergilerken Çukurçeşme Formasyonuna ait kumlar çoğunlukla merccekler şeklinde görülmektedir. Bakırköy Formasyonunun hemen altındaki kotlardan başlayan kütle hareketleri ile alt kesimleri boş kalan kireçtaşı mostralarının yerçekimiyle aşağıya doğru kaymaya başladığı ve alt kotlarda kaybeden ve Çukurçeşme kumlarının heyelanın geliştiği killi malzeme içinde yüzeylemesiyle oluşmaktadır.

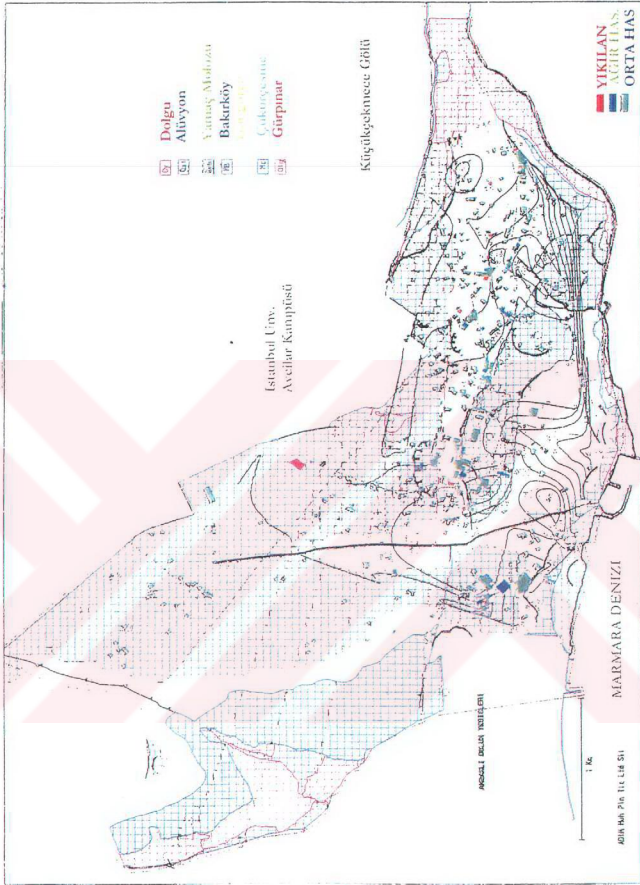


Şekil 2.3.a Avcılar ve dolayının eğim haritası (Belirti Müh., 2001).

AÇIKLAMALAR



17 Ağustos 1999 depreminde Avcılar'da hasar gören evlerin yerleri, üzerinde bulundukları jeolojik birimlerle birlikte Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 17 Ağustos 1999 depreminde Avcılar'da hasar gören binaların dağılımı (Belirti Müh. 2001).

Şekilde hasar görmüş evler yıkılmış evler ve önemli heyelanlar gösterilmiştir. Özellikle belli bir formasyonda yoğunlaşan hasarlı evler dikkat çekicidir.

Avcılar ve civarında meydana gelmiş heyelanlardan bazılarına ait resimler aşağıda verilmiştir (Şekil 2.5, Şekil 2.6).



Şekil 2.5 Avcılardaki heyelanlara ilişkin bir gazete kütürü (Sabah, 2001).



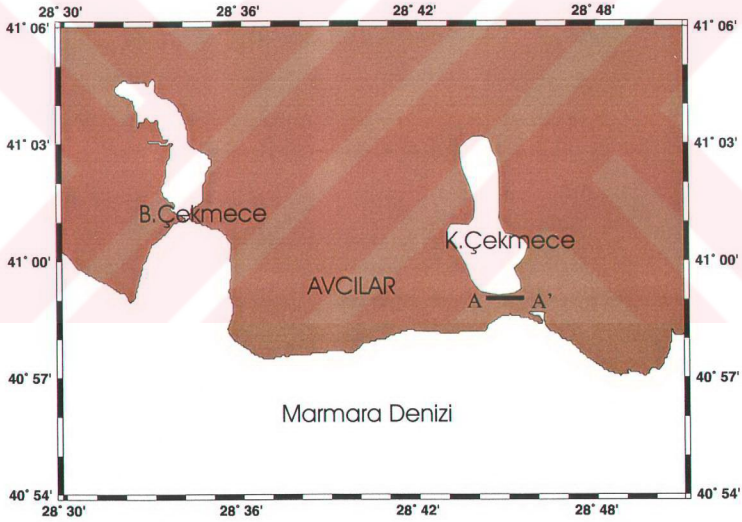
Şekil 2.6 Gürpınar killlerinde meydana gelen heyelanların binalara verdiği hasarlar (Çağlar, 1997).

Şekil 2.5 ve 2.6'da görüldüğü ve yukarıda açıklanan daha önceki çalışmalardan anlaşıldığı gibi Avcılar bir heyelan bölgesidir. Bugüne kadar bölgede birçok heyelan meydana gelmiştir. Bölgede aktif ve potansiyel heyelan alanları mevcuttur.

2.3 Zemin Özellikleri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

2.3.1 Bölgede Yapılan Sismik Yansıma Çalışması

Bölgede Şekil 2.7'de gösterilen alanda belirtilmiş profil boyunca sismik yansıma çalışması yapılmıştır. Toplanan 48 kanallı veride, jeofon aralığı 5m, offset 20m, atış aralığı 10m dir. Kaynak olarak multihead buffalo gun (Ecevitoglu, 2001, kişisel görüşme) kullanılarak 22 atış yapılmıştır. Bu kaynak herbiri 1050 bar kapasiteli 36 adet av fişeği atabilmektedir.



Şekil 2.7 Sismik yansıma çalışmasının yapıldığı profilin doğrultusu (A-A').

2.3.2 Sismik Yansıma Yöntemi

Çok kanallı sismik yansıma yöntemi yaygın olarak doğal gaz ve petrol aramalarında kullanılır. Son yıllarda bu yöntemle yer mühendislik problemlerinin çözümünde de başvurulmaktadır. Yöntemden en iyi verim, 24 veya daha çok kanal kullanıldığı zaman alınır. Çok kanallı sismik yansıma yönteminin esasını Ortak Yansıma Noktası (Common Depth Point-CDP) kavramı oluşturur.

Sismik veriler arazide atış düzeninde toplanırlar. Atış ve o atışı dinleyen alıcıların (jeofonların) oluşturduğu geometriye atış-alıcı düzeni denir. Bu düzen, bir bütün halinde, sismik profil üzerinde işaretlenmiş yüzey istasyonları boyunca sistematik olarak kaydırılır.

Atış-alıcı düzeni bu şekilde kaydırılarak veri toplanmaya devam edildikçe, yeraltındaki sismik seviyeler yanal yönde (ofset ekseninde), CDP noktaları boyunca oluşmaya başlarlar. Bu aşamada atış-alıcı düzeni veriden CDP düzeni veriye geçilir. Bu işleme CDP-dizilim (CDP-sort) denir. Veri simetrik bir geometride toplandığından, aynı CDP noktasından farklı uzaklıklı (ofsetli) birden fazla veri gelecektir. Aynı CDP noktasından ne kadar çok veri gelirse (CDP-fold), CDP noktasınca tanımlanan nokta, o kadar teyid edilecek, dolayısıyla belirginleşecektir.

Daha sonra veri NMO düzeltilmesine (dik-yola-kaydırma veya dinamik-düzeltilme) tabi tutulacak, arazide ofsetli olarak toplanan veri, matematik olarak sıfır ofsetli veri haline getirilecektir. Bu aşamada sismik yığma hızları da elde edilir. Sismik hızların bilinmesi sismik kesitlerde zamansal derinlikten metrik derinliğe geçmeyi sağlar. Son aşama ise yığma (stack) işlemidir.

2.3.3 Sismik Veriye Uygulanan Veri İşlem Aşamaları

Yansıma verilerinin işlenmesinde, Wgeosoft firmasının çıkarttığı Visual_Sunt 4.2 programı kullanılmıştır. Arazide alınan veriler .SU (seismic unix) formatına dönüştürüldükten sonra programda açılarak veri işleme hazır hale getirilir.

İlk olarak yapılacak şey geometri verisini bilgisayara aktarmaktır. Arazideki grup aralıkları, ofset gibi geometri verileri geometri modülü denilen alt programa aktarılır. Veri arazide toplandığı geometri ile işlenmeye hazır hale getirilmiş olur. Yapılan sismik yansıma çalışmasında jeofon aralıkları 5m, atış aralıkları 10m, ofset ise 20 m seçilmiştir. Geometri bilgisi bilgisayara aktarılınca her bir iz için koordinatlar her sismik ize ait header bölümünde kontrol edilir. Atışa bağlı olarak CDP numaraları, ofsetler, jeofon ve atış koordinatları gibi bilgiler burada bulunur.

Ofset aralığı geniş tutularak yüzey dalgaları mümkün olduğunca geciktirilmeye çalışılır. Yüzey dalgalarını ilk kırılma verilerinde ayırıp atmak için F-K filtresi kullanılmıştır. Bu filtre ile her bir iz için ayrı ayrı işlem yapılabildiği gibi, izlerin tümüne birden bir kerede işlem de uygulanabilmektedir. Ayrı ayrı işlem yapılması daha iyi sonuç vermektedir. F-K filtresi bölümünde yüzey dalgaları hız ve frekans içeriğiyle yansıma dalgalarından ayrıldığı için, bu iki özellik kullanılarak ayıklama yapılabilmesi sağlanmaktadır.

Dış etkenler ve çevre gürültüsünün etkisinin verilerden atılabilmesi için veriye filtre uygulanmıştır. Filtre için seçilen frekans aralığı 0-5-45-50 Hz dir. Bu aralığın doğru seçilmesi, gürültüyle birlikte verinin de kaybedilmemesi için gereklidir. Veriye işlem uygulandıkça, uygulanan işleme göre veri dosyasının adı uzar ve değişik aşamalar farklı dosyalar içine kaydedilir.

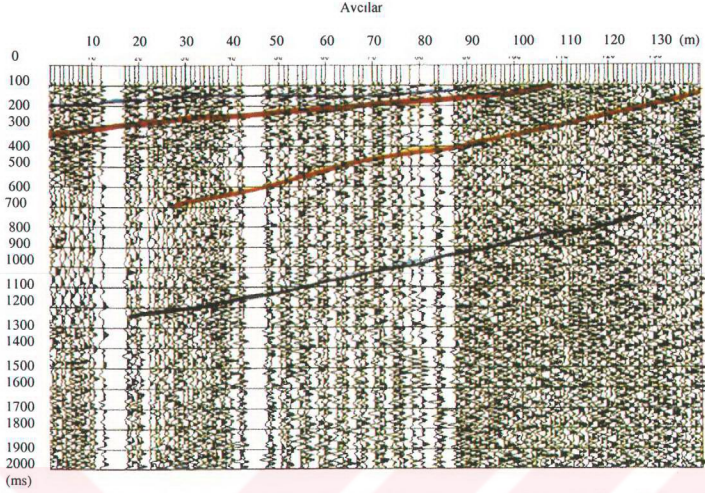
Veriye uygulanmış olan bir başka işlem de AGC (Automatic Gain Control) dir. Zayıf olan genliklerin güçlendirilebilmesi için bu işlem uygulanır. Bu işlemi AGC penceresine saniye cinsinden bir değer vermek gerekir. Bu değer optimum olarak kayıt uzunluğunun dörtte biri olabilir.

Atış düzeninden ortak yansıma noktası düzenine geçmek için sort işlemi uygulanır. Bu işlemden sonra veri CDP düzenine geçmiş olur. Sort işleminden sonra ortak yansıma noktası düzenine getirilmiş veriye kayıt boyunu ayarlamak için resampling uygulanır. Derinliği saptanmak istenen yer yapısının maksimum derinliğine göre bu değer saptanır.

En uygun hız zaman çiftlerini belirleyebilmek için velocity scan (VSCN) alt programı kullanılır. Ortak yansıma noktası düzenine getirilmiş veri burada açılır, ve istenilen hız bilgileri interaktif olarak girilir. Bu çalışmada hız aralığı 750-3000 m/s arası, 250 m artışlı olarak seçilmiştir. Hız aralığı aranılan ana kayaya bağlı olarak kullanıcı tarafından seçilir. Bilgiler girildikten sonra VSCN işlemi başlatılır ve program kayıtları hız aralığı ve CDP artışına bağlı olarak düzenler. Sonuçta en uygun hız-zaman çiftleri kullanıcı tarafından belirlenir.

Verilere son olarak NMO düzeltmesi uygulanır ve yığma (Stack) yapılır. NMO, dik yola kaydırma düzeltmesidir. Bu düzeltme ile her x uzaklığında yer alan alıcının kaydettiği yansıma Tx kadar düzeltme uygulanarak yansımaların yatay sıralanması sağlanır.

Yığma işleminde ise ortak CDP birlikleri zamanda düşey toplanarak tek iz haline getirilir. Böylelikle yeraltının sismik görüntüsü elde edilmiş olur. Veriye bu işlemler uygulandıktan sonra elde edilen kesit Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 Doğrultusu Şekil 2.7’de verilen A-A’ hattı boyunca toplanan sismik verilerin veri işlem aşamalarından sonra elde edilen kesiti.

Veri işlem aşamalarından geçirilen verinin son hali olan sismik kesitte, en üst tabakanın yaklaşık 170 m kalınlıklı, 1700 m/s hızlı olduğu görülmüştür. Daha derindeki tabakaların kalınlıklarının ve hızlarının tesbit edilememesine karşın, tabakaların birbirinden uzaklaşarak giden (diverjant) paralel tabakalanma gösterdiği saptanmıştır.

2.3.4 Zemin Hakim Peryodunun Hesabı

Sismik kırılma yöntemiyle ulaşılabilen nüfuz derinliği, yansımaya göre daha sığ olmaktadır. Dolayısıyla, sismik kırılma yöntemiyle belirlenen zemin hakim periyodları asıl olmaları gereken değerlerden daha küçük kalabilirler ve yanıltıcı olabilirler. Yeterince güçlü bir sismik kaynak kullanılarak, sismik yansımaya yöntemiyle, depremsellik anlamında temel kaya belirlenebilir. Sismik yığma kesitlerinden elde edilen yeraltı yapısı geometrisi ve atış-düzeni sismik verilerden elde edilen yüzey dalgaları (özellikle Rayleigh dalgaları) hızlarından yararlanılarak, yeryüzünden temel kayaya (temel kaya yüzlerce metre derinde olabilir) kadar olan yeraltı yapısının zemin hakim periyodu haritaları hazırlanabilir (Ecevitoglu, 2001, kişisel görüşme).

Sismik yansıma verilerinden elde edilen en üst tabakanın hızı ve derinliği kullanılarak, aşağıda görüldüğü şekilde Küçükçekmece Gölü'nün güneyindeki profilin yer aldığı zemin için hakim periyod hesabı (2.1) yapılmıştır. 2.1'de T zemin hakim periyodunu, h, tabaka kalınlığını, VR hakim periyodu hesaplanacak tabakanın Rayleigh dalgası hızını (Öztürk, 1993) göstermektedir.

$$T = \frac{4h}{V} \quad (2.1)$$

$$h = 170 \text{ m.}$$

$$VR = 0.577 \times 0.92 \times 1700 = 900 \text{ m / s.}$$

$$T = 0.75 \text{ s.}$$

Deprem dalgalarının değişik zeminlerden geçişi sırasında temel büyüklükleri (genlik, frekans, periyod, yatay-düşey ivme) önemli değişikliklere uğramakta, bu olgu ise farklı zeminler üzerinde inşa edilmiş yapıların farklı boyutlarda hasar görmesine neden olmaktadır. Bir alanda bulunan yersel birim ne denli gevşek ve suya doygun olursa, hakim periyodu o denli büyük (frekansı küçük) olur. Gevşek katmanın kalınlık artışı da benzer biçimde yorumlanır (Ercan, 2001). Yapının oturduğu zeminin hakim titreşim periyodu ile yapının hakim titreşim periyodu birbirine yakın veya teorik olarak eşit ise, deprem sırasında rezonansa benzer karmaşık bir olay oluşacak ve titreşimden doğan yatay ötelenmeler hızla artarak binanın toptan göçmesine yol açacaktır (Arnoğlu, 1970).

Çalışılan bölge için hesaplanmış olan zemin hakim periyod değeri, oldukça yüksek çıkmıştır ve zeminin çok sert ve sağlam bir zemin olmadığı konusunda genel bir fikir vermektedir. Bununla birlikte, her bölge için sık aralıklara hesaplanacak hakim periyod değerleri, zemin salınım özellikleri ile ilgili detaylı ve tam değerlendirme yapabilmek için gereklidir.

2.3.5 Yer Büyütme Etkisi

İnceleme alanında büyütmeye etkisinin araştırılmasıyla ilgili, Ağustos 2000'de TÜBİTAK tarafından yapılan ve Avcılar Belediyesi'nce desteklenen projede (Proje No: 5007102) incelenen problemler şu şekildedir.

Avcılar bölgesinin İzmit depreminden büyük ölçüde etkilenmesinin ana nedeninin yerel zemin koşullarının yer hareketini büyütmesi olduğu düşünülerek, Amerikan Jeoloji Araştırma Birimi (USGS) depremin hemen ardından Avcılar civarına yerleştirdiği istasyonlarla buradaki yer büyütme etkisiyle ilgili bir ön çalışma yapmıştır (Cranswick ve diğ.,1999). Yer tepki yanıtı veya yer hareketi büyütmesi olarak bilinen bu etkinin Avcılar bölgesi için sismolojik olarak incelenmesi ve araştırılması Avcılar Belediyesi tarafından TÜBİTAK-MAM, Yer Bilimleri Araştırma Enstitüsü'nden istenmiş ve konu bir proje olarak ele alınmıştır.

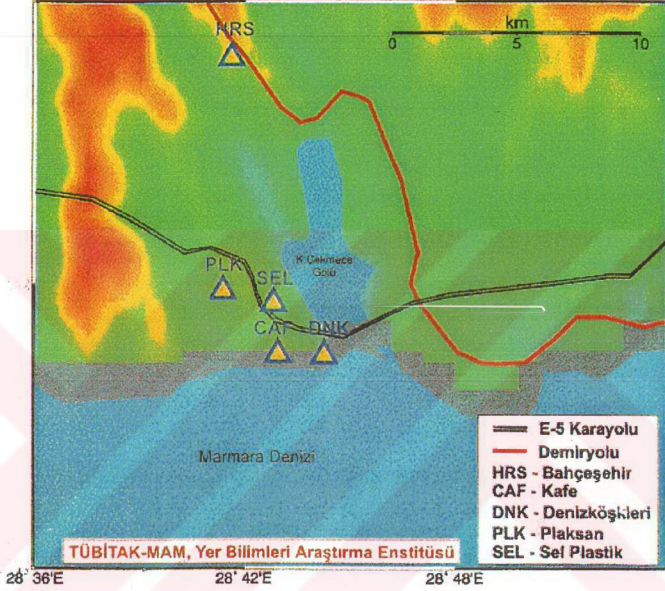
Yerel zemin koşulları (local site conditions) deprem zararlarının ve etkilerinin dağılmasında en önemli faktördür ve bu yüzden sismoloji ve deprem mühendisliğinin en önemli konularından biridir. Bu tür çalışmalarda farklı zemin türlerinde kaydedilen deprem kayıtlarının karşılaştırılmalarından, her türlü zeminin deprem sırasında oluşan yer hareketine göre farklı tepki gösterdiği ortaya konmuştur.

Yer tepki yanıtının ölçülmesinde en sık kullanılan ampirik yöntem spektral oran yöntemidir. Bu yöntem, ilgilenilen bölgede yeralan istasyon kaydı spektrumunun genelde sağlam kayalık zeminde yer alan bir referans istasyonu kaydıyla karşılaştırılması ve oranlarının alınmasına dayanmaktadır. Yer büyütmesinin miktarı ve frekans içeriğini tanımlamak için genelde ana şok ve artçı şok kayıtları analiz edilmektedir.

Avcılar bölgesindeki yer hareketi büyütmesinin belirlenmesi için 5 bölgede pilot istasyon kurularak (Şekil 2.9), İzmit ve Düzce depremleri artçı sarsıntıları ve başka bölgelerde meydana gelmiş olan depremlerin neden olduğu zayıf yer hareketleri, iki aylık süre boyunca bu istasyonlardaki sayısal kayıtçı sistemleri ile kaydedilerek deprem verisi toplanmıştır. Bu istasyonlardan elde edilen artçı deprem kayıtlarının zaman ve spektral özelliklerinin karşılaştırmalı ilişkileri ile yer hareketi

büyütmesinin özellikleri araştırılmış, bölgede gözlenen hasar dağılımı jeolojik ve zemin özelliği bilgileri ile bu çalışma sonucu belirlenen farklı ortamlardaki yer hareketi büyütmeleri arasındaki çeşitli ilişkiler ortaya konmaya çalışılmıştır.

TÜBİTAK-MAM, YBAE SAYISAL DEPREM KAYITÇILARI



Şekil 2.9 TÜBİTAK-MAM sayısal deprem kayıtçı lokasyonları

TÜBİTAK'ın yaptığı bu projenin sonucunda, bölgedeki büyüme özellikleri projede şu şekilde özetlenmiştir:

Tüm Avcılar yöresine hakim, düşük frekanslı bir büyütmenin varolduğu ortaya konulmuştur. Özellikle etkin büyüme, göreceli düşük frekans bandında, 0.5 Hz-0.9 Hz aralığında yer almaktadır. Bu aralıkta büyüme oranı genel olarak 5-10 civarında, seyrek olarak da 13-15 seviyesine yükseldiği gözlenmiştir. Yerleşim yapılarının salınım frekansları ile örtüşen daha yüksek frekans bandında (>1Hz) büyüme oranının genel olarak çok yüksek olmadığı, sahile yakın güney istasyonlarda 1.5 Hz.

de, yatay bileşenlerde belirli bir büyütme etkisi gözlenmiştir, ancak bu oran çok büyük değildir (yaklaşık 3-4). Daha büyük frekanslarda (>4 Hz) büyütme gözlenmemiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Avcılarda, frekans aralığına göre değişmekle beraber belirli bir büyütme etkisi vardır, zemin gelen deprem dalgalarının etkisini büyüterek yapıya iletmektedir. Bu sonuçlarda yansıma çalışmasından elde edilen zeminin çok sağlam olmayan bir zemin olduğu sonucunu desteklemektedir.

3. AVCILAR'DA DENİZ İÇİ HEYELANI

Önceki bölümlerde Avcılar ve dolayının jeolojisi ve zemin özelliklerine değinildi. Bunlara göre, Avcılar, genellikle kötü zemin özelliklerine sahip (büyütme etkisi ve yüksek zemin hakim peryodu), sıklıkla heyelanların görüldüğü kısmen eğimli topoğrafyaya sahip bir bölgedir. Bu bölümde Avcıların kıyı kesiminden itibaren deniz içi görüntüsüne bakılacaktır. Deniz içi görüntüleri multi-beam verilerinden elde edilmiştir. Bu veriler, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde sonra, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'ne bağlı Çubuklu Gemisi'yle toplanmıştır.

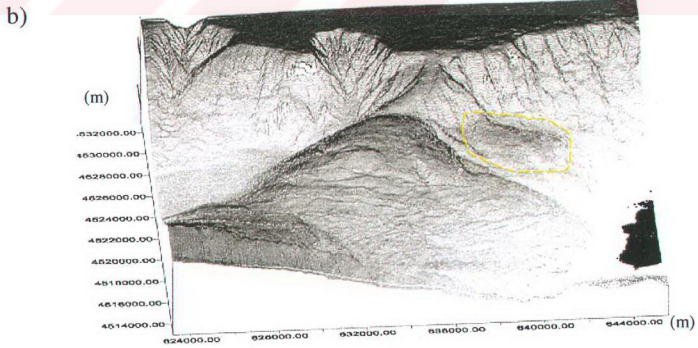
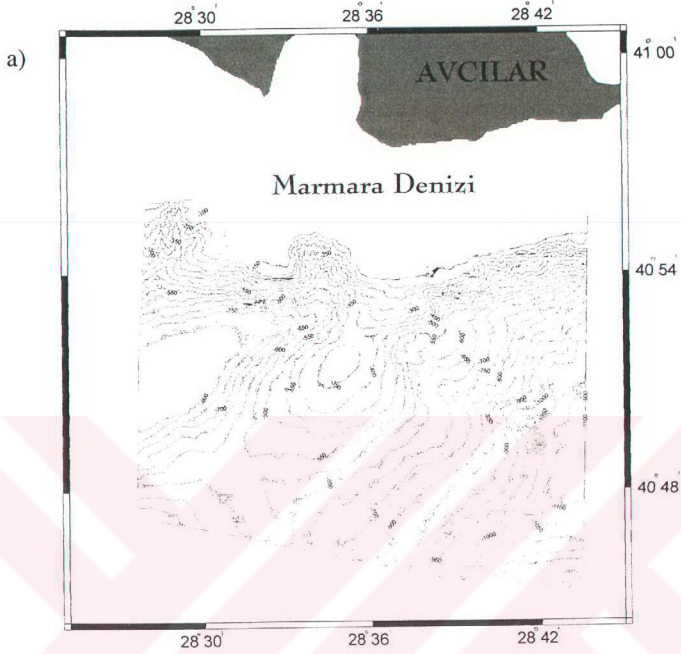
3.1 Multi-Beam Echosounder Verileri

Multi-beam-echosounder yardımıyla su tabanı yüksek çözünürlükle ve sürekli bir biçimde görüntülenebilmektedir. Deniz tabanı mikrobatimetrisi ± 5 cm gibi yüksek bir duyarlılıkla haritalanır. "Digital Terrain Imaging" olarak da adlandırılan bu tür görüntüler, "İskandil" olarak bilinen ve nokta ölçümlerine dayanan batimetrik haritalara göre, ayrıntılardaki bilgi zenginliği bakımından son derece üstündürler. Ayrıca sinyal genliği değerlendirmesi, su tabanı yansıtma özelliklerinin (reflektivitesinin) belirlenmesinde ve jeolojik sınıflandırmanın yapılmasında önemli rol oynar. Cihazın çalışma şekli şöyledir: Kuvars kristalleri, uçlarına uygulanan elektrik potansiyel altında belli bir frekansta titreşmeye ve akustik dalga üretmeye başlarlar. Akustik dalgalar su tabanına inerler ve yansıyarak tekrar yüzeydeki alıcılara gelerek kaydedilirler. Değişik açılardan bilgi sağlayacak şekilde, birçok kristal hücre bir arada kullanılır. Akustik dalgaların sudaki yayılma hızı bilindiğinden, gidiş-dönüş zamanı esas alınarak işlenen verilerden, su tabanının ayrıntılı topoğrafyası ve yansıtma özellikleri elde edilir. Çubuklu gemisinde kristal hücre sayısı 56 dır. Tarama açısı ise 120 dereceye kadar ulaşabilmektedir. Sinyal frekansı 50 Hz olup, 2500 m su derinliğine kadar inebilmektedir.

3.2 Avcılar ve Avcılar Önü Deniz İçi Görüntüleri

Şekil 3.1.a'da Avcılar ile Avcılar kıyısındaki Marmara Denizi'nin kıta şelfinden itibaren derinlik konturları görülmektedir. 3.1.b'de ise derinlik konturları gösterilmiş bölgenin üç boyutlu görüntüsü verilmektedir. Bu şekilde yer alan görüntü multi-beam verisinden elde edilen görüntüdür. Görüntü üç boyutlu verinin konturlanmasıyla elde edilmiştir. Bu görüntüden çukurluk ve düzlük yerler ayrırt edilebilmektedir. Avcıların eğimli topoğrafyasının, deniz içinde devam ettiği, 100 m. derinlikteki kıta şelfinden sonra $\sim 18^\circ$ lik bir eğimle devam eden yamacın varlığı görülmektedir. Avcıların 7 km açığından itibaren başlayan bu resimde ortada bir sırt (Ecevitoglu, 2000), ve bu sırtın kenarındaki derinliği 1100 m'ye varan çukurluk görülmektedir. Eğimli yamaçlardaki malzemelerin kopup düştüğüne, heyelan geliştiğine dair izler görülmekte, ayrıca düşmüş olan ve izleri deniz içindeki akıntılarla henüz silinmemiş, yeni sayılabilecek kütleler görüntünün bazı kesimlerinde gözlenebilmektedir.

Multi-beam verisi heyelanların deniz içinde de devam ettiğini göstermektedir. Bu durum, akla şöyle bir soru getirmektedir. Heyelanları tetikleyen sebeplerden birisi de doğal sarsıntılar yani depremler olduğuna göre ve deniz içinde, Avcılar açıklarında geliştiği görülen heyelanlar bulunduğu göre, acaba 17 Ağustos depremi, deniz içinde bir heyelanı tetiklemiş ve bu heyelanda düşen kütlelerin çıkarttığı enerji, Avcılar'da depremin etkisini artırarak daha fazla yıkımın gerçekleşmesine sebep olmuş olabilir mi?



Şekil 3.1. : a)Marmara Denizi'nde, Avcıların 7 km açığındaki denizi içi derinlik konturları. Kontur aralığı 50 m dir. b) Aynı bölgenin multi-beam görüntüsü ve olası heyelan (sarı kesikli çizgi içindeki alan) .

3.3 Depremlerin Tetiklediği Heyelanlar

Daha önce de değinildiği gibi, heyelanları tetikleyen etmenlerden birisi de depremlerdir. Deprem sırasında oluşan sismik yatay ve düşey kuvvetler yamaçların stabilitesini bozarak heyelanların meydana gelmesine yol açarlar. Bunun örneklerine tarihte rastlanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda bu örneklerin en yıkıcı olanlarından bazıları gösterilmiştir.

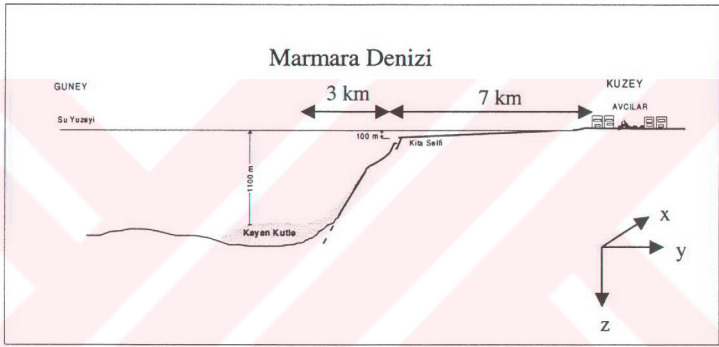
Tablo 3.1 Tarihte en büyük yıkımları yaratan, depremlerin tetiklediği heyelanlardan bazıları (Schuster, 1996).

Yıl	Yer	İsim	Tetikleyen Süreç	Kütle Hacmi	Etki	Referanslar
1911	Tadzik Cum.	Usoy Hey.	Usoy Dep. M 7.4	2×10^9	Usoy kasabası yıkıldı.	Bolt ve diğ. (1974)
1920	Çin - Ningxia	Haiyuan Hey.	Haiyuan Dep.	?	100.000 kişi öldü, birçok kasaba yıkıldı.	Close & Mc Cormick (1922)
1933	Çin	Deixi Hey.	Deixi Dep.	$>150 \times 10^6$	6800 kişi öldü	Li ve diğ. (1986)
1949	Tadzhik Cum	Khait Kayması	Khait Dep. M7.5	?	12000-20000 kişi öldü.	Wesson & Wesson (1975)
1986	Papua New Guinea	Bairaman Hey.	Bairaman Dep. M 7.1	200×10^6	Bairaman Kasabası yıkıldı	King 1987 King ve Diğ. (1989)
1987	Ecuador	Reventa-dor Hey.	Revantador Dep. 6.1-6.9	75×10^6	1000 kişi öldü.	Schuster (1991)

4. 17 AĞUSTOS 1999 İZMİT DEPREMİ'NDE AVCILAR AÇIKLARINDA HEYELAN OLMUŞ MUDUR?

4.1 Heyelana İlişkin Hesaplar

Olası heyelanda düşmüş olabilecek kütlelin düşünölen modeli Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1 Heyelan sonucu düşöğü varsayılan kütlelin modeli (ölçeksiz).

Multi-beam verisinde, düşöğü görölmüş olan kütlelin boyutları, verinin koordinatları bilindiğı için hesaplanabilir. Veride görölen kütle düzensiz şekilli bir kütlelerdir. Boyut hesabında, bu kütlelin kapsayacağı, düzgün şekilli bir kütle modeli kullanılmıştır. Kütle su içinde düşöğü ve suyun kaldırma kuvvetinden etkilendiğı için, kütle hesabında, malzemenin yoğunluğu ile birlikte, suyun yoğunluğu da gözönünde bulundurulmuştur (3.1). Daha sonra sıvı içinde düşen kütlelin hızı ilgili bağıntılardan hesaplanarak (3.2), kinetik enerjiye geçilmiştir (3.3). Elde edilen enerjinin, bir kısmının çeşitli şekillerde diğ er enerjilere dönüöeceği varsayımıyla, oluşturabileceğı depremin büyüklüğü hesaplanmıştır. Son olarak bu şekilde düşen bir kütlelin hareketinin ne kadarını, ne büyüklükte bir ivme ile tamamlayacağı hesaplanmaktadır. Düşöğü yükseklik, kıta şelfinin ve denizdeki çukurun derinliğı arasındaki fark bilindiğinden, en uç değ erlerden daha düşük bir değ er alınarak,

kütlenin düşme süresi hesaplanmıştır. Düşen olası kütle ve sıvı içinde kayan kütlenin ulaşacağı hız,

$$\begin{aligned}
 x &= 8000 \text{ m} \\
 y &= 5000 \text{ m} \\
 z &= 10 \text{ m} \\
 \rho &= 2000 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_s &= 1000 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 m &= x y z (\rho - \rho_s) \\
 &= 8000 \times 5000 \times 10 (2000 - 1000) \\
 &= 4 \times 10^{11} \text{ kg}
 \end{aligned}
 \quad (3.1)$$

$$A = \frac{x \cdot y + y \cdot z}{2} = \frac{(8000 \times 5000) + (5000 \times 10)}{2} = 2 \times 10^7 \text{ m}^2$$

$$c = 0.8$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$F_r = \frac{1}{2} \rho_s c A V^2 ; \quad F_y = mg ; \quad F_r = F_y$$

↓

$$V = \sqrt{\frac{2mg}{\rho_s c A}} = \sqrt{\frac{2 \times 4 \cdot 10^{11} \times 10}{10^3 \times 0.8 \times 2 \cdot 10^7}} = \sqrt{\frac{2 \times 4 \cdot 10^2}{0.8 \times 2}} \cong 22 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

Kinetik enerji bağıntısı kullanılarak ve enerjinin kayıpları da (E/100) hesaplanarak elde edilen enerji ve bu enerjinin oluşturacağı deprem büyüklüğü (M_s),

$$E = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} \times 4 \cdot 10^{11} \times 22^2 \cong 10^{14} \text{ joule} \cong 10^{14} \times 10^7 \text{ erg} \quad (3.3)$$

$$Es = \frac{E}{100} = 5 \cdot 10^{19} \text{ erg}$$

$$M_s = \frac{\log Es - 11.8}{1.5} = \frac{\log 5 \cdot 10^{19} - 11.8}{1.5} = 5.2 \text{ magnitüd} \quad (3.4)$$

Hareketin ivmesi,

$$F = m a = \rho x y z a = (\rho - \rho_s) x y z g \quad (3.5)$$

$$a = \frac{\rho - \rho_s}{\rho} g = \frac{2000 - 1000}{2000} 10 = 5 \text{ m/s}^2$$

İvmeli hareket yapacağı süre, yükseklik, ivmeli ve sabit hızla tüm hareketin süresi;

$$\frac{1}{2} m V^2 = m a h_1 \quad \Rightarrow \quad h_1 = \frac{V^2}{2a} = \frac{22^2}{2 \times 5} \cong 48 \text{ m} \quad (3.6)$$

$$h_1 = \frac{1}{2} a t_1^2 \quad \Rightarrow \quad t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 48}{5}} = 4.4 \text{ s}$$

$$h_2 = 500 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad t_2 = \frac{h_2 - h_1}{V} = \frac{500 - 48}{22} = 20.5 \text{ s}$$

$$t = t_1 + t_2 = 4.4 + 20.5 \cong 25 \text{ s}$$

değerleri elde edilmiştir.

4.2 Yer İvmesi ve İvme Kayıtları

Önceki bölümde tanımlanan 17 Ağustos depreminin deniz içinde, yıkımın etkisini artıracak bir heyelana yol açıp açmadığı sorusuna yanıt aramak üzere, ivme kayıtlarından yararlanılmıştır. Çünkü hesaplanan kütle düşümünün çıkardığı enerjinin etkisinin, gerçekten böyle bir olayın gerçekleşmiş olması halinde sismogramlarda görülmesi beklenmektedir. Bu amaçla Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsüne ait kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Marmara Bölgesi'ndeki, Kandilli'ye ait kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının yerleri Şekil 4.2' de görülmektedir. Yer ivmesi deprem dalgalarının yapılar üzerindeki etkilerini denetleyen temel bir büyüklüktür. Aynı gözlem yerinde benzer büyüklükteki ayrı depremlerde alınmış verilerden okunmuş en büyük ivme değerleri karşılaştırıldığında da ayrılıklar ortaya çıkabilir. Gözlenmiş en büyük ivme değerleri, dış merkez uzaklığına göre tekdüze bir azalma göstermeyebilir. Bu gözlemler, yerel yer koşulları ölçüsünde deprem özelliklerinin ve deprem özellikleriyle yerel yer özelliklerinin karşılıklı etkileşimini gösterir. Deprem sırasında yapıya etkiyen sismik yatay kuvvetin büyüklüğü yer ivmesinin değeriyle orantılıdır. Yer ivmesinin değeri, odak noktasıyla yapı (yöre) arasındaki geometrik uzaklığa (Aktif fayın efektif uzaklığı), deprem dalgalarının geçtiği ortamın jeomekanik büyüklüklerine (kaya türü, zemin türü ve özellikle taşıma kapasitesi düşük zemin katmanlarının kalınlıkları vb.) büyük ölçüde bağlıdır.

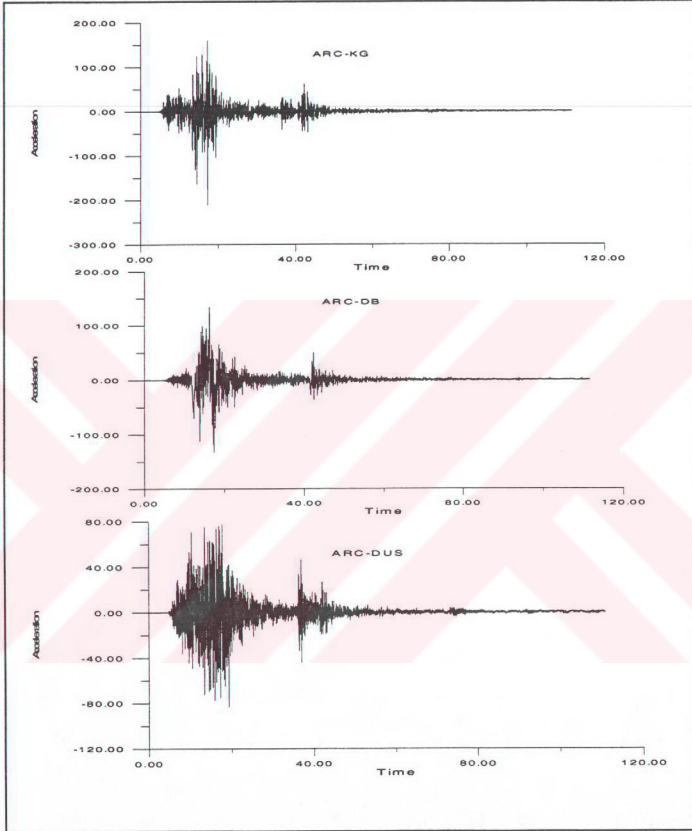
Yer ivmesini belirlemenin en iyi yolu, depremler süresince ivme ölçerler tarafından alınan kayıtları kullanmaktır. Dünyanın birçok yerinde özellikle büyük tarihsel depremler için bu tür kayıtlar mevcut bulunmadığı durumlarda tarihsel şiddet bilgileri kullanılıp, bu bilgiler maksimum dalga hareketi ölçümüyle ilişkilendirilebilmektedir. İvme kayıtları üzerindeki sayısal örneğin integre edilmesi ve filtrelenmesiyle hız ve yer değiştirmeye geçilebilir.

İvme kayıtları farklı alanlardaki kuvvetli yer hareketi özelliklerinin tanınması, ivmenin uzaklıkla azalımının incelenmesi, yerel jeolojik farklılıkların oluşturduğu "site effect" in incelenmesi, yapıların deprem sırasındaki davranışlarının incelenmesi, deprem kaynağındaki dinamik ve mekanik proseslerin incelenmesi ve deprem kaynak parametrelerinin incelenmesi amacıyla kullanılabilirler.

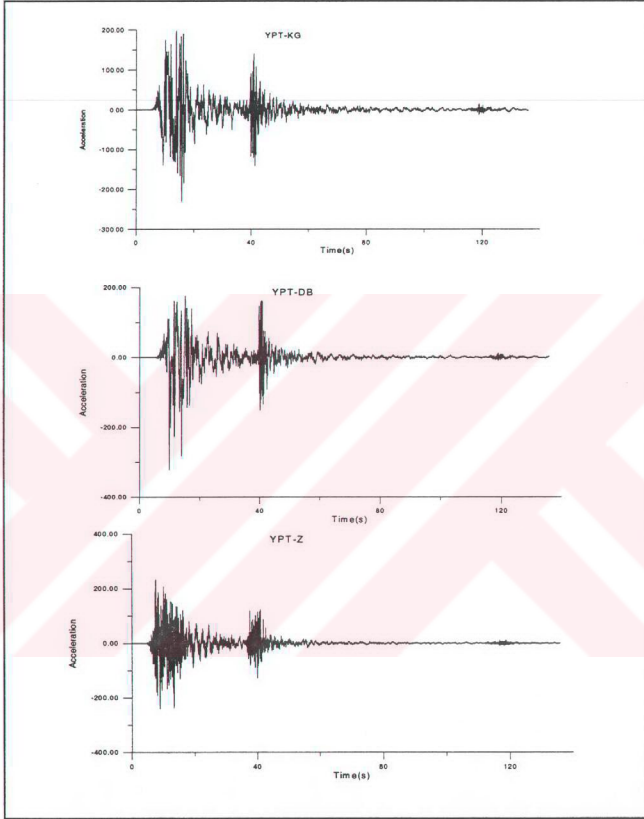


Şekil 4.2 Marmara Bölgesi kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının lokasyonları (www.koeri.boun.edu.tr 'den alınmıştır).

Bölgeye ait ivme kayıtları incelenmiş, Arçelik (ARC) ve Yarımcı Petkim (YPT) istasyonlarından elde edilen kayıtların kullanılmasına karar verilmiştir. Bu iki istasyona ait üç bileşende ivme kayıtları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Kandilli Rasathanesi ARC istasyonuna ait, 17 Ağustos 1999 İzmit depremi üç bileşen ivme kaydı.



Şekil 4.4 Kandilli Rasathanesi YPT istasyonuna ait, 17 Ağustos 1999 İzmit depremi üç bileşen ivme kaydı.

İvme kayıtlarında asıl depremden sonra, sinyallerin kuyruğunda küçük bir olay görülmektedir. Şekil 4.2’de görülen istasyon lokasyonlarına bakılınca ARC istasyonu depreme YPT istasyonundan daha uzaktır. Fakat kuyruktaki küçük olay, ARC istasyonunun kayıtlarında, YPT’ye göre daha erken görülmektedir. Bu da küçük sinyalde görülen olayın batıdan gelebileceğini göstermektedir.

4.2.1 YPT ve ARC İvme Kayıtlarına İlişkin Çalışmalar

4.2.1.1 Heyelanla İlişkili Olduğu Düşünülen Depremın Varış Zamanı

Bu çalışmada öne sürülen heyelan modeli için YPT ve ARC istasyonlarına varış zamanı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Öncelikle depremin ARC ve YPT istasyonlarına, olası heyelana ve heyelanın ARC ve YPT istasyonlarına olan uzaklıkları belirlenmiştir.

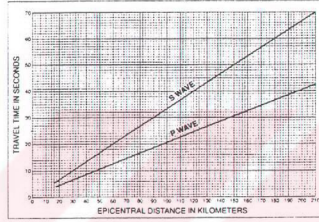
T ablo 4.1 Zaman hesaplamasında kullanılan uzaklıklar.

Bölge Adı	Uzaklık (km)
Deprem-Heyelan	113
Deprem-YPT	26
Deprem-ARC	55
Heyelan-ARC	60
Heyelan-YPT	94

ARC ve YPT istasyonları için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Kabuktaki P dalgası hızı 5000 m/s, su içindeki dalga hızı ise 1500 m/s alınmıştır. Bu kabuller ışığında YPT ve ARC istasyonlarında yapılan kayıtlarda olası heyelanın izi aranmıştır. Hesaplanan süre, şu şekilde elde edilmiştir:

Deprem-olası heyelan bölgesi arası dalgaların varış süresi, harekete geçince deprem yaratacağı düşünülen heyelanın oluşturduğu dalgaların istasyonlara varış süreleri hesaplanmıştır. Bu iki süre toplanmış ve üzerine heyelanın oluşması için gereken ve Bölüm 4.1’de hesaplanan süre eklenmiştir. YPT istasyonuna deprem dalgaları depremin oluşundan 5.1 s, ARC istasyonuna ise 11 s sonra ulaştığı için, bu süreler toplam süreden çıkartılarak hesaba katılmıştır. Heyelanın oluşturduğu dalgaların

istasyonlara ulaşma süresi, dalgaların su içinden gideceği düşünülerek hesaplanmıştır. Karadan gidecek dalgalar için hesap yapıldığında elde edilen zaman, deprem dalgalarının varış süresi içinde kayıp olduğu geldiği için, karadan dalgalar geliyor olsa bile olası heyelanın neden olduğu dalgalar seçilemeyecektir. Bu hesaplamalar sonucunda olası heyelanın YPT deki izinin 107.s de, ARC da ise 78. s de görülmesi gerektiği bulunmuştur. Hesaplamalardan elde edilen süreler, ivme kaydında kuyruktaki izin geldiği süre ile aynı zamanlıdır. Ancak veriden hareketle yaklaşık olarak depremin uzaklığı hesaplandığında (Şekil 4.5), söz konusu depremin 200 km nin üzerinde bir uzaklıktan gelmesi gerektiği bulunmuştur.



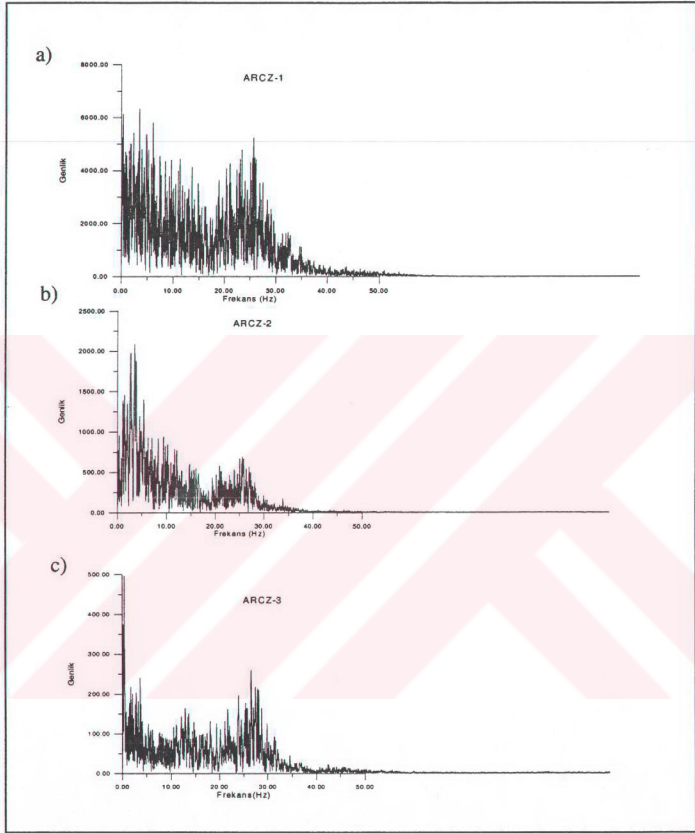
Şekil 4.5: Episantr uzaklığına karşılık P-S dalgalarının varış zamanları grafiği (Ruthford & Zumberge, 1991).

Bölüm 4.1'de düşmesi halinde çıkaracağı enerjinin yaratacağı deprem büyüklüğü hesaplanan kütle modelinin doğrulanabilmesi için, sonraki aşamalarda, hesaplanan enerjinin yaratacağı deprem büyüklüğü ile, kayıta görülen olayın büyüklüğü karşılaştırılacak, küçük olayın frekans içeriğine bakılacak ve eldeki verilerin izin verdiği ölçüde lokasyon tesbiti yapılacaktır.

4.2.1.2 Heyelanla İlişkili Olduğu Düşünülen Depremin Frekans İçeriği

İvme kayıtlarının frekans spektrumlarını inceleyebilmek için verilerin Fourier dönüşümleri alınarak genliğe karşılık çizdirilmiştir. Kayıtların frekans içeriğine bakılmasının sebebi, depremden kaynaklanan frekans içeriği ile, bir heyelanın oluşturabileceği depremin frekans içeriğinin farklılıklarından yararlanarak, kayıtlarda, var ise heyelanın etkisini görmektir. Deprem için beklenen düşük frekansların hakim olduğu geniş bir içeriktir. Heyelan için ise beklenen yüksek frekansların çoğunlukla bulunduğu bir kayıttır. İvme kayıtlarının frekans içerikleri Şekil 4.6 'da verilmiştir. Kayıtların düşey bileşenleri en belirgin olduğu için sadece

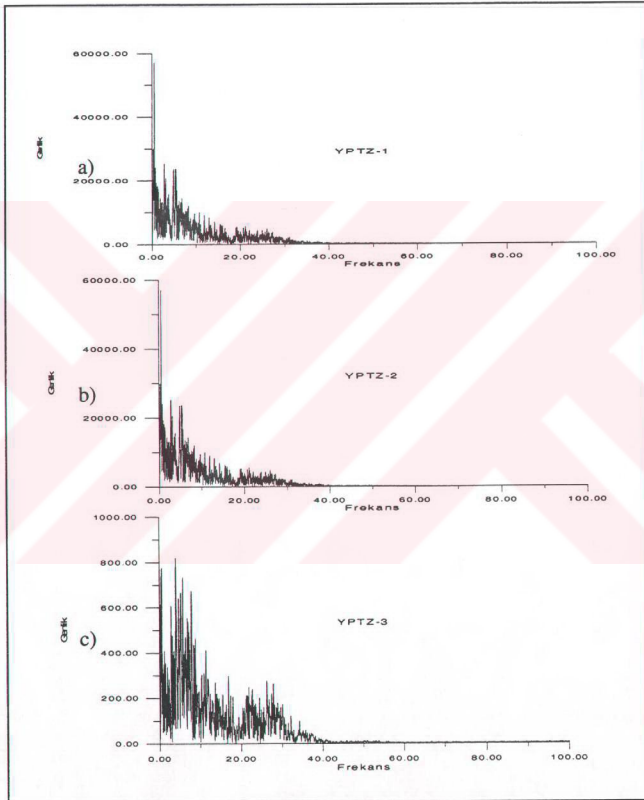
düşey bileşenlerin frekans spektrumu verilmiştir. Ayrıca düşey bileşen üç farklı parçaya bölünerek, depremin ilk kısmı, ikinci kısmı ve kuyruktaki olayın frekans içerikleri ayrı ayrı incelenmiştir.



Şekil 4.6 ARC istasyonunun Şekil 4.3’de verilen ivme kaydına ait z bileşeninin a) 5-15 s arası, b) 15-35 s arası, c) 70-95 s arası frekans spektrumu

Daha önce de değinildiği gibi bir numaralı spektrum depremin birinci kısmına, iki numara ile verilen ikinci kısmına, üç numara ile verilen ise heyelanın izi olmasından şüphe edilen kuyruktaki kısma aittir. Genliklere bakılınca ilk iki olayın genliklerinin üçüncü olaya göre çok büyük olduğu görülmektedir. Yine ilk iki olayda yüksek

genlikler genellikle düşük frekanslarda toplanmakta, yüksek frekanslarda genlikler düşmektedir. Üçüncü olayın ise genlikleri ilk iki olaya göre çok küçüktür. Bununla beraber kendi içindeki genlik oranlarına bakılınca, yüksek frekanslarda da yüksek genlikler görülmektedir. Suyun kalite faktörü çok yüksektir, yani soğurma katsayısı düşüktür. Üçüncü olaydaki yüksek frekanslardaki yüksek genlikler olayın suyun içinden geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.7 YPT istasyonu Şekil 4.4'de verilen ivme kaydına ait Z bileşeninin a) 5-15 s arası, b) 15-35 s arası, c) 110-130 s arası frekans spektrumu

YPT istasyonunun ivme kaydının düşey bileşeninden elde edilen spektrum da ARC istasyonundakine benzer özellikler göstermektedir. İlk iki olayda çok düşük

frekanslarda yüksek genlikler görülüp, bu genlikler yüksek frekanslarda düşmektedir. Üçüncü olayda ise, yüksek frekanslarda da yüksek genliklere rastlanabilmektedir. Yine varılan sonuç, yüksek frekanslardaki içerik, çok fazla sönümlenmediği için olayın sudan gelmiş olabileceğidir.

4.2.1.3 Heyelanla İlişkili Olduğu Düşünülen Depremın Büyüklüğü

Kuyrukta görülen olayın, olası heyelanın izi olup olmadığı araştırılmaktadır. Olası heyelan için yapılmış olan hesaplamalardan, çıkardığı enerjinin yaklaşık ne kadar büyüklükte bir deprem yaratmış olabileceği bulunmuştur. Bu bölümde ivme kaydındaki kuyruktaki olayın büyüklüğü hesaplanarak, modelden yapılan hesaplama sonucu ile karşılaştırılacaktır. Veriden deprem süre büyüklük değeri izleyen bağıntıdan (KRDAE) hesaplanmıştır:

$$FMAG = 1.7238 + 0.3592 \times (ALOG_{10}(FMP))^2 + 0.0009 \times \Delta \quad (4.1)$$

Bağıntıda;

FMP; Olayın süresi (s)

Δ ; İstasyonun depreme olan uzaklığı (km) dir.

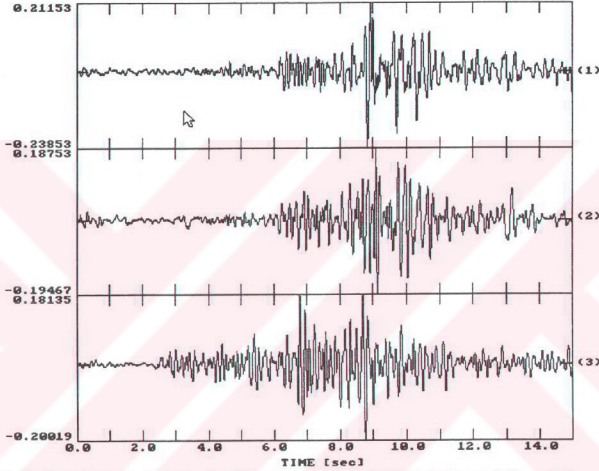
Olayın en belirgin görüldüğü istasyon olan YPT istasyonu baz alınarak, 7.93 s lik süreç için, olayın olası heyelandan kaynaklandığı düşünülerek alınan uzaklıkta yapılan hesaptan bulunan büyüklük değeri 2.26'dır. Bu değer varsayılan heyelan modelinden hesaplanan 5.2 büyüklük değeri ile örtüşmemektedir.

4.2.1.4 Heyelanla İlişkili Olduğu Düşünülen Depremın Lokasyonu

İvme kaydından yararlanılan istasyonlar ARC ve YPT dir. Marmara Bölgesinde önceki bölümlerde gösterilmiş olan bir çok istasyon bulunmasına karşılık, sadece bu iki istasyonun verileri kullanılabilir düzeyde ve olayın gözlenebildiği veriler olduğu için bu kayıtlardan yararlanılmıştır. Deprem lokasyonu belirlemede istasyon adedi ve istasyonların dağılışı önemlidir. Elde yeterli istasyonun bulunmadığı, fakat, üç bileşenin bulunduğu tek istasyon kayıtlarından kabaca depremin geliş yönü belirlenebilir. Eldeki verilerle lokasyonu kabaca belirleyebilmek için yapılacak olan

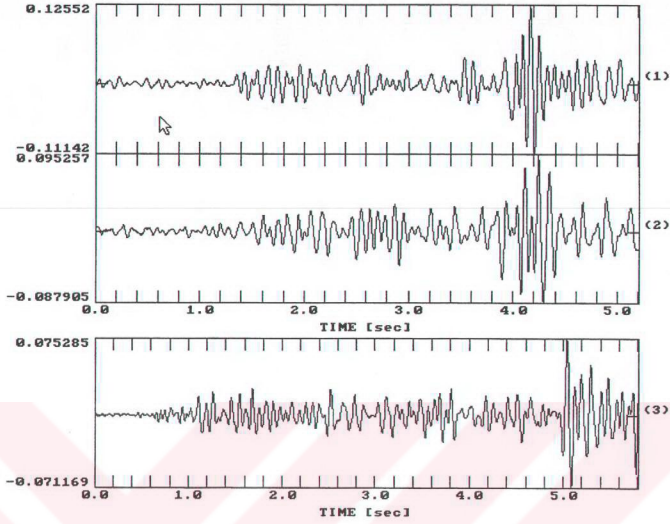
da budur. Olay en iyi YPT istasyonunun bileşenlerinde görüldüğü için, bu istasyona ait ivme kaydı kullanılacaktır.

İlk hareketin yönünden depremin geliş yönünü belirlemek için genellikle hız ya da yer değiştirme kayıtları kullanılır. Elde bulunan ivme kaydı, ilk hareketlerin daha açık bir şekilde görülebilmesi için, integre edilerek, hız kaydına çevrilmiştir. Hız kaydına çevirme işlemi için Pitsa programından yararlanılmıştır. Hız kaydına çevrilen kayıtların 110 s ile 125 s arası kesilerek Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 YPT hız kaydı 110 -125 s arası . Sırasıyla K-G, D-B ve Z bileşenleri

İlk hareketleri daha açık görebilmek için şekle biraz daha yakından bakarsak;



Şekil 4.9 Şekil 4.8’de verilen YPT hız kaydının ilk 5 saniyesi, 110-115 s arası. Sırasıyla K-G, D-B ve Z bileşenleri

Hız kaydındaki bileşenlerin ilk hareketleri incelendiği zaman çok net görülememekle birlikte, hareket batı yönlü gözükmektedir. Bu da olası heyelan bölgesinin yönüne düşmektedir. Lokasyon ile ilgili kullanılabilecek tek verinin bulunması, kesin lokasyon belirleyememeye sebep olmaktadır. Zira P-S farklarından tesbit edilen deprem uzaklığı yaklaşık ($t_p - t_s = 3$ saniye, uzaklık = 3×8) 24 km çıkmaktadır. Bu da olası heyelanın YPT’ye uzaklığı değil, depremin YPT’ye uzaklığıdır.

5. AVCILARDA DEPREMLE GELEBİLECEK HEYELAN TEHLİKESİ

Önceki bölümlerde Avcılar'ın jeolojik ve zemin özelliklerinden söz edilerek heyelana eğimli bir bölge olduğuna değinilmişti. Ayrıca Türkiye'nin birçok bölgesinde olduğu gibi, Avcılar da sismik aktivitenin yoğun olduğu bir bölgede bulunmaktadır. Deprem sırasında oluşan sismik yatay ve düşey kuvvetlerin yamaçların stabilitesini bozarak heyelanlara sebep olduğu ise bilinen bir gerçektir. Bölgede karada oluşabilecek ve hasar yaratabilecek ölçüde büyük bir heyelanın harekete geçmesi için gerekli ivme izleyen varsayımlar altında 5.1 bağıntısından (Ambrassey,1997) hesaplanmıştır.

- 1) Marmara içerisinde gelecekte 7 ve üzeri büyüklükte bir deprem beklenmektedir (Le Pichon, 1999).
- 2) Olası depremin Çınarcık baseninde oluşması beklenmektedir (Le Pichon,1999).

$$\text{Log}(ah) = -1.05 + 0.245 M_s - 0.001(r) - 0.786 \log(r) - 0.15 \log(V) \quad (5.1)$$

M_s ; Yatay ivme yaratacak deprem büyüklüğü

r ; Deprem odağından olan uzaklık (km)

V ; Ortama ait kesme dalgası hızı (km/s)

Bu varsayımlar altında ve bölgedeki yüzey kayaçlarının V_s hızı 980 m/s alınarak yatay ivme değeri 0.08 g bulunmuştur. 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde oluşan yatay ivmenin 5.1'den 0.06 g elde edildiği göz önüne alınırsa, gelecekte olacağı varsayılan depremin bir heyelanı tetikleme olasılığı daha fazladır. 1999 İzmit depreminin Avcılar üzerinde etkili olan yatay ivme değeri 0.25g olarak belirlenmiştir (www.koeri.boun.edu.tr). Avcılar'daki minimum 4 kat olan büyütme etkisi (Bölüm 2.3.5) ölçülen değer teorikten farklı olmasına neden olmuştur, dolayısıyla olası Çınarcık depremi sonucunda oluşabilecek yatay ivme değeri 0.32g olarak gerçekleşebilir ve Avcılar açıklarında bir heyelanı tetikleyebilir. 10 milyon m³ lük

hacime sahip bir kütleyi bu ivme değeri harekete geçirebileceği 5.2 bağıntısından (Arioğlu ve diğ., 2000) bulunmuştur;

$$F = \frac{C + A + W (\cos\beta - a_y \sin\beta) \tan\phi}{W (\sin\beta + a_y \cos\beta)} \quad (5.2)$$

C ; Kohezyon değeri (burada C=0, su içeren ortam için),

ϕ ; İçsel sürtünme açısı (6 °, killi ortam için),

A ; Kayma alanı, (4000m x 2500 m ,varsayılan heyelan alanı),

a_y ; Maksimum yatay ivme değeri (0.32g),

W ; Kayma potansiyeli olan bloğun ağırlığı (10.10⁶ ton),

β ; Olası kayma açısı (17 °, Şekil2.3.a)

Bu değerler kullanılarak F (emniyet katsayısı) 0.15 olarak bulunmuştur. Hesaplanan değer sismik kuvvetler altında yamaç stabilitesinin korunması için yeterli değildir. (Arioğlu ve diğ., 2000)

6. SONUÇLAR

17 Ağustos 1999 İzmit depreminde Avcılar'ın beklenilenden fazla hasar göstermesinin, Avcılar'ın 7 km açığında deniz içinde meydana gelmiş olabilecek bir deniz heyelanı ile bağlantısının araştırıldığı bu tezde, farklı veri grupları kullanılmıştır. Deniz içi görüntülerini sağlayan multibeam verisinde, deniz içindeki heyelanların varlığı görülmektedir. Fakat bu heyelanların oluştuğu kesin tarihler bilinmemektedir. 17 Ağustos 1999 İzmit depremi ile tetiklendiği düşünülen deniz heyelanının, gerçekte oluşmuş olması durumunda, çıkacak enerjinin miktarı hesaplanmış ve 5.2 büyüklüğünde bir deprem yarabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun izlerini gözlemek için kullanılan tek veri grubu olan ivme kayıtlarında, heyelanın etkisi olabileceği düşünülen bir bölüm görülmüştür. İvme kayıtları üzerinde, bu küçük kuyruk kısmının frekans içeriğinin, büyüklüğünün incelenmesi için veri çeşitli aşamalardan geçirilmiş ve geliş zamanının olası bir heyelanın oluşturacağı dalgaların geliş zamanı ile aynı olduğu, fakat hesaplanan deprem büyüklüğünün ivme kayıtlarında mevcut bulunmadığı görülmüştür. Ayrıca, kullanılan sınırlı sayıdaki ivme kaydı istasyonundan kabaca üç bileşenin ilk yönlerine göre yapılan lokasyon belirleme çalışması da, çok net olmamakla birlikte, olayın batıda bir yerden kaynaklandığını göstermiştir. Daha fazla istasyonlardan gelen verilerin, veri kalitesinin yetersizliği ve incelenen olayın diğer istasyonlarda çok net izlenememiş olması nedeniyle kullanılamaması, kesin bir lokasyon tayininin yapılamamasına neden olmuştur. İncelenen veri grupları ışığında, Avcılarda süregelen heyelanların denizde de devam ettiği görülmüştür. Ancak modeli kurulan heyelanın 17 Ağustos 1999 İzmit depremini izleyen bir depreme yol açmış olabileceği varsayımı eldeki veriler ile kanıtlanamamıştır.

Avcıların heyelan bölgesi olduğu ve sismik olarak aktif bir bölgede bulunduğu bilindiğinden, karada olası bir deprem tarafından tetiklenebilecek heyelanın modeli üzerinde de durulmuştur. Hasar yaratacak ölçüde büyük bir kütlenin düşmesi için gerekli yatay ivme teorik olarak hesaplanmış, böyle bir ivmeyi Avcılar'da

yaratabilecek yatay ivmenin değeri, Avcılar'daki yer büyütme etkisi de göz önünde bulundurularak teorik olarak hesaplanmıştır. Bu teorik değerlere göre, Avcılar'a 40 km uzaklıkta oluşabilecek bir deprem, Avcılar'da 10 milyon m³ lük bir kütleyi tetikleyerek harekete geçirebilir ve heyelana neden olabilir. Böyle bir heyelan hem düşüreceği kütle ile, hem de kütleyi düşürünce oluşturacağı enerji ile Avcılar'da yıkımlara neden olabilir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, üretilen bu senaryonun gerçekleşmemesi için, Avcılar'da özellikle zeminin sorunlu olduğu bölgelerde, zemin iyileştirme ve heyelanı önleme çalışmalarına gidilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akyüz, H. S., Barka, A., Altunel, E., Hartleb, R. and Sunal, G., 2000. Field observations and slip distribution of the November 12, 1999 Düzce earthquake Bolu Turkey (M=7.1), The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results, İTÜ., İstanbul.
- Ambraseys, N. N., 1997. Development and Application of Strong Ground Motions, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi Dördüncü Deprem Mühendisliği Konferansı, ODTÜ, s 3-22.
- Arioğlu, E., 1970. Yapıların ve çerçevelerin hakim titreşim periyodu hesabı için yaklaşık bir formül, Yapı Merkezi Yayınları, No.3, İstanbul.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N., Yılmaz, A.O. ve Girgin, C., 2000. Deprem ve Kurtarma İlkeleri, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Armijo, R., Meyer, B., Barka, A., de Chabaliér, J-B., Ferrari, A. H. and Çakır, Z., 2000. The fault breaks of the 1999 earthquakes in Turkey and the tectonic evolution of the Sea of Marmara, The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results, İ.T.Ü., İstanbul.
- Atalay, F.İ., Bekaroğlu, N., 1973. Heyelanlar ve mühendislik uygulaması, Ankara.
- Belirti Müh., 2001. Avcılar (Merkez-Cihangir-Denizköşkler-Gümüşpala-Mustafa Kemal Paşa-Ambarlı-Üniversite) Mahallelerinin İmara Esas Jeolojik Jeofizik-Jeoteknik Etüt Raporu, İstanbul.
- Blatt ; J.F., 1989. Principles of Physics, Third Edition, USA.

- Bouchon, M., Toksöz, N., Karabulut, H., Bouin, M-P., Dietrich, M., Aktar, M. and Edie, M., 2000.** Seismic imaging of the 1999 Izmit (Turkey) rupture inferred from the near-fault recordings, *Geophysical Research Letters*, vol 27, p.3013-3016.
- Boyle, H., 1995.** *Seismology*, John Wiley and Sons Ltd., England.
- Brunsten, D., Dihau, R., Hosen, M.L. and Schrott, L., 1996.** Landslide recognition, *International Association of Geomorphologist*, England.
- Bullen, K.E. and Bolt, A.B., 1963.** *An Introduction to the Theory of Seismology* Cambridge University Press, England.
- Cosale, R. and Margattini, C., 1999.** *Floods and landslides*, Springer, Italy.
- Çağlar, M., 1997.** İstanbul Avcılar Yerleşim Alanının Doğu Bölümünün Yerleşime Uygunluk değerlendirmesi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Bitirme Çalışması.
- Çelebi, M., Toprak, S. and Holzer, T., 2000.** Strong-motion, site-effects and hazard issues in rebuilding Turkey: in light of the 17 August, 1999 earthquake and its aftershocks, *The 1999 Izmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results*, İ.T.Ü., İstanbul.
- Cranswick, E., Meremonte, M., Özel, O., Erdik, M., Şafak, E., Overturf, D., Frankel, A. and Holzer T., 1999.** Damage and Site response in Avcılar, West of İstanbul, *The 1999 Izmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results*, İstanbul.
- Ecevitoglu, B.G., Tur, H. and Tok, B., 2000.** Marmara Denizi'nde Sırtlar, Ulusal Jeofizik Kongresi, 23-25 Kasım, Gelişmiş Özetler Kitabı, MTA Gen. Md. Kültür Merk., Ankara, s.24.
- Ercan, A., 2001.** *Yer Araştırma Yöntemleri*, İstanbul.

Ergin, K., 1960. Teorik Sismolojiye Giriş, İstanbul Matbaası, İstanbul.

Ergin, M., Yalçın, N., Aktar, M. And Özalaybey, S., 2000. Avcılar yöresinde yer büyütmeye etkisinin sismolojik yöntemle araştırılması, TÜBİTAK-MAM Projesi, Proj. No:5007102 , Sonuç Raporu, İstanbul.

Eyidoğan, H., 1999 Deprem kaynak parametrelerinin ve atenuasyonun sismik hareketlere etkisi, Deprem Mühendisliğine Giriş Ders Notları, İstanbul.

Feinmann, P.R., Leighton, B.R. and Sands, M., 1964. Lectures on physics, Addison Wesley Publishing, U.S.A.

Halliday, D. and Resnick, R., 1978. Physics part 1-2, Wiley and Sons, Canada.

Harp, E.L. and Ramdall, W.J., 1996. Landslides triggered by the 1994 Northridge California earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, vol.86, p.S319-S332.

Iverson, R. M., 2000. Landslide triggering by rain infiltration, Water Resources Research, vol.36, p 1897-1910.

Kapdaşlı, S., 1992. Kıyılarda katı madde taşınımı, Kıyı Mühendisliği, İstanbul.

Keefer, K.D. and Ho, Carton L.,1995. Landslides under static and dynamic conditions, American Society of Civil Engineers, New York.

King, G., Ferrrari, A.H., Barka, A., Nalbant, S., Jacques E., Meyer, B., Armijo, R. and Tapponnier, P., 1999. Stress coupling & earthquake hazard around the Sea of Marmara, The 1999 Izmit and Düzce Earthquake Preliminary Results, İ.T.Ü., İstanbul.

Kockelman, W. J., 1987. Reducing landslide hazards, Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, Rotterdam.

Kudo, K., Kanno, T., Okada H., Özel, O. and Erdik, M., 2000. Microtremors and aftershock observations, Damage Investigation, The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results, İ.T.Ü., İstanbul.

Le Pichon, X., Taymaz, T. ve Şengör, A.M.C., 1999. Büyük Marmara Fayı: niçin ve nerede olabilir?, Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi; sayı 661, 8-11

Maeland, E., 1998. Focusing aspects of the parabolic Radon transform, Geophysics, vol.63, p 1708-1715.

Özel, N., Kalafat, D., Pınar, A., Horasan, G., Yılmaz, M., Işıkkara, A. M., Cranswick, E. and Gülen, L., 2000. Aftershock distribution of the August 17, 1999 İzmit (Kocaeli) earthquake (Mw=7.4) determined by MARNET in Marmara Region, Turkey, The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes Preliminary Results, İ.T.Ü., İstanbul.

Öztürk, K., 1993. Prospeksiyon Jeofiziği, İ.Ü.Basımevi, İstanbul.

Parsons, T., Barka, A., Toda, S., Stein, R.S. and Dietrich, J. H., 2000. Influence of the 17 August 1999 İzmit Earthquake on seismic hazards in İstanbul, The 1999 İzmit and Düzce Earthquake Preliminary Results, İ.T.Ü., İstanbul

Rutherford, R.H. and Zumberge, J.H., 1991. Laboratory Manual for Physical Geology, Eight Edition, Wm.C.Brown Publishers, U.S.A.

Sabah Gazetesi, 23 Ocak Salı 2001. İstanbul Eki, İstanbul.

Schuster, L.R., 1986. Landslide dams, American Society of Civil Engineers, New York.

Tahtamoni, W. W. and Al-Homoud, A. S., 2000. SARETL: an expert system for probabilistic displacement-based dynamic 3-D slope stability analysis and remediation of earthquake triggered landslides, Environmental Geology, vol. 30, p 849-874

Takahashi, F., 1991. Debris flow, Monograph Series, Rotterdam.

Us, E., Sismik yöntemler ve yorumlamaya giriş, T.M.M.O.B., Ankara.

Yılmaz, Ö., 1997. Seismic data processing, S.E.G., U.S.A.

Yüzer, E., Öztaş, T. ve Vardar, M., 1997. Avcılar Belediyesi Yoğun Yapılaşma alanının yerleşime uygunluk amaçlı mühendislik jeolojisi ve geoteknik araştırma projesi sonuç raporu, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Aslıhan Şapaş 1977 yılında İstanbulda doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbulda tamamladı. 1995 yılında Maçka Anadolu Teknik Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1999 yılında mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans çalışmalarını devam ettirirken 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen aynı görevine devam etmektedir.