



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANTAKYA KENT MERKEZİ'NİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE YER
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET FİLAZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY
TEMMUZ-2008

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTAKYA KENT MERKEZİ'NİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE YER
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET FİLAZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Semir ÖVER danışmanlığında hazırlanan bu tez 10/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Semir ÖVER
Başkan

Prof. Dr. Gürel ÇAM
Üye

Yrd. Doç.Dr.Murat BİKÇE
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

10/07/2008

Prof. Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Cisim ve Yüzey Dalgaları.....	3
2.2. Mikrotremor ve Özellikleri.....	5
2.2.1. Mikrotremor dalgalarının kökeni.....	6
2.2.2. Mikrotremorların periyot dağılımları.....	6
2.2.3 Mikrotremorların genliklerinin zamana göre dağılımları.....	7
2.2.4. Yeraltında alınan mikrotremor kayıtları.....	7
2.2.5. Mikrotremor verilerinin kullanım amaçları.....	7
2.3. Mikrobölgelendirme.....	9
2.3. 1. Yeraltı suyu.....	10
2.3. 2 Jeolojik birimlerin farklı zonlanmalar	10
2.3. 3. Topoğrafya.....	10
2.3. 4. Heyelan durumu.....	11
2.3. 5. Faylar.....	11
2.3. 6. Sıvılaşma.....	11
2.3. 7. Sismik özellikler	12
2.4. Deprem İvmesi.....	15
2.4.1. Yerin deprem sırasında sarsıntıyı büyültmesi.....	16
2.5. Deprem sırasında yer ivmesinin önemi.....	18
2.6. Mikrotremor Verilerinin Analizinde Yaygın Olarak Kullanılan Yöntemler.....	18
2.6.1. Spektral genlikler yöntemi.....	19
2.6.2. Referans istasyonuna göre spektral oranlar yöntemi.....	20
2.6.3. Nakamura H/V Spektral Oranlar Yöntemi.....	20

2.7. Yer Büyütmesi Çalışmaları.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Çalışmanın Kapsamı.....	26
3.2 Deprem Yer Hareketine Zemin Koşullarının Etkisi.....	27
3.3 Antakya'nın Depremselliği ve Potansiyel Zemin Büyütmesi.....	28
3.4 Genel Jeoloji.....	34
3.5 Mikrotremor Ölçüleri Kullanılarak Yerleşim Yerleri Mikrobölgelemesi...	35
3.6 Alan Karakteristikleri için Mikrotremorların H/V Analizi.....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Çalışma Alanı.....	44
4.2. Ölçü Düzenneği ve Kayıt Alma.....	45
4.3. Verilerin Değerlendirilmesi.....	46
4.3.1. Verilerin Süzgeçlenmesi.....	46
4.4. Mikrotremor Verisinin H/V Oranı Spektrumu.....	48
4.5. Çalışma Alanında Yer Büyütmesi Potansiyeli.....	51
4.6. Depremin İvmesi.....	54
4.7. Niçin Kuvvetli Yer Hareketi Ölçümleri	54
4.8.İvme Değerlerinin Mikrotremor Verilerinden Yararlanılarak Bulunması..	55
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	65
TEŞEKKÜR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	68
EKLER.....	69
EK-1. Proje alanında yapılan ölçülerin koordinatları ve açıklayıcı bilgiler....	70
EK-2. Mikrotremor ölçülerinin dalga formları.....	75
EK-3. Mikrotremor verilerinin H/V spektrum oranları grafikleri.....	83

ÖZET**ANTAKYA KENT MERKEZİ'NİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE YER ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Proje alanı olan Antakya merkez yerleşimi ve yakın mahalleleri, Doğu Anadolu Kırık Bölgesi'nin güney ucunda yer almaktadır. Meydana gelen depremler, özellikle alüvyon yapılı alanlarda yer büyütmesi etkisi göstermektedir. Bu durum da potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerinin sismik mikrobölgelemesi zeminlerin depremlerden etkilenme duyarlılığının belirlenmesi adına bir risk analizi yapılmasına temel oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi ile bir baskın titreşim periyod dağılım haritası oluşturulmuştur. Mikrotremor ölçümleri 69 noktada yapılmıştır. Baskın titreşim periyodları ve yer büyütme mikrotremorların yatay ve düşey spektral (H/V) oranlanmasından saptanmıştır. Baskın titreşim periyodu değişimlerine dayalı bir mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur.

Buna göre Antakya'da alınan mikrotremor değerleri 0.2-0.8 sn arasında değişen 5 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Asi nehri boyunca kuzey ve güney kesimlerinde beklenen aksine düşük periyotlu baskın titreşime sahip bir zemin varlığı projelenmiştir. Buna karşın çalışma alanının doğu ve batı kısımlarında etkin periyot en yüksek değerde olup 0.8 sn değerine kadar ulaşmaktadır. Buna paralel olarak bu bölgedeki zemin büyütme değerleri 2-3 kat olarak hesaplanmıştır.

ABSTRACT**ANTAKYA CITY'S EXAMINED WITH MICROTREMOR METHOD OF THE PLACE EFFECT**

Central part of Antakya and its near districts which were studied in this project are located at south edge of East Anatolian Fault. Earthquakes show amplification effect in the grounds, particularly in the alluvial soils. This situation gives rise to a potential risk. Seismic microzonation of cities provides a basis for site-specific hazard analysis in urban settlements. A distribution map of dominant period was prepared by evaluating microtremor observations in the frame of this project. Microtremor observations were conducted at 69 sites. The dominant periods and amplifications of the ground were determined from the horizontal to vertical (H/V) spectral ratios of microtremors and a microzonation map was produced depending on dominant period variation distributions.

According to this the microtremor values, which get very between 0,2 and 0,8 sec. Antakya were divided into the 5 different regions. In the contrary to the expectations, a region of dominant vibration with a low period has been determined at the northern and southern parts along the Asi river. On the other hand, the maximum value of active period (i.e. up to 0,8 sec.) has been recorded in the eastern and western parts of the region covered. In line with these findings the amplification effects in the region were found to be 2-3 times.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

g	Yerçekimi ivmesi
L	Love dalgası
Ms	Yüzey dalgalarından hesaplanan depremin büyüklüğü
P	Sıkışma dalgası
Rg	Kısa periyotlu Rayleigh dalgası
S	Kesme dalgası
SH	Yatay yönde yerdeğiştirmesi olan S dalgası
SV	Düşey yönde yerdeğiştirmesi olan S dalgası
SE	Site effect (Yer etkisi)
SM	Değiştirilmiş yer etkisi
T	Periyot
Vs	Yüzeydeki yer hareketinin bileşeni
Vb	Yüzey tabakanın tabanındaki yer hareketinin bileşeni
ω	Frekans

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Antakya ve çevresinde meydana gelen depremler.....	30
Çizelge 2. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu ve zemin büyütme değerleri...	49
Çizelge3. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu ve zemin büyütme değerleri ve ivme değerleri.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yayat düzlemde yayılan P dalgasının (a), S dalgasının (b), L dalgasının (c) ve R dalgasının (d) şekilsel gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Odaktan yayılan dalgaların, yayıldıkları ortamın ve etkidikleri bölgenin fiziksel özelliklerinden etkilenerek dalga karakterlerinin değişimi.....	5
Şekil 2.3. Binaın üzerinde bulunduğu yerdeki salınımlar karşısındaki sismik rezonansı.....	12
Şekil 2.4. Mikrobölgelendirme çalışmaları.....	14
Şekil 2.5. Yapıya etki eden statik ve dinamik yüklerin zamana bağlı değişimlerinin şematik ifadesi.....	16
Şekil 2.6. En büyük ivmenin kırıktan uzaklığa göre değişimi.....	17
Şekil 2.7. En büyük yatay ivmenin odaktan uzaklığa göre değişimi.....	17
Şekil 2.8. Nakamura'nın mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerdiği basit model.....	21
Şekil 3.1 Antakya civarında meydana gelen depremler ve bazı depremlerin odak mekanizması çözümleri (Över vd, 2001).....	29
Şekil 3.2.Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca 1996 yılında yayınlanan deprem bölgeleri haritası Antakya ili dağılımı.....	30
Şekil 3.3. Antakya ve çevresi depremleri dış odak dağılımları.....	33
Şekil 3.4. İnceleme alanının bölgesel jeoloji haritası. Ölçek- 1/2.000.000 (Bingöl,1989).....	35
Şekil 3.5. Çalışma alanında açılmış olan kuyular a) 60 m derinliğinde, b) 100 m derinliğinde.....	36
Şekil 3.6. Sağ zemin araştırma sondajları (17 adet).....	40
Şekil 3.7. Mikrotremor kaydının yumuşak ve sert katmanlarda elde edilmesi.....	42
Şekil 3.8. H/V analizinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.1. Çalışma alanını gösteren imar plan haritası (Ölçek: 1/5000).....	44
Şekil 4.2. Çalışma alanının topoğrafik haritası.....	45
Şekil 4.3. a) Mikrotremor ölçümü için kullanılan GÜRALP CMG-6TD marka sismometre ve ölçü alma düzeneği b) Mikrotremor kaydının elde edilme aşamaları.....	46

Şekil 4.4. Çalışma alanında yapılan mikrotremor ölçü noktalarının yerleri. CM: Çekmece Belediyesi, KDM: Küçük Dalyan Belediyesi, DM:Dursunlu Belediyesi, M:Odabaşı Belediyesi.....	47
Şekil 4.5. Parzen süzgeçlemesi a) 10 nolu ölçü, b) 16 nolu ölçü ve c) 28 nolu ölçü...	48
Şekil 4.6. H/V spektrum eğrileri a) 10 nolu istasyon, b) 16 nolu istasyon, c) 28 nolu İstasyon.....	49
Şekil 4.7. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu dağılımı.....	51
Şekil 4.8. Proje alanının zemin büyütme haritası.....	52
Şekil 4.9. Antakya ili merkez yerleşimine ait mikrobölgeleme haritası.....	53
Şekil 5.1. Proje alanının ivme haritası.....	61

GİRİŞ

Bilimin ve teknolojinin temelini oluşturan insanoğlunun kendisini, içinde yaşadığı doğayı keşfetme ve ilerleme merakı, devamlı olarak doğayla mücadele gerektirmiştir. Bu mücadele insanoğlunun doğayla ve kendi doğasıyla olan ilişkilerinde farklı bilim dallarını ve mühendislik alanlarını meydana getirmiştir.

Doğa ile birlikte yaşamının ve onunla mücadele etmenin bir kolu da, doğal olaylardan birisi olan depremdir. İnsanın depremin oluşumuna duyduğu merak, depremi tanıma, tahmin, keşfetme ve inceleme isteği deprem bilimini doğurmuştur. Önlenemeyecek bir doğal olay olan depremin, insan hayatı üzerindeki maddesel hasarlarını önlemek, deprem sırasında yapıların davranışlarını incelemek, depreme dayanıklı yapılar tasarlamak, deprem sırasında yerin davranış karakterini tahmin etmek ve deprem hasarlarını en aza indirme isteği ise deprem ile ilgili mühendislik disiplinlerinin oluşumunu sağlamıştır.

Deprem gibi çok karmaşık neden-sonuç ilişkileri olan, büyük enerjileri açığa çıkaran olaylar karşısında ilgili tüm bilim ve mühendislik dalları karşılıklı dialog halinde ve ortak çalışmak zorundadır. Hiçbir mühendislik disiplini böylesine ciddi bir olay karşısında diğerinden daha önemli değildir. Önemli olan ilgili mühendisliklerin bilimsel, etik ve yasal platformlarda birlikte çalışma ortamlarının oluşturulmasıdır.

Yer bilimcilerin deprem olayında üzerine düşen görevlerden bir tanesi de yerin deprem sırasında davranış karakterlerini temsil edecek olan parametreleri hesaplamak ve bu verileri diğer mühendislik birimlerinin hizmetine sunmaktır. Ayrıca yer bilimci, deprem ve benzeri doğa olaylarında riskli olan bölgelerde yer seçimi çalışmalarını üstlenerek risk faktörünü en aza indirir. Şehirleşme ve yapılaşma gibi insan doğrudan etkileyen projelerde uygun yer seçimi, çalışmaların ilk basamağını oluşturur.

Ülkemizde ve dünyada yaşanmış olan depremlere bakıldığında, uygun yer seçimi yapılmamış ve gerekli tedbirler alınmamış alanlarda deprem hasarlarının ne derece büyük kayıplara yol açtığını görmekteyiz. Depremlerden sonra oluşan hasarlara bakılarak riskli bölgeleri saptamak her ne kadar doğrudan bir yaklaşım olsa da mantıklı olan hasar oluşmadan riskli bölgeleri tespit edebilmektir. Dünyada ve ülkemizde bu amaçla geoteknik mühendisliği, mesleki teorik bilgisini, bilgi birikimini ve deneyimini kullanabilir durumdadır. Yer ile ilgili birçok fiziksel parametreyi hesaplayarak ve yeri mühendislik amaçlı uygulamalar için bir bilinmeyen olmaktan çıkarıp modelleyerek, yerin bilinmeyenlerini aydınlatmaktadır.

Oluşan birçok depremde deprem hasarlarının yeryüzündeki dağılımı, düzgün olmayan ve çok kısa mesafelerde değişimler gösteren, karmaşık fiziksel olayların sonucunda gerçekleşir. Genellikle yerin heterojen yapısı ve depremin karmaşık oluşum karakteri, bu düzgün olmayan deprem hasarları dağılımını oluşturur. Depremler sırasında hasarı, birincil olarak oluşan depremin büyüklüğü, mekanizması, yeri ve süresi gibi faktörler etkilerken ikincil olarak depremin olduğu yerin fiziksel özellikleri ve yerin bölgesel davranış karakterleri etkiler. Yerinde oluşan deprem dalgalarını iletme karakteri, dinamik elastik özellikleri, deprem salınımlarını soğurma ve genleştirme gibi etkileri yerinde bölgesel özelliklerini oluşturur ve mühendislik yapıları üzerine etkiyi büyük ölçüde bu özellikler yansıtır.

Yeryüzünde hiçbir olay durağan olmadığı gibi yeryüzünün kendisi de durağan değildir, sürekli hareket halindedir. Yeryüzündeki bu hareket, açığa çıkan enerjiye göre veya oluşan titreşimlerin genliklerinin büyüklüğüne göre çeşitlilik gösterir. Açığa çok büyük enerjiler çıkıyorsa ve yer hareketi ile yeryüzünde fark edilir ve hasar oluşturan salınımlar hissediliyorsa bunlar deprem ya da kuvvetli yer hareketi olarak isimlendirilir. Bu hissedilir titreşimleri ve açığa büyük enerjiler çıkaran yer hareketlerinin yanında yeryüzünde insan tarafından algılanamayan sürekli salınımlar etkindir. Bu tür salınımlara **mikrotremor (titreşimcik)** denir.

Yeryüzünde farklı bölgelerin farklı periyotlarda salındıklarının anlaşılmasından sonra, yeryüzünü bölgelendirme çalışmalarına katılabilecek yeni parametreler olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda yeryüzünde alınan mikrotremor kayıtlarından elde edilen yer fiziksel parametrelerine göre mikrobölgelendirme çalışmaları yapılabileceği bulunmuştur.

Mühendislik amaçlı uygulamalara temel oluşturması ve projelendirme çalışmaları için veri sağlaması açısından mikrobölgelendirme çalışmaları önem taşımaktadır. Mikrobölgelendirme çalışmaları verimlilikleri açısından içerik ve nitelik olarak bilimsel doğruluk ve geçerlikler taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında Antakya kent merkezinde gerçekleştirilen mikrotremor çalışmaları detaylandırılarak anlatılmaya çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Cisim ve Yüzey Dalgaları

Depremler ve diğer doğal yer hareketleri sonucunda ya da nükleer patlatmalar gibi insan kaynaklı enerji boşalmaları sonucunda yer içinde sismik elastik dalgalar yayılır. Yayılan bu dalgaların özellikleri ve bu dalgaların yer içi ile ilgili içerdikleri bilgiler sismoloji biliminin başlıca inceleme alanları olmuştur. Sismologların en baştan beri ortak amaçları bu yer hareketlerini kaydedebilmek ve elde ettikleri dalga biçimlerini analiz ederek yer ile ilgili bilinmeyenleri aydınlatmak olmuştur. Yapılan araştırmalar, sismik dalgaların birbirlerine benzer veya farklı özellikler taşıyan belli şekillerde oluşmakta olduğunu göstermiştir.

Cisim dalgaları (body waves), yerin içinde yayılan dalgalardır. Bunlardan P dalgaları (P waves), istasyonlara ilk gelen en hızlı dalgalar olduğundan birincil (primary) dalgalar olarak bilinirler. Sismogramlarda bu dalgalar S dalgalarına göre daha düşük genlikli ve küçük periyotlu olarak gözlenirler. Parçacık hareketi dalga yayılım yönüne paraleldir.

S dalgaları (secondary waves) ya da kesme dalgaları, sismogramlarda P dalgalarına göre büyük genlikli düşük frekanslı dalgalar olarak görülürler. Parçacık hareketi dalga yayılım yönüne diktir. Bu dalgalar yatay ve düşey bileşene sahiptirler.

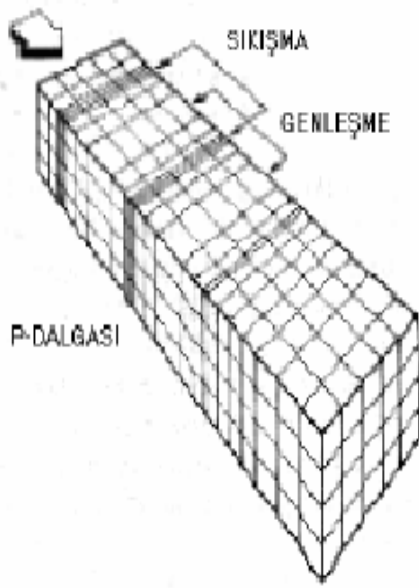
SH dalgaları sadece yatay yönünde yer değiştirmelerin olduğu S tipi dalgalardır. SV dalgalarında yer değiştirme düşey düzlemedir.

Yüzey dalgaları cisim dalgalarına oranla daha düşük frekanslı, büyük periyotlu ve büyük genlikli ve daha yavaş dalgalardır. Yüzeğe yakın bölgelerde yayılırlar. Rayleigh dalgaları, serbest yüzeylerde oluşurlar. Rayleigh dalgalarının genliği Love dalgalarından daha büyük fakat hızları daha azdır. Rayleigh dalgalarında parçacık hareketi eliptik bir yörüngededir.

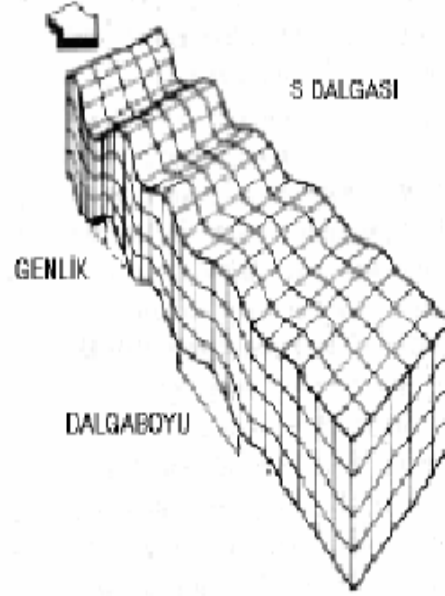
Love Dalgaları büyük genlikli SH dalgaları olarak tanımlanabilir. Düşük hız yapısındaki tabakalı ortamlarda yüzeyde oluşurlar. Love dalgalarının genlikleri düşey düzlemde derinlikle üstel olarak azalır. Yukarıda konu edilen sismik dalgaların hareket karakterlerinin şekilsel gösterimi şekil 2.1.'de verilmektedir.

Deprem dalgasının özelliklerinden mühendislik açısından en önemlileri; enerji, en büyük genlik, süre, dalga sayısı ve titreşim periyodudur. Dalga sayısı bir dalga biçiminin tekrar sayısı olarak basitçe tanımlanabilir.

Dalga içeriğinde hakim (baskın olan, etkili periyot) durumda olan periyoda hakim (baskın, etkili) periyot denir. Dalga içerisinde yineleme sayısı en çok olan periyoda da hakim periyot denmektedir.



a)



b)



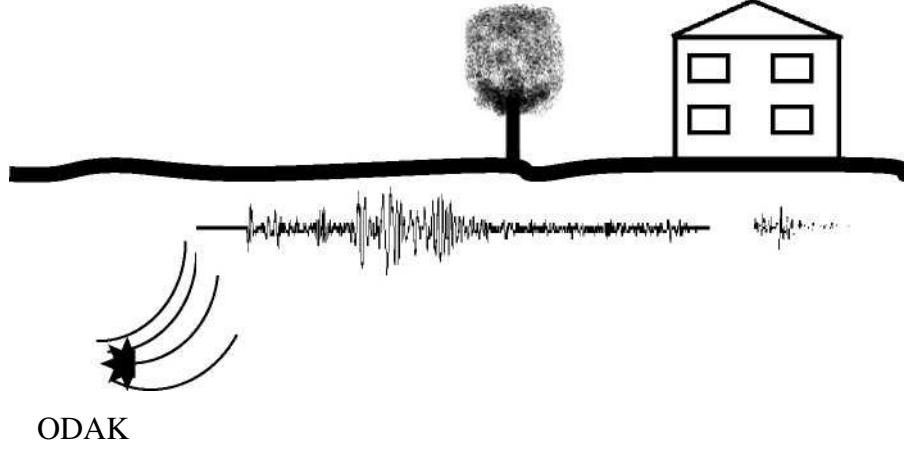
c)



d)

Şekil 2.1. Yatay düzlemde yayılan P dalgasının (a), S dalgasının (b), L dalgasının (c) ve R dalgasının (d) şekilsel gösterimi

Deprem dalgaları, oluştukları odaktan yayılırken ortamın jeofiziksel özelliklerinden etkilenir, frekans içerikleri değişikliğe uğrar (Şekil 2.2.). Etki ettikleri bölgelerde bulundukları bölgenin hakim titreşim periyodu deprem dalgalarını etkiler. Belli frekansdaki titreşimlerin genlikleri artarak kaydedilen dalga formuna etki eder, bazı frekansların genlikleri ise soğrulur.



Şekil 2.2. Odaktan yayılan dalgaların, yayıldıkları ortamın ve etkidikleri bölgenin fiziksel özelliklerinden etkilenecek, dalga karakterlerinin değişimi

Çok küçük (mikro) titreşimler ya da mikroseismler yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir ve genellikle sismik kayıtlarında gürültü olarak isimlendirilirler. Genellikle mikroseismlerin uzun periyotlu (<2 sn) salınımları bulunmaktadır.

Oluşan doğal yer hareketlerinden, depremlerden, nükleer patlatmalardan ya da insan kaynaklı diğer patlatma veya sismik enerji boşalımı ile sonuçlanacak etkinliklerden sonra yeryüzünde ve yer içinde sismik dalgalar kendi özelliklerini koruyarak bazen de sismik özellikleri değişimler göstererek yayılırlar.

2.2. Mikrotremor ve Özellikleri

Mikrotremor, farklı kaynaklardan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Bu mikro sarsıntıların kaynağı da çeşitlilik gösterir. Yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, jeotermal aktiviteler, yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, rüzgar ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler ve diğer bazı insan kaynaklı etkiler). Bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Bu titreşimlerin genlikleri 0.1 mikron ile 1 mikron, periyotları ise 0.05 saniye ve 2 saniye arasında değişir (Kanai ve Tanaka 1954; 1961).

Frekans ve genlik içeriklerine göre süreklilik gösteren bu titreşimler sismik gürültüler olarak da adlandırılabilir.

Mikrotremor çalışmaları, sismoloji bilimi ile paralel olarak 1900'lü yılların başından beri özellikle Japonya'da yapılmaktadır. 1960 yılından sonra sismolojideki öneminden dolayı gelişmiştir (Alçık vd 1995). Mikrotremor çalışmaları ile yerin dinamik özelliklerinin incelenmesine Kanai ve arkadaşları öncülük etmişlerdir. Kanai(1983)'e göre farklı yer yapılı bölgelerde, yerin doğal salınım özellikleri de kesinlikle farklılık gösterilmektedir.

2.2.1. Mikrotremor dalgalarının kökeni

Yeryüzünde çok küçük salınımlar olarak nitelendirebileceğimiz mikrotremorların yüzey dalgaları mı yoksa cisim dalgaları mı olduğu hakkında çeşitli araştırmacıların değişik görüşleri bulunmaktadır. Genel olarak mikro depremler ve diğer bazı derin kaynaklardan oluşan salınımların karakterleri cisim dalgaları ile ilişkilendirilirken; rüzgar ve insan kaynaklı diğer sığ gürültüler ise yüzey dalgaları yaklaşımı ile değerlendirilirler. Kanai(1983)'e göre mikro salınımların kaynağını yer içinde ilerleyerek tekrarlı yansımalar yapan S dalgaları oluşturmaktadır. Nakamura ise mikrotremorların karakterlerinin Rayleigh dalga türü ile ilişkili olduğu görüşündedirler. Aki (1993) ise, mikrotremorları, yüzey dalgalarından olan Love dalgaları ile ilişkilendirmiştir.

2.2.2. Mikrotremorların periyot dağılımları

Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalışmalarda yer yapısının basit ve tek tabakalı olduğu durumlarda mikrotremor verilerinin spektrumunda, 0.1 sn ile 0.6 sn arasında keskin bir şekilde doruk (pik, tepe) oluşumu görüldüğünü açıklamışlardır.

Örtü tabakasının olmadığı ya da çok az olduğu yerlerde, örneğin dağlık bir bölgede mikrotremorların periyotları 0.1 - 0.2 sn'lerde doruklar vermektedir. Akarsu kaynaklı yerlerde ise 0.2 - 0.4 saniyelerde pikler gözlenmektedir.

Alüvyonal yerlerde ise Kanai (1961), Japonya'da 0.4 - 0.8 sn civarında düzgün dağılımı olmayan birden fazla pik içeren spektrumlar gözlemiştir.

Mikrotremorlar genellikle kalın ve yumuşak örtü tabakalı yerlerde eğri düz bir şekil alırken 0.05 - 0.1'den 1- 2 saniyeye kadar bir dağılım göstermektedir.

2.2.3. Mikrotremorların genliklerinin zamana göre dağılımları

Mikrotremor ölçümlerinin genlikleri büyük ölçüde kayıt noktası etrafındaki aktivitelerin titreşimleri ile ilişkili olduğundan, gündüz saatlerinde alınan ölçümlerin genlikleri gece alınanlara oranla daha yüksek değerlerde olmaktadır.

Çeşitli bölgelerde gece ve gündüz saatleri boyunca tekrarlı olarak alınan kayıtlar göstermiştir ki gündüz saatlerindeki genlikler daha büyük değerler ve şehir içlerindeki genlikler kırsal alanlardaki genliklere oranla daha büyük değerler almaktadır. Bununla ilgili olarak Kanai Japonya'da 30 noktada aldığı kayıtlar ile, aşağıda verilen ampirik bir formül tanımlamıştır.

$$\text{Gece} = 0.3 * (\text{Gündüz})^{1.5}$$

2.2.4. Yeraltında alınan mikrotremor kayıtları

Mikrotremor verilerini, kuyu için geliştirilmiş sismometrelerle yerin değişik derinliklerinde almak olanaklıdır. Bu amaçla bir çok çalışmada kuyu içi sismometreleri kullanılarak araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların öncüsü olarak Kanai yerin farklı derinliklerinde ve yüzeyinde aldığı mikrotremor verilerini inceleyerek verilerin periyot dağılım eğrilerinin farklı derinliklerde farklı dağılımlarda olduğunu göstermiştir. Sonuçlarını, kuyu logları ile karşılaştırarak yerin ardanma özellikleri ile mikrotremor verilerini ilişkilendirmeye çalışmıştır. Aynı zamanda deniz tabanı ile karada alınan mikrotremor verileri de uyumluluk içerisindedir. Bu da mikrotremorların geniş kullanım alanlarında denenebileceğini göstermektedir.

2.2.5. Mikrotremor verilerinin kullanım amaçları

Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde yerin doğal gürültüsünü oluştururlar. Farklı yer koşullarına ait yerin doğal gürültüsü de farklı olacaktır. Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir.

Yerin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde yerin davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir. Bu görüşü ilk savunan ve uygulamasını yapan, yeri dört ana gruba

ayırarak bu sınıflamanın Japon bina yönetmeliğinde kullanılmasını sağlayan araştırmacılar Kanai ve arkadaşları olmuştur (Kanai vd. 1961).

Mikrotremor verilerinden ve kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen genlik spektrumlarına bakıldığı zaman spektrumların benzerlik gösterdiği görülür. Deprem kayıtlarına ve mikrotremor kayıtlarına bakıldığında görülen farklılık ise genellikle genlik değerlerinde gözlenirken, etkin frekansların çok fazla farklılık göstermediği görölmektedir. (Kanai ve Tanaka 1965).

Bu kavramdan yola çıkılarak basit homojen yatay tabakalı ortam kabulü yapılarak; yer etkin periyodunun, doğrudan mikrotremor ölçümleri ile belirlenerek bölgede kuvvetli yer hareketi verisi olmaması durumunda da saptanması olanaklı olmaktadır.

Mikrotremor aygıtı ile çeşitli bölgelerde ölçümler yapılarak yer etkin periyodu ve bir yaklaşım olarak etkin periyotdaki büyütme katsayısı gibi parametreler bulunabilir ve bu veriler ışığında bölgesel olarak parametrelerin değişimi saptanarak pratik sınıflandırmalar yapılabilir.

Yer büyütme katsayısı hesaplamalarında, spektral genlikler (Kobayashi vd. 1986), referans noktasına göre görecel spektral oranlar (Kagami vd. 1986) veya yatay bileşen spektrum değerlerinin düşey bileşen spektrum değerlerine oranı Nakamura, yöntemleri uygulanabilir.

Deprem sırasında oluşan büyütmeleme en yakın değeri daha doğru yaklaşımla veren yöntemin Nakamura yöntemi olduğu yayınlanan birçok yabancı kaynakta belirtilmiştir. Fakat temelde kullanılan üç yöntemin, belirli kabuller içerdiiğinden çeşitli eksiklikleri bulunmaktadır. Temelde yöntemler, yerin homojen yatay tabakalardan oluştuğunu kabul etmiş, diğer iki ve üç boyutlu etkileri hesaplamalara katmamışlardır.

Kanai, mikrotremorları en büyük periyot ile ortalama periyot ve en büyük genlik ile etkili periyot ilişkileri ağıısından değerlendirerek bir sınıflamaya gitmiştir. Bu sınıflamaya göre yeri dört ana gruba ayırmıştır (Kanai ve Tanaka 1961).

1. Grup: Tersiyer ya da daha yaşlı sert, kumlu, çakıllı birimlerden oluşmaktadır
2. Grup: Pleistoseneye ya da çakıllı alüvyona ait kumlu sert kil ve milden oluşan 5 m yada daha kalın tortullardan oluşmaktadır.
3. Grup: 5 m ya da daha kalın alüvyondan oluşmaktadır.
4. Grup: 30 m ya da daha kalın delta tortullarından ya da benzeri birikimlerden oluşan yumuşak birimlerden oluşmaktadır.

Yere ait bu fiziksel özelliklerin saptanması ile; daha iyi tanınan bir yer üzerine yerin yapısına uygun daha doğru, sağlam ve daha dayanıklı yapılar yapmak mümkün olacaktır.

Mikrotremor çalışmalarından elde edilecek sonuçlar, mikrobölgelendirme çalışmalarında, yapı dizaynında ve inşaa edilmesinde, şehir planlama, yer seçimi, şehircilik çalışmalarında, deprem senaryoları çalışmalarında, sismik risk analizi gibi birçok çalışmada kullanılabilir.

Yerin özellikleri saptandıktan sonra bu özellikler kesinlikle yapı dizaynına katılmalı, alt yapı ve üzerine yapılacak üstyapı ilişkileri hiçbir proje safhasında gözardı edilmemelidir. Etkin titreşim periyodu saptanan yer üzerine yapılacak olan yapının da, kendisine has bir doğal periyodu olacaktır. Yerin etkin periyodunun saptanması kadar üstyapının da periyodunun saptanması önemlidir. Yapılaşmada yerin ve yapının periyotlarının aynı olmamasına dikkat edilmelidir. Zira, bu iki periyodun uyuşması durumunda rezonans ortaya çıkabilir ve aslında sağlam ve ayrı ayrı uygun olan iki faktör, yer ve yapı, olumsuz yönde etkilenebilir. Bu olaya ülkemizden bir örnek verecek olursak, 28 Mart 1970 yılında Gediz depremi, Bursa'da Tofaş fabrikasında etkili olmuş ve yıkıma neden olmuştur. Daha sonra yapılan araştırmalarla fabrikanın üzerine kurulduğu yerin ve üzerindeki yapıların doğal periyotlarının uyduğu saptanmıştır (Gül, 1972).

2.3. Mikrobölgelendirme

Yaşanılan deneyimler ve yapılan araştırmalar göstermiştir ki depremin olduğu yerin yeryüzüne izdüşümüne aynı uzaklıkta olan, farklı yer yapısına sahip ayrı yerlerde deprem etkileri (hız, ivme, genişleme gibi), farklılıklar göstermektedir. Bu farklı etkilerinin gözlenmesinde, deprem odak özelliklerinin, depremin büyüklüğünün, oluşum mekanizmasının, deprem dalgalarının yayılım yönünün, depremin süresinin ve deprem dalgalarının frekans içeriğinin etkisi ile birlikte bölgesel olarak yerin, salınım periyodu, geometrik özellikleri, esneklik özellikleri, su içeriği gibi bölgesel etkilerin de rolü büyüktür. Yeni kurulacak kentlerde endüstri bölgelerinde ve yerin sismik durumunun hayati önem taşıdığı bütün yapılaşma bölgelerinde yerin statik ve özellikle dinamik karakterinin tanımlanması zorunludur.

Yer hareketi ve bu hareketin jeolojik yapıyla ilişkilerini değerlendirmek amacıyla birçok mikrobölgelendirme çalışmaları diğer ülkelerde yapılırken ülkemizde ise maalesef çok fazla sayıda mühendislik amaçlı mikrobölgelendirme çalışması yapılmamıştır. (Alçık vd, 1995)

Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen parametreler tabii ki mikrobölgelendirme çalışmaları için tek başına yeterli değildir. Bu çalışmanın yanında diğer bazı yere yönelik nitelik ve nicelikler de araştırılmalıdır. Çalışılan bölgede, jeolojik durum, aktif ve

aktif olmayan faylar, dinamik ve statik özellikler, sismisite, heyelan durumu, topoğrafya, yeraltı suyu durumu, sıvılaşma gibi yer özellikleri ayrıntılı biçimde incelenerek mikrobölgelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Bu noktada bunlara da kısaca değinilebilir. Aşağıda anlatılacak yerin bölgesel özellikleri ile ilgili değerlendirmeler bölgesel olarak yerin deprem hasarlarını arttırıcı özellik göstermesindeki başlıca etkenlerdir. Aşağıda değinilen konu başlıkları Gül (1972)'den alınmıştır.

2.3.1. Yeraltı suyu

Yeraltı suyunun varlığı ve derinliği ile yeraltı suyunun etkileşimde olduğu jeolojik birimlerin özelliklerine göre, deprem ve benzeri yer hareketlerinin etkileri büyütülebilir. Yapılan araştırmalarda, yeraltı suyu içeren, çakıllı ve kumlu birimlerde deprem etkileri daha fazla görülmektedir.

2.3.2. Jeolojik birimlerde farklı zonlanmalar

Jeolojik ve fiziksel nitelikleri farklı olan birimlerin, aynı bölgede farklı dizilimleri deprem etkilerinin bölgesel olarak birbirinden ayrılan farklı etkilerle gözlenmesini sağlar. Bu olayın bir örneği Meksika 1957 depreminden sonra bölgede gözlenmiştir. Bölgede yumuşak ve kalın dolgular üzerinde daha şiddetli etkiler saptanmıştır. Meksika şehrinde 3.5 km'lik bir alan içerisinde yer ivmesinin 10 ile 100 gal arasında değiştiği belirlenmiştir. Ülkemizde yaşanan depremlere de bakıldığı zaman jeolojik ve fiziksel özellikleri farklı yerlerdeki deprem hasarlarının da farklılıklar gösterdiği saptanabilir.

2.3.3. Topoğrafya

Yüzeydeki örtü tabakanın altındaki sağlam yer topoğrafyasının da depremler sırasında oluşacak hasarlara önemli etkisi vardır. Sağlam yer yapısındaki kabarık yapı, karmaşık kırılma ve yansımaları neden olarak bu bölgelerde enerji birikimine yol açmaktadır. Örtü tabaka altındaki yer yapısının yüzey titreşimlerine olan etkileri de geçmiş birçok deneyimden saptanmıştır. Geçmişte oluşan bazı büyük depremlerin oluşturduğu hasarların, bölgede düzensiz bir biçimde yayılmasında sağlam yer topoğrafyasının yapısının etkili olduğu belirlenmiştir.

Yine son yıllarda yapılan bazı araştırmalara göre depremlerinin olduğu bölgelerde dağların ve diğer bazı yer şekillerinin dizilişinin ve yapıların da bölgede oluşan deprem

hasarlarında büyük etkisi olduğu belirlenmiştir. Örneğin, deprem dalgasının geldiği bölgede; dalganın geliş yönüne göre çanak şeklinde içe doğru bükük veya dışa doğru tümsek yapıda bir dağ ya da dağ sırası, çukur aynaya veya tümsek aynaya benzer bir davranışla deprem dalgasını odaklama veya yansıma ile şekillendirebilmektedir. Bu etki ile deprem dalgaları yerel olarak çok farklı etkilere neden olurlar. Bu tip unsurlar da mikrobölgeleme çalışmalarında mutlaka dikkate alınmalıdır.

2.3.4. Heyelan durumu

Depremi etkilediği bölgenin heyelan durumu incelenmelidir. Deprem sırasında heyelan potansiyeli olan bir alan için deprem, tetikleyici bir faktör olabilir ve heyelan kütleleri deprem hasarlarını etkileyebilir. Heyelan potansiyeli olan bir bölgede profil boyunca mikrotremor kayıtları alınarak örtü tabakanın şekillenmesi modellenerek, kayma yüzeyi tesbitinde diğer jeofizik yöntemlerle birlikte yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilir.

2.3.5. Faylar

Mikrobölgeleme yapılacak bölgede yer alan fayların aktiviteleri, yönleri, derinlikleri, yerleri bilinirse projelendirme işleri daha isabetli yapılacaktır. Aktif faylı bölgeler deprem sırasında içinde buldukları araziye deformasyon özelliği kazandırabilmekte, dolaylı veya dolaysız hasar yapabilmektedir (Gül, 1972).

2.3.6. Sıvılaşma

Genellikle çakıllı ve kumlu birimlerde gözlenen sıvılaşma olayı ile deprem hasarları artacağından; çalışılan bölgenin sıvılaşma potansiyeli ayrıntılı biçimde incelenmelidir. Sıvılaşma olayının incelenmesinde kullanılacak mümkün olan tüm yer fiziksel parametreleri bulunup hesaplanmalıdır. Yaşanan deprem olaylarından sonra sıvılaşma gözlenen ve gözlenmeyen bölgelerdeki deprem etkilerinin oldukça farklı olarak gözlenmesi mikrobölgeleme çalışmalarında sıvılaşma incelemelerinin de ne kadar gerekli olduğunu açıklamaktadır.

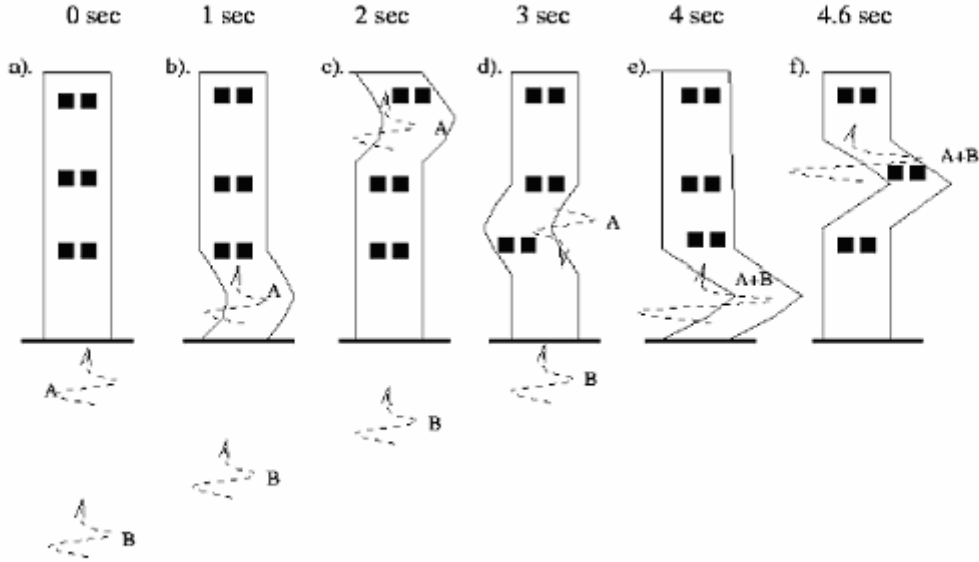
2.3.7. Sismik özellikler

Mikrobölgeleme çalışmaları için çalışılan bölgeye ait geçmiş bütün veriler derlenmeli ve analiz edildikten sonra bölgeleme çalışmalarında bölgenin depremselliği ve sismik riski ile ilgili bilgilere yer verilmelidir.

Çalışılan bölgenin sismik özellikleri mutlaka mikrobölgeleme çalışmalarına katılmalıdır. Bölgenin elastik parametreleri, özellikle sismik kesme dalga hızı ve etkin periyodu belirlenmelidir. Yapı inşaa edilecek yerlerde yerin ve yerin ürettiği sismik aktivitelerin özellikleri ne kadar iyi tanınırsa ve yapının maruz kalacağı sismik koşullar yapı tasarımına ne oranda yansıtılırsa yapının ve içerisinde yaşayan insanların ömrü o kadar uzun olur. Şekil 2.3.'de bir binanın sismik rezonansını simgeleyen şekil görülmektedir. Şekilde A ve B genlikli salınımlar binaya etki ettikten bir süre sonra salınımlar üst üste gelerek rezonans oluşturmaktadır.

Sismik olarak aktif bölgelerde kuvvetli yer hareketi (KYH) verileri ve yardımcı olarak mikrotremor verileri kullanılabilirken, sismik olarak daha az aktif ve yeterli miktarda KYH verisi olmayan inceleme alanlarında mutlaka mikrotremor verilerinden yararlanılarak yerin fiziksel karakteri belirlenmelidir.

Yukarıdaki etkenler ayrı ayrı veya birleşerek yüzey titreşimlerini etkileyecektir. Bu nedenle mikrotremor yöntemi kullanılarak yapılacak modelleme çalışmalarında bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

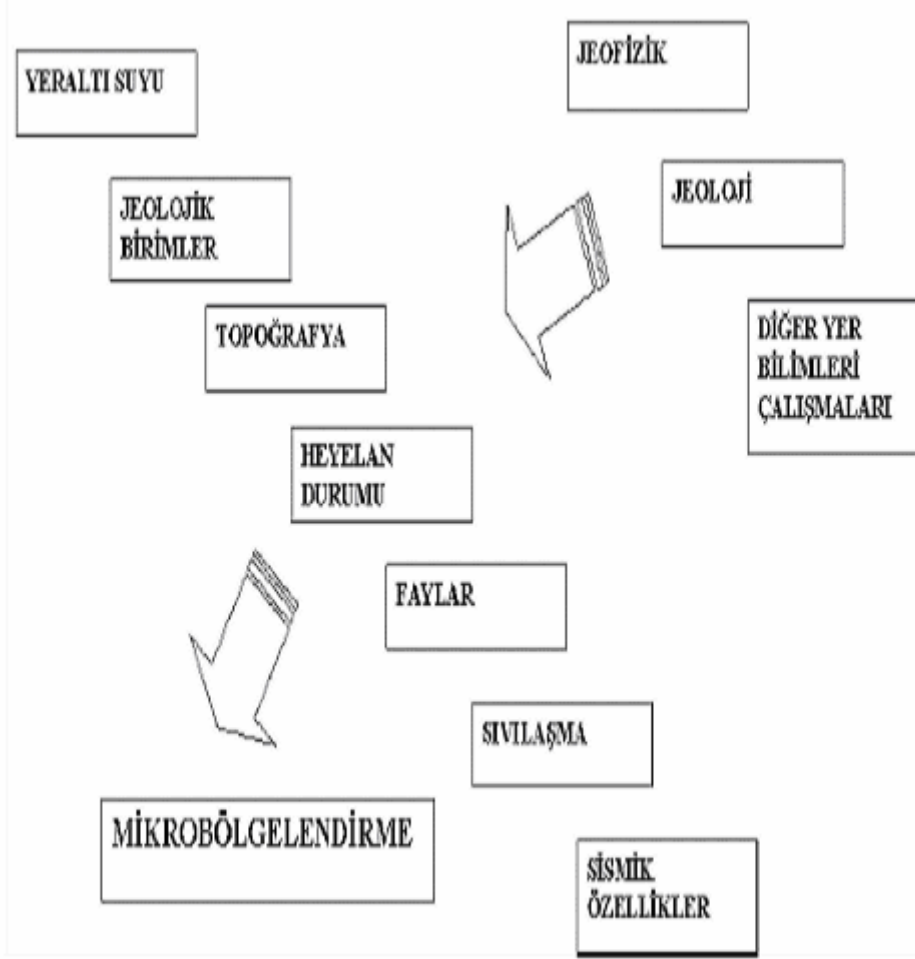


Şekil 2.3. Binanın üzerinde bulunduğu yerdeki salınımlar karşındaki sismik rezonansı dalgasının (d) şekilsel gösterimi

Mikrobölgelendirme yapılacak alanlarda yukarıda bahsedilen özellikler ayrıntılı bir biçimde incelenir ve sonuçları ilgili tüm mühendislik disiplinleri tarafından irdelenirse ve bu sonuçlardan yararlanılarak önlemler alınırsa inceleme alanı için depreme karşı en büyük önlem alınmış olur.

Mikrobölgeleme çalışmaları için toplanan ve değerlendirilen verilerin bilimsel gerçekliğinden emin olunmalı, veri toplama ve veri analiz aşamalarında bilimsel ve modern teknoloji tabanlı çalışmalar yapılmasına dikkat edilmelidir. Toplanan verilerin koordinatları ve hangi alana ait oldukları düzenli bir şekilde saptanmalı ve arşiv bilgisi olabilecek nitelikte ve kolay anlaşılır bir gösterimle haritaya aktarılmalıdır. Bulunan parametrelerin gösterimi ve veri sunumu dünya normlarına uygun olarak yapılmalıdır.

Elde edilen sonuçlar, derlenerek harita üzerine işlendikten sonra, bölgede daha sonra yapılacak birçok çalışma için rehber niteliğinde olacaktır. Mikrobölgeleme çalışmaları yeni kurulacak şehirlerin planlamasında olduğu kadar, afetten sonra yeniden yapılanma ve onarılma çalışmaları için de kullanılabilir. Disiplinler arası ortak, planlı ve programlı bir çalışma gerektiren mikrobölgelendirme çalışmalarının şematik gösterimi Şekil 2.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Mikrobölgeleme çalışmaları

Heyelan bölgelerinde yer kaymalarını araştırmak amacıyla 1999 yılında M.R.Gallipoli vd. tarafından İtalya'da Güney Apeninlerde heyelan bölgesi kayma yüzeyi çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Mikrotremor Yöntemi birlikte kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 5 adet mikrotremor ölçüsü alınmıştır. Bunlardan dört tanesi kayan kütle üzerinde diğer bir tanesi de kayma bölgesi dışında alınmıştır. Analiz yöntemi olarak, H/V Nakamura yöntemi uygulanmıştır. Hesaplanan büyütme spektrumları kayma bölgesi içine düşen istasyonlarda, 2 ile 4 Hz arasında pikler (tepe) vermekte iken kayma bölgesinin dışında kalan istasyonda spektrum düz bir grafik sergilemektedir. Buradan şöyle bir sonuç çıkabilir; istasyonlardan sağlam yer yapısına sahip ve olasılıkla kayan ve büyütme oranları daha yüksek olan istasyon, diğer istasyonların buldukları yerden farklı bir litolojiyi göstermektedir.

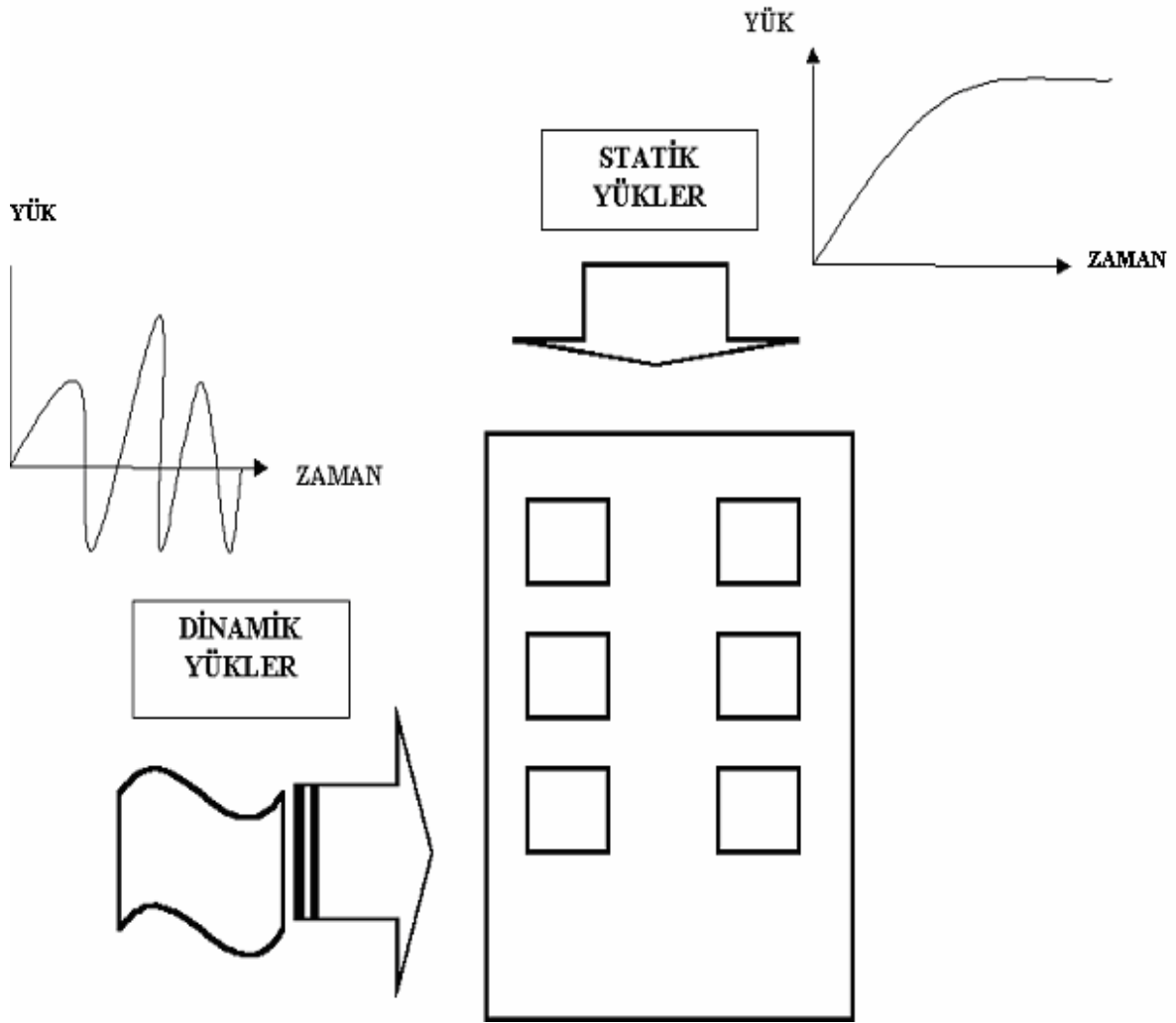
Örnekten de anlaşılacağı gibi belli bir profil boyunca mikrotremor ölçüleri alınarak Nakamura yöntemi uygulandığında yer altındaki incelenen hedef kütlelerin durumları hakkındaki bilgileri elde etmek mümkündür (Gallipoli vd. 2000).

Olası bir fayın geçtiği yerin saptanması ya da litoloji farklılıkların anlaşılabilmesi için de bir profil boyunca ölçümler alınarak sağlam yer topoğrafyası ve ana kaya sınırları hakkında yaklaşımlar yapılabilir. Bu amaçla yapılan mikrotremor çalışmaları her ne kadar birincil yöntem olmasa dahi yardımcı bir jeofizik uygulama olarak kullanılabilir.

2.4. Deprem İvmesi

Deprem hasarlarını etkileyen en önemli dinamik parametrelerden birisi depremin ivmesidir. Deprem dalgaları oluştukları kaynağa ait parametrelerin özelliklerini taşıdığı gibi, yayılım yönlerinde kat ettikleri ortamların yapısal, jeolojik ve fiziksel özelliklerinden de etkilenirler. Deprem dalgalarının yayılımı ve frekans, genlik gibi karakterleri oluşum koşulları ile birlikte yayıldıkları ortam tarafından da belirlenir. Depremlerin yapılar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, araştırılması ve depreme dayanıklı yapı tasarımlarında kullanılması amacıyla ve diğer sismolojik çalışmalar için, Türkiye'de ve dünyada ivme ölçer ağları ve sismoloji istasyonları sürekli veri ve analiz çalışmaları yapılmaktadır. Türkiye'de özellikle deprem riski taşıyan bölgelerinde, yeterli sayıda olmasa da, çok sayıda kuvvetli yer hareketi ölçer cihazları çalıştırmakta ve yer hareketlerine ait verileri elde etmektedir.

Depremler sırasında alınan kuvvetli yer hareketi verileri ile yerin salınım özellikleri ve yerin hangi miktarda ve hangi hızla salınımlar gerçekleştirdiği saptanabilir. Yerin binanın kütlesi üzerine yansıttığı kuvvetler ve yerdeğiştirme, ivme, hız gibi değişkenler kuvvetli yer hareketlerinin gözlenmesiyle araştırılabilir. Yapıların dizayn edilmesi aşamasında yapıların üzerine ve yere etkileyen statik kuvvetlerin yanı sıra özellikle yanal yükler de dikkate alınmalıdır (Şekil 2.5.). Depreme dayanıklı olarak dizayn edilecek binalarda, binanın yapılacağı yerde oluşabilecek maksimum yatay yer ivmesi değeri mutlaka saptanmalı ve dizayn parametreleri arasına alınmalıdır.

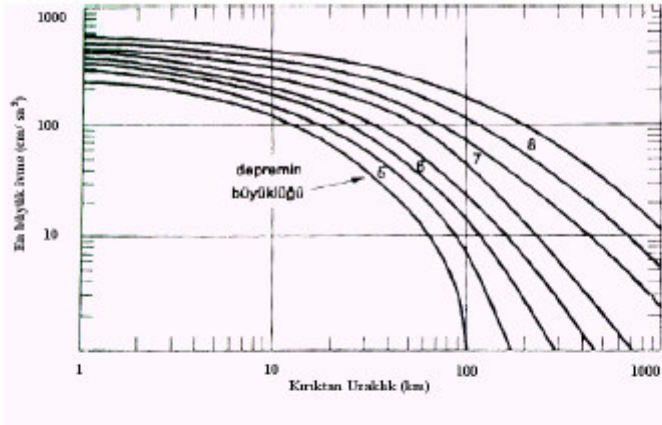


Şekil 2.5. Yapıya etki eden statik ve dinamik yüklerin zamana bağlı değişimlerinin şematik ifadesi

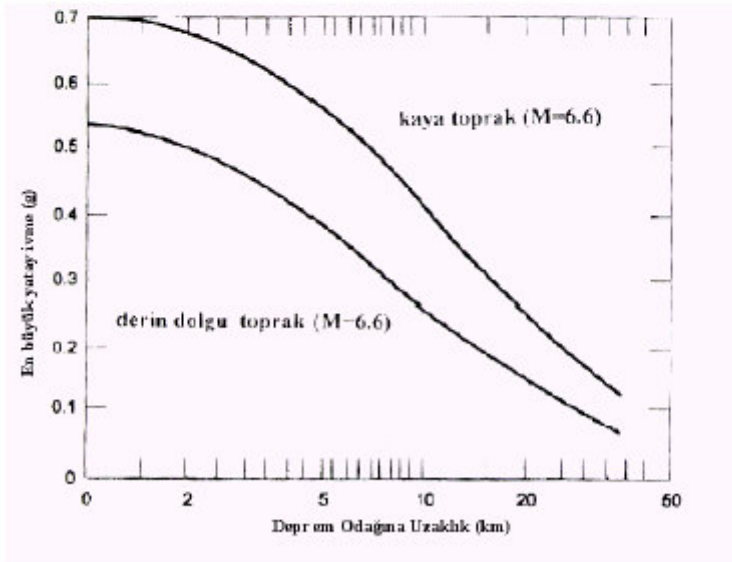
2.4.1. Deprem sırasında yer ivmesinin önemi

Depremler sırasında gözlem istasyonlarında bulunan kuvvetli yer hareketi ölçerlerle ölçülen ivme değerlerine bakıldığında, deprem episentrına aynı uzaklıkta bulunan yerlerde farklı ivme değerlerinin gözlenmesi ve ivmenin uzaklığa bağlı olarak düzenli bir artım ya da azalım göstermediği daha önce yapılan bir çok araştırmada belirtilmiştir. Yapı tasarım ve uygulamalarında deprem yüklerinin hesaplanması için ivme kayıtlarından mutlak ivme ve bağıl hız tepki spektrumları kullanılır, bu spektrumlardan yer baskın periyodu ve yer büyütmesi bulunabilir. Deprem kaydının tüm bileşenlerine özgü mutlak ivme spektrumu, o kayda özgü ivme değerine bölünerek boyutsuz ivme oranı bulunabilir. Yalnızca deprem odağına ait özelliklerin değil aynı zamanda bölgesel yer koşullarının özelliklerini de dikkate alarak tasarım ve uygulamalar yapılmasıyla deprem sakıncaları en aza indirilebilir.

Şekil 2.6. ve 2.7.'de depremin en büyük ivmesinin ve en büyük yatay ivmesinin odaktan uzaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir (Ercan 2001).



Şekil 2.6. En büyük ivmenin kırıktan uzaklığa göre değişimi



Şekil 2.7. En büyük yatay ivmenin odaktan uzaklığa göre değişimi

2.5. Yerin deprem sırasında sarsıntıyı büyütmesi

Oluşan bir depremden sonra deprem odağından yayılan dalga karakteri sabit olarak kalmaz. Deprem odağına ait olan ve deprem dalgası yayılım ortamına ait olan özelliklerce deprem dalgası denetlenir. Depremin oluşum mekanizması, eğer faylanma varsa fayın durumu, atım miktarı, yönü, iç merkez derinliği, depremin süresi gibi depremin odağına ait parametrelerin yanı sıra bu oluşum koşullarına bağlı olarak deprem dalgalarının yayılım yönü boyunca yer alan ortamların jeofizik özellikleri de deprem dalgalarının etkidikleri yerlerdeki karakteristik özelliklerini belirler.

Deprem dalgaları iç merkezden belirli bir açı ile ayrıldıktan sonra ilerledikleri ortamlar boyunca, çeşitli tabakalı veya tabakasız yer oluşum biçimlerini geçerler. Bu yayınımları sırasında, sismik prensipler çerçevesinde kırılmalar ve yansımalar uğrayarak yeryüzüne ulaşırlar. Kırılmalar ve yansımalar genellikle karmaşık olur. Tabakalar arasındaki empedans farklılıkları, dalgaların geliş açıları ve diğer katman özellikleri ile kırılmalar ve yansımalar belirlenir. Genellikle sert birimlerden görecel olarak daha yumuşak birimlere geçen dalgaların genlikleri büyür. Dolayısı ile ivme gibi özellikleri de büyür. Bu durum oluşan herhangi bir depremde gözlenebilir.

Genellikle yerleşim birimlerinin kurulduğu bölgeler doğrudan ana kaya ile ilişkili bölgeler değildir ve ana kaya üzerinde belli kalınlıkta bir altere zon veya örtü tabakası bulunan yerlerdedir. Ülkemizde önemli yerleşim birimleri, azımsanmayacak kadar kalın örtü tabakası bulunan bölgelerde yer almaktadır. Bolu, Düzce, Adapazarı, Bursa bu tür deprem büyütme riski olan yerler olarak sayılabilir.

2.6. Mikrotremor Verilerinin Analizinde Yaygın Olarak Kullanılan Yöntemler

Yer etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlar ampirik ya da teoriktir. İki yaklaşımın da avantajları ve dezavantajları vardır.

Teorik modelleme farklı ve önemli birtakım parametre analiz, hesap ve değerlendirmelerini içerir fakat gelişmiş hesap ve ayrıntılı jeoteknik veri gerektirir. Ampirik yaklaşımsa kuvvetli ya da kuvvetsiz yer hareketi kayıtlarına dayanır. Bu nedenle hakim sismik gürültülerin (mikrotremor) kullanımı önerilebilir. Düşük periyotlu sismik gürültüler mikrotremor, 2 saniyeden yüksek periyotlu gürültüler mikroseismler yer tepkisi tarifinde kullanılabilir (Lermo ve Garcia 1994).

Lermo ve Garcia (1994)'e göre, kısa periyotlarda yapmış oldukları çalışmalar mikrotremorların Rayleigh dalgalarından meydana geldiğini göstermiştir.

Uzun periyotlu mikrotremor çalışmaları site effect (yer etkisi) saptama amacı ile uzun yıllardır yerbilim ve deprem mühendisliği çalışmalarında incelenmektedir. Bu çalışmalar uzun periyot çalışmalarının kaba bir yaklaşımla kullanılabileceğini ve bu yolla geniş aralıklı bir yer sınıflamasının yapılabileceğini, ancak büyültme faktörü hesabının bilinmeyen kaynak etkisi gibi nedenlerden dolayı çok sağlıklı bulunamayacağını açıklamışlardır.

Lermo ve Garcia (1994) gibi özellikle kısa periyotlu mikrotremorlar üzerinde çalışan araştırmacılar yerin hakim titreşim periyodunun ve yumuşak yer yapısının büyütme derecesinin doğrudan hakim periyodun ve maksimum genliğin mikron cinsinden ölçülmesi ile saptanabileceğini açıklamışlardır.

Kaynağın belirsizliğinden dolayı, bu uygulamalarda belirli sıkıntıların olmasına rağmen birçok araştırmacı, mikrotremor yöntemini pratik, ucuz, hızlı ve kolay bir analiz yöntemi olarak kabul etmiştir.

Günümüzde mikrotremor analizleri için yaygın kabul gören 3 teknik kullanılmaktadır. Bu metodların ortak kabulü ise yer etkisinin elastik, yarısonsuz bir ortam üzerinde uzanan tek bir yumuşak tabakadan kaynaklandığı varsayımı, yani bir boyutlu (1B) bir yer modelidir. İki ve üç boyutlu (2B ve 3B) yer yapıları kuramsal olarak incelenmiştir.

Lermo ve Garcia (1994) çalışmasında bilinen üç yöntem uygulanarak, aralarında bölgesel yer etkileri araştırmalarına en uygun yaklaşımı veren yöntemler sınanmıştır. Çalışmada Nakamura'nın 1989 yılında yayınladığı çalışmaya da değinilerek yöntem açıklanmıştır. Lokal jeolojinin basit olduğu yerlerde Nakamura yönteminin en iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Benzer şekilde, (Lermo vd. 1994) Meksika'da yaptıkları spektral oranlar çalışmaları ile yer etkisi (yer hakim periyodu ve büyültme katsayısı) saptamalarının jeolojinin basit olduğu yerlerde iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

2.6.1. Spektral genlikler yöntemi

Yapılan birçok çalışmada mikrotremor ölçümlerinin yorumu doğrudan spektral genliklerin analizi ile yapılmaktadır. (Kanai ve Tanaka, 1954, Kobayashi 1986). Bu yaklaşımın ön kabülleri şöyledir:

1. Mikrotremorlar düşey olarak yayılan S dalgalarının düşey bileşenlerinden oluşmaktadır,
2. Mikrotremorların kaynak spektrumu beyaz gürültü olarak tanımlanmaktadır.

1992 yılında Gutierrez ve Singh' in yaptıkları çalışmada mikrotremor kayıtlarından elde edilen spektrumun ilgilendikleri frekans aralığında ana kayada düz bir grafik izlediğini gözlemlemişlerdir. Yersel transfer fonksiyonunu kestirmek için, yumuşak yer yapısında alınan

verinin doğrudan Fourier spektrumunu kullanmışlar ve referans istasyonunda ölçülen genlik düzeyine göre düzeltme yapmışlardır. Bu çalışmalarda Fourier Genlik Spektrumu yerine Fourier Güç Spektrumu da daha önce yapılan çalışmalar kullanılmıştır.

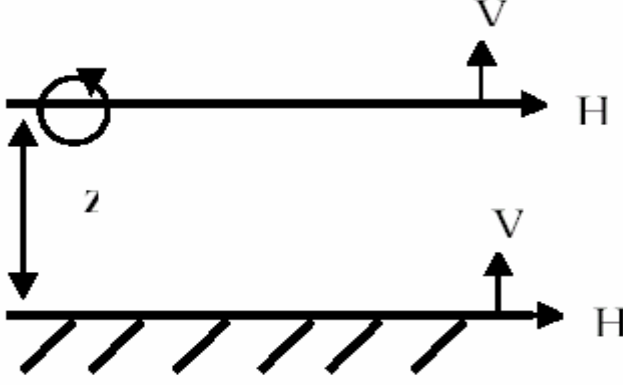
2.6.2. Referans istasyonuna göre spektral oranlar yöntemi

Kuvvetli ya da kuvvetsiz yer hareketi değerlendirme çalışmalarında, referans istasyonunda ve diğer istasyonlarda alınan kayıtlarda, ortak pencere tanımı yapılabilecek türden çalışmalarda, Referans İstasyonuna Göre Spektral Oranlar Yöntemi oldukça sık kullanılmaktadır. Genellikle sismogramlarda S dalgasının etkin olduğu kısımlar pencereleme işlemi ile çıkarılır ve Fourier Genlik spektrumları alınır. İstasyonda alınan veriden elde edilen spektrum ile referans istasyon için elde edilen spektrum oranlanarak istasyon ile referans istasyon arasındaki transfer fonksiyonu hesaplanmış olur.

Bu yöntemde referans istasyonda elde edilecek olan spektrumun düz olması gerekliliği yoktur, tam aksine referans istasyonda kaydedilecek hareketin yumuşak yer yapısı ile anakaya arasındaki ara yüzeye gelen hareketi temsil edebilecek şekilde olmasıdır. Bu yöntemde karşılaşılan en önemli sorun ise referans istasyon ile diğer istasyonlarda alınan kayıtlar için ortak zaman pencereleri tanımlamaktır.

2.6.3. Nakamura H/V Spektral Oranlar Yöntemi

Yer etkisinin belirlenmesi çalışmalarında yeni bir yaklaşım yöntemi de 1989 yılında Nakamura tarafından belirtilmiş ve yöntemin geçerliliği ile ilgili sayısal modellemeler 1994 yılında Lermo ve Chavez- Garcia tarafından yapılmıştır (Lermo ve Garcia 1994).



Şekil 2.8. Nakamura'nın mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerdiği basit model

Yöntem mikrotremorları, sonsuz ortamda üzerine uzanan tek tabakada yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamaya çalışmıştır (Şekil 2.8.). Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlanmaktadır. Bunlar, yüzeydeki hareketin yatay ve dikey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları ve üstteki yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve dikey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumlarıdır.

Nakamura mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir.

Aynı zamanda dikey yöndeki hareketlerin yatay tabaka tarafından büyütülmediği ve tabandaki harekete yüzeydeki bölgesel titreşimlerin etkisinin olmadığı kabulünü yapmaktadır (Lermo ve Garcia 1994).

Nakamura, yukarıdaki kabulleri yaptıktan sonra V_s yüzeydeki, V_B yüzey tabakanın tabanındaki hareketlerin dikey bileşenleri olmak üzere; mikrotremor hareketlerini frekansın bir fonksiyonu olarak şöyle tanımlar.

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_B(\omega)} \quad (1)$$

Deprem mühendisliğinde yer etkisi için tanımlanan yer etkisi, S_E tanımında kaynak etkisinin giderilmesi amacıyla yeni bir tanım yapılırsa ve bu yeni tanıma, S_M denilirse, karşımıza geliştirilmiş yer etkisi tanımı çıkmaktadır.

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad (2)$$

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{\frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}}{\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)}} \quad (3)$$

Burada ilgilenilen tüm frekanslar için Nakamura'nın kanıtladığı eşitlik (4) kullanılırsa;

$$\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} = 1 \quad (4)$$

$$\frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} = S_M(\omega) \quad (5)$$

(5) numaralı eşitliğin kullanılması ile yer etkisi, hareketin yüzeydeki yatay ve düşey bileşenleri cinsinden tanımlanmış olur.

Yukarıdaki tüm tanımlar Lermo ve Garcia tarafından 1994 yılında açıklanmış ve Meksika'da üç bölgede uygulanarak sayısal olarak doğrulanmıştır.

2.7. Yer Büyültmesi Çalışmaları

Yerin fiziksel ve jeolojik yapısının yer salınımını önemli ölçüde etkilenmesinden dolayı mühendislik yapılarının tasarım ve inşaa aşamalarında yerin bu özellikleri iyi incelenmelidir. Fakat yer materyalinin erozyon, farklı depolanma, tektonik ve yapısal şekillenme ve bozuşma gibi faktörlerden etkilenerek çok çeşitlilik göstermesi mikrozonlama çalışmalarını zorlaştırmaktadır.

Yer büyültmesi çalışmalarına özellikle Japonyalı ve Amerikalı bilim adamları katkı sağlamış ve genellikle birbirleri ile tutarlı ve paralel sonuçlar elde etmişlerdir. Japonya'da Kanai, Kurubayashi, Kawashima, Amerika'da Mohraz, Seed, Trifunac, Boore ve Aki bu çalışmalara genişlik katmışlardır (Aki 1993).

Genel bir kanı olarak her iki ekolde, 0.2 saniyeden uzun periyotlarda zemin karakteri taşıyan yerler, sağlam kaya karakteri taşıyan yerlere göre 2-3 kat büyütme gösterirlerken 0.2 saniyeden kısa periyotlarda bu ilişki tersine dönmektedir. Episantra olan uzaklığın 50 km'den fazla olduğu yerlerde yerel koşullar depremin ivmesine büyük ölçüde etki etmektedir. Yatay yer ivmesi, sert ana kayalarda en az, alüvyonlarda yüksek ve daha gevşek çamur benzeri yapılarda daha yüksek değerler alarak etkilenmektedir (Aki 1993). Episantra yakm bolgedeki ve belli bir uzaklıktaki yer etkilerinin farklı oluşunu, Aki (1993)'de anlatıldığına göre Sommerville ve Yoshimura (1990) yılında Moho süreksizliğinden güçlü yansımaların episantra 100 km yakın yerlerde yüksek genliklere yol açabileceğini savunmuşlardır, Joyner ve Boore (1988) yılında bu etkilerin kaynak yönü ve yayılım doğrultusunun birleşik etkilerinden oluşabileceğini belirtmiştir. (Aki 1993).

Aki(1993), istasyonlarda kaydedilen yerel depremlerden gelen P, S ve yüzey dalgalarından sonra gelen sürekli titreşimler (codalar) inceleyerek, coda dalgalarından elde edilen büyültme faktörleri ile S dalgalarından hesaplanan büyültme faktörleri arasında uyumluluk gözlemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Depremlerin, bir doğa olayı olarak algılanmaya başlandığı 1900'lü yılların başından günümüze kadar dünya genelinde birçok coğrafyada çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Özellikle büyük depremler yapılarda yıkımlara yol açmış ve çok sayıda can ve mal kaybı oluşmuştur. Ancak deprem araştırmaları yoğunlaşarak sürmüştür. Son yıllarda gelişen deprem zararlarının en aza indirgenmesi kavramı çerçevesinde kent planlamaları öncesi zeminlerin deprem duyarlıklarının belirlenmesi ve buna göre kat yükseklikleri, yerleşim planlaması yapılması, deprem güvenliği önceliğinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla deprem sırasında zemin davranışının düzeyi küçük titreşimler yoluyla ölçülebilmektedir. Kent alanı farklı zemin davranışına bağlı olarak bölgelere ayrılabilir. Böylece depreme en duyarlı bölgelere güvenli yerleşim sağlanabilmektedir. Tüm dünyada mikrobölgeleme adıyla sürdürülen bu çalışmalar yaygınlaşarak sürmektedir. Ülkemizde de uygulama örnekleri olan mikrobölgeleme çalışmalarından biri de Antakya'da gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada temel harita olarak kullanılan 1/5000 ölçekli imar plan haritaları Antakya Belediyesi'nden sağlanmıştır

Yerel zemin koşulları, temel olarak depremler sırasında sismik dalgaların özelliklerini etkiler. Gevşek yapılı zeminler, yer hareketinin belirli frekanslarda büyümesine ve hareketin süresinin uzamasına neden olduğundan deprem hasarı da büyümüş olur. Nehir ya da kıyı boyunca sıralanan alanlar düz alanlar olduğu için genellikle kalın kil, silt ve kum tabakalarından oluşur. Bir deprem sırasında gevşek yapılı zeminler yer hareketlerini büyütme eğilimi gösterirler.

Sismik dalgalar, üst yumuşak toprak tabakasında hapsolür ve çoklu yansımalar burada oluşur. Böylece, yer, belirli bir baskın periyottaki titreşimle şiddetle sarsılır. Bu periyod yerin baskın periyodu olarak adlandırılır ve yüzeydeki yapılar bu periyotta en yüksek oranda etkilenmiş olur. Zeminin yapısal koşullarına göre yer hareketindeki değişim, yerleşim yerlerinde sismik tehlikenin daha detaylı incelenmesi gereğini ortaya koyar. Ülkelerin tamamını tanımlamak için hazırlanmış olan sismik bölgeleme haritaları, çoğunlukla yerleşim yerlerinin farklı bölgelerdeki deprem tehlikesini yeterince tanımlayamaz. Bu nedenle yerleşim yerleri için mikro düzeyde bölgeleme yapmak zorunludur. Mikrobölgeleme, yer yapısal ve davranış özelliklerine göre bir alanı alt bölgelere ayırma işlemidir. Böylelikle yerleşim yerlerinde farklı lokasyonlarda sismik tehlike doğru şekilde tanımlanabilmektedir. Türkiye için hazırlanmış bir sismik bölgeleme haritası olmasına karşın, Antakya için şimdiye kadar bir mikrobölgeleme çalışması yapılmamıştır. Antakya, Doğu Anadolu Kırığı'nın deprem etkinliği en yüksek yerleşim yerlerinden biridir. Antakya'daki gevşek yapılı zeminlerde olası

depremlerin yüksek oranda etkili olma potansiyeli vardır. Antakya, alüvyon ve sedimanter birimlerden oluşmaktadır.

Mikrotremor ölçümleri, bir alanın dinamik özelliklerini saptamak ve mikrobölgeleme için kullanılmaktadır. Mikrotremor ölçümleri yardımıyla, bir alanda kaydedilen titreşimlerden baskın titreşim periyodu saptanabilmektedir. Doğal kaynaklı yöntemlerde, yerde oluşan ve kaynağı karmaşık olarak doğal ve endüstriyel faaliyetlerden sonuçlanan tüm sismik titreşimlerin ya da mikrotremorların kullanılması esastır. Mikrotremorlar, genlikleri 0.01~0.001 mm ve periyotları 0.01-2 saniye arasında değişen küçük titreşimlerdir. Mikrotremorların kaynakları doğal ya da yapay olabilmektedir. Rüzgar, küçük depremler, su dalgaları ya da endüstriyel gürültü, trafik, vs. mikrotremorları oluşturan başlıca kaynaklardır. mikrotremorların sınıflandırılması genellikle periyod özelliklerine göre yapılmaktadır. Bir saniyeden uzun periyotlu mikrotremorlar uzun periyotlu, bir saniyeden kısa periyotlu mikrotremorlar ise kısa periyotlu olarak adlandırılır. Mikrotremorlar ve ilgili yöntemler zemin S-dalga hızı yapısının ve sınıfının tahmininde ve ayrıca zemin baskın periyodunun ve zemin büyütmelerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Bulunacak zemin hakim periyotları ve zemin büyütmeleri zeminin küçük birim şekil değiştirmeler altındaki davranışı için geçerlidir. Mikrotremorların yukarıda belirtilen amaçlarla kullanımı için çeşitli jeofon/sismometre türleri ve sismik serim/ağ türleri kullanılmaktadır. S-dalgası ölçümlerinde, sığ araştırmalar için jeofonlar kullanılırken, derin araştırmalar için daha uzun periyotlu sismometreler kullanılmaktadır. Jeolojik ortamın doğal zemin baskın periyodu ve zemin büyütmesi ile ilgili veriler de bu çalışmalar sırasında elde edilebilir. S-dalgasının derinlikle değişimini mikrotremorlar kullanarak saptamaya yönelik bir çalışma yapılmayacaksa bu durumda zemin baskın periyodu için tek noktada (tek istasyon veya Nakamura yöntemi) veya iki farklı jeolojik ortamda aynı anda ölçüm yaparak (spektral oran yöntemi) zemin baskın periyodu ve zemin büyütme değerleri bulunabilir. Böylece alan baskın titreşime göre sınıflandırılır. Zeminin dinamik karakteristiklerini saptayan geleneksel yöntemlerden biri sondaj çalışmasıdır. Ancak bu yöntem, zaman ve parasal maliyeti çok yüksek bir yöntemdir. Ayrıca mikrobölgeleme çalışmalarına uygun değildir (Nakamura, 1989). Kuvvetli hareketin analizine dayalı yöntemler, alanın etkilerini belirlemek için daha uygun bir yöntemdir. Mikrotremor analizi zemin etkisi çalışmaları için en çok başvurulan yaklaşım durumundadır. Mikrotremor tekniklerinin kullanımı, Kanai ve Tanaka (1961) öncülüğünde yapıldığından beri bir alanın dinamik yanıt özelliklerinin değerlendirilmesi için popüler hale gelmiştir. Mikrotremor ölçümü, deprem yer hareketine yüzey jeolojisinin etkisini hesaplamak için çok bilinen bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem, düşük maliyetlidir ve depremselliğin düşük olduğu alanlarda da kullanılabilir. Bu yüzden mikrobölgeleme çalışmaları için etkin şekilde

kullanılabilmektedir. Nakamura (1989) tek bir istasyonda ölçülen mikrotremor kayıtlarının yatay ve düşey bileşenlerinin (H/V) Fourier spektrumlarının oranlarını kullanan bir yöntem geliştirmiştir. Son dönemde Nakamura (1989) yöntemi alanın dinamik davranışını hesaplamak için çok uygun bir yol olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemin teorik geçmişi hakkında eksiklikler ve mikrotremor dalgalarının kökeni ve kaynağı hakkında araştırmacılar arasında ayrılıklar vardır. Sedimanter yapılar altındaki yapının dinamik özelliklerini belirlemek için H/V tekniği ile hesaplamaya dayalı teknik, etkili şekilde uygulanabilmektedir. Mikrotremorların yorumlanması için araştırmacılar arasındaki karşı görüşlere rağmen, yöntemin alanın özelliklerini saptamaya yönelik başarısı genel olarak kabul görmektedir. Yüksek oranda hasar yaratan 1985 Mexico City depremiyle birlikte, sismik kaynaklardan uzakta bulunan sedimanter çökeller üzerine inşa edilmiş modern şehirlerin potansiyel deprem riskleri, pek çok bilim adamı tarafından daha yakından fark edilmiştir.

Antakya, nüfusu yaklaşık 200000 olan orta büyüklükte bir şehirdir. Yer büyütmesinden kaynaklanan hasar, belirli bir oranda beklenenden daha yüksek olabilir. Yüksek katlı yapılar ya da uzun köprüler, şehirdeki hasara en duyarlı yapılar olarak görülmektedir. Antakya’da farklı alanlarda yer büyütmesinin oluşturabileceği olası potansiyel tehlikeyi tanımlamak için bu mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Doğal periyod, büyütme faktörü, gibi zemin özellikleri, önemli yapıların inşası için temel oluşturmaktadır. Bu çalışmanın temel amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Antakya’da farklı yerlerde mikrotremor ölçümleri yapmak ve şehirdeki farklı alanlar için yerin baskın titreşim periyodunu belirlemek,
- Antakya için mikrotremor ölçülerine dayalı bir mikrobölgeleme haritası oluşturmak,
- Şehir genelinde deprem etkisini büyütebilecek zeminlerin ayrımını yapmak.

3.1. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma, farklı alanlarda mikrotremor ölçümleri kullanılarak Antakya’nın mikrobölgelemesine odaklanmıştır. Çalışma alanı, 35°30’ – 36°30’ K enlemleri ve 35°30’ - 36°30’ D boylamları arasındadır. Çalışma sırasında farklı alanların baskın titreşim periyodunu hesaplamak için Nakamura (1989)’a göre H/V spektrum analizi yapılmıştır. Mikrotremor analizi sonuçlarına dayalı olarak şehrin mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur.

3.2 Deprem Yer Hareketine Zemin Koşullarının Etkisi

Depremler sırasında yapılarda meydana gelen zarar, yer sarsıntısının büyüklüğü ve zemin koşullarının etkisiyle tanımlanır (Seed and Schnabel, 1972). Yumuşak sedimanların depremler sırasında yer hareketini büyüttüğü bilinmektedir. Bu nedenle sert zeminlere göre gevşek zeminlerde deprem zararı daha fazladır. Özellikle gevşek sedimanlar üzerinde kurulmuş olan modern şehirler, yer hareketlerinin büyütülmesi nedeniyle daha yüksek tehdit altındadır. 1985 yılındaki Mexico City’de meydana gelen deprem, gevşek zeminler üzerinde kurulu modern bir şehrin depremden ne denli zarar görebileceğine ilişkin çarpıcı bir örnek olmuştur. Bu depremde depremin odağı şehirden 350 km uzaklıkta olmasına karşın yumuşak kil dolgulu alanlar, yer hareketinin önemli oranda büyütme özelliği göstermesiyle şiddetli hasar meydana gelmiştir (Seed et al., 1988). Mexico City, sert zemin tabakaları üzerinde yerleşmiş kalın bir gevşek zemin tabakası olan bir alan üzerine kuruludur. Şehrin batı tarafı, eski bir göl yatağının kenarında yer almaktadır. Oysa şehrin doğu bölümü, eski göl yatağının üzerine depolanmış kil tabakalarından oluşmaktadır. Göl yatağının olduğu alanda, kil dolgulu zemin 40 – 90 m/s aralığında değişen çok düşük değerli kesme dalgası hızlarına sahiptir. Buna karşılık altta bulunan sert zemin, 500 m/s ve daha yüksek kesme dalgası hız değerleri göstermiştir (Seed et al., 1987). 1985 depremi sırasında sismik dalgalar, adeta gevşek zemin içinde hapsedilmiştir. Gevşek zemin tabakası, kesme dalgalarının yukarıya doğru yayılmasını kolaylaştırırken, sert zemin tabakası, bir yansıtıcı gibi davranarak yukarıya doğru yayılmaya çalışan dalgaları aşağıya doğru itmiştir. Gevşek zemin tabakası, kesme dalgalarının büyümesine yol açmıştır. Sonuç olarak, göl tabanı üzerine kurulmuş şehir bölgesinde yıkıcı hasar ortaya çıkmıştır. Buna karşılık şehrin güney batı bölümünde, yer hareketleri orta düzeyde kalmış ve yapılardaki hasar küçük olmuştur. Tepelik bölgelerde kaydedilen ivme değerleri, düşük genlikli olmuştur. Göl alanında ise uzun periyodlu yer hareketleri ve yüksek genlikli kayıtlar elde edilmiştir (Seed et al., 1987). Benzer durum, 1989 yılında Loma Prieta depreminde de gözlenmiştir (Benuska, 1990). Bu deprem sırasında da San Francisco ve Oakland şehirlerinde yer hareketinin San Francisco körfezi civarında bulunan kalın kil tabakası nedeniyle büyütülmesi nedeniyle şiddetli hasar oluşmuştur. Bu iki deprem sırasında meydana gelen zemin büyütmesi, deprem odağından uzakta olan gevşek zeminlerin, yüksek oranda etkilenimleri ile ilgili önemli örneklerdir. Ülkemizde de 1999 yılında meydana gelen büyük Marmara depremi sırasında deprem odağından uzakta olan Avcılar ilçesi en büyük hasarın oluştuğu yerlerden biri olmuştur.

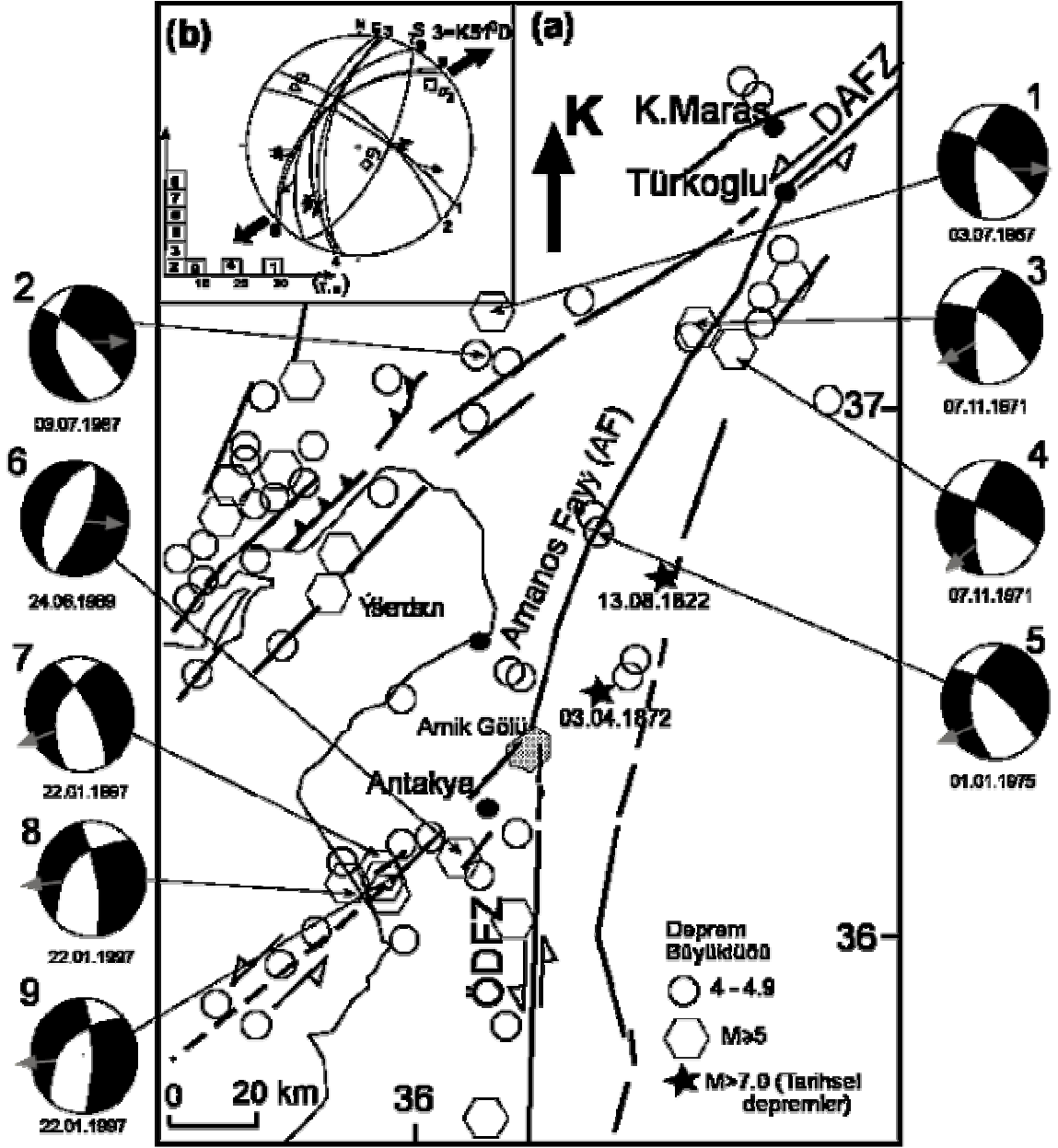
3.3. Antakya'nın Depremselliği ve Potansiyel Zemin Büyütmesi

Çalışma alanı, yaklaşık K-G yönlü Ölü deniz Fay Zon (ÖDFZ), GB'dan delen Kıbrıs Antakya Fayı ile KKD-GGB uzantılı Amanos (veya Karasu) Fayının birleştikleri ve dolayısıyla tektonik etkinliğin sürekliliğinin söz konusu olduğu bir alandır.

Amanos Fayı DAFZ'nu Türkoğlu (Kahramanmaraş) ile Antakya arasındaki güney uyumlu olarak bilir.

Yukarıda sözü edilen faylar sırasıyla Afrika/Arabistan, Anadolu/Afrika ve Arabistan/Anadolu levha sınırlarını Amik Ovasında üçlü eklem noktası meydana getirmektedir. (Över vd. 2004)

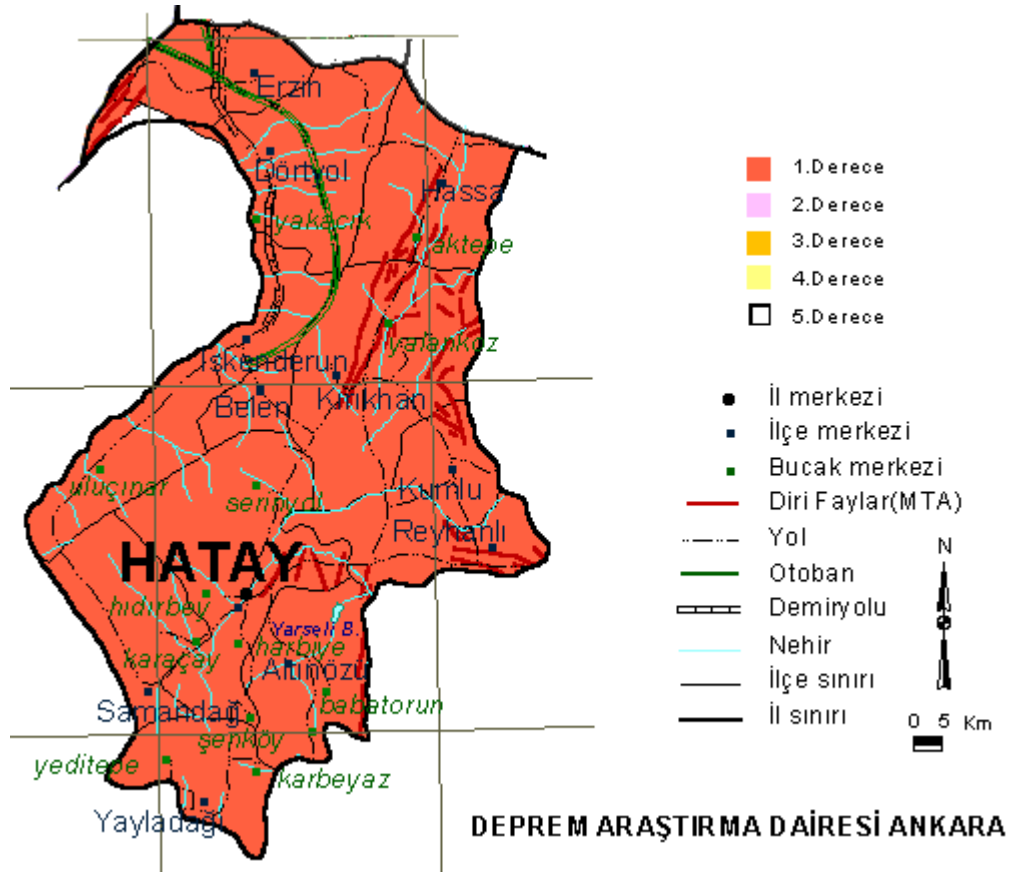
Antakya ve civarı yaklaşık 2000 yıldır depremlerin etkisinde kalmıştır (Willis, 1928; Sieberg, 1932; Ergin vd., 1967; Ambraseys, 1970; Ambraseys, 1989; Soysal vd., 1981). Tarihsel dönemlerde de büyük depremlerden etkilenmiştir. Tarihsel dönemde meydana gelen bazı şiddetli depremler; M.Ö. 245 yılında meydana gelen, $I_0=X$ şiddetindeki ve aletsel büyüklüğü $M=7.5$ olan deprem, 13 Ağustos 1822 ve 3 Nisan 1872 tarihlerinde meydana gelen sırasıyla $M=7.5$ ve $M=7.2$ büyüklüğündeki depremlerdir (Ergin vd., 1967) (Şekil3.1). Bu depremler sırasında Antakya ve civarında toplam 20000 kişinin yaşamını yitirdiği rapor edilmiştir (Kalafat ve Bağcı, 2001).



Şekil 3.1. Antakya civarında meydana gelen depremler ve bazı depremlerin odak mekanizması çözümleri (Över vd, 2004)

Aletsel dönemde meydana gelen depremler incelendiğinde, en önemli depremler 22.Ocak.1997 tarihindeki $M_b=5.5$ büyüklüğündeki ana şok depremi ve bu $M=5.2$ ve 5.3 büyüklüğündeki depremin artçı sarsıntıları olmuştur. Bu depremlerde en büyük şiddet $I_0=VI-VII$ civarında olmuştur. Bu depremler bazı binaların yıkılmasına ya da hasar görmesine neden olmuştur. Antakya ve çevresinde meydana gelen depremlerin odak derinlikleri incelendiğinde KD-GB yönlü uzanan bir koridor boyunca oluşan depremler genellikle sığ depremlerdir (Şekil 3.1).

Antakya, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın 1996 yılında yayınladığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca 1996 yılında yayımlanan deprem bölgeleri haritası Antakya ili dağılımı.

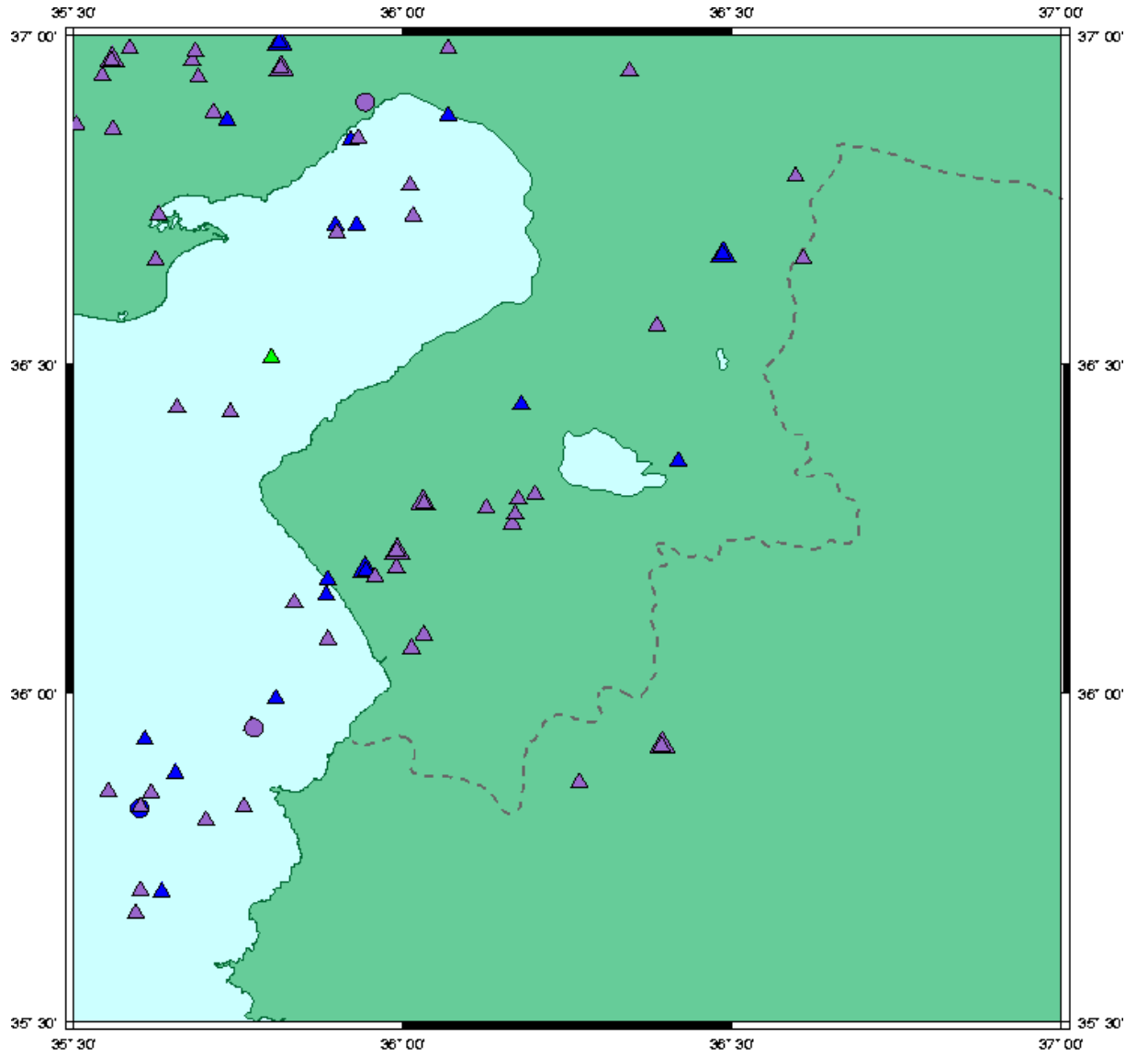
1964-2006 tarihleri arasında büyüklüğü 4.0'ün üzerinde toplam 115 adet deprem meydana gelmiştir (Çizelge 1). Bu depremlerin dış odak dağılımlarının harita üzerinde gösterimi Şekil 3.3'de görülmektedir.

Çizelge 1. Antakya ve çevresinde meydana gelen depremler

Tarih /Zaman	Enlem	Boylu m	Odak Derinliğ i (km)	Deprem Büyüklüğü	Büyüklük Türü	Katalog /Yer
2006/01/26 18:42:01	36.897	35.942	18.1	4.4	MB	MHDF
2006/01/26 18:42:01	36.897	35.942	18.1	4.1	ML	MHDF
2004/01/12 16:41:23	36.4257	35.7362	6.2	4.1	MD	ISCCD
2002/03/05 05:22:07	36.7	35.9	10	4.9	MB	ISCCD
2001/04/29 12:17:34	36.433	35.656	25.3	4.1	MD	ISCCD
2000/05/30 04:44:50	36.87	35.733	46.4	4	ML	ISCCD
2000/05/30 04:44:50	36.87	35.733	46.4	4	MD	ISCCD
1998/12/04 04:59:28	36.9373	35.5415	27.9	4.3	MD	ISCCD
1998/12/04 04:59:28	36.9373	35.5415	27.9	4	MB	ISCCD
1998/12/04 04:59:28	36.9373	35.5415	27.9	4.6	MB	ISCCD
1998/12/04 04:59:28	36.9373	35.5415	27.9	4	MB	ISCCD

1998/07/15 03:32:32	36.8832	35.7109	11.7	4	MD	ISCCD
1998/06/28 15:20:34	36.9792	35.585	10	4.1	MD	ISCCD
1998/06/28 15:20:34	36.9792	35.585	10	4.3	ML	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.9	ML	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.9	MB	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.9	MS	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.9	MD	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.7	MB	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.4	MSZ	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	5	MB	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.2	MB	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.2	MS	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.5	MB	ISCCD
1998/06/28 03:59:25	36.9611	35.5563	10	4.3	MS	ISCCD
1998/06/27 21:49:50	36.728	35.6277	10	4.2	MD	ISCCD
1998/06/27 21:49:50	36.728	35.6277	10	4	MB	ISCCD
1998/06/27 20:50:15	36.8631	35.5027	10	4.2	MB	ISCCD
1998/06/27 20:50:15	36.8631	35.5027	10	4.1	MD	ISCCD
1998/06/27 20:50:15	36.8631	35.5027	10	4.1	MB	ISCCD
1998/06/27 20:50:15	36.8631	35.5027	10	4	ML	ISCCD
1998/06/27 20:50:15	36.8631	35.5027	10	4.2	MB	ISCCD
1998/06/27 18:54:40	36.9618	35.6796	20.2	4	MD	ISCCD
1998/06/27 14:15:36	36.9359	35.6888	7.9	4.2	MB	ISCCD
1998/06/27 14:15:36	36.9359	35.6888	7.9	4.3	ML	ISCCD
1998/06/27 14:15:36	36.9359	35.6888	7.9	4.1	MD	ISCCD
1998/06/27 14:15:36	36.9359	35.6888	7.9	4.1	ML	ISCCD
1998/06/27 14:15:36	36.9359	35.6888	7.9	4	MB	ISCCD
1998/06/27 14:07:36	36.8559	35.5593	14.9	4.2	MD	ISCCD
1998/01/03 21:15:08	36.9746	35.6826	10	4.1	MD	ISCCD
1997/01/23 14:53:14	36.177	35.9571	12.7	4	MD	ISCCD
1997/01/23 14:53:14	36.177	35.9571	12.7	4.4	MB	ISCCD
1997/01/23 14:53:14	36.177	35.9571	12.7	4	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	5.3	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4.5	MS	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	5.1	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4.9	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	5	MS	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	5	MD	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4.6	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4	ML	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4.3	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	5	MB	ISCCD
1997/01/22 18:24:50	36.215	35.9899	10	4.8	MS	ISCCD
1997/01/22 18:22:06	36.1906	35.9883	12.8	4.3	MB	ISCCD
1997/01/22 18:22:06	36.1906	35.9883	12.8	4	MB	ISCCD
1997/01/22 18:22:06	36.1906	35.9883	12.8	4	ML	ISCCD
1997/01/22 18:22:06	36.1906	35.9883	12.8	4.2	MB	ISCCD
1997/01/22 18:22:06	36.1906	35.9883	12.8	4.2	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.9	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.4	MS	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.5	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.7	MS	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.4	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.4	MSZ	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.1	MD	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.1	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.3	MS	ISCCD

1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	4.8	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.3	MB	ISCCD
1997/01/22 17:57:22	36.1852	35.9419	45.4	5.5	MS	ISCCD
1997/01/06 19:06:43	36.8424	35.9306	10	4.2	MD	ISCCD
1997/01/06 19:06:43	36.8424	35.9306	10	4.1	MB	ISCCD
1997/01/06 19:06:43	36.8424	35.9306	10	4.3	ML	ISCCD
1997/01/06 19:06:43	36.8424	35.9306	10	4.3	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	5.1	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.4	MS	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.9	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.8	MS	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.9	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.3	MSZ	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	5.2	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.3	MS	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.8	MB	ISCCD
1994/02/10 06:15:18	36.949	35.8141	17.4	4.5	MS	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5.2	MB	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	4.7	MS	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5	MD	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5.1	MB	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5	MS	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5	MB	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	4.8	MSZ	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5.6	MB	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	4.7	MS	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	5	MB	ISCCD
1994/01/03 21:00:32	36.9878	35.8112	37.6	4.8	MS	ISCCD
1991/09/19 02:14:09	36.1372	35.8343	10	4.4	MB	ISCCD
1991/09/19 02:14:09	36.1372	35.8343	10	4.2	MB	ISCCD
1991/08/11 08:33:25	36.1494	35.8835	41.9	4.1	MB	ISCCD
1991/08/11 08:33:25	36.1494	35.8835	41.9	4	MB	ISCCD
1989/06/24 03:09:58	36.7119	35.9299	46.4	4.9	MS	ISCCD
1989/06/24 03:09:58	36.7119	35.9299	46.4	4.9	MB	ISCCD
1989/06/24 03:09:58	36.7119	35.9299	46.4	4.2	MS	ISCCD
1989/06/24 03:09:58	36.7119	35.9299	46.4	4.9	MB	ISCCD
1989/06/24 03:09:58	36.7119	35.9299	46.4	4.4	MS	ISCCD
1982/02/11 15:50:00	36.082	35.8861	33	4.3	MB	ISCCD
1982/02/11 15:50:00	36.082	35.8861	33	4.2	MB	ISCCD
1981/06/30 07:59:08	36.1718	35.8858	63.3	4.4	MB	ISCCD
1981/06/30 07:59:08	36.1718	35.8858	63.3	4.4	MB	ISCCD
1981/06/30 07:59:08	36.1718	35.8858	63.3	4.7	MB	ISCCD
1976/07/30 07:23:26	36.7114	35.8976	58.2	4.2	MB	ISCCD
1976/07/30 07:23:26	36.7114	35.8976	58.2	4.3	MB	ISCCD
1972/04/09 05:45:11	36.6583	35.6232	33	4	(null)	ISCCD
1966/06/26 13:17:01	36.84	35.92	58	4.5	MB	ISCCD
1966/06/26 13:17:01	36.84	35.92	58	4.5	MB	ISCCD
1964/02/02 06:26:55	36.51	35.8	81	4.1	MB	ISCCD



< 5 (187) 5-5.9 (33) 6-6.9 (0) 7-7.9 (0) >= 8 (0)

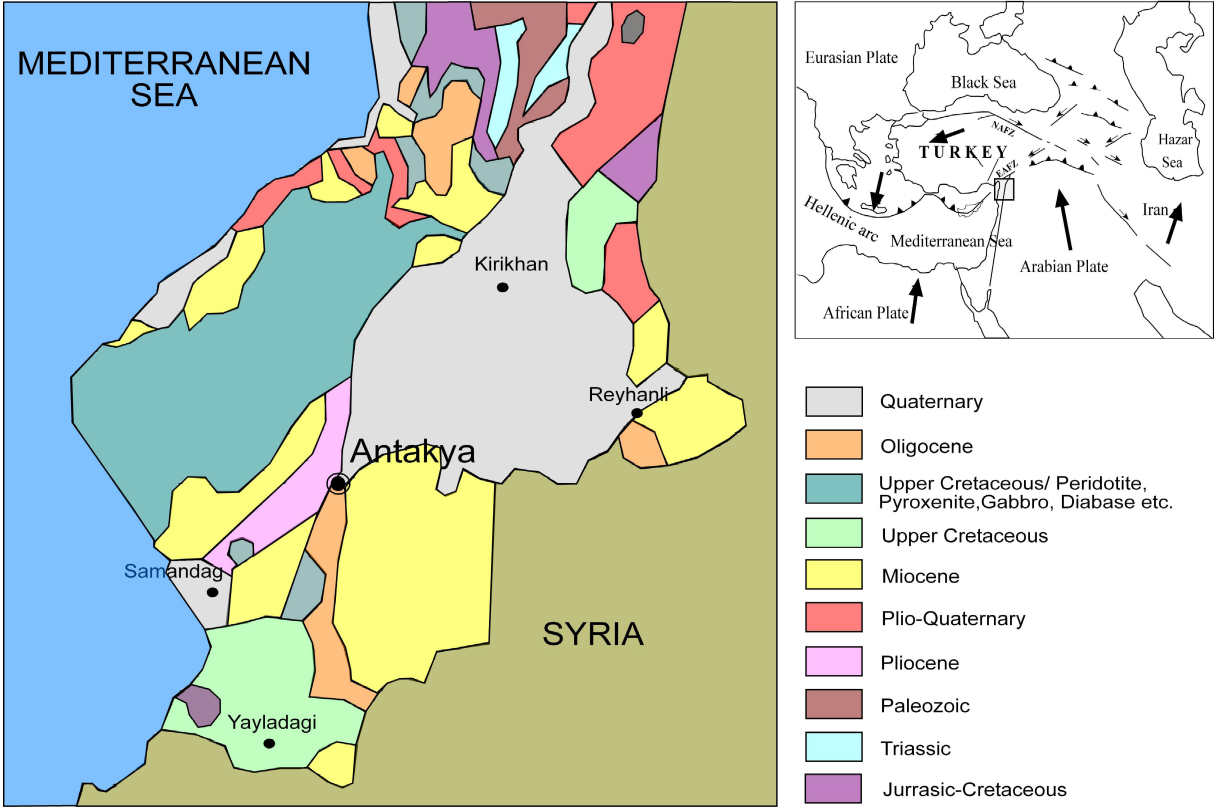
ISCCD



Şekil 3.3. Antakya ve çevresi depremleri dış odak dağılımları

3.4.Genel Jeoloji

Antakya, Suriye'den doğarak Antakya'ya ulaşan ve şehri iki kısma ayıran ve oradan da Akdeniz'e dökülen Asi nehri'nin iki yanında kuruludur (Şekil 3.4). Jeolojik olarak Antakya, prepliosen yaşlı temele sahip iki kayaç serisi içinde gelişmiş olan Karasu rifti içerisinde yerleşmiştir. Karasu riftini oluşturan kayaç serileri, Paleozoyik karasal birimler ile Mesozoyik allokton ofiyolitik kayaç kompleksidir (Tekeli *et al.*, 1983; Rojay *et al.*, 2001). Plio-Kuvaterner sedimanlar ve Kuvaterner volkanikler, Miyosen temelin üzerine yerleşmiştir. Ana fay, Türkoğlu'ndan Antakya'ya Amanos dağları boyunca uzanır (Saroglu *et al.*, 1992). Bu KKD uzanımlı segment yaklaşık 145 km uzunluğundadır ve Amanos fayı (Lyberis *et al.*, 1992) ya da Karasu fayı (Westaway, 1994) olarak bilinir. Bu, Karasu vadisinin batı sınırını ve Amik ovasının 30 km genişliğindeki kenarını belirler. Bu kesim Plio-kuvaterner sedimanlarla doldurulmuş ve 1000 m'den daha fazla kalınlıktadır (Perincek and Eren, 1990). K-Ar, Nd, Sr ve Pb izotopik tarihlleme çalışmaları, Karasu vadisi boyunca bazaltik kayaçlar için Kuvaterner yaş belirlemesi ortaya koymuştur (Rojay *et al.*, 2001). Yüzeğe yakın jeolojik koşulların ayrıntılı bilgisi, depremler yardımıyla deneysel olarak ölçülen zemin büyütmelerinin anlaşılması için birincil önemdedir. Antakya bölgesinin sedimanları, temel olarak, kil, kum ve çakıldan oluşan alüvyon birimlerdir (Şekil3.4). Alanda açılmış olan iki adet kuyu logu W1 ve W2, sırasıyla 60 m ve 100 m kadar yüzey depozitlerinin düşey olarak profillerini vermektedir (Şekil 3.5a ve b). Bu kuyu bilgilerinde de benzer bir zemin tanımlaması vardır. Kuyular, yeraltı suyu seviyeleri hakkında da bilgi vermektedir. W1 kuyusunda yeraltı suyu seviyesi 2.95 m ve W2 kuyusunda 4.75 m olarak belirlenmiştir. Antakya'da bazı özel şirketlerce açılmış 17 adet sondaj kuyusu da çalışma alanında sığ zemin yapısı ile ilgili temel bilgiler ortaya koymaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.4. İnceleme alanının bölgesel jeoloji haritası. Ölçek- 1/2.000.000 (Bingöl, 1989).

3.5. Mikrotremor Ölçüleri Kullanılarak Yerleşim Yerleri Mikrobölgelemesi

Bölgesel jeoloji, yer hareketinin özelliklerine etki eder (Seed, 1972). Yer hareketinin zemin yanıtı, yer yapısına göre şehrin farklı bölgelerinde değişiklik gösterir. Bu durumda ayrıntılı sismik tehlike analizi için mikrobölgeleme haritalarının hazırlanması bir gerekliliktir (Schell, 1978). Sismik mikrobölgeleme, alanların ya da benzer jeolojik özellikli bir bölgenin alt bölümü olarak saptanabilir. Böylece benzer deprem tehlikesi taşıyan alanlar belirlenmiş olur. Bir ülkenin tamamı için hazırlanan bir sismik bölgeleme haritası, yerleşim yerlerinin ayrıntılı sismik tehlike değerlendirmesi için yeterli değildir.

W1	
Derinlik (m)	Formasyon
0 – 1	Bitkisel toprak
1 – 7	Çakıl
7 – 11	Kil taşı

W2	
Derinlik (m)	Formasyon
0 - 7	Killi çakıl

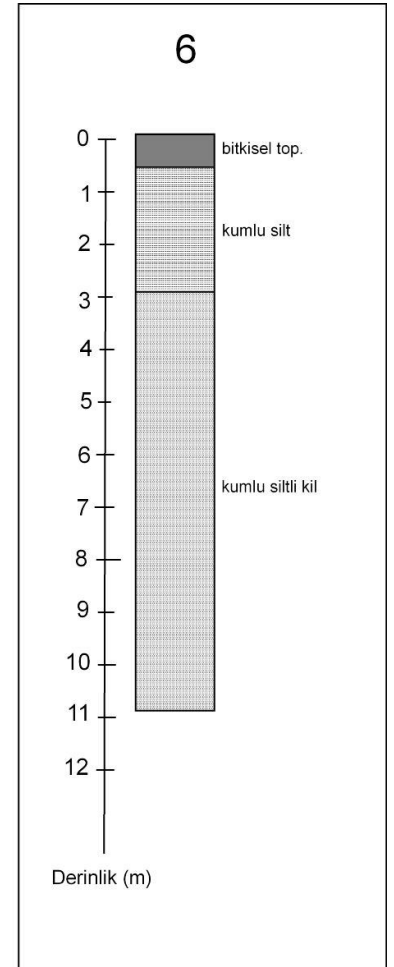
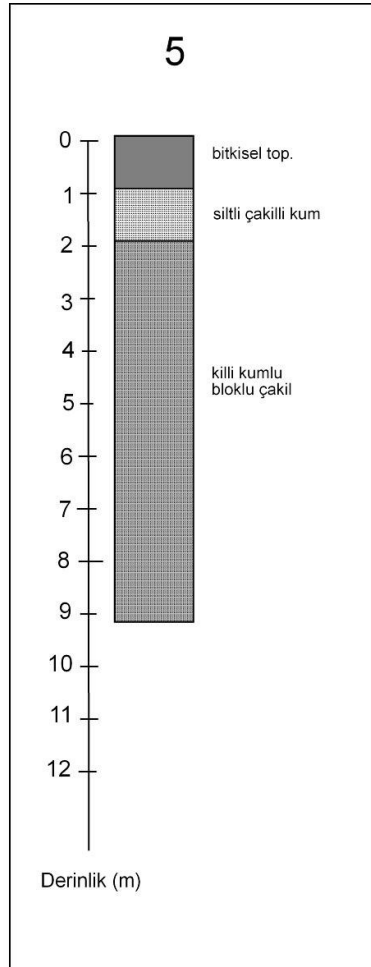
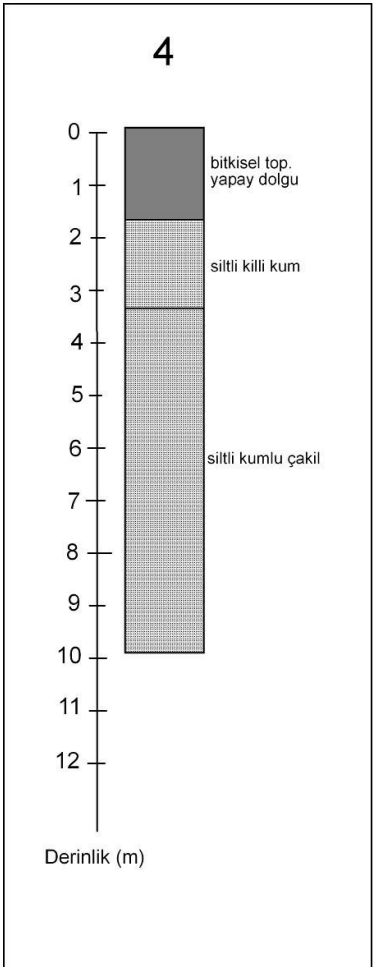
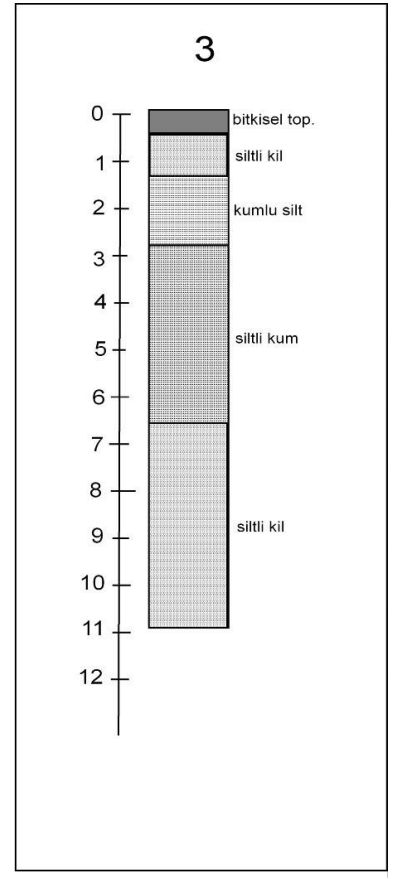
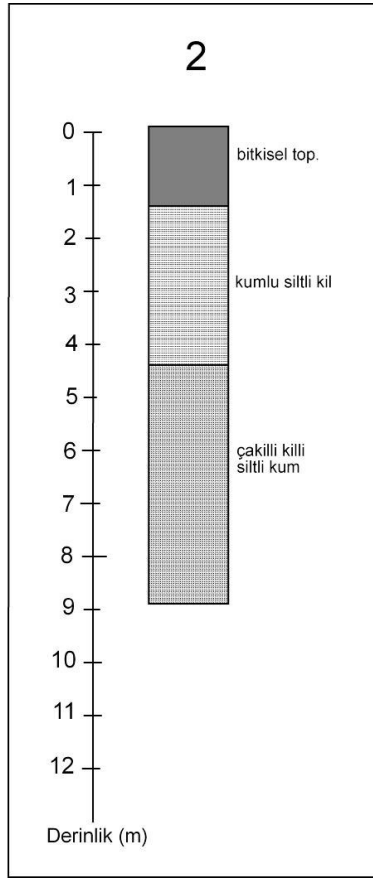
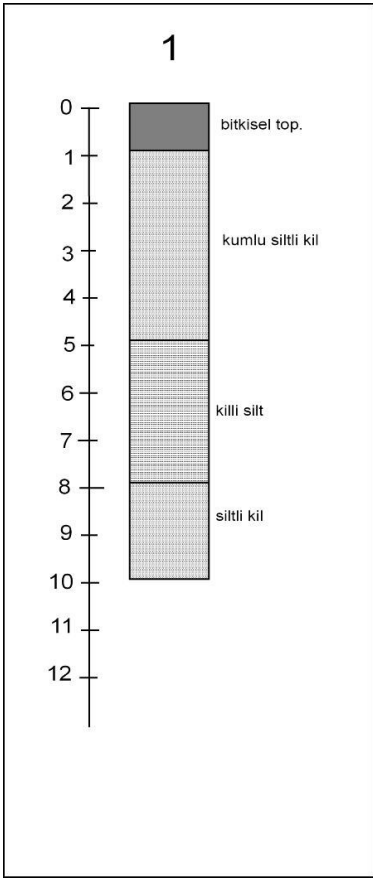
11 – 18	Çakıllı Kil taşı
18 – 22	Çakıl
22 – 26	Konglomera
26 – 29	Killi konglomera
29 – 33	Konglomera
33 – 53	Killi konglomera
53 – 60	Kil taşı
60	Kuyu sonu

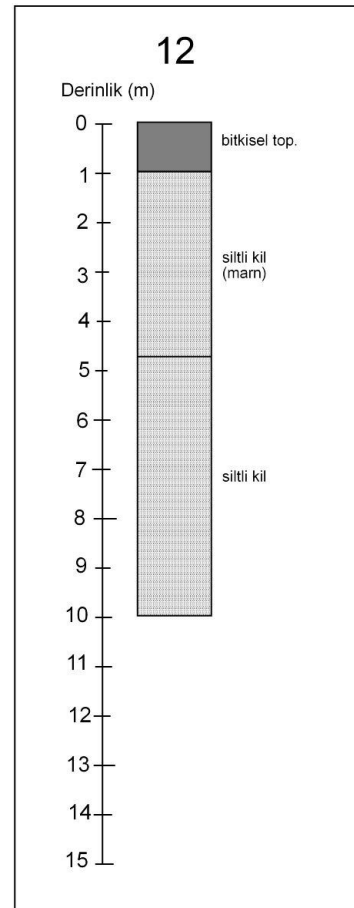
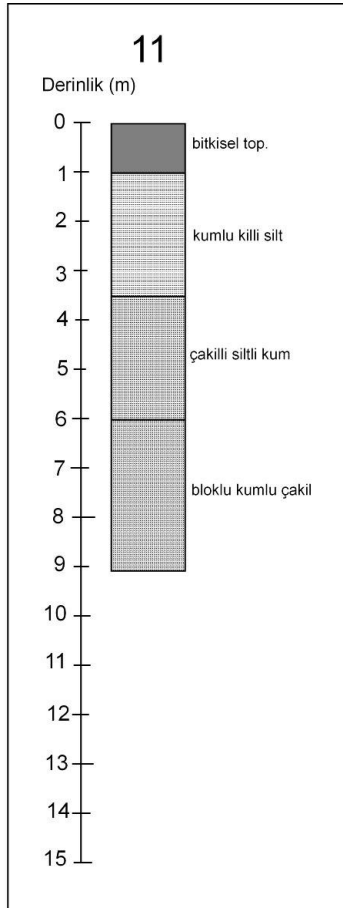
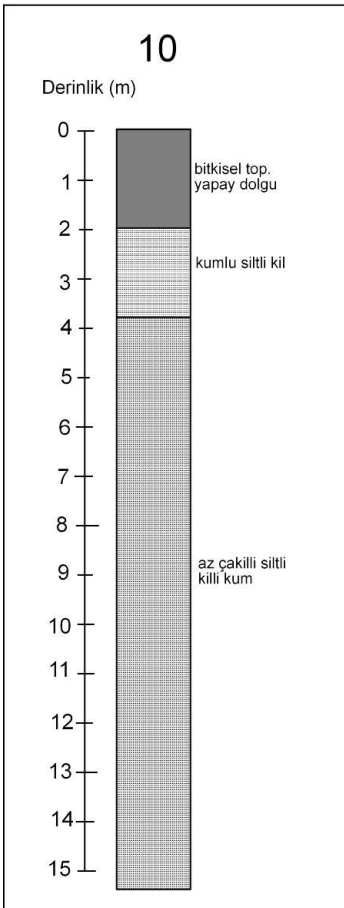
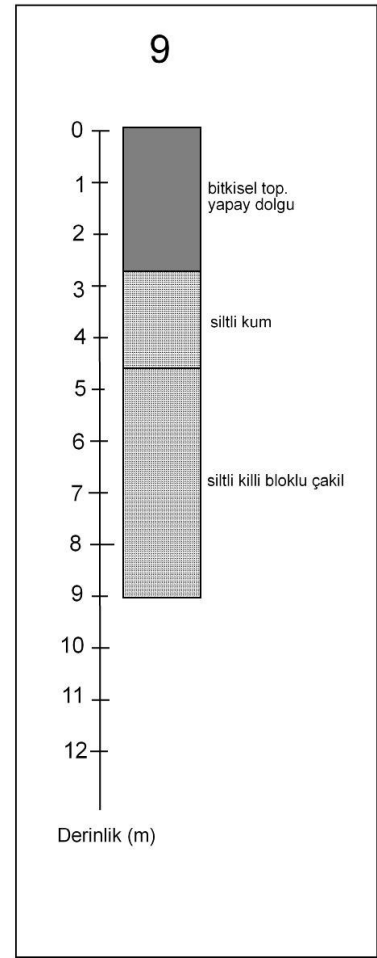
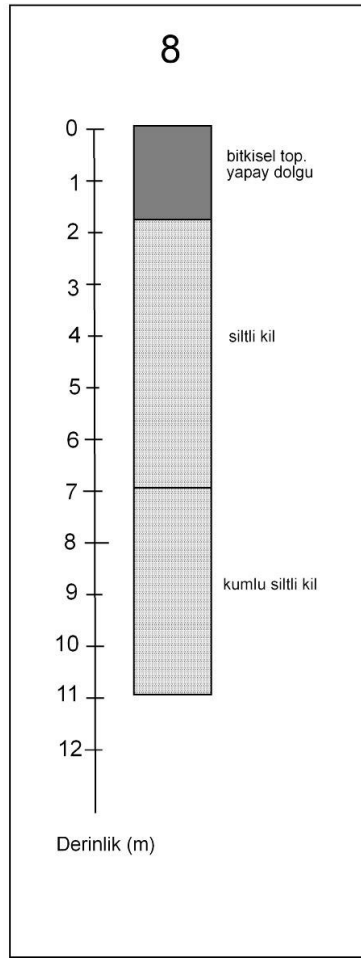
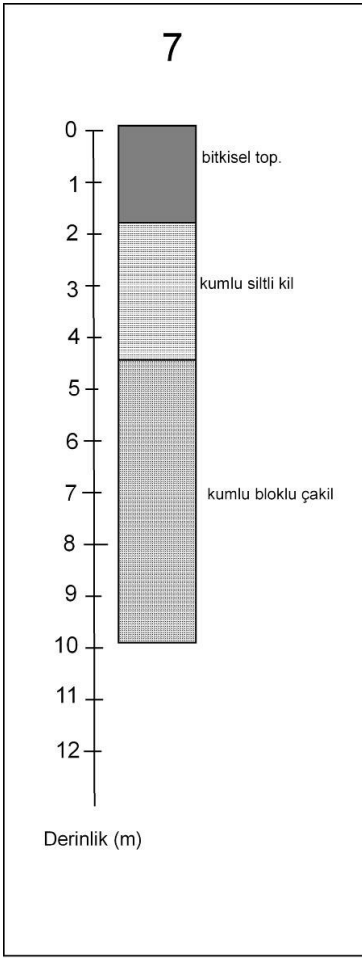
7 – 26	Kil
26 - 36	Çakıl
36 - 76	Kil
76 - 80	Çakıl
80 - 90	Kil
90 - 91	Killi çakıl
91 - 100	Kil
100	Kuyu sonu

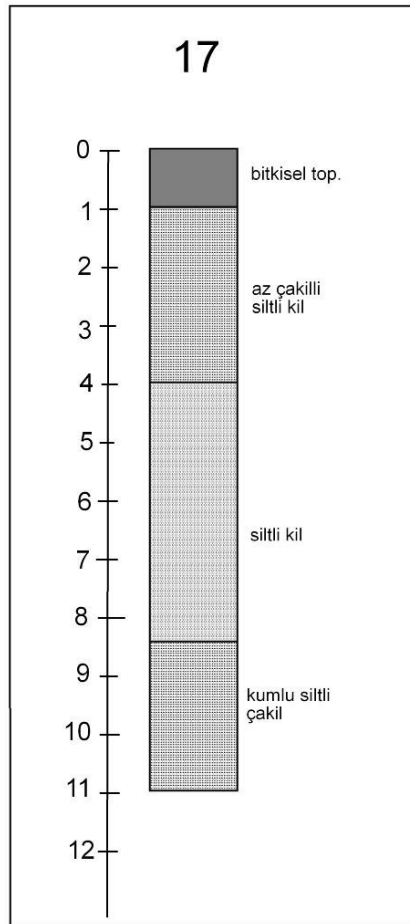
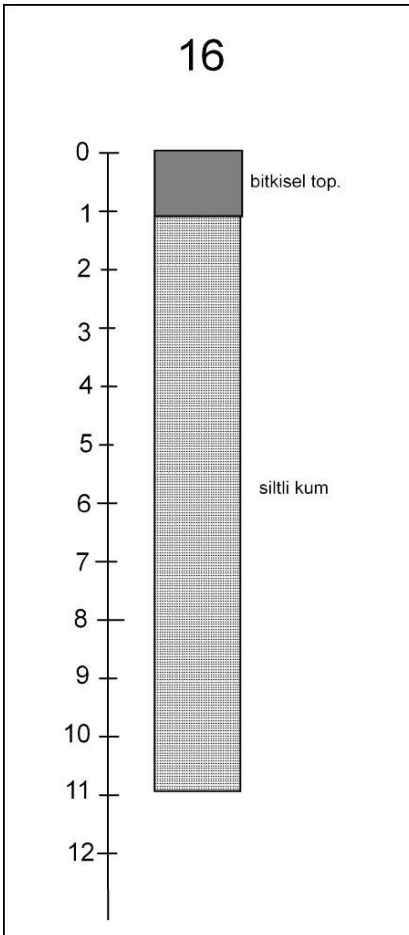
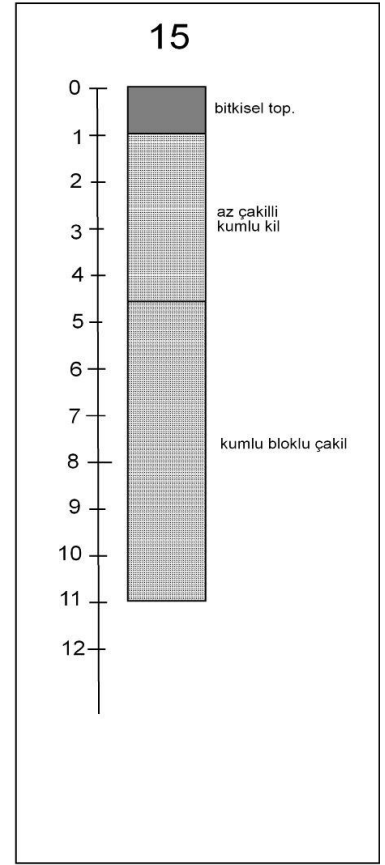
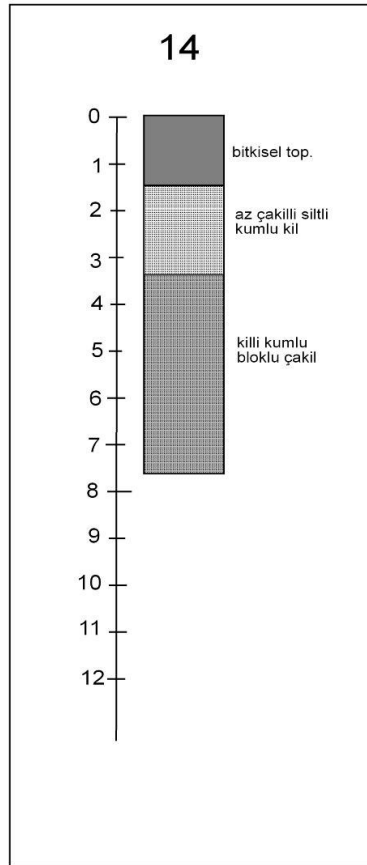
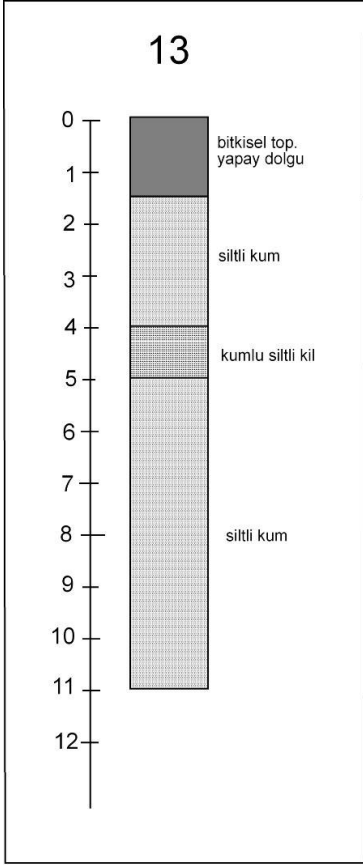
Şekil 3.5. Çalışma alanında açılmış olan kuyular a) 60 m derinliğinde, b) 100 m derinliğinde

Mikrobölgeleme haritaları, risk analizi değerlendirmesi için bir temel kaynak olarak hizmet verebilir. Bu yolla nükleer enerji santralleri, metrolar, köprüler, otoyollar ve barajlar gibi önemli yapılar için temel bir çalışma oluştururlar. Dünya genelinde çoğu büyük şehirde şehir içindeki deprem tehlikesini daha iyi anlamak için mikrobölgeleme haritası hazırlamak için çalışmalar yapılmaktadır.




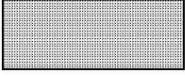
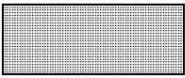
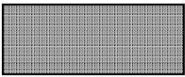
Yapılan ölçümler, deprem zararlarını azaltmak amacını taşımaktadır.







Lejant

a		bitkisel toprak - yapay dolgu
b		killi silt, kumlu silt, kumlu siltli kil
c		siltli kil, siltli kil (marn)
d		çakilli killi siltli kum, kumlu bloklu çakıl, siltli kumlu bloklu çakıl, siltli killi bloklu çakıl
e		siltli kum, siltli killi kum, siltli çakilli kum, az çakilli siltli kum, çakilli siltli kum
f		killi kumlu bloklu çakıl

Şekil 3.6. Sığ zemin araştırma sondajları (17 adet).

Mikrotremor ölçümü, zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek ve mikrobölgeleme yapmak için kullanılan kolay uygulanabilen, ucuz bir yöntemdir ve düşük depremselliği olan alanlara da uygulanabilir. Bu nedenle mikrotremor ölçüleri mikrobölgeleme için kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, mikrotremor yönteminin uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini incelemiştir. Yöntemi ilk uygulayan Kanai ve Tanaka (1961), yöntemin uygulanması sırasında yatay bileşeni dikkate almışlardır. Yatay bileşenin Fourier spektrumunu zeminin yanıt spektrumu olarak kabul etmişlerdir. Oysa yatay bileşen yanıt spektrumundan çok kaynak özelliğini yansıtmaktadır.

Nakamura (1989) ise mikrotremor analizini yeni bir teknik geliştirerek değiştirmiştir. Genel olarak H/V yöntemi olarak anılan bu yöntemde, yatay ve düşey genlikler orantılanarak kaynak etkisi normalize edilerek en aza indirgenmektedir. Yöntemde bazı kabuller vardır:

- 1- Mikrotremorlar kesme dalgalarından oluşur,
- 2- Dalgaların düşey bileşeni gevşek tabakalarda büyütülmez ve yalnızca yatay bileşenlerde büyütülür
- 3- Temel kaya içinde belirli bir yönde genlik yoktur, bütün yönlerde titreşim oluşur.
- 4- Rayleigh dalgası, mikrotremor gürültüsü olarak kabul edilir

Mikrotremorun temel kaynağı olarak kesme dalgasını kabul eden Nakamura (1989), bir alanda ölçülen mikrotremorların yatay–düşey (H/V) spektral oranının kabaca o alandaki yüzey ve temel kaya arasındaki S dalgası transfer fonksiyonuna eşit olduğunu göstermiştir. Bunun anlamı, H/V oranının pik periyodu ve değeri, alanın doğal periyodu ve büyütmesi ile ilişkilidir. Bu yöntemle herhangi bir kuyu içi ölçüm, ya da yüzey ölçümü gerekmediğinden kolay ve ucuz bir uygulama olarak tercih edilmektedir.

Lermo and Chavez-Garcia (1994), alanın zemin etkisini deprem olmadan mikrotremor ölçümleri analizlerine Nakamura (1989) yöntemini uygulayarak göstermiştir. Elbette mikrotremor yönteminin bu denli geniş popülaritesi olmasına karşın yorumlanmasıyla ilgili bazı farklılıklar vardır. Örneğin Lermo et al. (1994), Tokimatsu (1997), Konno and Ohmachi (1998) gibi bazı araştırmacılar mikrotremorların kaynağı olarak Rayleigh dalgasını kabul etmektedir.

Tokimatsu (1997) ise mikrotremorların kökeni olarak yüzey dalgaları olduğunu düşünmektedir. Alanın kesme dalgası profili de mikrotremor verisinin dispersiyonunun ters çözümünden elde edilebilmektedir.

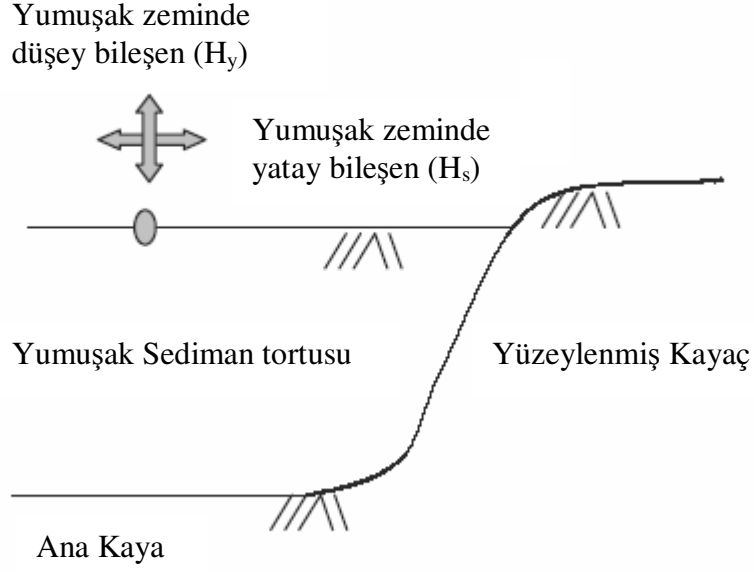
3.6 Alan Karakteristikleri için Mikrotremorların H/V Analizi

Nakamura (1989) alan karakteristikleri için mikrotremorların analizinin H/V spektral oranıyla yapılması yöntemini ilk kez tanıtan çalışmayı yapmıştır. Bu yöntemde mikrotremorların yatay–düşey oranı Fourier spektrumu, kaynak etkisini elimine etmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, H/V Fourier spektrumu duraylı bulunmakta ve dalgaların yolu ve kaynak tarafından etkilenmemektedir (Şekil3.7).

H/V mikrotremor analiz yönteminde, mikrotremorların yatay ve düşey bileşeni tek bir istasyonda ölçülmüştür(Şekil3.8). Önceki mikrotremor analizlerinin tersine, bu yöntem referans ölçülerine ihtiyaç göstermez. H/V spektrum çizimleri, yatay ve düşey bileşenlerin Fourier spektrumlarının oranını alarak elde edilmektedir. Mikrotremor ölçümleri için H/V spektrumu Eşitlik 1 ile elde edilebilir.

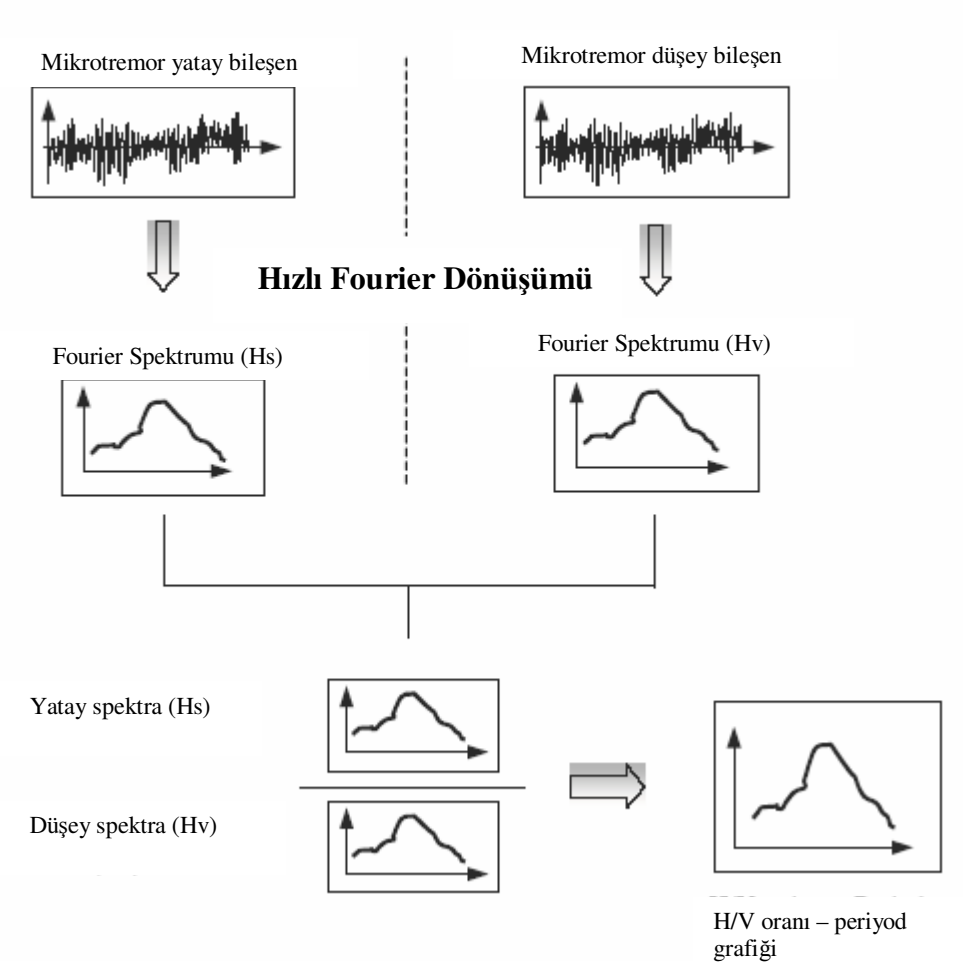
$$\text{H/V spektrum} = \frac{\text{Yatay Bilesenin Fourier Spektrumu (H}_s\text{)}}{\text{Düşey Bilesenin Fourier Spektrumu (H}_v\text{)}} \quad (1)$$

H/V oranının duraylılığı, alan karakteristiklerini saptamak için uygulanabilirliğini göstermiştir.



Şekil 3.7. Mikrotremor kaydının yumuşak ve sert katmanlarda elde edilmesi.

Nakamura yönteminde, S dalgalarının kısa periyodlu mikrotremorlardan oluştuğu öngörülür. Deprem verisinin ölçülmesi her ölçüm noktasında deprem hareketinin yatay ve düşey hareketleri arasında en büyük genliklerin oranının zemin koşulları ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Kesme dalgasının yatay bileşeni, gevşek zemin tabakasında dalgaların çoklu yansımaları nedeniyle büyütülmüştür. Bununla beraber, Nakamura yumuşak zemin tabakasının düşey bileşeni yani P dalgasını büyütmediğini öngörmektedir. Yüzeysel tabakalarının dönüşüm fonksiyonu yüzeydeki yatay titreşim spektrumu ve yüzey altı tabaka sıralarından kırılıp gelen yatay titreşim spektrumu arasındaki orandan saptanmaktadır. Bu yorumda yüzeydeki yatay titreşim spektrumu, mikrotremor ölçülerinde gürültü olarak kabul edilen Rayleigh dalgaları tarafından etkilenmektedir. Ayrıca, Rayleigh dalgaları yüzeydeki düşey spektrumu etkilemekte ancak temel kayadaki düşey spektrumu etkilememektedir. Ayrıca, yumuşak sediman tabakaları düşey dalgaları büyütmediği kabul edildiğinden Rayleigh dalgalarının etkisi yüzeydeki düşey bileşenin oranı alınarak değerlendirilebilir. Bu nedenle Rayleigh dalgalarının etkileri, bütün yönlerde dalgaların yayılımının alt tabaka sıralarında gerçekleştiği varsayılarak yeni dönüşüm fonksiyonu yazılabilir.



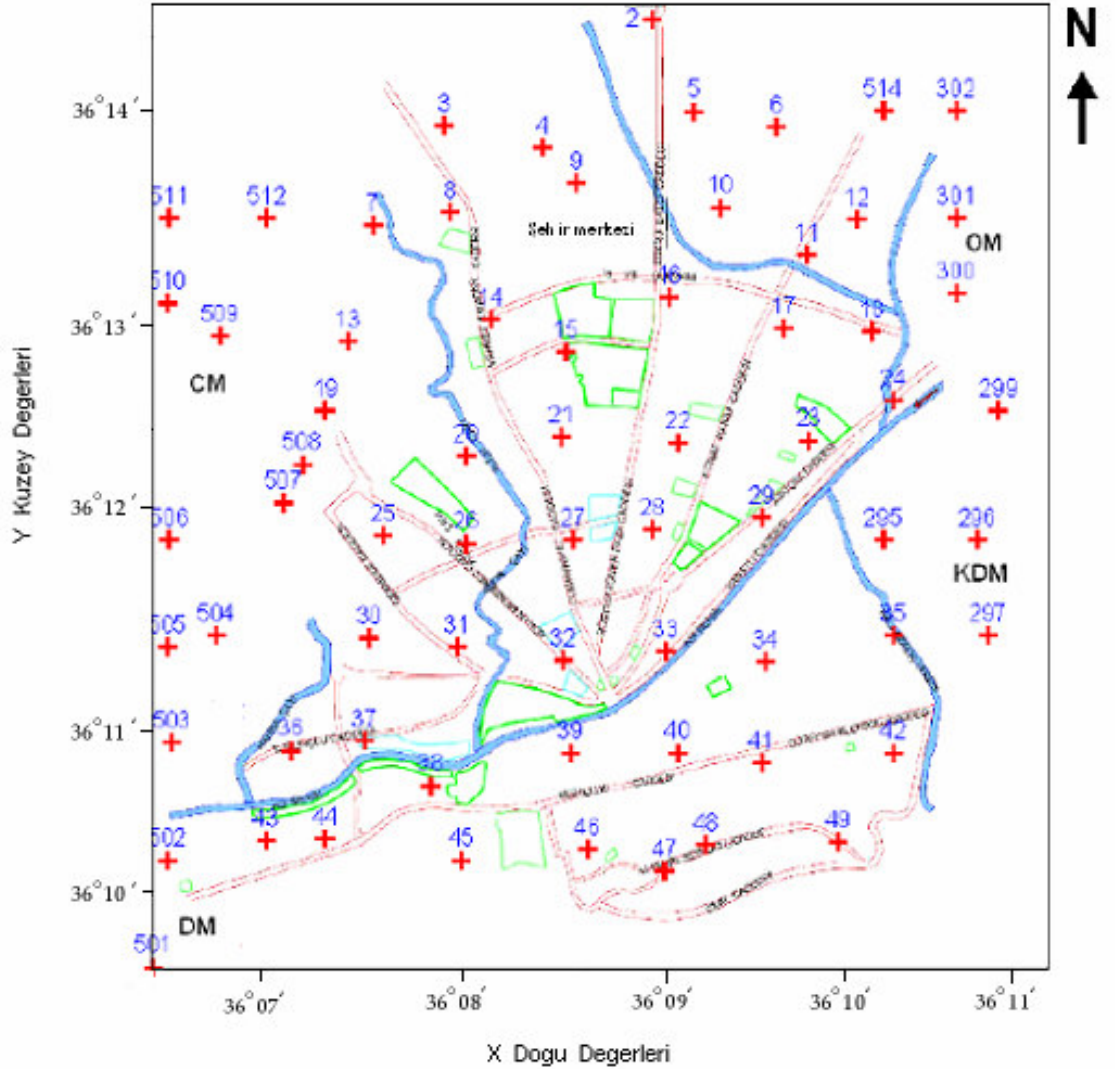
Şekil 3.8. H/V analizinin şematik gösterimi

Bu durumdan dolayı temel kayada yatay ve düşey spektrum oranı, bire eşit olacaktır. Rayleigh dalgalarının etkilerinin yok sayıldığını gösteren kesme dalgasının dönüşüm fonksiyonu, yüzeyde ölçülen yatay ve düşey spektrumların oranı ile verilmektedir. Buradan depremin yatay bileşeninin büyütme faktörü, yüzeyde ölçülen mikrotremorların yatay ve düşey spektrumlarının en büyük değerlerinin oranından hesaplanmaktadır. Spektrum oranının pik periyodu ayrıca alanın doğal titreşim periyodunu da gösterir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

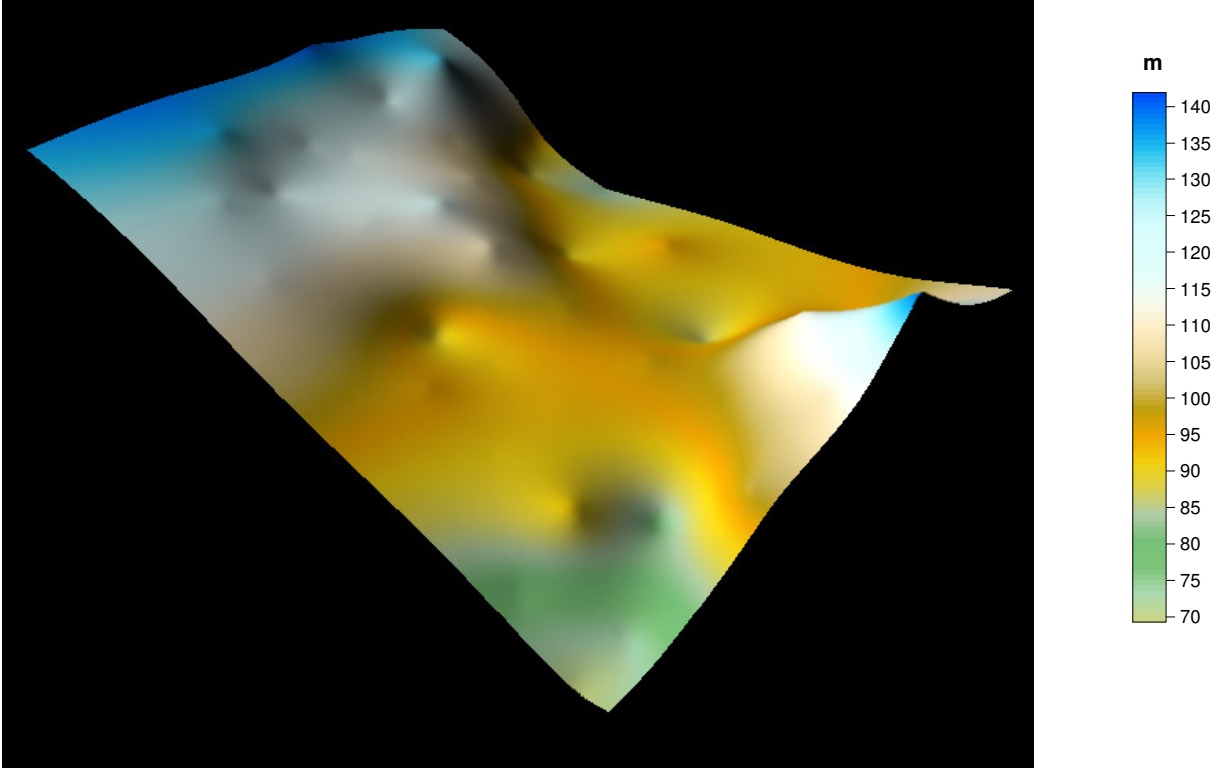
4.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, $35^{\circ} 30'$ – $36^{\circ} 30'$ K enlemleri ve $35^{\circ} 30'$ - $36^{\circ} 30'$ D boylamları arasındadır. Çalışma alanı 3.5 km doğu-batı yönünde ve 5 km kuzey-güney yönünde uzanmaktadır. Çalışma alanı bir çöküntü alanıdır (Şekil 4.1). Antakya'nın orta bölümünde Antakya-İslahiye arasında yaklaşık K-G yönlü uzanan Amik Ovası yer alır. Amik Ovası'nın batısında Toros Sıradağları'nın doğu uzantısı olan Amanos Dağları, ova ile sahili bir duvar gibi ayırır. Amik Ovası tektonizmaya bağlı olarak çok fazla faylanma gösterir. Amanos Dağları ve Amik Ovası altında genç volkanitler ve bazaltlar bulunur.



Şekil 4.1. Çalışma alanını gösteren imar plan haritası (Ölçek: 1/5000)

Çalışma alanı, 70-140 metre yükseklikleri arasında yer almaktadır. (Şekil 4.2).



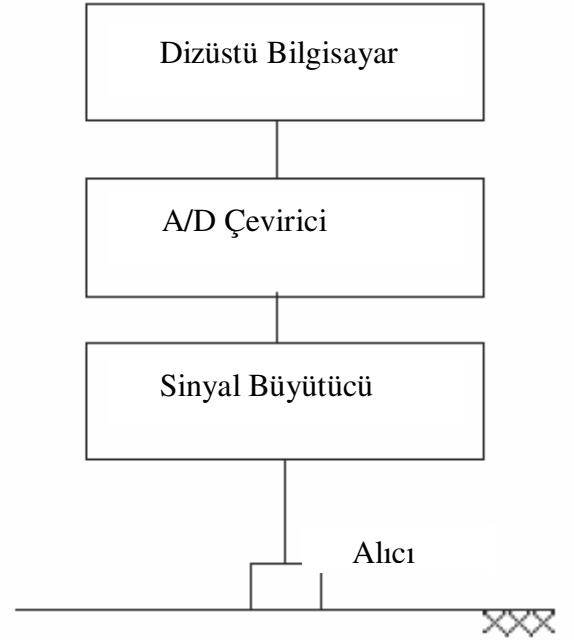
Şekil 4.2. Çalışma alanının topoğrafik haritası

4.2. Ölçü Düzeneği ve Kayıt Alma

Mikrotremor ölçümleri, hareketli mikrotremor donanımı kullanılarak yapılmıştır. Cumhuriyet ve Mustafa Kemal Üniversite'sinde varolan GURALP CMG-6TD marka üç bileşenli hız sismometresi ve ekipmanı ile yapılmıştır (Şekil4.3a). Sismometrenin doğal periyodu 1 saniyedir. Kullanılan ölçüm düzeneği, sinyal yükselticiler, GPS kontrollü 24 bit A/D çevirici, bir diz üstü bilgisayar ve kayıt ünitesinden oluşmaktadır (Şekil4.3b). Ekipman içerisinde bulunan 24 bitlik bir analog-dijital çevirici (A/D converter) analog elektrik sinyallerini, dijital sinyallere dönüştürmekte ve hafızasında depolamaktadır. A/D çeviricinin en büyük örnekleme hızı 2 kHz'dir. Ancak, mikrotremor ölçümlerinde 100 Hz'lik örnekleme hızı kullanılmıştır. Kayıtçı olarak bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bu bilgisayar ile aynı zamanda basit çözümler de yapılmıştır. İstasyon koordinatları bir el GPS aleti ile belirlenmiş, ayrıca sismometrenin zaman ayarı yine GPS ile yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.3.a) Mikrotremor ölçümü için kullanılan GÜRALP CMG-6TD marka sismometre ve ölçü alma düzeneği b) Mikrotremor kaydının elde edilme aşamaları.

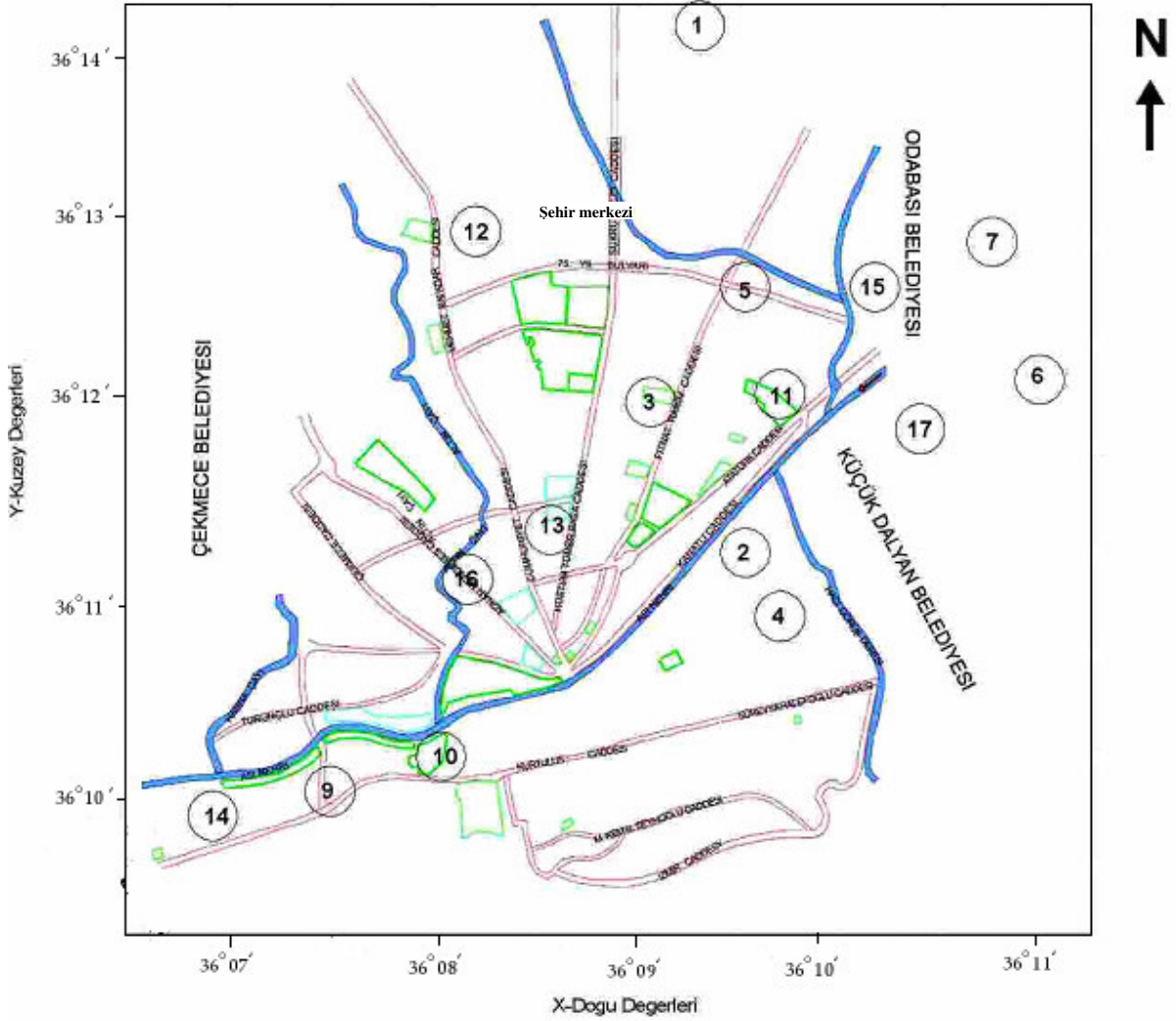
Ölçü süresi beş dakika (yaklaşık 300 saniye) olarak ayarlanmıştır. Ölçüler, sonuçların duraylılığını kontrol etmek için aynı anda 2 ölçü paketi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçü noktaları arası mesafe 500 metre olarak alınmıştır (Şekil 4.4). Ölçüler çevresel gürültünün en az olduğu gece saatlerinde gerçekleştirilmiştir Sismometre yerleştirilirken kuzey güney yönlü yerleşim yapılmıştır. Yapılan ölçülere ait ayrıntılı bilgiler Ek-1’de çizelge halinde verilmiştir.

4.3.Verilerin Değerlendirilmesi

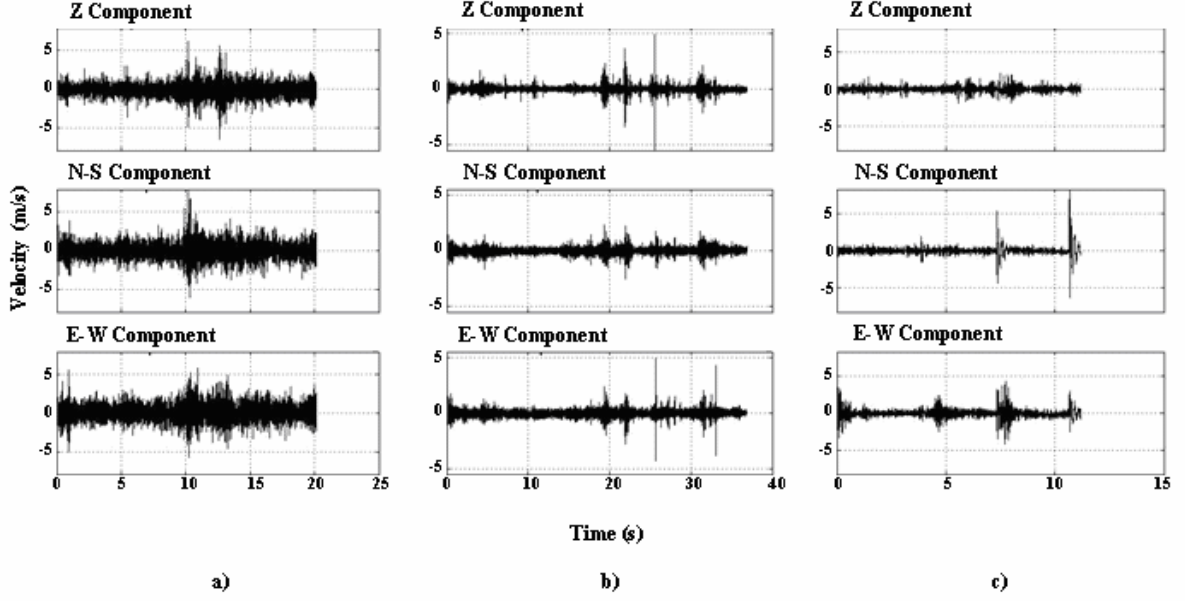
4.3.1 Verilerin süzgeçlenmesi

Fourier spektrumlarının düzgünleştirilmesi için 0.4 Hz frekans band genişliğinde Parzen penceresi kullanılmıştır. Sismik araştırmalarda genellikle Hanning, Hamming, Barlet gibi dijital tip pencereler kullanılmaktadır. Bu pencerelerin herhangi birinin kullanımı diğerine göre belirgin bir fark göstermez (Rodriguez and Midorikawa, 2002). Parzen penceresi en iyi bilinen sayısal süzgeç tipi olup mikrotremor verisinin analizinde geniş şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmaya ait grafiklerde Parzen penceresi kullanılmıştır. 10, 16 ve 28 nolu ölçülere ait örnek veriler (Şekil 4.5 a, b ve c)’de gösterilmektedir. Çalışma alanında yapılan tüm mikrotremor ölçülerine Parzen penceresi uygulanarak gürültüler verilerden uzaklaştırılmıştır. Bu şekilde sinyal oranı artırılmış veri grubu oluşturulmuştur.

(1-69 nolu) veriler iki ayrı zaman diliminde alınmıştır. Birinci grup veri Temmuz-2005 döneminde tamamlanmış ve yapılan değerlendirmeler sonucu, aşırı gürültülü ya da değerlendirilemeyen ölçüler Ağustos-2005 döneminde tekrarlanmıştır (Ek-2). (200, 300 ve 500) ile başlayan veriler ise Antakya belediye sınırları dışındaki alanlarda 2006 yaz döneminde alınmış ve değerlendirilmiştir. Veri kayıt süresi en az 5 dakika olmuştur. Aynı noktada iki kayıt alınarak veri setlerinden birinin değerlendirilememesi olasılığına karşın yedek veri seti oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Çalışma alanında yapılan mikrotremor ölçü noktalarının yerleri. CM: Çekmece Belediyesi, KDM: Küçük Dalyan Belediyesi, DM:Dursunlu Belediyesi, OM:Odabaşı Belediyesi



Şekil 4.5. Parzen süzgeçlemesi a) 10 nolu ölçü, b) 16 nolu ölçü ve c) 28 nolu ölçü

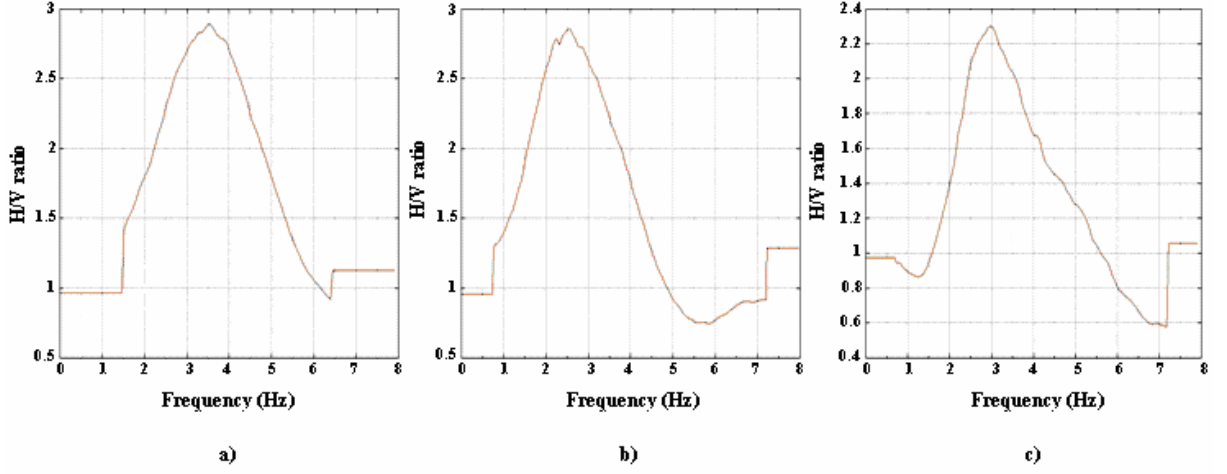
4.4. Mikrotremor Verisinin H/V Oranı Spektrumu

Bütün ölçümlerde örnekleme frekansı 100 Hz olarak oluşturulmuştur. Mikrotremorlar üç bileşenli bir hız sismometresi ile ölçülmüştür. Değerlendirme sırasında Çetinoğlu (2003) tarafından hazırlanan MATLAB programlama dilinde yazılmış bilgisayar programı kullanılmıştır. Verilerin pencere uzunluğu genellikle 20 saniye ve daha uzun olmuş, 10 saniyeden daha kısa pencere uzunluğu seçilmemiştir. İki yatay Fourier spektra ve düşey Fourier spektranın oranı aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir (Al Yunca et al., 2004).

$$r(f) = \frac{\sqrt{(F_{NS}(T))^2 + (F_{EW}(T))^2}}{F_{UD}(T)} \quad (2)$$

Burada $r(f)$, yatay ve düşey spektrumların oranını (H/V), F_{NS} , F_{EW} ve F_{UD} Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Düşey yönlerdeki Fourier spektrumlarını ifade etmektedir. Ölçümlerin tamamı değerlendirilerek, her bir ölçü noktasına ait benzer hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu her istasyonda H/V- Frekans eğrileri doğrusal olarak çizdirilerek baskın frekans ve periyod değerleri elde edilmiştir. Örnek olarak 10, 16 ve 28 nolu istasyonlara ait eğriler (Şekil 4.6'da) gösterilmektedir. Ayrıca tüm istasyonlara ait hesaplama sonuçları EK-3'de sunulmuştur. Her bir istasyona ait baskın titreşim periyod değerleri çalışma alanı haritası üzerinde işaretlenerek alanın genelinde baskın titreşim periyod dağılımı elde edilmiştir.

(Şekil 4.7). Çizelge 2 ölçü noktalarının baskın titreşim ve zemin büyütme değerlerini göstermektedir.

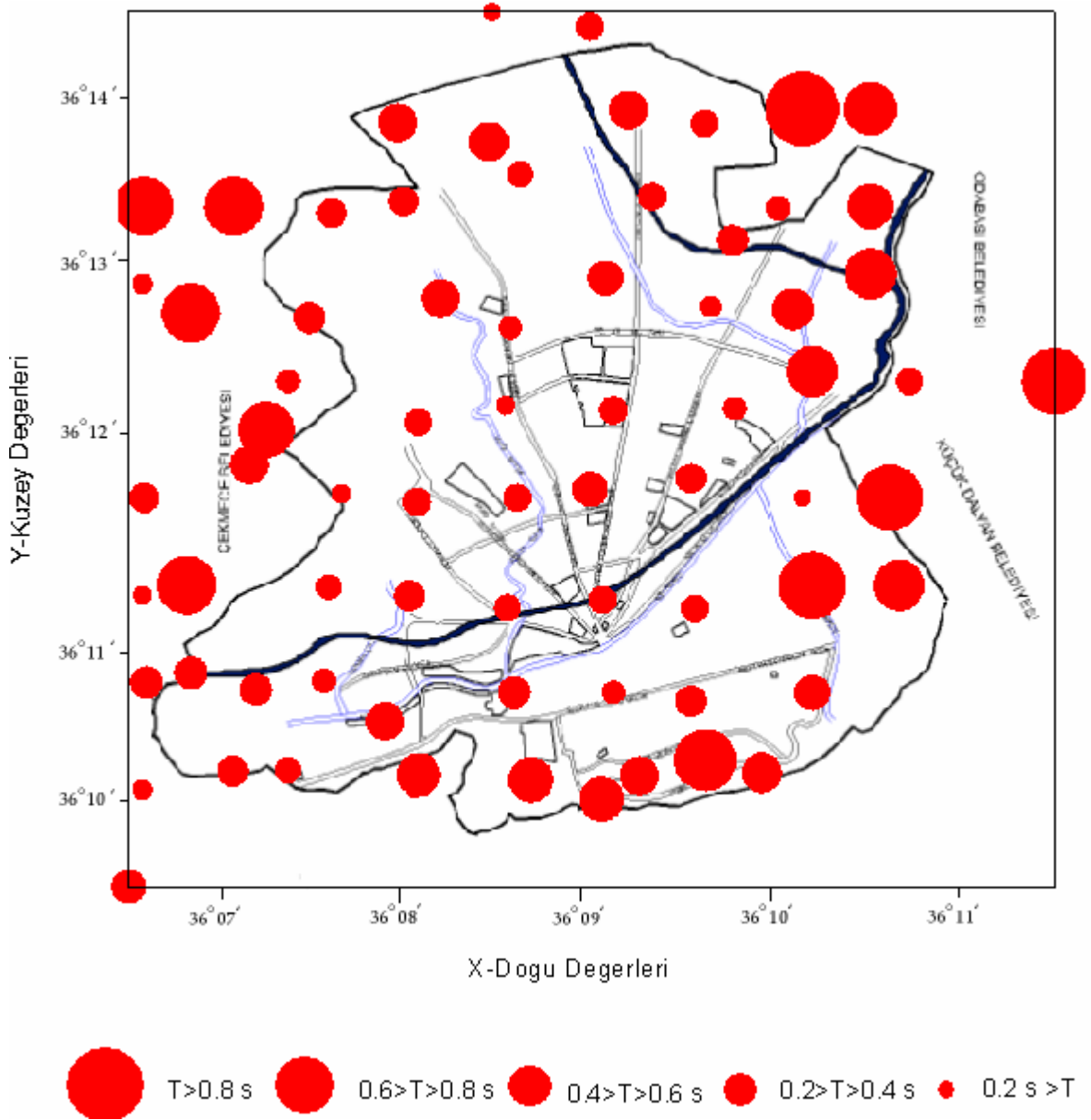


Şekil 4.6. H/V spektrum eğrileri a) 10 nolu istasyon, b) 16 nolu istasyon, c) 28 nolu istasyon

Çizelge 2. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu ve zemin büyütme değerleri

Ölçü No	Koordinat (Y)	Koordinat (X)	Baskın Periyot (s)	Baskın Frekans (Hz)	Büyütme
2	32355	39575	0,312	3,204	1,268
3	31365	39080	0,444	2,25	1,805
4	31835	38980	0,449	2,225	1,825
5	32555	39145	0,173	5,85	0,703
6	32945	39075	0,293	3,418	1,191
7	31025	38615	0,321	3,108	1,305
8	31395	38675	0,37	2,7	1,504
9	31995	38815	0,267	3,752	1,085
10	32675	38700	0,295	3,39	1,199
11	33090	38475	0,339	2,95	1,378
12	33325	38640	0,248	4,028	1,008
13	30910	38075	0,351	2,85	1,427
14	31585	38175	0,427	2,344	1,736
15	31945	38025	0,238	4,202	0,967
16	32435	38280	0,402	2,49	1,634
17	32975	38135	0,22	4,541	0,894
18	33400	38120	0,476	2,108	1,935
20	31470	37540	0,126	7,959	0,512

21	31920	37625	0,183	5,469	0,744
22	32475	37600	0,313	3,2	1,272
23	33100	37610	0,235	4,25	0,955
25	31075	37170	0,181	5,5	0,736
26	31465	37130	0,325	3,076	1,321
27	31980	37150	0,29	3,45	1,179
28	32355	37195	0,356	2,808	1,447
29	32875	37250	0,33	3,027	1,341
30	31010	36690	0,263	3,8	1,069
31	31425	36645	0,435	2,3	1,768
32	31930	36585	0,286	3,5	1,163
33	32420	36625	0,29	2,2	1,179
34	32895	36580	0,284	3,52	1,154
36	30635	36165	0,357	2,8	1,451
37	30985	36210	0,235	4,25	0,955
38	31300	36000	0,426	2,344	1,732
39	31965	36150	0,36	2,778	1,463
40	32475	36150	0,238	4,139	0,967
41	32875	36105	0,328	3,052	1,333
43	30515	35745	0,343	2,92	1,394
44	30800	35750	0,414	3,049	1,683
45	31475	35725	0,488	2,05	1,984
46	32050	35700	0,518	2,051	2,106
47	32415	35600	0,518	1,929	2,106
48	32610	35720	0,436	2,294	1,772
49	33240	35735	0,464	2,152	1,886



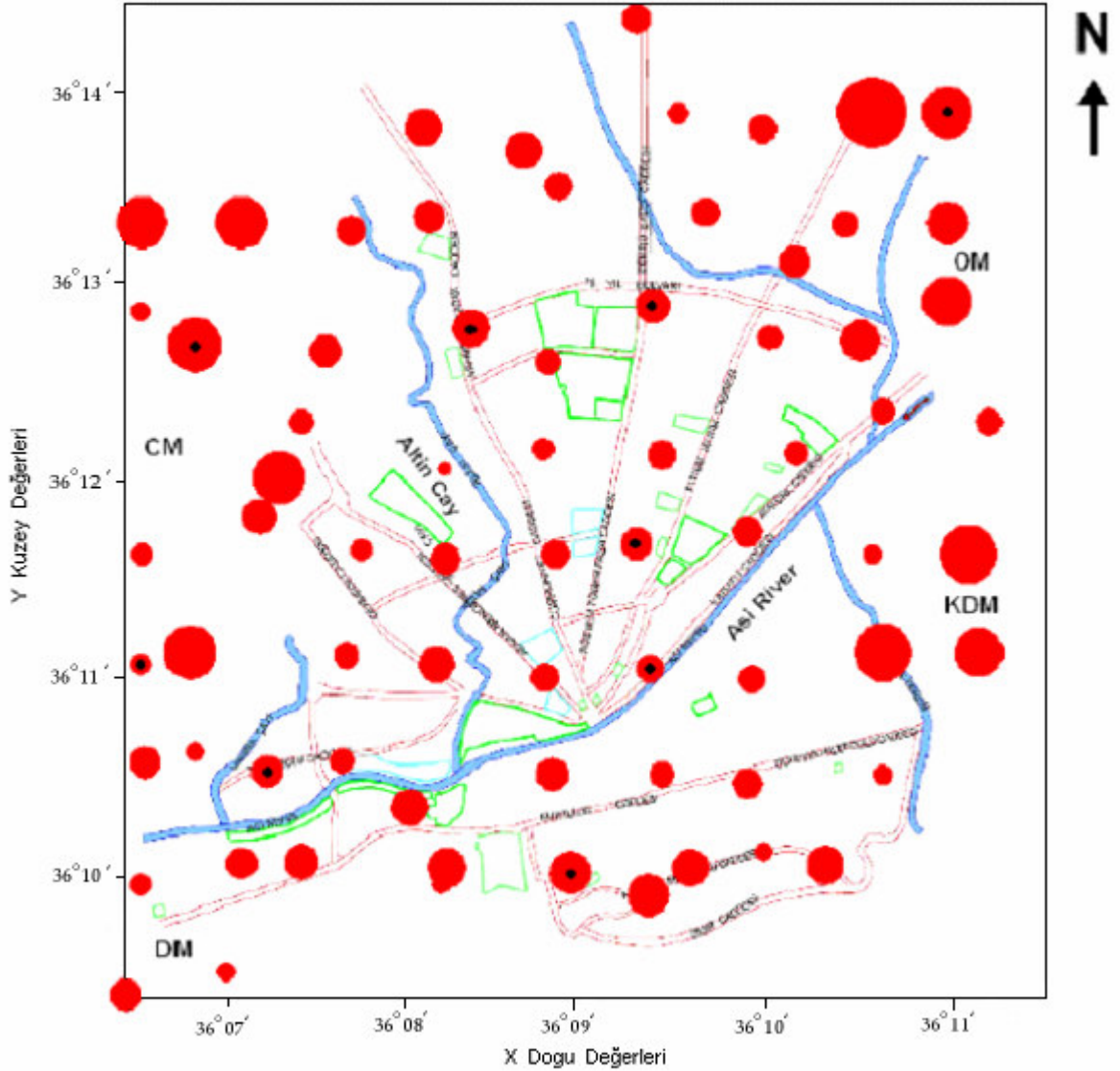
Şekil 4.7. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu dağılımı.

4.5 Çalışma Alanında Yer Büyütmesi Potansiyeli

Ashford vd. (1997) genelleştirilmiş bir zemin ve kesme dalgası hızı (V_s) profilini Bangkok Şehri için geliştirmiştir. Bu çalışmada 60-100 m/s hız değerinde yumuşak kil tabakası olduğu görülmüştür. Sert kil tabakasında ise hız değeri 200 m/s değerine yükselmiştir. Düşük V_s hızları ise Mexico City killeri ile kıyaslanabilmektedir. Bu değerler ve kil tabakasının varlığı, yer hareketini büyüten bir unsur olmaktadır. Büyütme değerleri incelendiğinde 3-7 aralığında büyütme faktörü hesaplanmıştır.

Genel olarak kalın sediman katmanlar ve basenler, yer hareketinde yüksek büyütme değerleri ve uzun periyotlarda sarsıntının daha uzun gerçekleşmesine neden olurlar. Çalışma alanı da sediman havza içerisinde kalmaktadır. Havzanın bir bölümü gevşek alüvyon tabakalardan bir

bölümü de havzanın daha sıkı tabakalarından oluşmaktadır. Özellikle gevşek alüvyon tabakalarda nispeten yüksek büyütme değerleri ortaya çıkmıştır. Genellikle çalışma alanında ortaya çıkan büyütme değerleri 1-3 aralığında kalmıştır (Şekil 4.8) (Çizelge 2).

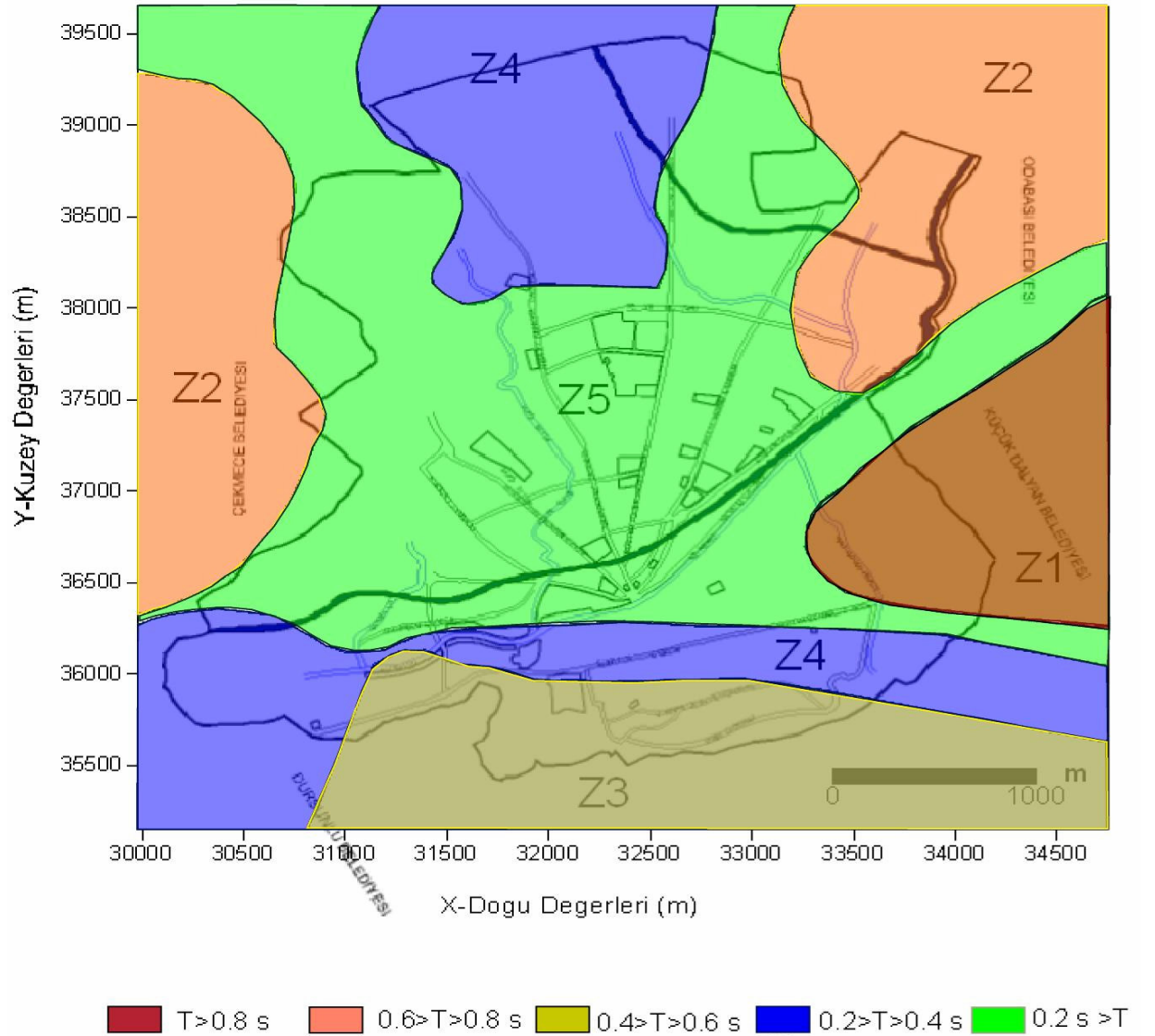


Şekil 4.8. Proje alanının zemin büyütme haritası

Şekil 4.7 ve 4.8'de baskın titreşim periyot dağılımı ve zemin büyütme haritaları birbirleriyle uyum sağlamaktadır. Alanın Doğu ve Batı bölümünde periyot değerleri en yüksektir. Aynı şekilde Antakya'nın imar planının dışına çıkıldığında hakim titreşim periyot değerlerindeki artış belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu kesimlerde periyot değerleri yaklaşık olarak 0.6 - 0.8 saniye olmakta yer yer 0.8 saniyeden daha büyük periyot değerlerine rastlanmaktadır. Buna karşılık büyütme faktörü bu bölgelerde yaklaşık olarak 3 civarındadır.

Alanın kuzey doğu bölümüne doğru periyot değeri yükseliş göstermektedir. Burada da 0.6-0.8 sn aralığında periyot değerleri ve 2-3 civarında zemin büyütme değeri elde edilmektedir. Yerleşimin yoğun olduğu şehrin orta kesimlerinde ise baskın titreşim periyot değerleri 0.2 – 0.6 s aralığında değişmektedir. Özellikle, Asi nehri'nin kuzey bölümünde periyot değerleri 0.2-0.4 s aralığında olmaktadır. Zemin büyütme değerleri 1 – 2 kat aralığındadır. Çalışma alanının güneybatı bölümünde ise periyot değerleri 0.4 s civarındadır.

Antakya ili merkez yerleşimine ait mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur. Buna göre çalışma alanı beş bölgeye ayrılmıştır. Bölgeleme ile birinci bölge sarsıntı duyarlılığının en fazla, dördüncü bölge ise sarsıntı duyarlılığının en az olduğu bölge olarak ayırt edilmiştir.



Şekil 4.9. Antakya ili merkez yerleşimine ait mikrobölgeleme haritası

4.6. Deprem İvmesi

Deprem inivmesi, deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Binaların üzerinde sabit durduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete geçirilmektedir. Yapılar, zeminden ayrı bir kütleyle sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet (cisimlerin harekete karşı direnci) kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum sabit hızla giden bir aracın ani hızlanmasına veya yavaşlamasına benzer. Araç içindeki yolcular nasıl ani fren sonucu yıkılabiliyorlarsa, deprem sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleri tarafından da binalar yıkılabilmektedir. Deprem sırasında yerin sarsılması aynı zamanda ivme olayıdır. Maksimum (Pik) ivme, deprem sırasında kaydedilen en büyük ivme değeridir.

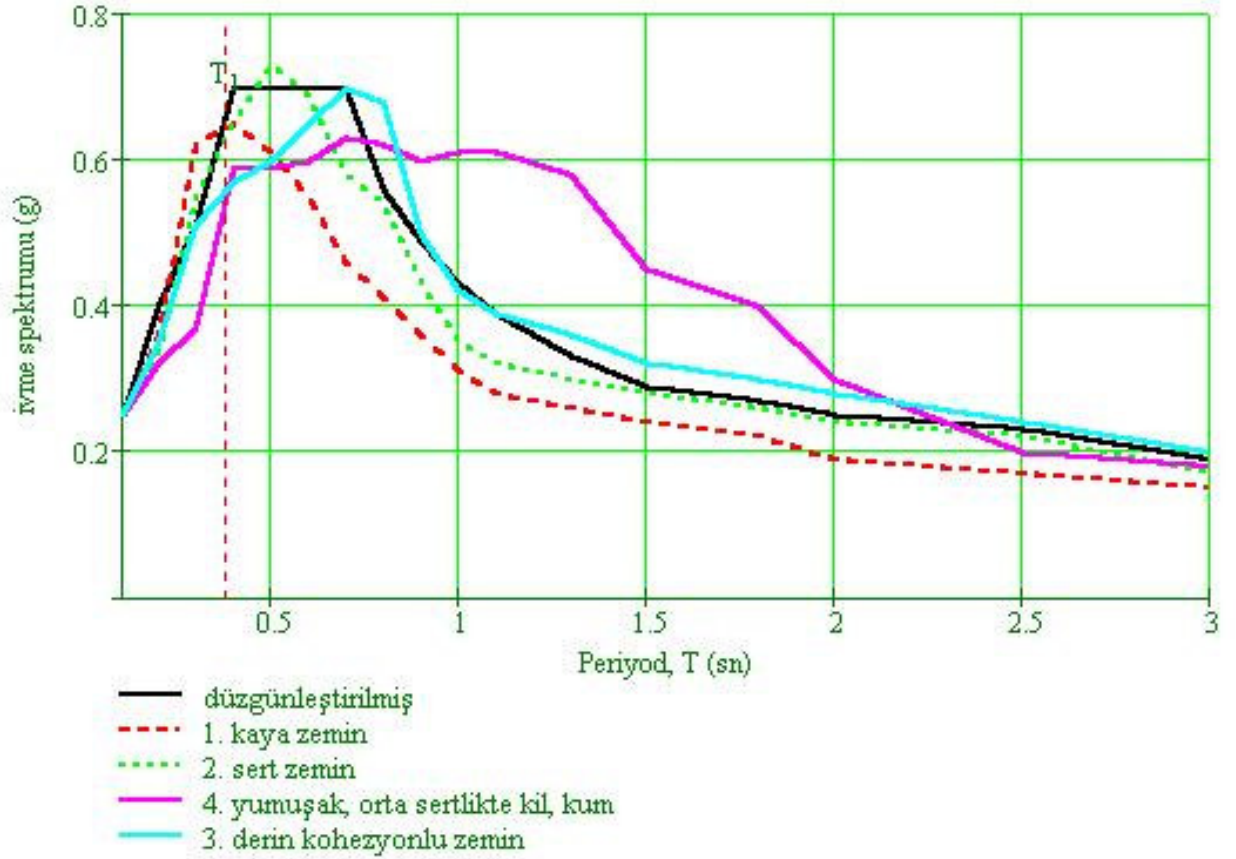
4.7 Niçin Kuvvetli Yer Hareketi Ölçümleri ?

Kuvvetli yer hareketi ölçümlerindeki amaç, deprem sırasında oluşan yer ivmesini ölçmektir. İvme kayıtları mühendislik uygulamaları ve bilimsel çalışmalar için önemli veri tabanı oluşturmaktadır. Önemli mühendislik bilgileri içeren bu ivme değerleri, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda, depremin uzaklıkla olan azalım ilişkileri geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Herhangi bir istasyonda kaydedilmiş bir depremin, istasyondan değişik uzaklıklardaki yerleşim birimlerinde beklenen hasar tahmini ve şiddet dağılımı belirlenebilmektedir. Bir deprem anında ivme kayıtlarına erişim hızlı olduğu için, deprem bölgesindeki hasar durumu hızlı bir şekilde tahmin edilebilir. Deprem tehlikesi belirlemede, en önemli dinamik parametreyi depremin ivmesi teşkil etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden biri, zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesidir. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınan parametrelerden, “Etkin Yer İvmesi Katsayısı”nın sağlıklı olarak belirlenmesi, inşaat yerinde temel kayada beklenen maksimum yatay yer ivmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır. Yakın aralıklarla konumlandırılmış ivme-ölçer dizilerinden sağlanan kayıtlarla, deprem dalgasının yayılımı, fayın karakteristiği, depremin odak mekanizması ve zemin büyütmesi belirlenebilir. Ayrıca ivme-ölçerler, depremin S ve P dalgalarının faz farkı sürelerinden yararlanarak yangınlar, nükleer sızıntılar ve gaz emüsyonu gibi ikincil hasar yapıcı, insan sağlığına ve büyük ekonomik kayıplara neden olan etkenlere karşı erken uyarı amaçlı kullanılabilir. İvme-ölçerlerin duyarlıklarının artması sonucu mikrotremorlar, ivme olarak kaydedilebilir.

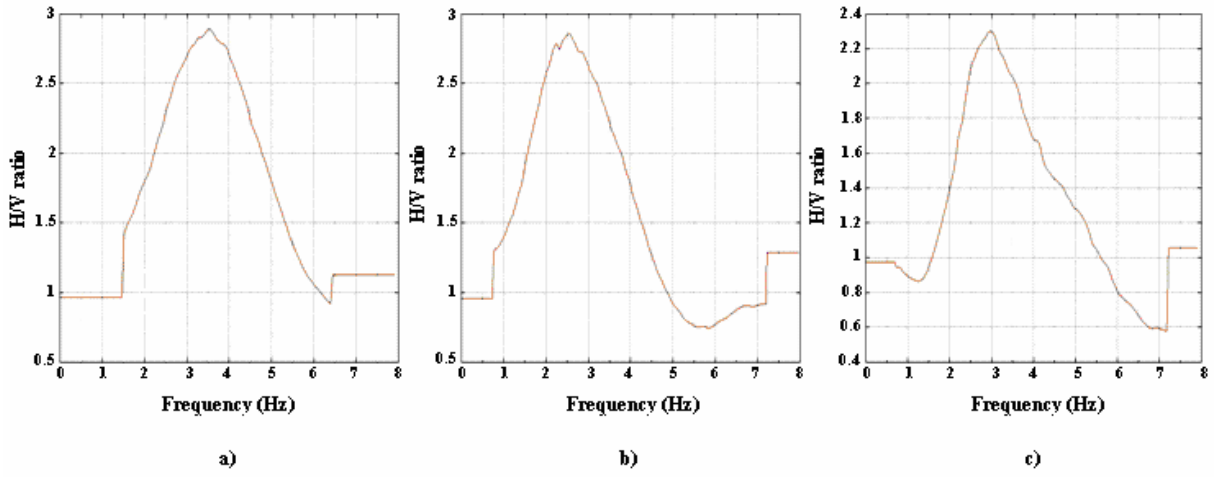
4.8.İvme Değerlerinin Mikrotremor Verilerinden Yararlanılarak Bulunması

Bu tezde ki amaç kuvvetli yer hareketi olmadan mikrotremor ölçümleri ile aşağıda farklı zemin durumları için verilen ivme –periyod, arasındaki ilişkiyi göstermekedir.

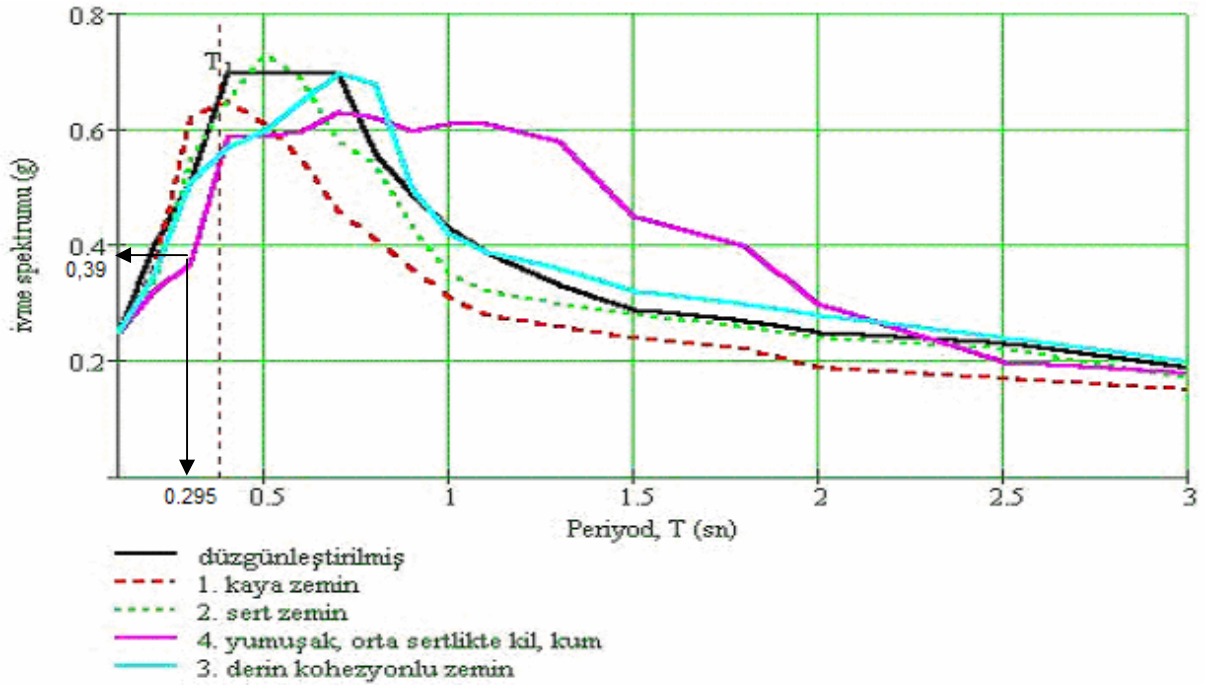
(http://www.benkold.com/deprem/deprem_spektrum.htm)



Mikrotremor ölçümlerini sonucu bulunan baskın periyodlar bu deprem spektrumunda kullanılarak ivme değerleri her bir istasyondan alınan ölçümler için bulunmuştur.



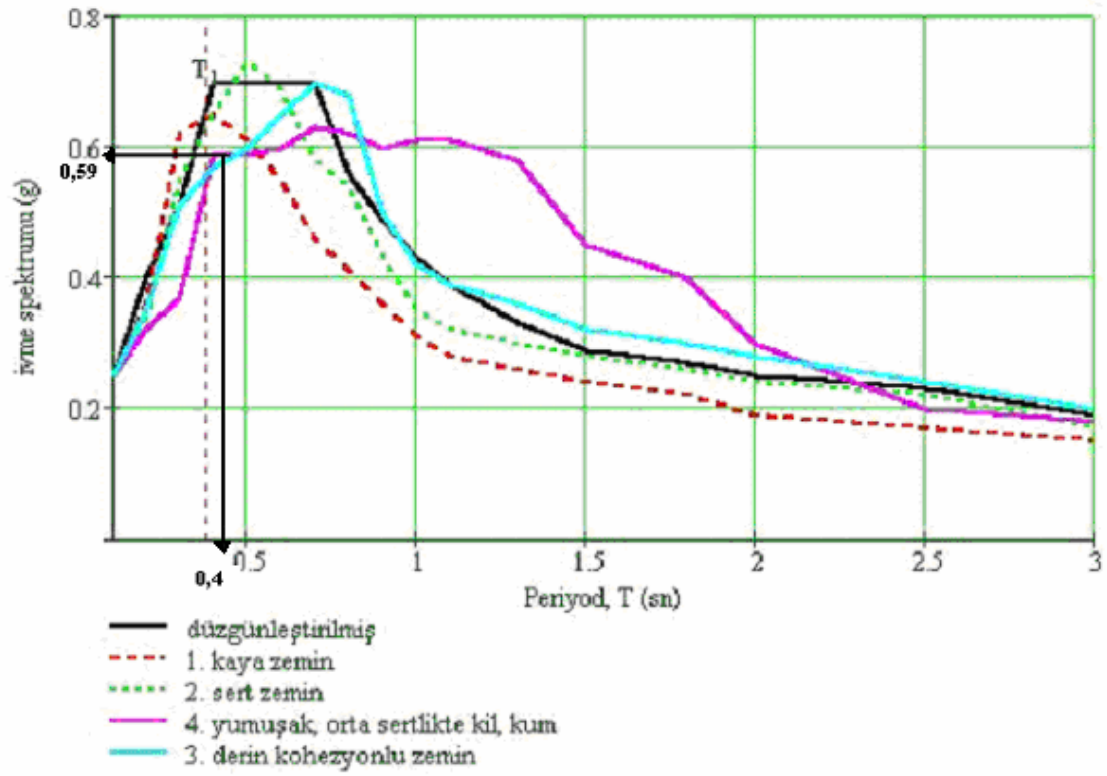
Şekil 16. H/V spektrum eğrileri a) 10 nolu istasyon, b) 16 nolu istasyon, c) 28 nolu istasyon



10 nolu ölçüm ivme-periyod grafiği

10 nolu istasyonun baskın periyodu=0,295

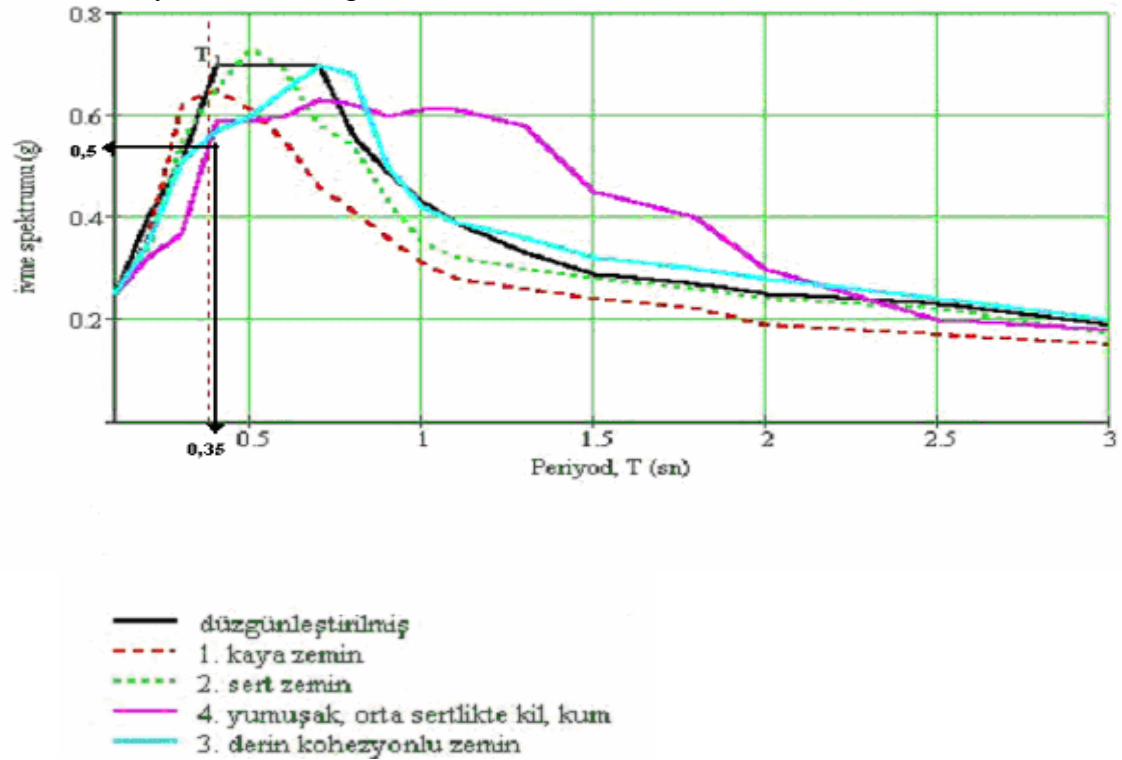
10 nolu istasyonun ivme değeri =0,39



16 nolu ölçüm ivme-periyod grafiği

16 nolu istasyonun baskın periyodu=0,402

16 nolu istasyonun ivme değeri=0,588



28 nolu ölçüm ivme-periyod grafiği

28 nolu istasyonun baskın periyodu=0,356

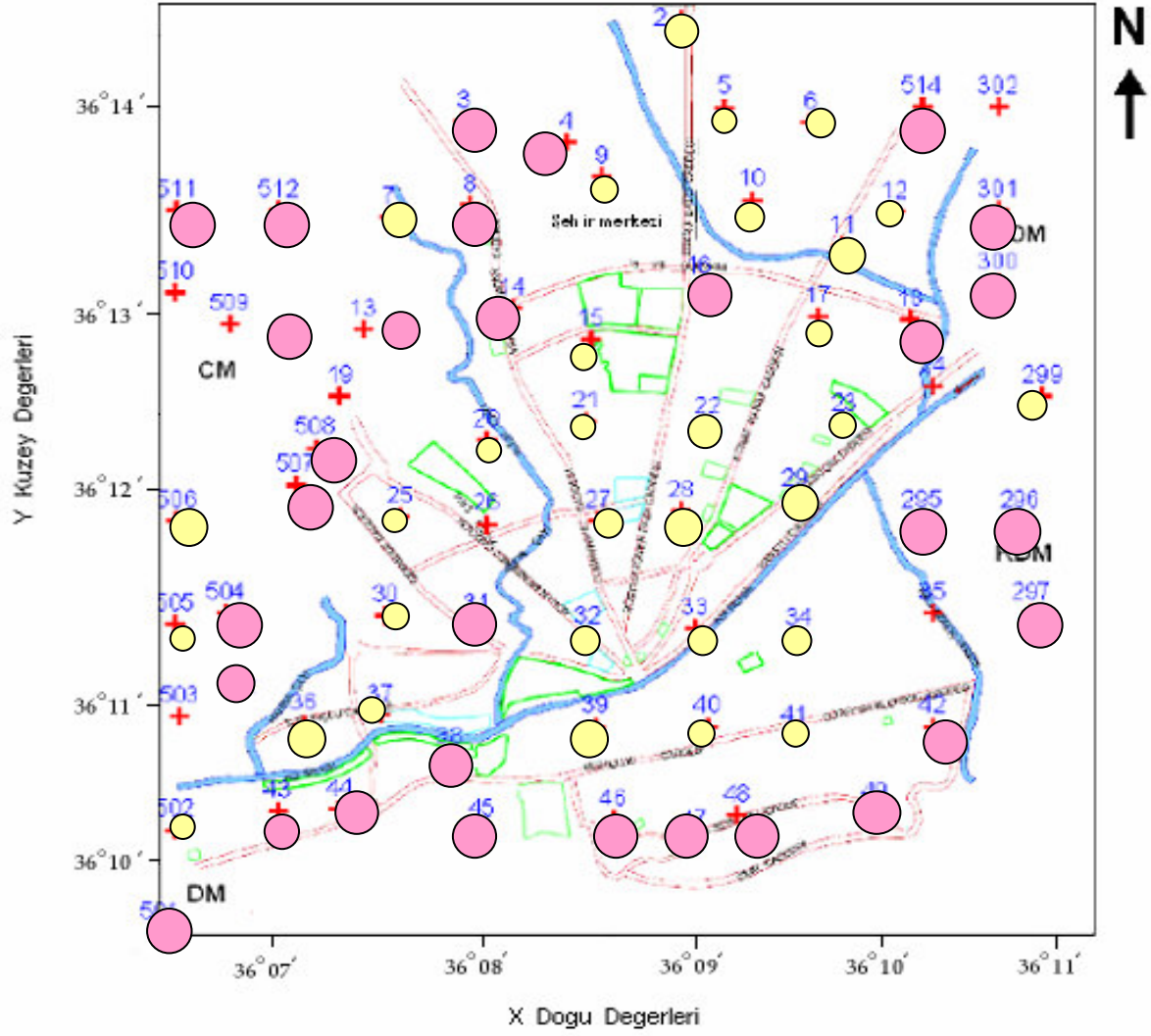
28 nolu istasyonun ivme değeri=0,5

Çizelge 3. Çalışma Alanının Baskın Titreşim Periyodu, Zemin Büyütme İvme Değerleri

Ölçü No	Koordinat (Y)	Koordinat (X)	Baskın Periyot (s)	Baskın Frekans (Hz)	Büyütme	İvme
2	36°14'35"	36°09'09"	0,312	3,204	1,268	0.45
3	36°14'05"	36°07'53"	0,444	2,25	1,805	0.588
4	36°13'57"	36°08'28"	0,449	2,225	1,825	0.588
5	36°14'02"	36°09'17"	0,173	5,85	0,703	0.388
6	36°14'01"	36°09'37"	0,293	3,418	1,191	0.39
7	36°13'31,6 "	36°07'35,4 "	0,321	3,108	1,305	0.463
8	36°13'34"	36°08'01"	0,37	2,7	1,504	0.588
9	36°13'44,1 "	36°08'38,9 "	0,267	3,752	1,085	0.363
10	36°13'33,9 "	36°09'22,7 "	0,295	3,39	1,199	0.39
11	36°13'20,7 "	36°09'49,8 "	0,339	2,95	1,378	0.488
12	36°13'28,4 "	36°10'02,5 "	0,248	4,028	1,008	0.35
13	36°12'53,4 "	36°07'27,5 "	0,351	2,85	1,427	0.5
14	36°13'01,1 "	36°08'09,6 "	0,427	2,344	1,736	0.588
15	36°12'46,6 "	36°08'31,5 "	0,238	4,202	0,967	0.35
16	36°13'05"	36°09'06,4 "	0,402	2,49	1,634	0.588
17	36°12'56"	36°09'40,7 "	0,22	4,541	0,894	0.35
18	36°12'51,3 "	36°10'12,9 "	0,476	2,108	1,935	0.588
20	36°12'20,8 "	36°08'03,2 "	0,126	7,959	0,512	0.3
21	36°12'27,4 "	36°08'35,7 "	0,183	5,469	0,744	0.338
22	36°12'21,2 "	36°09'11,1 "	0,313	3,2	1,272	0.45
23	36°12'23,8 "	36°09'52,1 "	0,235	4,25	0,955	0.35
25	36°11'52,3 "	36°07'38,6" "	0,181	5,5	0,736	0.338
26	36°11'50,4 "	36°08'03,6" "	0,325	3,076	1,321	0.463
27	36°11'51,1 "	36°08'39,9 "	0,29	3,45	1,179	0.39
28	36°11'54,7 "	36°09'02,1 "	0,356	2,808	1,447	0.5

29	36 ⁰ 11'54,4 "	36 ⁰ 09'38,4 "	0,33	3,027	1,341	0.488
30	36 ⁰ 11'22,7 "	36 ⁰ 07'31,2 "	0,263	3,8	1,069	0.363
31	36 ⁰ 11'19,5 "	36 ⁰ 08'04,7 "	0,435	2,3	1,768	0.588
32	36 ⁰ 11'17,7 "	36 ⁰ 08'34,4 "	0,286	3,5	1,163	0.39
33	36 ⁰ 11'23,4 "	36 ⁰ 09'08,3 "	0,29	2,2	1,179	0.39
34	36 ⁰ 11'14,9 "	36 ⁰ 09'42,9 "	0,284	3,52	1,154	0.39
36	36 ⁰ 10'47,5 "	36 ⁰ 07'08,1" "	0,357	2,8	1,451	0.5
37	36 ⁰ 10'53,8 "	36 ⁰ 07'31,6" "	0,235	4,25	0,955	0.35
38	36 ⁰ 10'30,7 "	36 ⁰ 07'52,7 "	0,426	2,344	1,732	0.588
39	36 ⁰ 10'35,5 "	36 ⁰ 08'36,2 "	0,36	2,778	1,463	0.5
40	36 ⁰ 10'37,5 "	36 ⁰ 09'11,7 "	0,238	4,139	0,967	0.35
41	36 ⁰ 10'33,7 "	36 ⁰ 09'39,5 "	0,328	3,052	1,333	0.463
43	36 ⁰ 10'14,4 "	36 ⁰ 07'02,8 "	0,343	2,92	1,394	0.468
44	36 ⁰ 10'20,7 "	36 ⁰ 07'23,5 "	0,414	3,049	1,683	0.588
45	36 ⁰ 10'09,4 "	36 ⁰ 08'02,7 "	0,488	2,05	1,984	0.588
46	36 ⁰ 10'14,4 "	36 ⁰ 08'45,8 "	0,518	2,051	2,106	0.588
47	36 ⁰ 10'01,3 "	36 ⁰ 09'08,7 "	0,518	1,929	2,106	0.588
48	36 ⁰ 10'21,1 "	36 ⁰ 09'41,3 "	0,436	2,294	1,772	0.588
49	36 ⁰ 10'13,7 "	36 ⁰ 10'04,8 "	0,464	2,152	1,886	0.588
295	36 ⁰ 11'45,9 "	36 ⁰ 10'14,7 "	0,148	6,76	0,620	0.32
296	36 ⁰ 11'48,7 "	36 ⁰ 10'43,6 "	0,8	1,25	3,210	0.625
297	36 ⁰ 11'15,8 "	36 ⁰ 10'48,3 "	0,59	1,69	2,640	0.6
298	36 ⁰ 09'11,1 "	36 ⁰ 09'11,1 "	0,8	1,25	3,210	0.625
299	36 ⁰ 12'31,8 "	36 ⁰ 10'51,2 "	0,287	3,48	1,096	0.39
300	36 ⁰ 13'11,6 "	36 ⁰ 10'36,6 "	0,588	1,7	2,630	0.6
301	36 ⁰ 13'33,4 "	36 ⁰ 10'34,7 "	0,526	1,9	2,114	0.6
302	36 ⁰ 14'08,3 "	36 ⁰ 10'36,2 "	0,625	1,6	2,710	0.61
501	36 ⁰ 09'21,1 "	36 ⁰ 06'27,6 "	0,377	2,65	1,485	0.59
502	36 ⁰ 10'10,6 "	36 ⁰ 06'31,2 "	0,18	5,56	0,742	0.337

503	36°10'46,4 "	36°06'31,9 "	0,364	2,75	1,463	0.5
504	36°11'21,5 "	36°06'47,6 "	0,714	1,40	2,910	0.61
505	36°11'18,7 "	36°06'29,4 "	0,178	5,62	0,696	0.33
506	36°11'51,4 "	36°06'33,6 "	0,33	3,03	0,784	0.49
507	36°12'04,2 "	36°07'06,7 "	0,425	2,35	1,657	0.59
508	36°12'18,1 "	36°07'15,3 "	0,658	1,52	2,840	0.61
509	36°12'58,9 "	36°06'52,8 "	0,714	1,40	2,910	0.61
510	36°13'07,7 "	36°06'28,5 "	0,16	6,25	0,622	0.32
511	36°13'31,3 "	36°06'28,4 "	0,66	1,52	2,760	0.61
512	36°13'37,2 "	36°07'01,1 "	0,66	1,52	2,760	0.61
514	36°14'08,4 "	36°10'13,7 "	0,91	1,09	3,980	0.6



Şekil 5.1. Proje Alanının İvme Haritası

İvme değerlerinin veya dağılım haritasının baskın periyod/frekans ve zemin büyütme değerleri ile uyum sağladığı görülmektedir. Sonuç olarak ivme haritasına incelediğimizde Asi nehri boyunca güney ve kuzey kesimlerinde bekleneni aksine düşük ivme değerlerine sahip bir zemin varlığı projelenmiştir. Buna karşın Antakya şehrinin çevresinde daha büyük ivme değerleri proje alanında görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Depremlerin ne zaman ne büyüklükte olacağını öngörmek kadar, olası bir depremin bölgede ne gibi etkilerle ve hangi özelliklerle oluşacağını da tahmin etmek önemlidir. Bir depremin etkisi, oluşum noktasına eşit uzaklıkta olan farklı bölgelerde farklı şekillerde özellikler göstermektedir. Bu durum, söz konusu deprem kaynağı aynı da olsa, farklı bölgelerin deprem çekincesi açısından farklı tepkiler verebileceğini gösterir. O halde bölgelerin ayrıntılı olarak incelenmesi zorunluluğu doğmaktadır.

Deprem kaynağına ait parametrelerle birlikte bölgesel özellikler de incelenerek dikkate alınmalıdır. Çekinceli alanların jeofizik, jeolojik ve jeoteknik özelliklerini yansıtan mikrobölgelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Mikrobölgelendirme çalışmaları deprensellik ve bölgesel yer koşullarıyla ilgili geniş bilgiler içerdiğinden ilgili tüm mühendislik bilimleri için kaynak ve rehber olma özelliği taşıyacaktır. Mikrobölgelendirme çalışmalarının en önemli verilerinden olan yer salınım periyodu ve büyültme faktörü hesaplanmalıdır. Yer salınım periyodu inşaat mühendisleri tarafından yapı dizaynında kullanılan spektrum katsayısı hesaplamalarına doğrudan giren bir parametre olduğu için hesaplanması çok önemlidir. Ayrıca üzerine yapılacak yapının doğal periyodu ile yerin salınım periyodunun rezonans oluşturmaması için yer salınım periyodu mutlaka saptanmalıdır.

Arazide pratik olarak hız ölçer sismometrelerle yerin doğal gürültüsü ölçülerek elde edilen mikrotremor verilerinden yer salınım periyodunun hesaplanması, çok pratik ve zaman kazandırıcı ve aynı zamanda ucuz bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir bölgede oluşacak bir depremin etkili olacağı periyot değeri o bölgede kaydedilen kuvvetli yer hareketi verileri kullanarak da saptanabilir. Kuvvetli yer hareketi verileri de her ne kadar doğru ve kesin sonuç sağlıyorsa da etkin yer salınım periyodu saptamalarında, mikrotremorlardan elde edilen değerler ile kuvvetli yer hareketinden elde edilen değerler uyumluluk göstermektedir. Mikrotremor ölçümleri için herhangi bir yer hareketi beklemeye gerek kalmadan her an ve istenilen sürede kayıt alınabilmesi, kayıt istasyonlarının sayı ve sıklığının ayarlanmasının kolay olması, ucuz ve zamandan kazandıran bir yöntem olması da büyük bir avantajdır.

Ülkemizde ve dünyada yaşanan birçok depremin hasar oluşum koşulları incelendiğinde, yerin deprem dalgalarını genleştirme (büyültme) karakterinin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Yerin yapısal ve şekilsel oluşumu, jeolojik birimlerin özellikleri, yeraltı suyunun varlığı ve derinliği, yerin topoğrafik özellikleri, deprem dalgalarının iletiminde önemli rolü olan yerin dinamik elastik özellikleri ve diğer fiziksel özellikleri yerin deprem dalgalarını büyültmesine neden olabilmektedir. Aynı jeolojik birim üzerinde olan fakat diğer fiziksel ve yapısal özellikleri farklı olan iki yer yapısı aynı deprem karşısında farklı tepkiler vermektedir. Bu olay bölgesel yer etkisi olarak tanımlanmaktadır.

Özellikle yurtdışında yapılan ve yayınlanan birçok uygulamalı sismoloji çalışmalarında kullanılan mikrotremor verileri ve bu verilerin analizi için kullanılan Nakamura yöntemi, yer etkisi çalışmalarında etkili ve güvenilir sonuçlar üretmektedir.

Bölgesel yer etkilerinin saptanması için teorik modelleme yaklaşımları ve doğrudan yerin doğal titreşimleri ölçülerek değerlendirilen amprik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında mikrotremor verilerinin doğrudan analizine dayanan, teorik ve sayısal olarak doğruluğu saptanmış olan, dünya üzerine yaygın kabul gören ve uygulanan Nakamura spektral oranlar yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalarla deprem hasarları açısından riskli olabilecek bölgeler ve daha az riskli bölgeler belirlenmiştir. Bölgede yerin doğal salınım periyodunun ve yerin büyültme katsayısının dağılımı belirlenmiş ve zonlama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile bölgenin sismik ve jeolojik yapısını yansıtan veriler uyum içerisindedir. Bu uyumluluk çalışılan bölge ve bölgeye benzeyen diğer bölgeler için Nakamura yönteminin uygulanabilirliğini ve etkili sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Ülkemizde maalesef standart bir yer araştırma yöntemi olmayan mikrotremor yöntemi, dünyada 1900'lü yılların başından beri başarıyla uygulanmaktadır. Fakat ülkemizde henüz fazla tanınmamakta ve uygulanmamaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı, deprem riski, deprem senaryoları çalışmaları, mikrobölgeleme çalışmaları, yer yapısı, heyelan ve benzeri çalışmalarda ve hatta jeofizik araştırmalarında; bakır, uranyum, petrol ve doğalgaz aramaları ve jeotermal araştırmalarda da faydalanılmakta olan mikrotremor yönteminin çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır.

Ülkemizde şehirleşme, planlama, projelendirme, afet, yeniden yapılanma, araştırma ve geliştirme konularında yaşanan ihmal ve eksikliklerin sonucu üzücü felaketler oluşmaktadır. Bu durumlar karşısında çaresiz ve bilgisiz kalmamak için tüm temel bilimlerin, mühendislik bilimlerinin ve araştırmacıların öncelikli olarak bu ve benzeri konularda bilgilendirilmesi ve uygulamaları hayata geçirmesi, ülkemizin bilimsel, sosyal ve ekonomik gelişmesinde önemli adımlar olacaktır.

Antakya, Akdeniz bölgesinde yer alan ve 200000 nüfuslu orta büyüklükte bir şehirdir. Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) güney ucunda bulunan Antakya'nın önemli sismik etkinlikler gösterdiği bilinmektedir. Antakya ve civarında meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu DAF boyunca görülmektedir. Antakya merkezli meydana gelen depremler genellikle orta büyüklükte depremlerdir. Ancak 7.0 ve daha büyük depremler de tarihsel süreçte görülmüştür. Depremlerin odak derinlikleri genellikle 30 km ve daha sığdır. Ancak 30 km'den daha derin depremler de vardır. Antakya'da meydana gelebilecek büyük depremlerden Antakya'nın farklı zemin özellikleri gösteren bölgelerinde davranış farklılığı olması beklenmektedir. Bu

farklılık yapıları da etkileyeceği için zemin davranışlarının ve gevşeklik-sıklık ayrımının iyi yapılması gerekmektedir. Böylece şehir içerisindeki yapılaşma sırasında deprem güvenliğinin öne çıkarılması sağlanmış olacaktır. Bu kapsamda gerçekleştirilen Antakya ili merkez yerleşiminin mikrobölgeleme çalışması sonucunda aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

- 1) Çalışma alanında yapılan mikrotremor çalışmaları sonucunda yapılan baskın titreşim periyot hesaplamalarına göre 0.2-0.8 saniye aralığında değişim göstermiştir. Değişim incelendiğinde çoğunlukla yüzey jeolojisi ile uyum içinde olduğu görülmektedir.
- 2) Mikrotremor verileri ışığında elde edilen baskın titreşim dağılım haritası incelendiğinde zeminin sarsıntı duyarlılığının genellikle Asi nehri'nin güney-güneybatısında beklenenin aksine düşük olduğu, ayrıca Antakya'nın çevresinde sarsıntı duyarlılığının oldukça fazla olduğu görülmüştür (Şekil4.7).
- 3) Antakya ili merkez yerleşimine ait mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur. Buna göre çalışma alanı beş bölgeye ayrılmıştır. Bölgeleme ile birinci bölge sarsıntı duyarlılığının en fazla, dördüncü bölge ise sarsıntı duyarlılığının en az olduğu bölge olarak ayırt edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Al Yuncha, Z and Luzon, F. [2000] “On the horizontal-to-vertical spectral ratio in sedimentary basins”, **Bulletin of Seismological Society of America** 90, 1101–1106.
- Over, S., Unlugenc, U.C. and Bellier, O. [2002] “Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey)” **Geophysical Journal International** 148, 1-14.
- Over, S., Ozden, S. and Yilmaz, H. [2004a] “**Late Cenozoic stress evolution along the Karasu Valey, SE Turkey**” **Tectonophysics** 380, 43-68
- Over, S., Kavak, K.S., Bellier, O. and Ozden, S. [2004b] “Is the Amik Basin (SE Turkey) a triple-junction area? Analyses of SPOT XS imagery and seismicity” **International Journal of Remote Sensing** 25 (19), 3857-3872.
- Kanai, K., Tanaka, T., Osada, K. 1954. **Measurement of the Microtremor 1. Bulletin of the Earthquake Research Institute**, University of Tokyo, 32; 200-208.
- Kanai, K., Tanaka, T. 1961. **On Microtremors 8th Bulletin of the Earthquake Research Institute**, University of Tokyo, 39; 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T., Yoshizawa, S. 1965. **On Microtremors 9th Bulletin of the Earthquake Research Institute**, University of Tokyo, 43; 577-588.
- Kanai, K. 1983. **Engineering Seismology**. University of Tokyo, 251, Japonya.
- Ambraseys, N.N. [1970] “**Some characteristic features of the Anatolian fault zone**”, **Tectonophysics** 9, 143-165.
- Aki, K.1993. **Local Site Effects on Weak and Strong Ground Motion**. **Tectonophysics**, 218; 93-111.
- Alçık, H, A., Gürbüz, C., Üçer, B.1995. **Kadıköy ve Üsküdar bölgelerinde yapılan mikrotremor ölçümleri ile mikrobölgelendirme. Jeofizik Dergisi** (9, 10); 235-245
- Ercan, A. 2001. **Kıran (Afet) Bölgelerinde Yeraraştırma Yöntemleri Bilgiler ve Kurallar**. Kardeşler Grup Matbaacılık, 339, Türkiye.
- Gallipoli, M. R., Lapenna, V., Lorenzo, P., Mucciarelli M., Perrone, A., Piscitelli, S. Sdao, F. 2000. Comparison of Geological and Geophysical Prospecting Techniques in the study of a Landslide in Southern Italy. **European Journal of Environmental and Engineering Geophysics**, 4; 117- 128.
- Gutierrez, C., Singh, S., K. 1992. A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico; comparison of results from strong motion and microtremor data. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 82; 642- 659.
- Gül, A. 1972. Mikrobölgelendirme Etüdüleri İlke ve Yöntemleri. **Türkiye’ de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu**, Ankara.

- Çetinoğlu, T. [2003] “**İzmit ve civarının zemin özelliklerinin mikrotermor ölçümleriyle belirlenmesi**” MSc thesis (Unpublished).
- Erdik, M., Aydınoglu, N., Kalafat, D., Pınar, A. [1997] “January 22, 1997 (Mw=5.8) Antakya, Turkey” **Earthquake International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI)**, Thessaloniki, Greece, August 17 - 28.
- Kalafat, D. and Bağcı, G. [2001] “**Adana ve Doğu Anadolu fay zonunun depremsellik özellikleri**”, TMMOB, Jeofizik Mühendisleri toplantısı-Adana, 36-43.
- Kanlı, A.I., Tildy, P., Pronay, Z., Pınar, A. and Hermann, L. [2006] “**VS30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey**”, *Geophysical Journal International* 165, 223–235.
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. [1994] “**Are microtremors useful in site response evaluation**”, *Bulletin of the Seismological Society of America* 84(5), 1350-1364.
- Nakamura, Y. [1989] “**A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface**”, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI) 30 (1).
- Perincek, D. and Eren, A.G. [1990] “**Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Olu Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni**” Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildiri Kitabı 180–192.
- Rojay, B., Heimann, A. and Toprak, V. [2001] “**Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu Fault zone (Anatolia, Turkey): The transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone**”, *Geodinamica Acta* 14, 197–212.
- Saroglu, F., Emre, O. and Kuscü, I. [1992] “**The East Anatolian fault zone of Turkey**”, *Annali Tectonicae* VI, 99–125.
- Sieberg, A. [1932] “**Erdbebengeographic**” B.Gutenberg (Editor), *Handbuch der Geophysic*. Bands IV, Borntrager, Berlin, 527-1005.
- Soysal, H., Sipahioglu, S., Kolcak, D. and Altınok, Y. [1981] “**Türkiye tarihsel deprem katalogu**” TUBITAK Project (No: TBAG-341), Ankara.
- Tekeli, O., Erendil, M. and Whitechuch, H. [1983] “**Autochthons, parautochthons and ophiolities of the Eastern Taurus and Amanos mountains**” Field guidebook, MTA, Ankara.
- http://www.benkoltd.com/deprem/deprem_spektrum.htm

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Semir ÖVER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarım, Jeof. Müh. Bülent DEMİR, Jeof. ve Müh. M. Burak AYDIN ve yardımını esirgemeyen sayın Hocam Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında maddi ve manevi desteğini esiregemeyen hayatımın her aşamasında bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Adana'da doğdum. İlk ve Ortaöğrenimi Adana'da tamamladım. Lisans öğrenimini, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı (İnşaat) eğitiminde tamamladım. Belirli bir süre Adana Kambeton şirketinde labotuar bölümünde çalıştım. Aynı dönemde Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Bölümünün İnşaat Mühendisliği Anabilim dalının Geoteknik bölümünde yüksek lisansa kabul edildim.

EKLER

EK – 1. Proje alanında yapılan ölçülerin koordinatları ve açıklayıcı bilgiler

EK – 2. Mikrotremör ölçülerinin dalga formları

EK – 3. Mikrotremör verilerinin H/V spektrum oranları grafikleri

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ – MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ÖLÇÜ KARNESİ

Ölçü No	Yükseklik (m)	KOORDİNAT				ÖLÇÜ TÜRÜ	AÇIKLAMA
		ENLEM		BOYLAM			
		UTM	GEO	UTM	GEO		
1	132	4012,809	36 13 33,2	0242,449	36 08 04,3	Mikrotremor	100. Sokak: 23:55 – 00:05 Dosya Adı: 30/09/2005
2	142	4013,218	36°13'46,5"	0242,692	36°08'13,6"	Mikrotremor	Aksaray Mah. Şükrü Balcı Cad.: 23:05 – 23:15 Dosya Adı:30/09/2005
3	135	4012,347	36°13'18"	0242,348	36°08'0,9"	Mikrotremor	78. Sokak: 00:39 – 00:49 Dosya Adı: 30/09/2005
4	120	4012,477	36°13'22,5"	0242,731	36°08'16,1"	Mikrotremor	110. Sokak: 01:33 - 01:43 Dosya Adı: 30/09/2005
5	121	4012,808	36°13'33,7"	0243,065	36°08'29"	Mikrotremor	41. Sokak ile 42. Sokak keşisi: 02:13 - 02:23 Dosya Adı:30/09/2005
6	133	4013,192	36°13'46,4"	0243,411	36°08'42,5"	Mikrotremor	19. Sokak ile 18. Sokak keşisi: 02:48 - 02:58 Dosya Adı:30/09/2005
7	126	4011,194	36°12'40,6"	0242,226	36°07'57,4"	Mikrotremor	122 – 6 Sokak kenarı: 01:25 - 01:35 Dosya Adı:30/09/2005
8	118	4011,687	36°12'56,7"	0242,415	36°08'04,38	Mikrotremor	125. Sokak ile 120-1 Sokak köşesi: 00:45 – 00:55 Dosya Adı: 30/09/2005
9	116	4011,987	36°13'07,1"	0243,062	36°08'29,9"	Mikrotremor	29. Sokak: 00:10 – 00:20 Dosya Adı:30/09/2005
10	108	4012,433	36°13'21,9"	0243,297	36°08'38,7"	Mikrotremor	30. Sokak civarı: 04:11 - 04-21 Dosya Adı:30/09/2005
11	88	4012,563	36°13'26,7"	0244,055	36°09'8,8"	Mikrotremor	54/3. Sokak: 03:52 - 04:02 Dosya Adı:30/09/2005
12	93	4013,105	36°13'44,4"	0244,256	36°09'16,5"	Mikrotremor	Doğan Sokak üstü: 22:51 – 23:01 Dosya Adı:30/09/2005
13	114	4010,862	36°12'30,4"	0242,818	36°08'21,5"	Mikrotremor	Esentepe Mah. 22. Sokak başlangıcı: 00:20 - 00:29 Dosya Adı:30/09/2005
14	115	4011,281	36°12'44,1"	0242,945	36°08'26"	Mikrotremor	02:33 - 02:43 Dosya Adı: 30/09/2005

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ – MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ÖLÇÜ KARNESİ

Ölçü No	Yükseklik (m)	KOORDİNAT				ÖLÇÜ TÜRÜ	AÇIKLAMA
		ENLEM		BOYLAM			
		UTM	GEO	UTM	GEO		
15	117	4011,408	36°12'48,6"	0243,311	36°08'40,5"	Mikrotremor	Ali Acuz Cad. 16. Sokak: 03:14 - 03:24 Dosya Adı: 30/09/2005
16	108	4011,998	36°13'08"	0243,726	36°08'56,4"	Mikrotremor	03:42 - 03:52 Dosya Adı: 30/09/2005
17	90	4012,223	36°13'16"	0244,341	36°09'20,7"	Mikrotremor	11. Sokak civarı: 04:46 - 04:56 Dosya Adı: 30/09/2005
18	82	4012,589	36°13'28,3"	0244,904	36°09'42,9"	Mikrotremor	05:15 - 05:25 Dosya Adı: 30/09/2005
19	108	4010,992	36°12'15,3"	0242,958	36°08'27,6"	Mikrotremor	Çekmece Belediyesi girişi: 00:47-00:57 Dosya Adı:30/09/2005
20	89	4010,700	36°12'25,8"	0243,260	36°08'39,2"	Mikrotremor	Esenlik Mah. 14. Sokak: 00:13 - 00:23 Dosya Adı: 23-7-2005-6
21	110	4011,135	36°12'40"	0243,716	36°08'56,7"	Mikrotremor	45. Sokak: 23:40 - 23:50 Dosya Adı:30/09/2005
22	90	4011,433	36°12'50,2"	0244,078	36°09'11,1"	Mikrotremor	6-1 Sokak Melis apt. yanı: 23:08 - 23:18 Dosya Adı: 30/09/2005
23							
24							
25	96	4009,987	36°12'02,3"	0243,148	36°08'35,6"	Mikrotremor	Gazi Mah. 10. Sokak: 01:12 - 01:22 Dosya Adı: 02/10/2005
26	92	4010,344	36°12'44,4"	0243,607	36°08'53,6"	Mikrotremor	R. Ceylan Apt. önü: 01:40 - 01:50 Dosya Adı: 30/09/2005
27	98	4010,722	36°12'27,1"	0244,055	36°09'10,9"	Mikrotremor	Şehit Piyade Üst. M. Ali Sokak: 02:05 - 02:15 Dosya Adı: 02/10/2005
28	93	4011,042	36°12'37,7"	0244,342	36°09'22,1"	Mikrotremor	3. Akerler Sokak Altuğ Apt. önü: 02:35 - 02:45 Dosya Adı: 02/10/2005
29	95	4012,812	36°12'42,4"	0244,442	36°09'28,4"	Mikrotremor	Yüksekler çamaşır yıkama evi: 03:00 - 03:10 Dosya Adı: 03/10/2005

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ – MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ÖLÇÜ KARNESİ

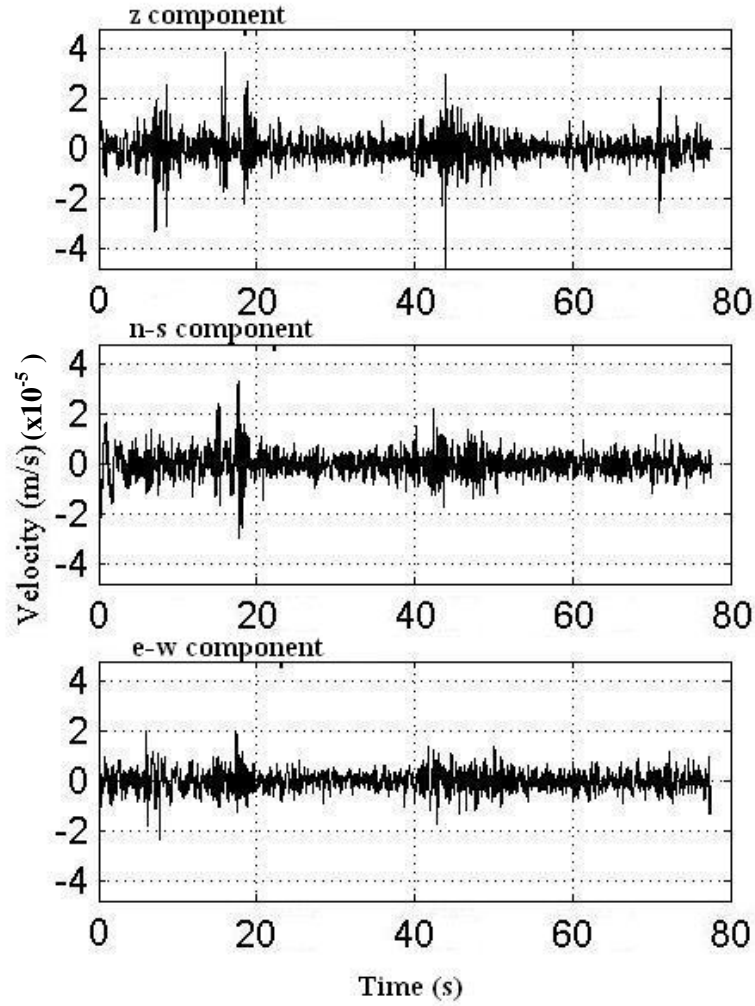
Ölçü No	Yükseklik (m)	KOORDİNAT				ÖLÇÜ TÜRÜ	AÇIKLAMA
		ENLEM		BOYLAM			
		UTM	GEO	UTM	GEO		
30	91	4009,618	36°11'50,7"	0243,527	36°08'51,2"	Mikrotremor	Ay Sokak yanı: 00:59 – 01:09 Dosya Adı: 03/10/2005
31	93	4009,817	36°11'57,5"	0243,869	36°09'04,7"	Mikrotremor	Aygündüz Sokak Park yanı: 00:30 - 00:40 Dosya Adı: 03/10/2005
32	97	4010,272	36°12'12,7"	0244,375	36°09'24,4"	Mikrotremor	Şehit Özen Polis Merkezi Karşısı: 03:55 - 04:05 Dosya Adı: 03/10/2005
33	86	4010,586	36°12'23,4"	0244,731	36°09'38,3"	Mikrotremor	3. Ada çarşısı önü: 05:42 - 05:49 Dosya Adı: 03/10/2005
34	92	4010,933	36°12'34,9"	0245,254	36°09'58,9"	Mikrotremor	Baki Ticaret önü: 01:47 - 01:53 Dosya Adı: 03/10/2005
35	87	4011,222	36°12'44,9"	0245,753	36°10'18,3"	Mikrotremor	Hacılar Sokak ortası: 02:00 - 02:10 Dosya Adı: 03/10/2005
36	78	4008,873	36°11'26,5"	0243,525	36°08'52,1"	Mikrotremor	2. Çıkmaz Sokak: 23:34 - 23:44 Dosya Adı:20-7-2005-11
37	92	4009,235	36°11'36,8"	0243,350	36°09'04,6"	Mikrotremor	2. Sokak: 23:56 - 00:04 Dosya Adı: 03/10/2005
38	80	4009,165	36°11'36,7"	0244,200	36°09'18,7"	Mikrotremor	10. Sokak Sümerler İÖO yanı : 02:11 - 02:18 Dosya Adı: 03/10/2005
39	100	4009,828	36°11'58,5"	0244,708	36°09'36,2"	Mikrotremor	Saray Cad. Kilise önü : 03:09 - 04:05 Dosya Adı: 03/10/2005
40	113	4010,125	36°12'08,5"	0244,933	36°09'46,7"	Mikrotremor	Uzun Çarşı önü : 03:37 - 03:44 Dosya Adı: 04/10/2005
41	95	4010,360	36°12'16,7"	0245,530	36°10'10,5"	Mikrotremor	Savaş Otel arkası : 04:03 - 04:10 Dosya Adı: 04/10/2005
42							
43	69	4008,490	36°11'14,4"	0243,734	36°09'00,8"	Mikrotremor	16. Sokak: 01:23 - 01:33 Dosya Adı: 04/10/2005

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ – MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ÖLÇÜ KARNESİ

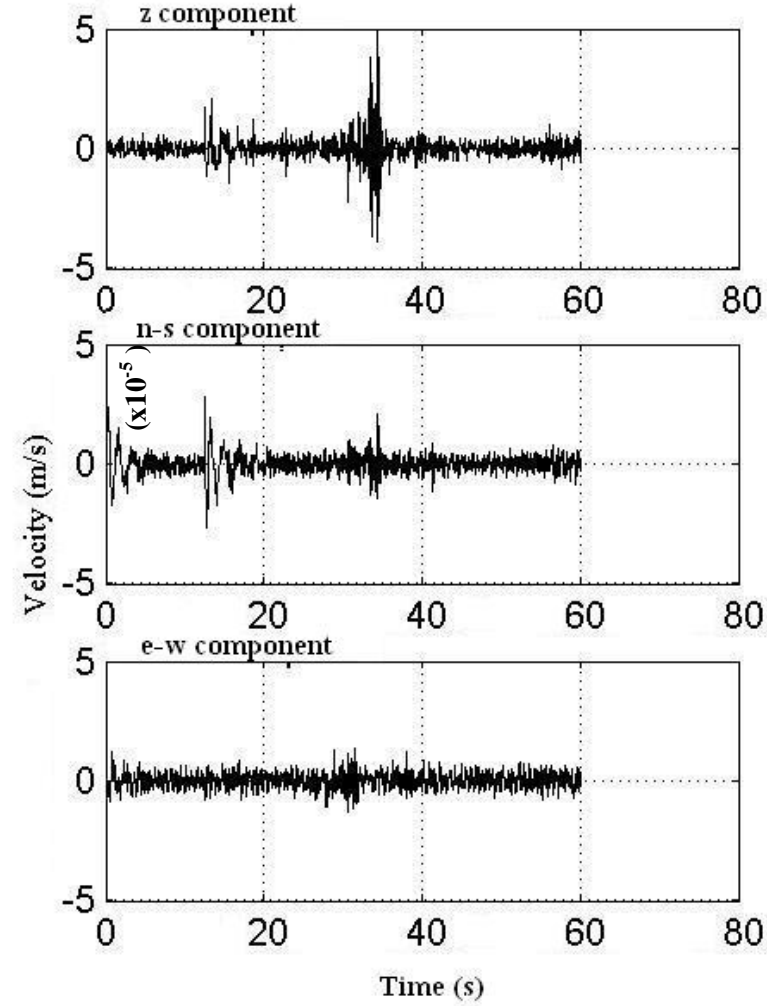
Ölçü No	Yükseklik (m)	KOORDİNAT				ÖLÇÜ TÜRÜ	AÇIKLAMA
		ENLEM		BOYLAM			
		UTM	GEO	UTM	GEO		
44	73	4008,676	36°11'20,7"	0244,031	36°09'12,5"	Mikrotremor	28. Sokak Ziyaret arkası: 00:48 - 00:58 Dosya Adı: 04/10/2005
45	100	4009,039	36°11'32,9"	0244,424	36°09'27,7"	Mikrotremor	02:48 - 02:58 Dosya Adı: 04/10/2005
46	111	4009,409	36°11'45,4"	0245,037	36°09'51,8"	Mikrotremor	Hastane Caddesi ortası: 23:52 – 00:02 Dosya Adı: 04/10/2005
47	140	4010,397	36°12'18,3"	0245,986	36°10'28,7"	Mikrotremor	Şeyh Oğlu Caddesi: 04:20 - 04:25 Dosya Adı: 04/10/2005
48							
49							
50							
51							
52	131	4009,083	36°11'34,9"	0245,179	36°09'57,9"	Mikrotremor	Bağrı Yanık Sokak : 23:24 - 23:34 Dosya Adı: 04/10/2005

EK – 2

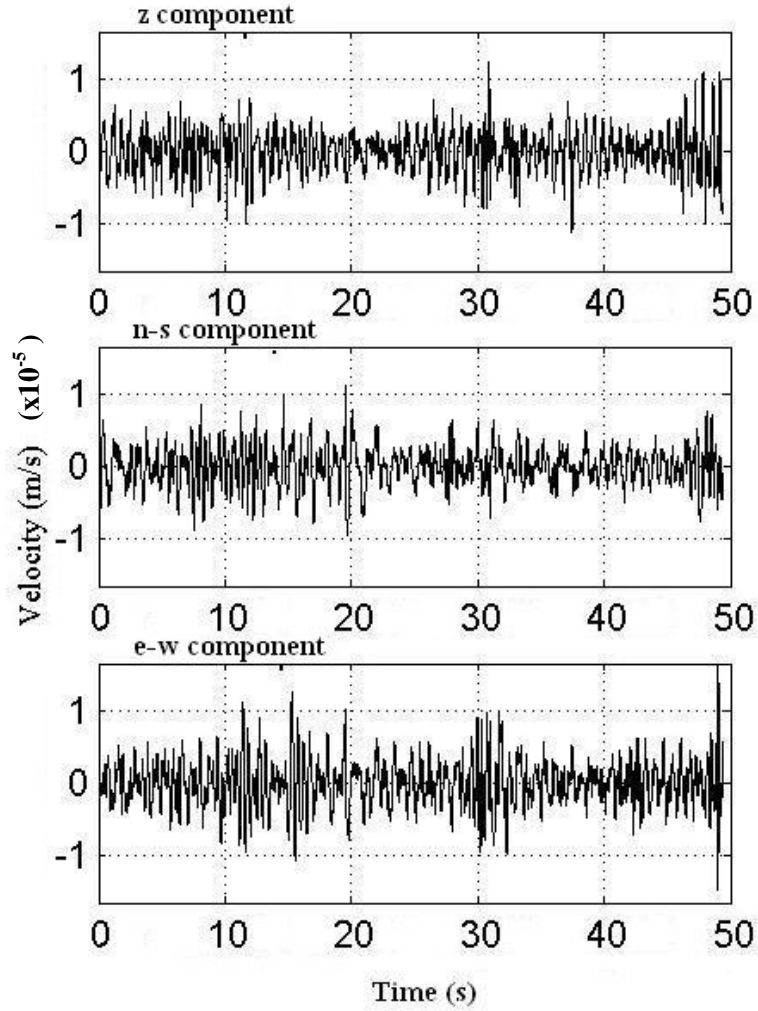
2 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



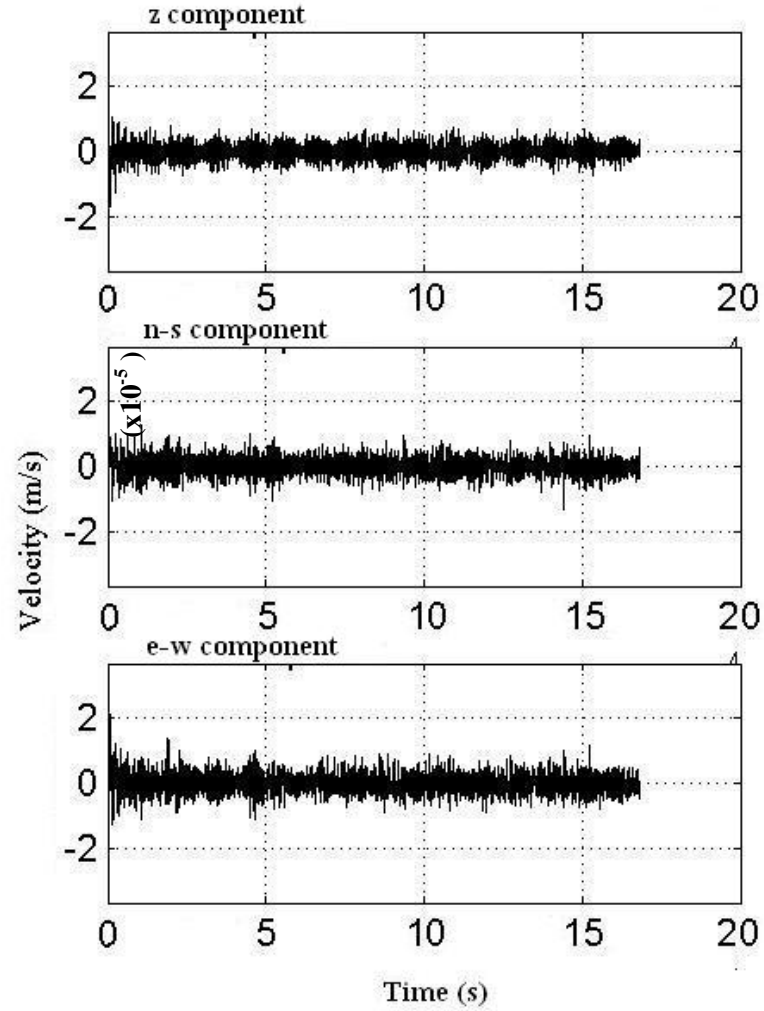
3 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



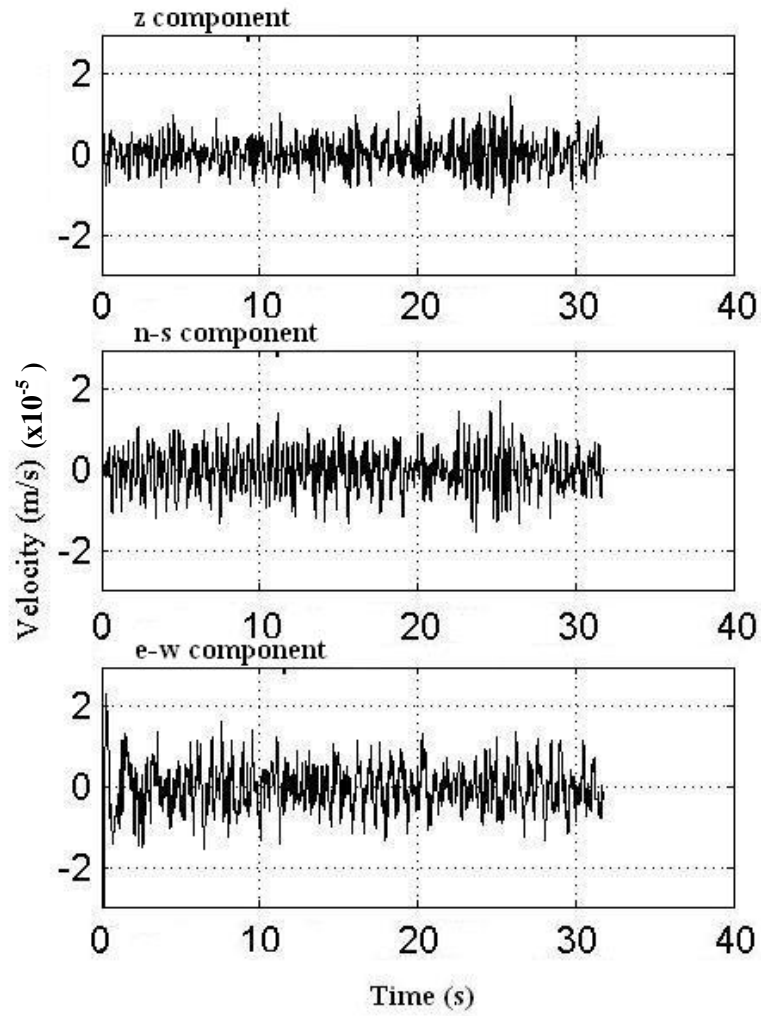
4 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



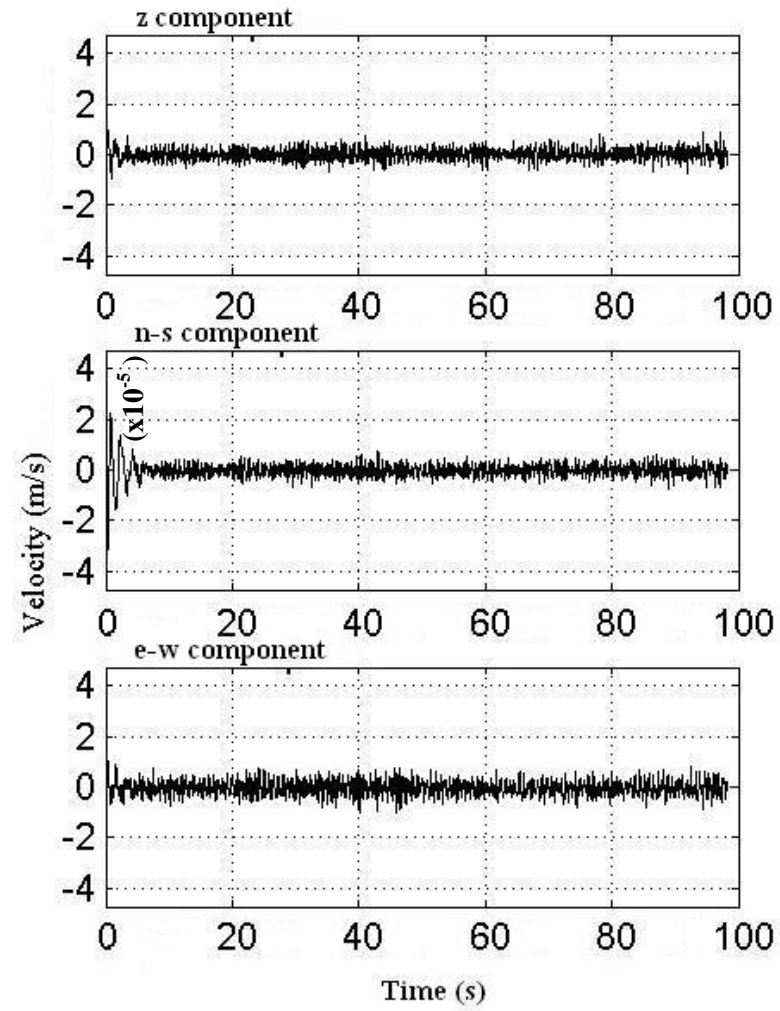
5 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



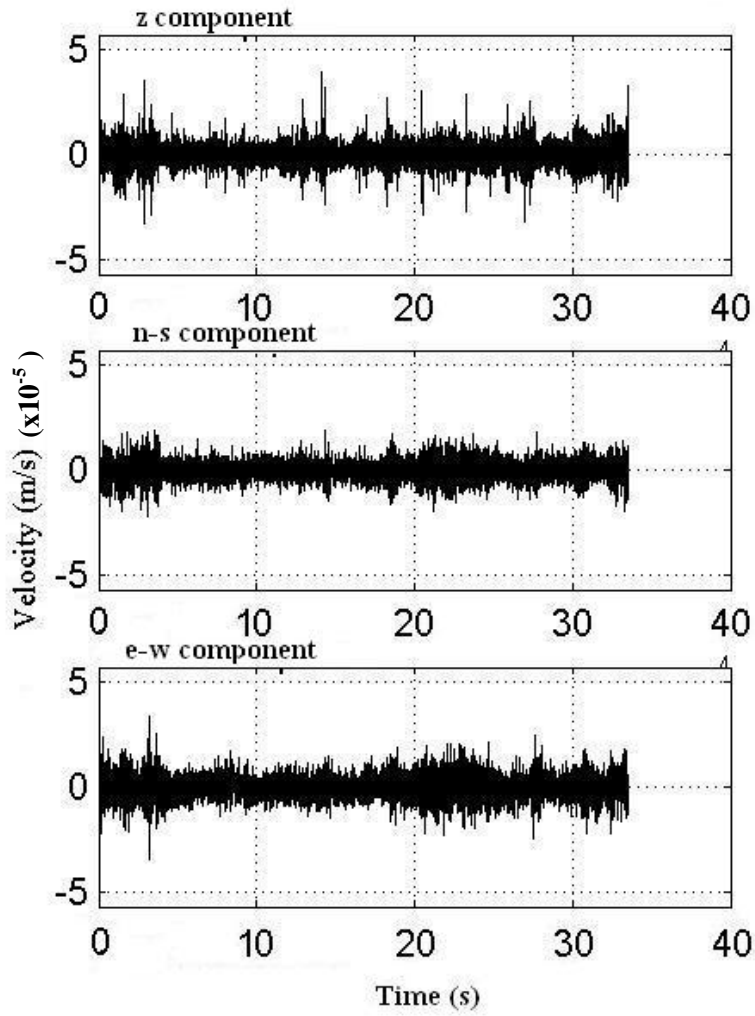
6 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



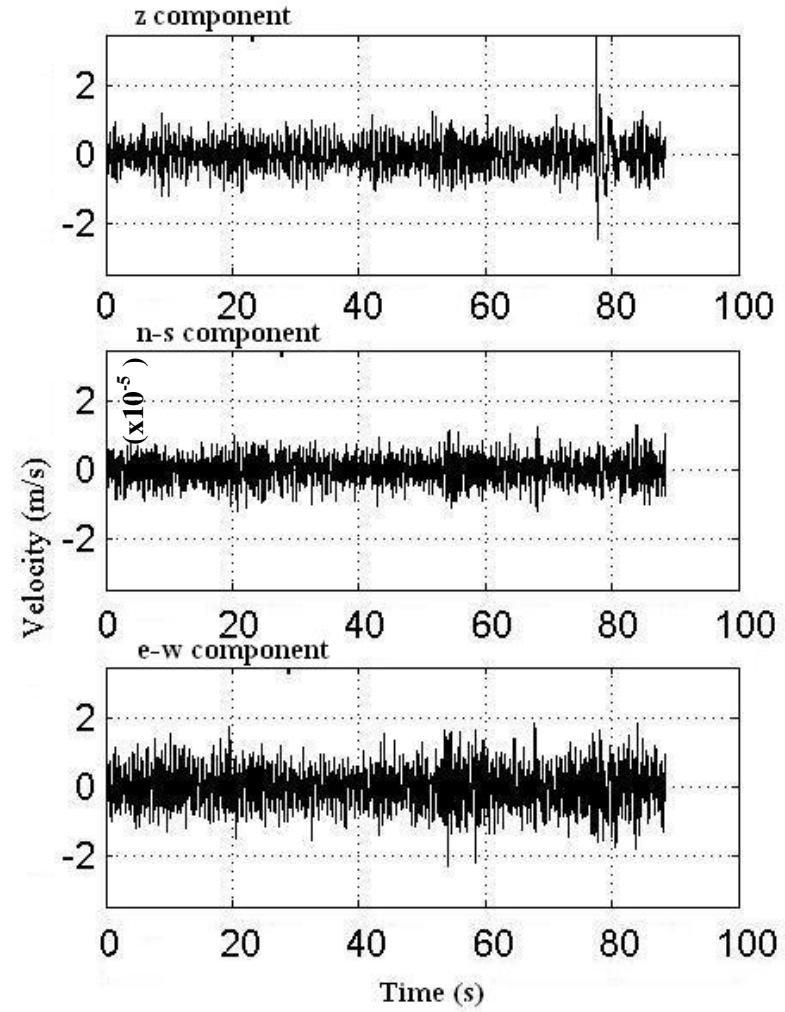
78 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



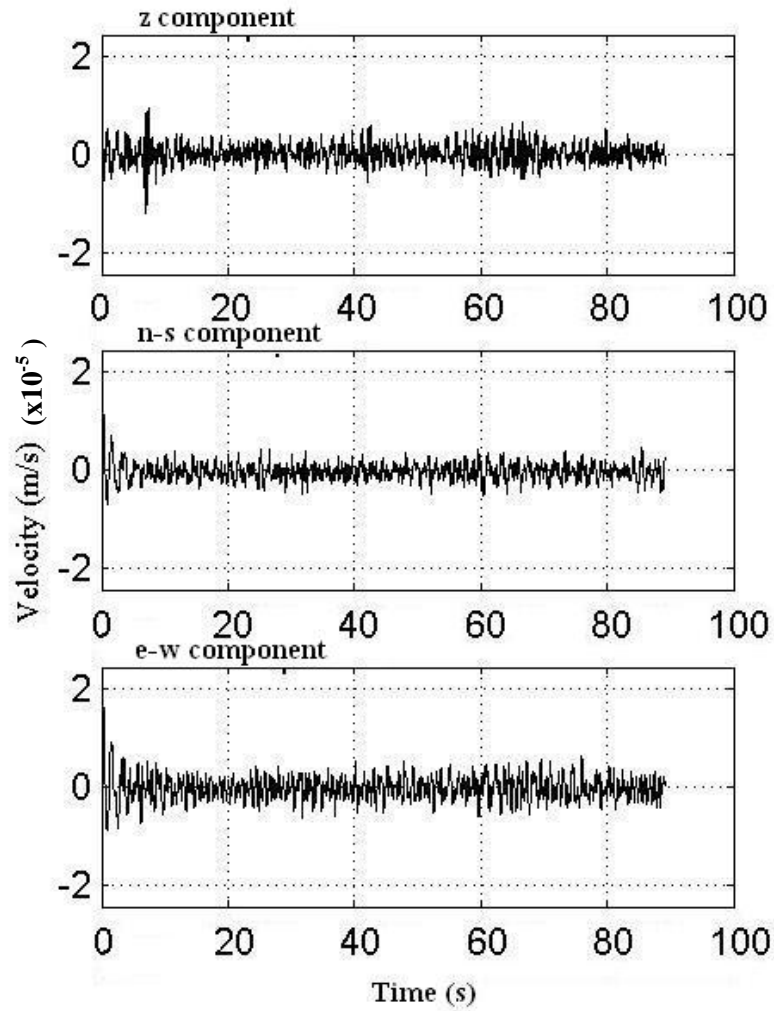
8 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



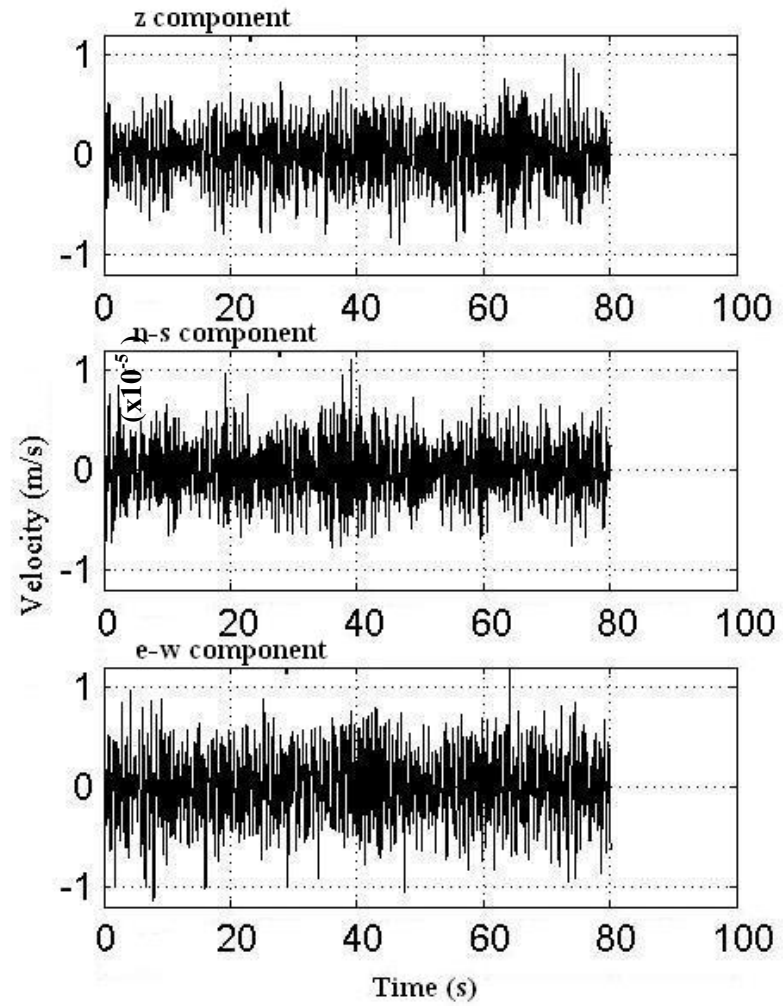
79 9 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



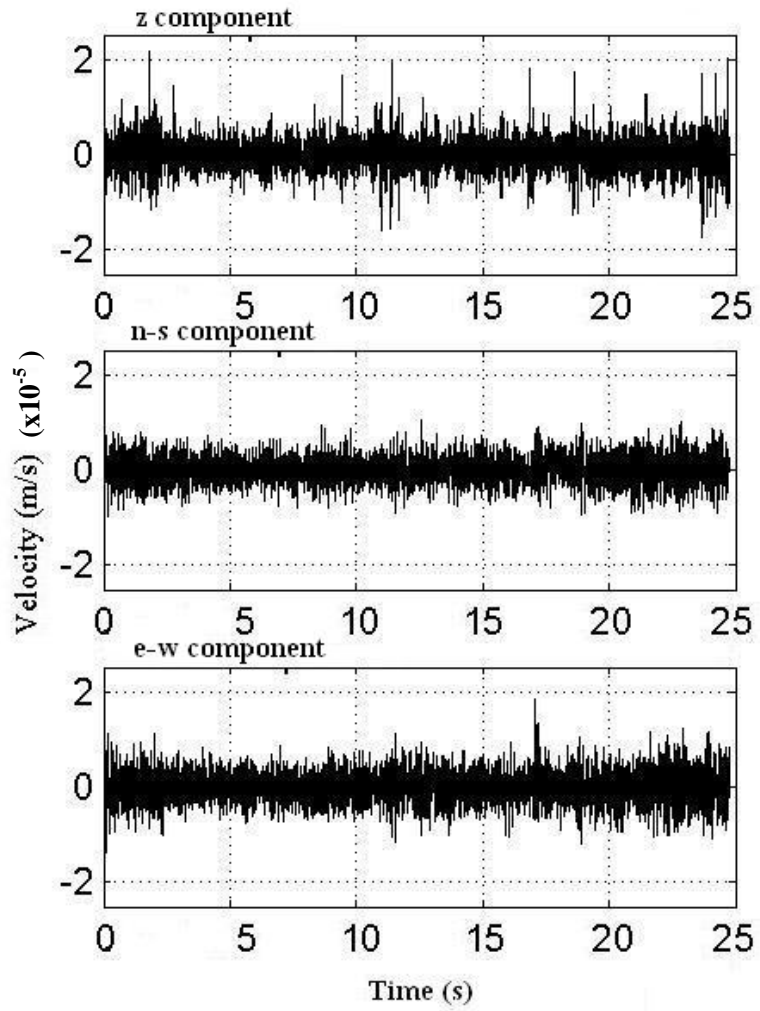
11 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



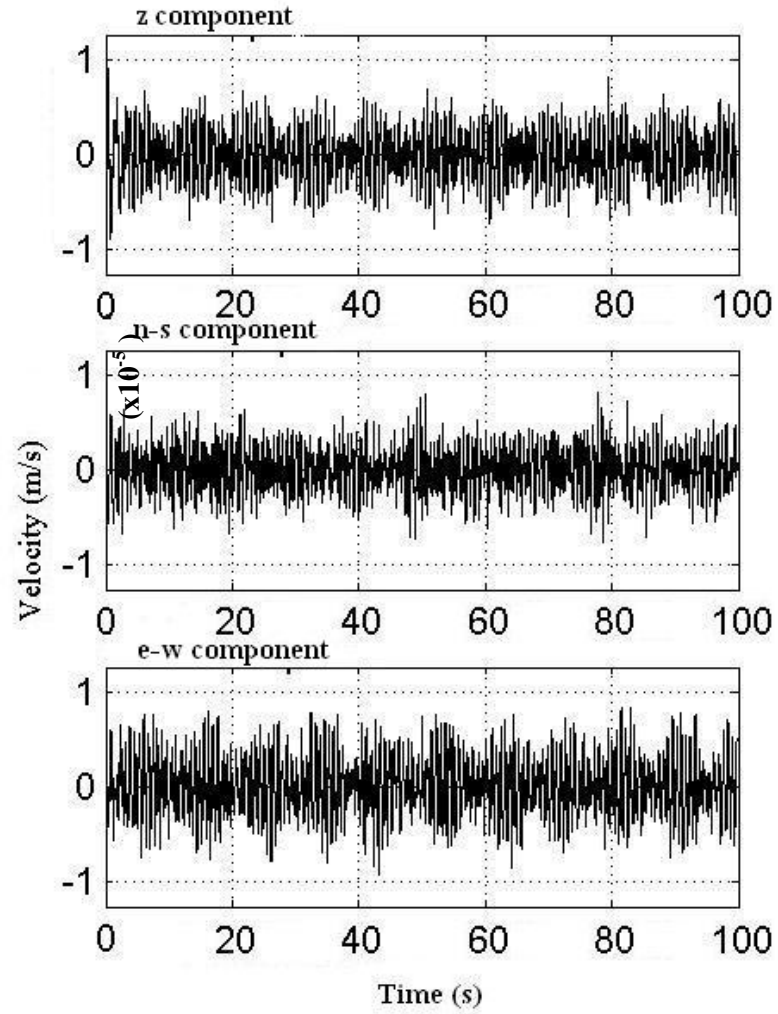
80 12 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



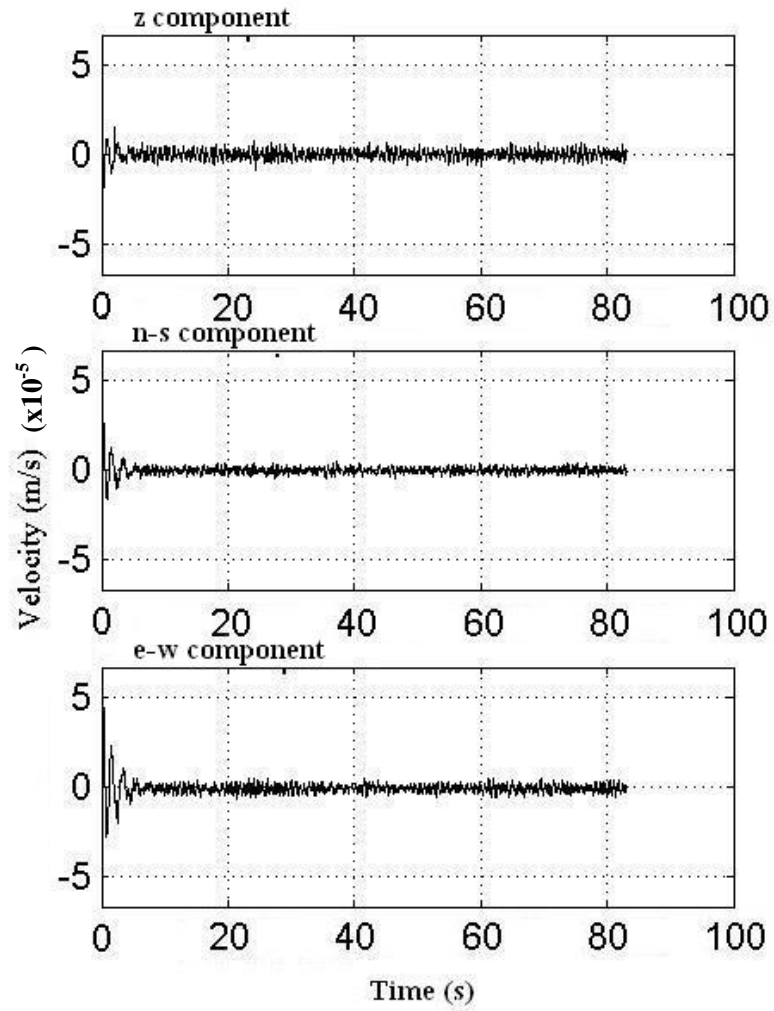
13 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



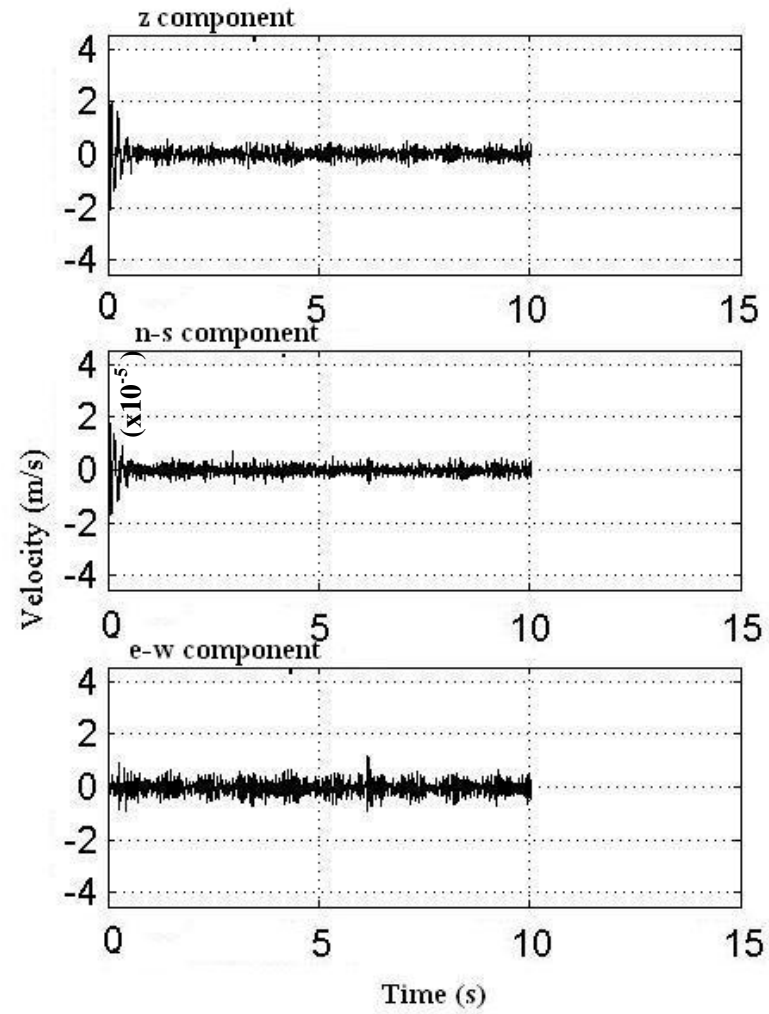
814 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005



15 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005

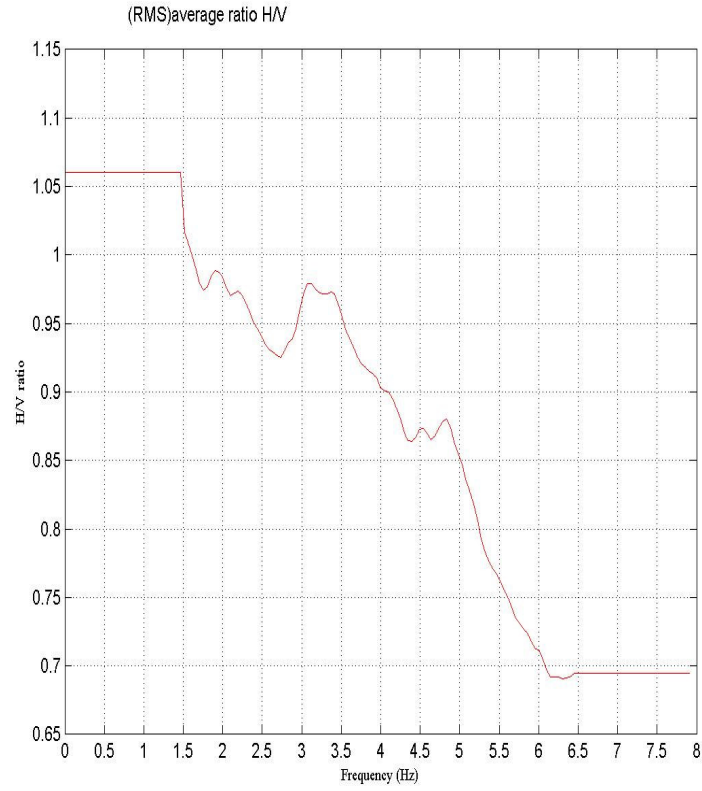


82 16 Nolu Ölçü Noktası Bandpass Filtreli Hız-Zaman Grafiği
Tarih: 30/09/2005

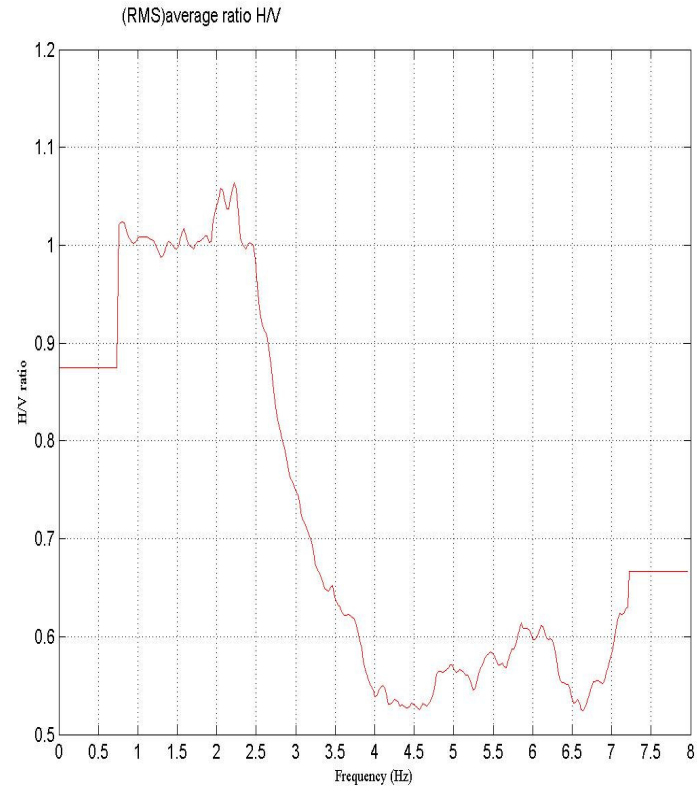


EK – 3

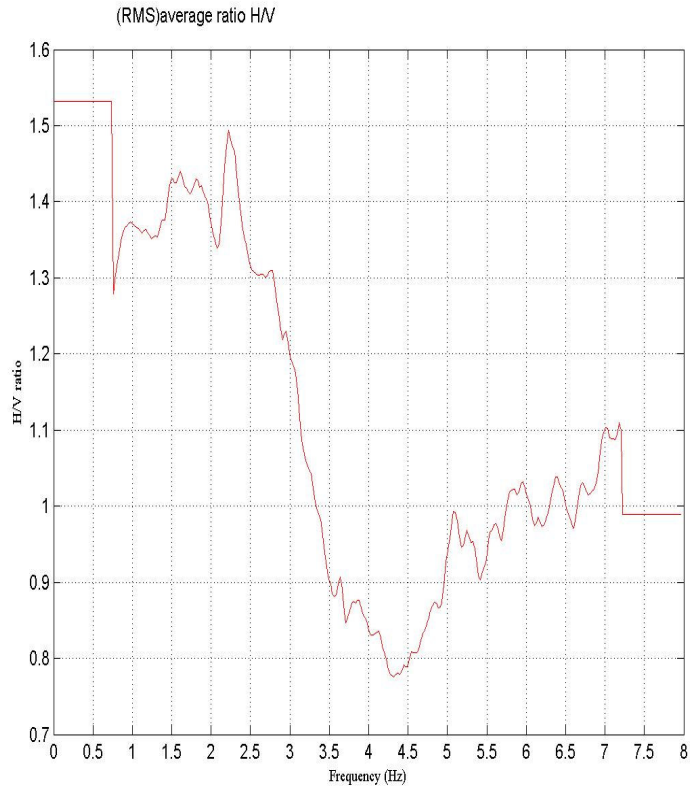
2 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



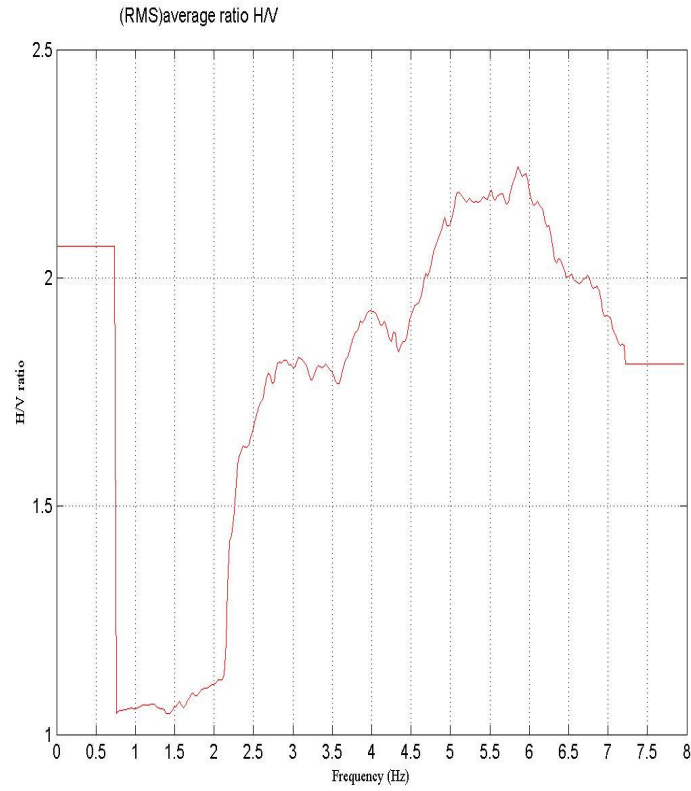
84 **3 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği**
Tarih: 30/09/2005



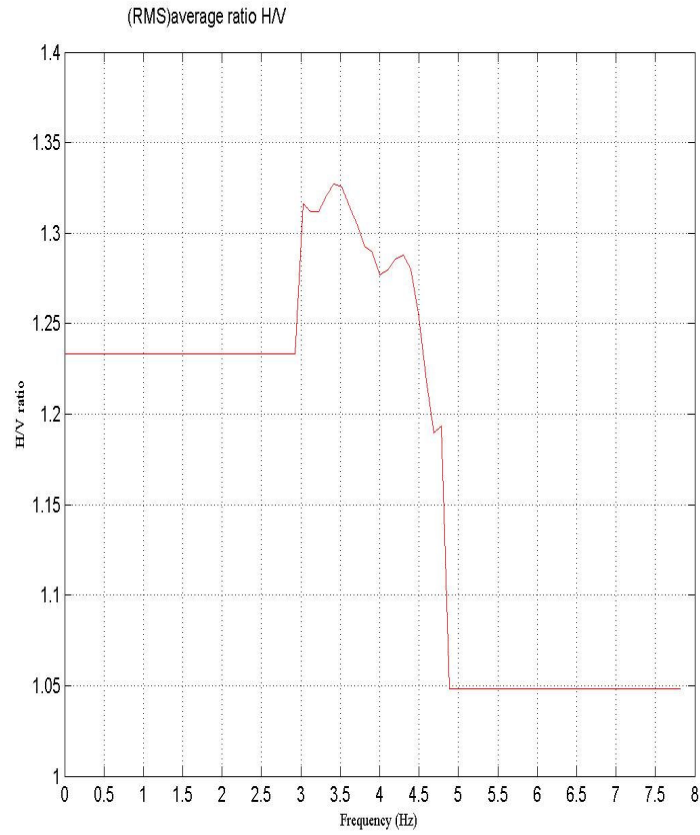
4 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



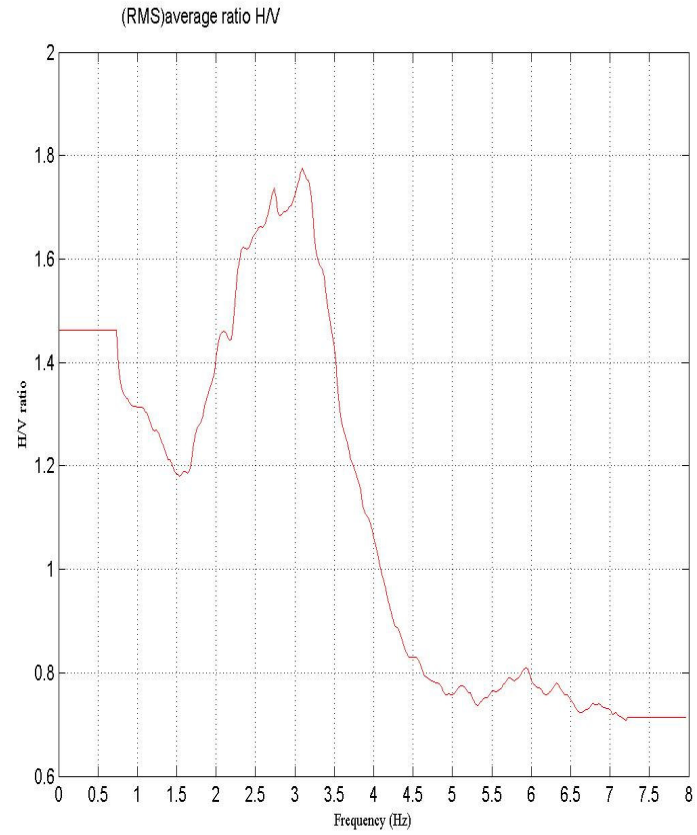
5 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



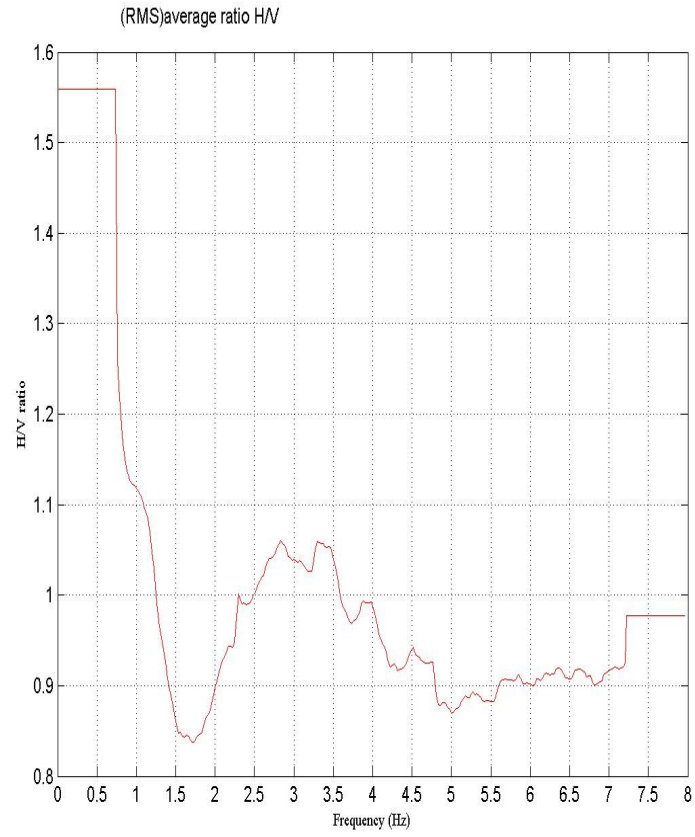
6 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



86 **7 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği**
Tarih: 30/09/2005

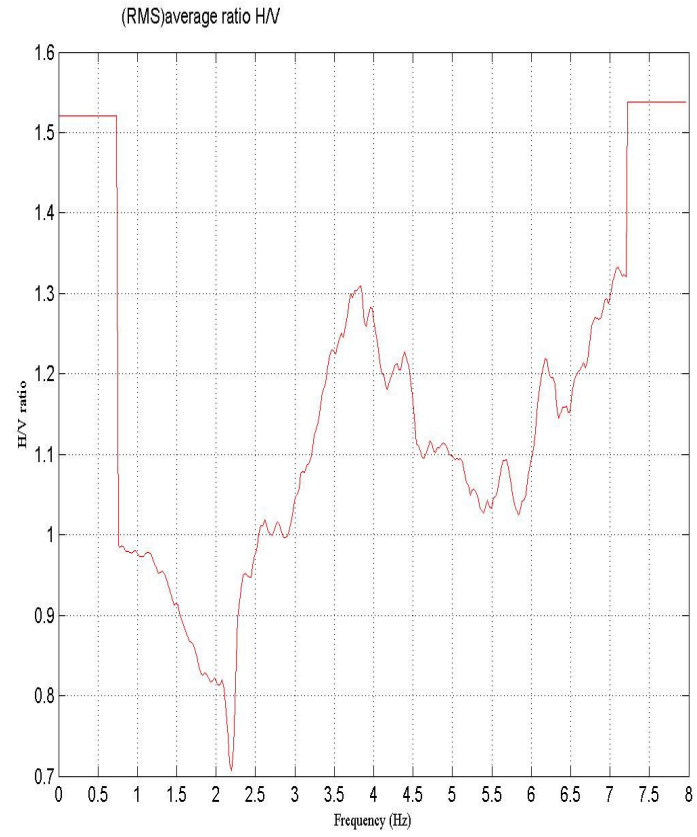


8 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005

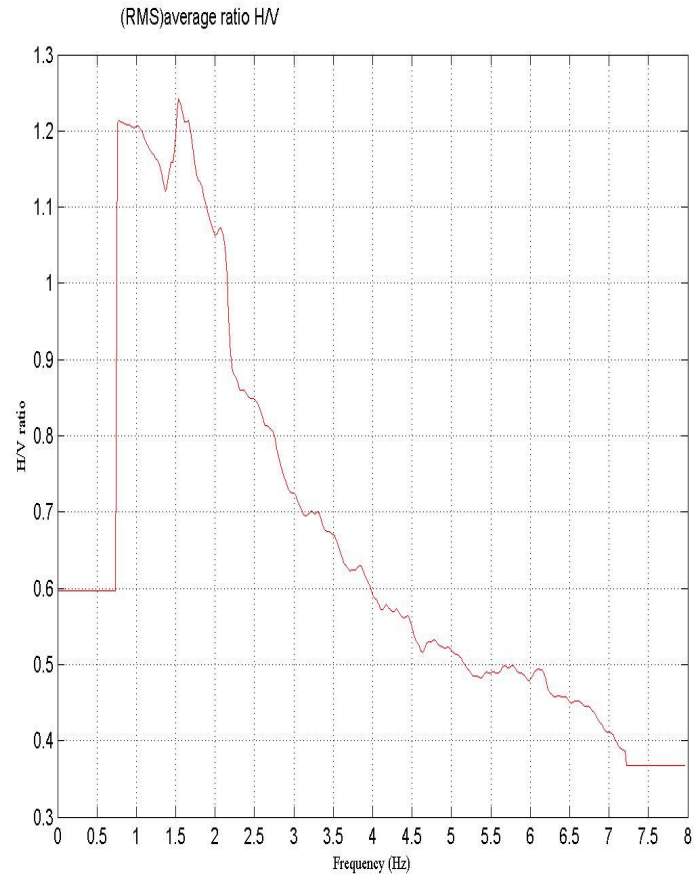


87

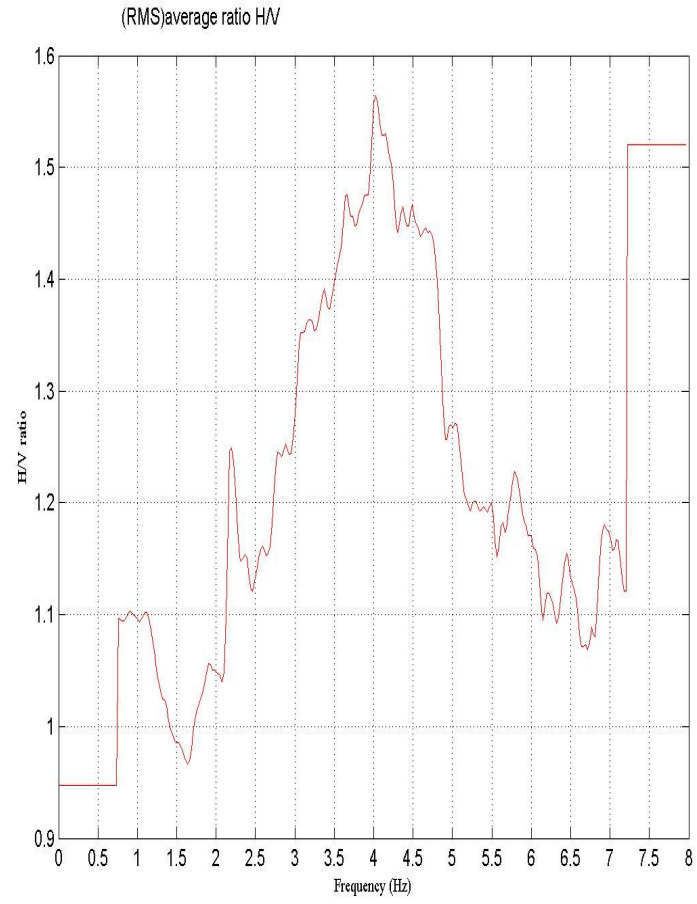
9 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



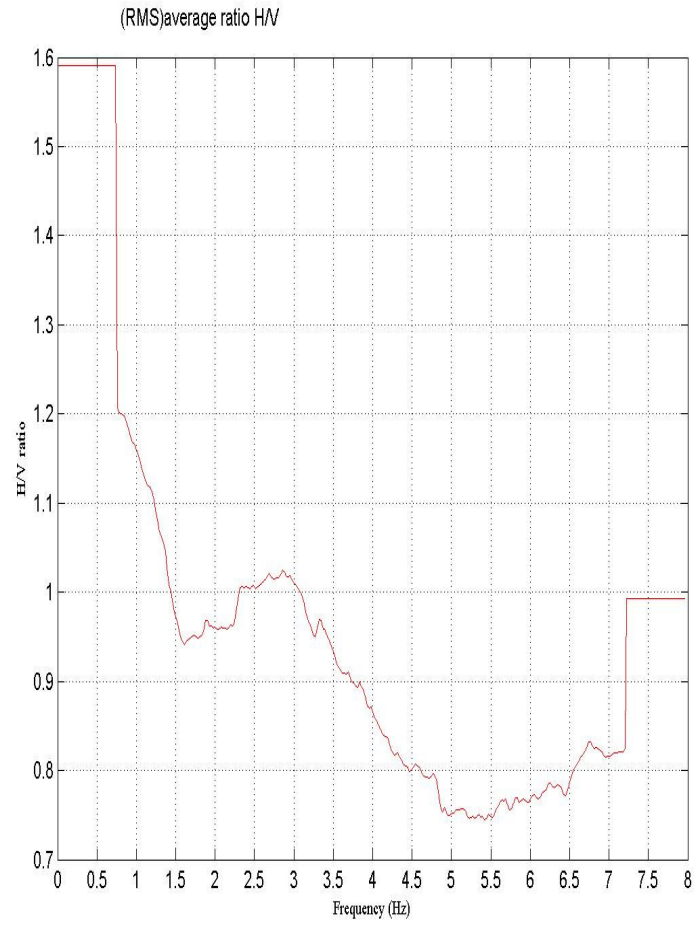
11 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



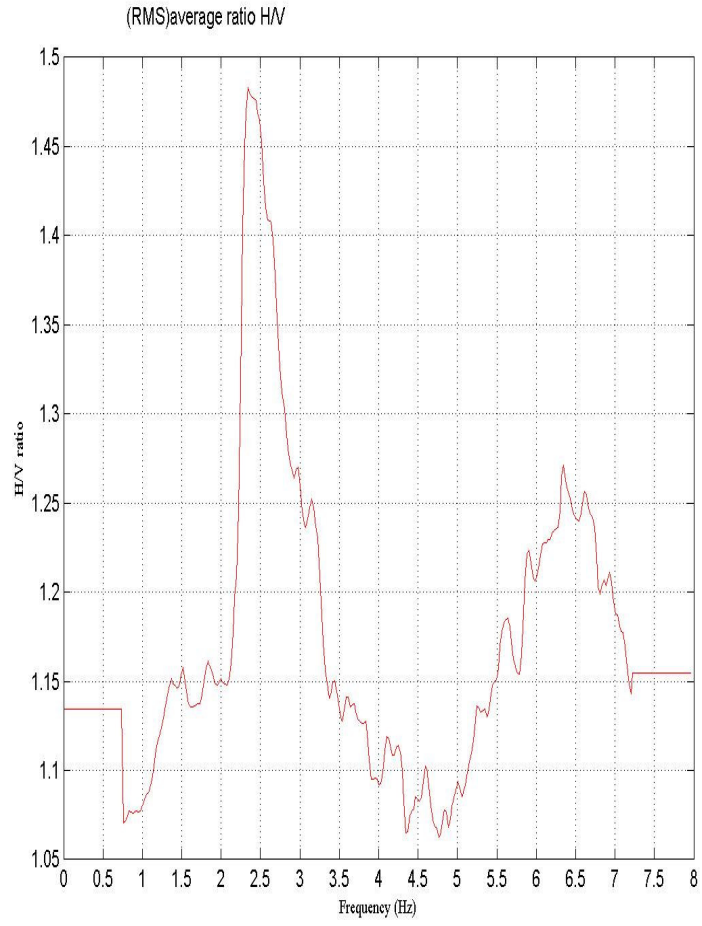
12 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 30/09/2005



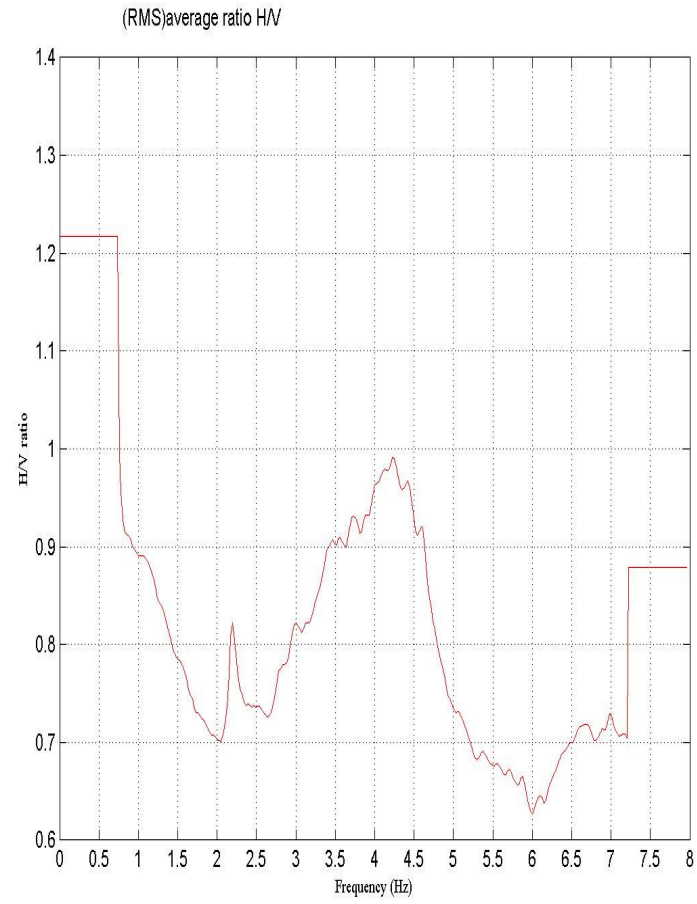
13 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 01/10/2005



14 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 01/10/2005



15 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 01/10/2005



90

16 Nolu Ölçü Noktası Frekans-Büyütme Grafiği
Tarih: 01/10/2005

