

KADIKÖY VE ÜSKÜDAR BÖLGELERİNDE YAPILAN MİKRO-TREMÖR ÖLÇÜMLERİ İLE MİKROBÖLGELENDİRME

Microzonation by Microtremor Measurements in Kadıköy and Uskudar Area.

H. Asaf Alçık* , Cemil Gürbüz* , Balamir ÜÇER*

ÖZET

Yerel jeolojik şartların tahmin edilmesinde son derece etkili bir araç olan Mikrotremör (MT) ölçümleri, Mikrobölgeleme çalışmalarında çok uzun zamandan beri kullanılmaktadırlar. Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriği zeminin özelliklerine göre değişmektedir. Dolayısıyla, her zeminin kendisini etkileyen yer sarsıntılarını büyütmesi de farklı olmaktadır. Mukayeseli bir şekilde büyütme faktörleri bulunarak sağlam zeminler bölgelendirilebildiği gibi, hakim frekanslara bağlı olarak da zeminler bölgelendirilebilir.

İstanbul'un Kadıköy ve Üsküdar ilçelerinin yer aldığı bölgedeki zeminin hakim frekanslarının saptanması ve bunlara bağlı olarak bu bölgenin mikrobölgeleme haritalarının çıkarılması amacıyla mikrotremör çalışmaları Eylül 1993 - Ekim 1993 tarihleri arasında yapılmıştır. Çalışmada öz periyodu 1 saniye olan sismometreler kullanılarak 63 noktada, örnekleme aralığı 0.02 saniye ve süresi 40.96 saniye olan 3'er ölçü alınmıştır. Şehir gürültüsünün etkisini mümkün olduğunca en aza indirmek için, ölçüler geceleyin 23:30 ile 5:30 saatleri arasında alınmıştır.

Alınan kayıtlar, gerekli düzeltmeler uygulandıktan sonra, Kobayashi'nin Kayan Fourier Spektrumu ile analiz edilmiştir. Ayrıca, bu verilere Kanai'nin zemin sınıflandırmada kullandığı, en büyük genlik ile hakim periyod arasındaki karşılıklı ilişkinin incelenmesi olan, ikinci önerisi de uygulanmıştır.

Sonuçta, çalışma bölgesine ait hakim frekanslar her bir bileşen için tesbit edilmiştir. Çalışma sahasının hakim frekans sınırı 4.5 Hz ile 8 Hz arasında değişmektedir ve sahaya ait eş-frekans kontur haritalarında elde edilmiştir. Ayrıca, uyguladığımız Kanai'nin ikinci teklifi ile de çalışma sahamıza ait bir mikrobölgeleme haritası elde edilmiştir.

ABSTRACT

Microtremor measurements have been utilised in seismic microzonation studies as an effective tool to estimate local geological conditions. The shape and the contents of amplitude and frequency of ground natural noise varies related to ground properties. Therefore, each ground structure, with respect to its features, differently magnifies the ground tremors. It is possible to microzone firm grounds using both magnification factors which are calculated in comparatively and predominant frequencies.

For the purpose of determining the predominant frequencies of the Kadıköy-Üsküdar districts of İstanbul and to prepare a microzonation map for this selected area, microtremor measurements were carried out at 63 sites during the period of September 1993- October 1993 using three components 1-sec seismometers to record these low-amplitude oscillations. The microtremor measurements sampling of every 1/50 second for a time span of 40.96 seconds were repeated three times at every measurement point. In an endeavour to minimize high artificial disturbances effects on records which were carried during day time, it was decided to take late-night measurements, between 23:30 p.m. and 05:30 a.m., for each recording point.

Corrected data were analysed using Kobayashi's Running Fourier Spectrum Method and the relation between the largest amplitude and the predominant period (frequency), was used to classify the ground underlying study area based on Kanai's Second Proposal.

In brief, the predominant frequencies for each component were determined for the study area. The predominant frequencies are changing between 4.5 Hz and 8 Hz and isofrequency contour map of the study area are plotted. Besides, using Kanai's

* Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, 81220, Çengelköy, İstanbul.

second proposal a microzonation map of the study

GİRİŞ

Mikro-Tremör(MT), doğal ve yapay olaylardan etkilenen yerin, zeminin sürekli sarsıntıları, öz titreşimleridir. Bu kaynaklar, trafik, endüstri makineleri veya diğer bir deyişle şehrsel gürültüler olabildiği gibi, deniz dalgaları, rüzgar, gel-git gibi doğal etkenlerden de kaynaklanır. Genellikle genlikleri 0.1 ile 1 mikron arasında, periyodları da 0.05, 0.1 ile 1, 2 saniye arasında değişmektedir (Kanai ve Tanaka,1954;1961).

Bu çok küçük genlikli yer titreşimlerinin çalışılmasıyla yerin hakim frekanslarının tesbiti kadar saha etkisinin ve bazı durumlarda bina, köprü gibi mühendislik yapılarının öz periyodunun da tesbit edilmesi mümkündür. Aynı sahadan elde edilen MT'ların genlik spektrumlarının biçimi, deprem kayıtlarından elde edilen genlik spektrumlarıyla çok benzer olduğu ve bu genlik spektrumları arasındaki temel fark, esas olarak genliklerde nadiren hakim frekanslarda görülür (Kanai ve Tanaka, 1965; Kanai ve diğ., 1966). Böylece, deprem beklemeden ve deprem kayıtçıları ile deprem kayıtlarına ihtiyaç duyulmadan, MT ölçüleri yardımıyla istenilen herhangi bir bölge için hakim frekans tesbiti yapılabilir. MT'ların karakteristiklerinden elde edilen zeminin özelliklerinden yararlanarak asismik dizayn, risk analizi, şehir planlaması, mikrobölgeleme, bina şartnamelerinin hazırlanması gibi konulara yönelik, genlik ve hakim frekanslar yoluyla zemine ait çok pratik bir sınıflandırmaya yapmak mümkündür.

MT çalışmaları Sismolojinin gelişmesiyle başlar.1907 yılında MT ile ilgili bazı eski çalışmalar Tokyo ve Osaka'da F. Omori tarafından Omori Yatay Tremör kayıtçısı kullanılarak yapılmıştır.1930'larda farklı tipde düzenekler kullanılmıştır. MT, özellikle 1960 yılındaki Uluslararası Jeofizik Yılı ve sonrasında sismolojideki öneminden dolayı güncellenmiştir. Mikrobölgelemeye yönelik olarak yerin dinamik özelliklerinin saptamada MT'ların kullanımına öncelik eden Kanai ve arkadaşları olmuştur (Kanai ve diğ., 1954; Kanai ve Tanaka,1961). Kanai, binden fazla yerde aldığı ölçüler ve yaptığı araştırmaların analizi sonucunda, MT'ların zaman ve frekans ortamındaki dalga biçimlerinin farklı zemin şartlarında kesinlikle farklı olduklarını bulmuştur (Kanai, 1983). Farklı zeminlerin sınıflandırılmasında uyguladığı metodlardan birincisi en büyük periyod ile ortalama periyod arasındaki karşılıklı ilişkiye, ikincisinde mikron cinsinden en büyük genlik ile hakim periyod arasındaki karşılıklı ilişkiye dayanır (Kanai ve Tanaka, 1961). Kanai ve arkadaşları, iki analiz yöntemi ile zemini 4 ana gruba ayırmışlar ve bu zemin sınıflandırması halihazırda Japon bina yönetmeliğinde kullanılmaktadır. Daha sonraları, birçok araştırmacı, yerel veya basen türü jeolojik yapının yer hareketi üzerinde ne gibi bir etkisi olduğunu bulmak maksadıyla, MT ölçüleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır (Katz,

area was obtained.

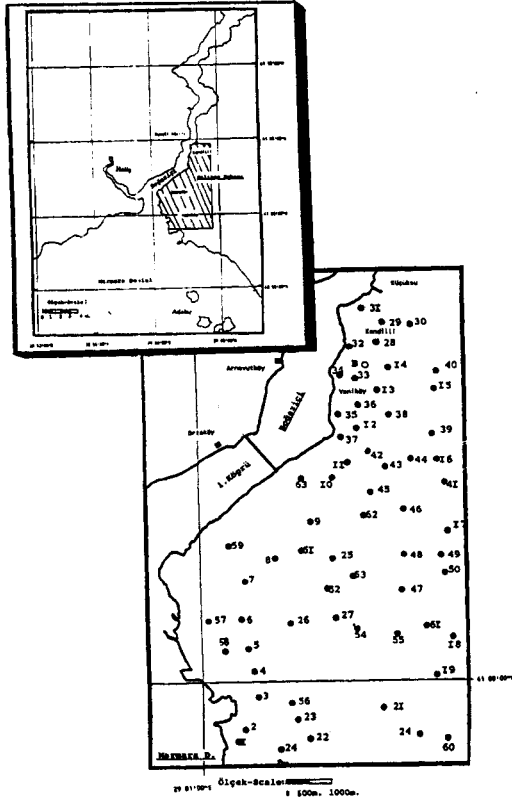
1976; Katz ve Belon, 1978; Ohta ve diğ., 1978; Kagami ve diğ., 1982; 1986; Kobayashi ve diğ., 1986a; 1986b; Lermo ve diğ., 1988; Seo ve diğ., 1989; Field ve diğ., 1990). Fakat, ülkemizde Mikrozonlama konusunda literatüre giren çok fazla çalışma yapılmamıştır. İlk çalışmalardan bir tanesi Balkan Bölgesi'nin Sismisitesi üzerine UNDP/UNESCO birleşimiyle gerçekleştirilmiştir (UNDP, 1974) ve diğeride, Gençoğlu ve Ayhan (1974) tarafından İzmit'de yapılan MT çalışmalarıyla bölgelendirme olmuştur.

Bu çalışma da -bir pilot çalışma olarak- İstanbul'un Anadolu yakasının büyük bir kısmını oluşturan iki büyük semtinin; Üsküdar ve Kadıköy'ün MT ölçüleri ile mikrobölgelendirilmesine çalışılmıştır.

KAYITÇI DÜZENEGİ, GÖZLEM VE ÖLÇÜLERİN ALINMASI

Çalışmada, öz periyodu 1 saniye olan *Kinematics Ranger SS-1* tipdeki sismometrelerden oluşturulan 3 bileşen mikrotremör kayıtçı düzeneği kullanılmıştır. Sistem üç alıcı, üç yükseltici ve bir adet PC/AT taşınabilir bilgisayardan oluşturulmuştur. Elde edilen kayıtlar 12 bit, ± 5 volt. luk Analog-Sayısal (A/D) çevirici yardımıyla bilgisayarın hard diskinde saklanmıştır.

İstanbul'un Anadolu yakasının batı kısmını kalabalık bir nüfus ve yerleşim alanı ile oluşturan Kadıköy - Üsküdar semtlerinin altında bulunan zeminin hakim frekans veya frekanslarının çıkarılması amacıyla mikrotremör ölçümleri 1993 yılının Eylül-Ekim aylarında, 63 noktada yürütülmüştür. Çalışma sahası yaklaşık olarak $41^{\circ} 00' 00'' - 41^{\circ} 05' 00''$ Kuzey enlemleri ile $29^{\circ} 01' 00'' - 29^{\circ} 05' 00''$ Doğu boylamları arasındadır. Ölçü noktalarını koordinatları GPS (Global Konumlama Sistemi) yardımıyla alınmıştır. Şekil 1 çalışma sahasının konumunu ve ölçü noktalarını göstermektedir. Ölçü noktalarının yerlerinin, İstanbul şehrinin altında kalan tüm jeolojik formasyonlara tekabül etmesine dikkat edilerek, tesbitine çalışılmıştır. Çizelge 1 jeolojik formasyonlara tekabül eden ölçü noktalarını, Şekil 2'de İstanbul'un jeoloji haritasını göstermektedir.



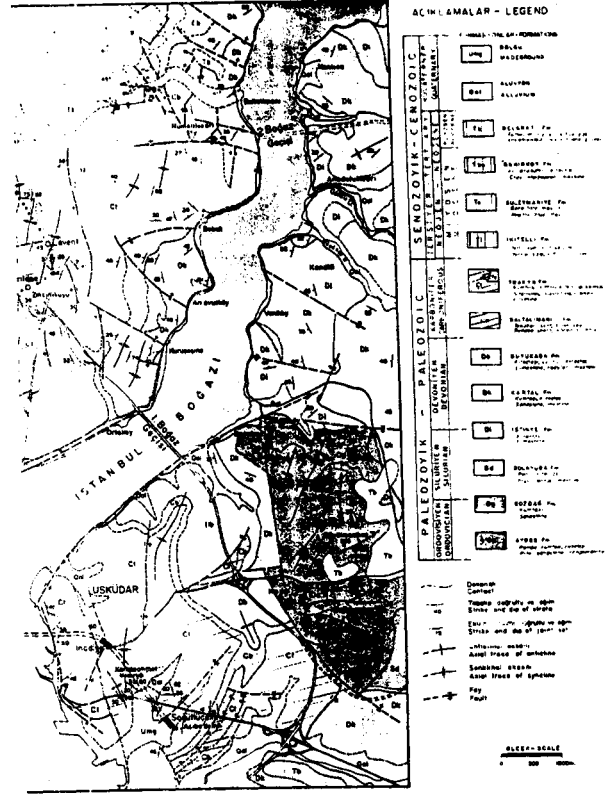
Şekil 1: Çalışma sahasının konumu ve mikrotremör ölçü noktaları.

Figure 1: Location of the study area and the microtremor measurement points.

Kanai ve Tanaka (1961) nın, MT'ların genlik ve periyodlarının zamanla değişmesi üzerine, yaptığı araştırmaları; MT'ların genliklerinin kayıtçı istasyonunun civarında bulunan veya yaratılan yapay salınımların hareketliliğine bağlı olarak zamanla değiştiğini, buna mukabil, hakim periyodların, büyük çoğunlukla zeminin ve daha aşağıdaki yapıların salınım özelliklerine bağlı olarak, çok yavaş bir şekilde zamanla değiştiğini gösterir. Ayrıca, gece ölçümlerinde elde edilen genlik değerlerinin gündüzünkine nazaran yaklaşık yarısı kadar azaldığı Tanaka ve diğ. (1968) tarafından belirtilmiştir. Bu olgudan yola çıkılarak, çevresel şartları en aza indirmek için ölçümler 23:30 ile 05:30 saatleri arasında gece ölçümleri olarak, örnekleme aralığı 0.02 saniye ve süresi 40.96 saniye olan 3'er ölçü alınarak sürdürülmüştür. Ayrıca, olası rüzgarın etkisinden kurtulmak için de alıcılar ahşap kutular ile kapatılmıştır. Kayıtlar, ölçüm yerine bağımlı olarak, farklı büyüme değerleri kullanılarak alınmıştır.

METOD VE VERİ ANALİZİ

Araziden alınan veriler, 12 bit A/D çevirici yardımıyla bilgisayarın harddiskine aktarılmıştır. Zaman ortamında Nyquist frekansını kontrol eden örnekleme aralığı, MT lerin hakim periyodlarının 0.05 ile 2 saniye arasında



Şekil 2: Çalışma sahasının jeolojisi haritası

Figure 2: Geological map of the study area

değişmelerinden ve bizim incelemek istediğimiz frekans sınırından (1-10 Hz) dolayı, 0.02 saniye olarak seçilmiştir. Sinyaller, ortalama alınıp trend giderildikten sonra, ileride de herhangi bir *aliasing* etkisi ile karşılaşmamak ve yüksek frekansların etkisini gidermek amacıyla, kesme frekansı 12 Hertz olan alçak geçişli Butterworth süzgeçle süzgeçlenmiştir. Süzgeçleme işlemi PITSA paket programı (Scherbaum ve Johnson, 1992) kullanılarak yapılmıştır. Kobayashi (1974) sismik mikrobölgeleme çalışmalarında kullandığı MT analizleri sonucunda elde ettiği hakim frekansların Kanai'nin elde ettiği hakim frekanslarla aynı olduğunu göstermiştir. Şekil 3. Kobayashi'nin iki Fourier spektrum metodunu göstermektedir. Kosinüs penceresi ile yuvarlatılan bu veriler Kayan Fourier Spektrumu yöntemi ile frekans ortamına dönüştürülüp, sistemin frekans cevabına birebir bölünmesi ile her bir sismometre için gerçek yer hareketi bulunmuştur. En son olarak, gerçek yer hareketleri Hanning penceresi ile yumuşatılarak çizilmiştir. Şekil 4. veri işleminin akış diyagramını göstermektedir.

JEOLOJİK ZAMAN	MİKROTREMÖR ÖLÇÜ NOKTALARI
KUVATERNER	# 4, 5, 12, 23, 24, 30, 37, 63
TERSİYER	# 17, 21, 41, 48, 49
KARBONİFER	# 1, 2, 3, 6, 7, 8, 26, 27, 33, 54, 55, 56, 57, 58, 59
DEVONİYEN	# 9, 10, 13, 14, 15, 19, 20, 22, 25, 32, 34, 39, 40, 51, 52, 53, 60
SİLÜRİYEN-DEVONİYEN GEÇİŞİ	# 28, 29, 31, 35, 36, 38
SİLÜRİYEN	# 16, 18
ORDOVİSİYEN-SİLÜRİYEN GEÇİŞİ	# 42, 43, 44, 50, 61
ORDOVİSİYEN	# 11, 45, 46, 47, 62

Çizelge 1: Jeolojik zamanlarla ilgili mikrotremör gözlem noktaları.

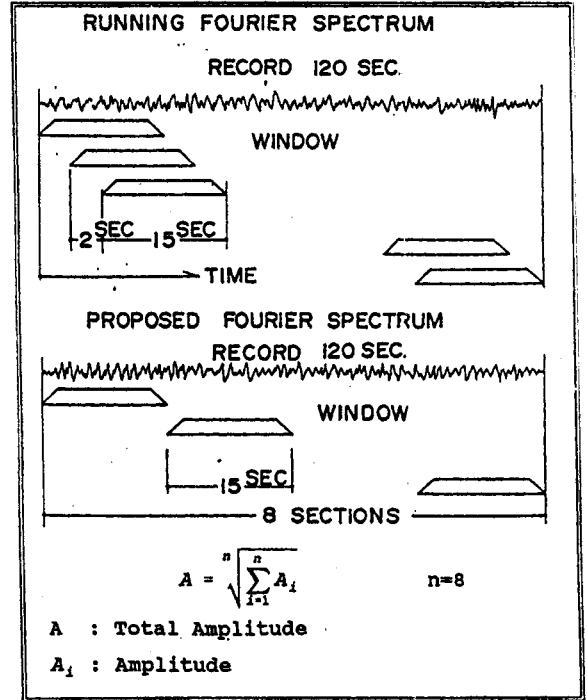
Table 1: Microtremor observation points related to the geological areas.

YORUMLAMA VE SONUÇLAR

63 noktada elde edilen MT lara ait zaman ortamı kayıtlarından altı tanesi, örnek teşkil etmesi amacıyla, Şekil 5.'de gösterilmiştir. Şekil 6.'da, analizler sonucu elde edilen bazı istasyonlara ait gerçek yer hareketleri verilmiştir. Hız spektrumlarına ilk bakışta, genellikle, tek bir hakim piki görmenin mümkün olmaması, çalışılan ortamın karmaşık yapıdan oluştuğunu kolayca göstermektedir. Yapay gürültülerden kurtulmak için verilerin alçak süzgeçten geçirilmesi, grafiklerde 12 Hz den sonra ani bir düşüş gösterir. Alçak frekanslarda, 0.1 Hz ile 0.333 Hz arasındaki yerin salınımlarının tipik olarak mikroseizm oldukları Willmore ve diğ. (1963) tarafından belirtilmiştir. Ayrıca, Seo ve diğ. (1991), 1 Hz den büyük olan hakim frekansların MT lar, 1 Hz den küçük olanların ki ise büyük çoğunlukla mikroseizmlerin neticesinde olduğunu belirtmişlerdir.

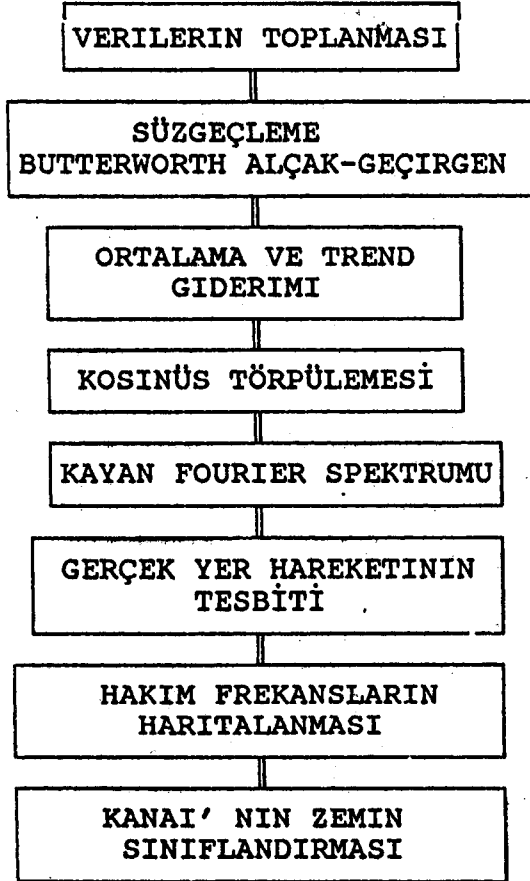
Bundan dolayı grafikler MT ölçümlerine uygun biçimde çizilmiştir. 1 Hz ile 3 Hz arasında değişen alçak frekans değerleri hemen hemen bütün grafiklerde görülmektedir. Bu olgu, Willmore ve diğ. (1963) tarafından yaklaşık 2 Hz lik bir hakim frekansın Amerika Birleşik Devletleri, eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği ve Avrupa Devletleri'nin endüstriyel merkez ve şehir çevrelerinde gözlemlendiğini fakat nedeninin -o zamanlar- tam olarak açıklanamadığını belirtilmiştir. Bu değerdeki hakim frekansların derin sedimanlarda gözlemlendiği Ohta ve diğ. (1978), Lermo ve diğ. (1988) tarafından belirtilmiştir.

Çalıştığımız sahanın eski jeolojik birimlere sahip olması, bu tür frekans değerlerinin bizim yüksek frekans (1-10 Hz) MT çalışmamızda kabul edilmesi pek mümkün değildir. Şekillerdeki yer hareketlerinin biçimlerinin noktadan noktaya değişmesi ve birçok noktada hakim frekansları basitçe belirtmenin kolay olmaması bizi hakim frekansların belirlenmesinde bir yaklaşıma yöneltmiştir. Bu yaklaşım göre; şayet bir frekans piki en az iki bileşende mevcut ise bu değer hakim frekans olarak kabul edilir ve eğer birden fazla frekans grafiklerde mevcut ve etkin ise en geniş band sınırına sahip olan, hakim frekans olarak alınmıştır.



Şekil 3: Kobayashi'nin iki Fourier spektrumu.

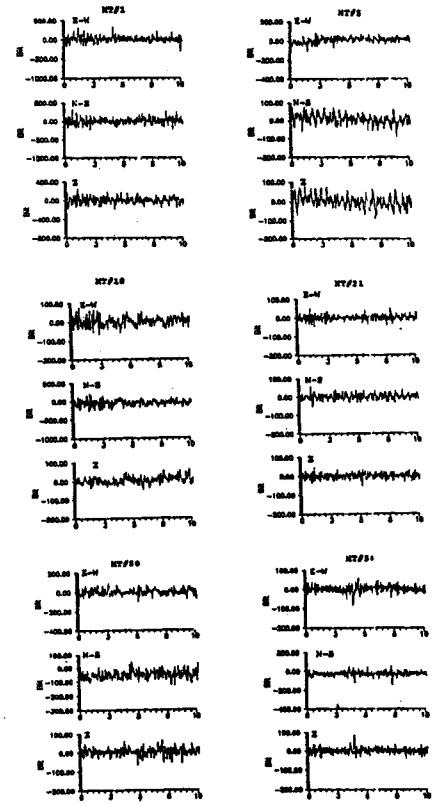
Figure 3: Kobayashi's two Fourier spectrum.

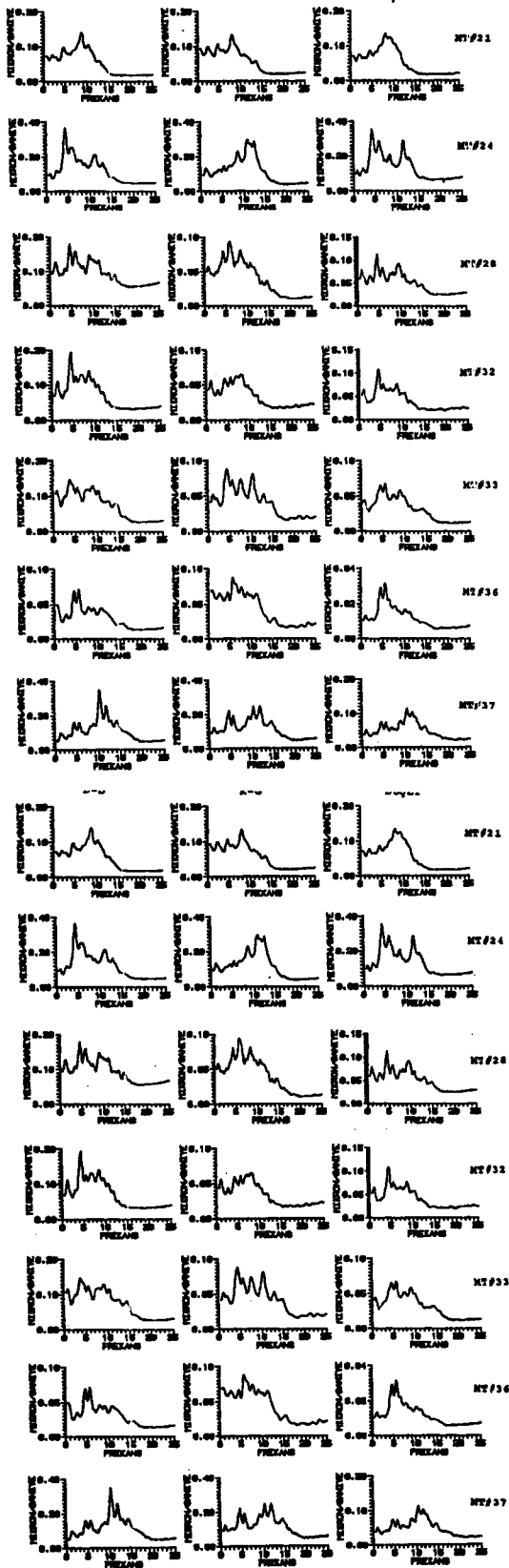


Şekil 4: Veri analizi akış diyagramı.

Figure 4: Flow chart of the data processing.

Çizelge 2 bu yaklaşıma göre elde edilen hakim frekansları ve bunlara ait ortalama genlikleri verir. Ortalama genlikler, üç bileşende aynı frekansa tekabül eden genliklerin ortalaması olarak alınmıştır. Bu yaklaşım neticesinde elde edilen birincil ve ikincil hakim frekanslara göre çizilen eş-frekans konturları, sırasıyla, Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir. Hakim frekanslar periyod cinsinden hesap edilerek en büyük genliğe göre çizilmesi sonucu Kanai'nin zemin sınıflandırmasının mikrobölgelemeye yönelik haritalarda elde edilmiş ve Şekil 9a ve 9b'de gösterilmiştir.

Şekil 5: MT#1, 5, 18, 21, 50, 56'nın zaman ortami kayıtları
Figure 5: Time-domain records of MT#1, 5, 18, 21, 50, 56



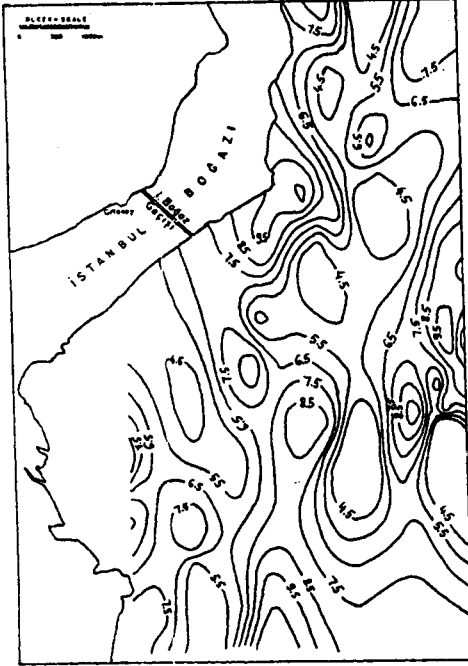
Şekil 6: Yerin gerçek hız spektrumları
Figure 6: The ground velocity spectrum

ÖLÇÜ No.	HAKİM FREKANS (Hz.)	ORTALAMA GENLİKLER (mikron/saniye)			
1	7,5	,30	36	5,5	,05
2	8,0	,15	37	10,5 ve 5,0	,22 / ,15
3	5,0 ve 7,0	,13 / ,14	38	4,5 ve 7,5	,06 / ,06
4	8,5	,26	39	5,5 ve 8,0	,07 / ,06
5	7,5	,14	40	5,5 ve 8,5	,05 / ,04
6	4,5	,11	41	10,5 ve 6,5	,30 / ,26
7	4,5	,12	42	4,5 ve 8,0	,17 / ,16
8	7,5	,09	43	8,0 ve 5,5	,12 / ,11
9	4,0 ve 7,0	,24 / ,17	44	4,5	,12
10	4,5 ve 7,5	,08 / ,07	45	4,5	,16
11	11,0 ve 4,5	,19 / ,18	46	9,0 ve 5,0	,20 / ,17
12	4,5 ve 9,0	,12 / ,11	47	4,5 ve 9,0	,16 / ,12
13	8,0	,13	48	10,0 ve 5,5	,11 / ,11
14	8,0 ve 8,0	,35 / ,31	49	4,5 ve 7 ile 9 arası?	,16 / ,14
15	5,0 ve 7,0	,10 / ,09	50	8,5	,29
16	9,0 ?	,10	51	9,5 ve 5,0	,15 / ,13
17	8,0 ?	,23	52	9,0 ve 5,0 ?	,14 / ,14
18	?	-	53	8,5 ve 4,0	,17 / ,16
19	7,0	,15	54	4,5 ve 7,0	,23 / ,22
20	7,5 ve 4,5	,14 / ,10	55	?	-
21	8,0 ve 4,5	,13 / ,09	56	10,0 ?	,35
22	10,5 ?	,18	57	9,0 ve 4,0	,17 / ,15
23	6,0 ile 7,0 arası ?	,28	58	4,5 ve 8,0	,14 / ,11
24	4,5	,25	59	4,5 ve 7,5	,12 / ,12
25	7,0	,17	60	8,0 ve 4,5	,23 / ,23
26	4,5 ve 10,0	,06 / ,06	61	4 ile 5 arası ?	,40
27	8,0 ve 4,5	,09 / ,09	62	4,5 ve 10,0	,15 / ,15
28	4,5 ve 9,5	,11 / ,10	63	9,5 ve 7,0	,42 / ,2
29	5,0 ve 10,5 ?	,22 / ,22			
30	8,0	,14			
31	8,0	,46			
32	4,5 ve 8,0	,09 / ,07			
33	4,5 ve 9,0	,09 / ,08			
34	4,5 ve 8,0	,13 / ,11			
35	4,5 ve 6,0	,16 / ,15			

Çizelge 2: Yaklaşım kullanılarak elde edilen hakim frekanslar ve ortalama genlikler.

Table 2: Predominant frequencies and mean amplitudes obtained using the consideration.

Şekil 7' de görüldüğü üzere, birincil hakim frekanslara göre çizilen eş-frekans kontur haritasına baktığımızda, çalışma sahasında hakim frekansın dağınık olarak kümelendiği farkedilir. Fakat, öncelikle, 6,5 Hz, 5,5 Hz ve 4,5 Hz lik frekansların, sırasıyla, etkin olduğu görülmektedir. Dağınık ve az olan 6,5 Hz üzerindeki frekansların hakim olduğu yerler Çengelköy-Beylerbeyi'nin üst kısımlarında Altunizade ve Kısıklı civarı ile Küçük Çamlıca Tepesi civarında ve Gözcü Baba mevki ve çevresinde görülmektedir. Buna mukabil, Şekil 8'de görülen, ikincil hakim frekanslara göre çizilen eş-frekans kontur haritasında, ilk bakışta 7,5 Hz lik frekansın büyük bir çoğunlukla çalışma sahasında etkin olduğu kolayca görülebilmektedir. Bu değer üstündeki ve altındaki frekanslara kısmen rastlanmaktadır. Yüksek frekansların hakimiyetine bir önceki şekilde olduğu gibi Beylerbeyi'nin üst kısımları ile Güzel Tepe mevki arasında, Acıbadem ile Gözcü Baba mevki ve çevresinde, Küçük Çamlıca Tepesi'nin güney mevkiinde ve Vanıköy sırtları ile Talimhane arasında kalan mevkiide görülmektedir.



Şekil 7: Birincil hakim frekanslara göre çalışma sahasının eş-frekans kontur haritası.

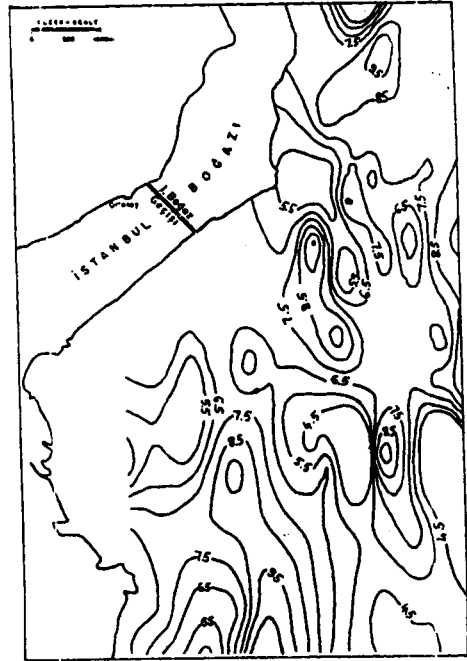
Figure 7: Isofrequency contour map of the study area as respect of primary predominant frequencies.

Böylece, her iki şekilde gözönünde tutarak, çalışma sahasının hakim frekans sınırının yaklaşık 4.5 Hz ile 8 Hz arasında değiştiğini söylemek mümkündür. 4 Hz ile 5 Hz arasında değişen hakim frekans piklerinin ince yüzey tabakalarından kaynaklandığı kabul edilir (Sato ve diğ., 1991; Seo ve diğ., 1991). Bu kabulü gözönünde tutarak, 5 Hz üzerindeki yaklaşık 10 Hz'e kadar olan frekansları da yüzeydeki ince tabakaların altında bulunan daha kalın tabakalardan kaynaklandığını kabul etmemiz mümkün olabilir.

Şekil 9a ve 9b'de görülen mikrobölgeleme haritaları, Kanai'nin ikinci önerisi, en büyük genlik ile hakim periyod arasındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda elde edilmiş olup hem birbirleriyle mukayese edilebilmeleri için yanyana hem de çalışma sahasının jeoloji ile kolayca mukayese edilebilmeleri açısından jeoloji haritası üzerine çizilmiştir. Kanai ve arkadaşları, iki analiz yöntemi ile zemini ana gruba ayırdıklarını daha önce belirtmiştik. Zemin (grup) sınıflandırması şöyledir;

- Grup I : Zemin, kaya, sert kumlu çakıl vs. içermekte, Tersiyer ve daha yaşlı olan tabakalar olarak sınıflandırılmaktadır.
- Grup II : Zemin, kumlu çakıl, kumlu sert kil vs. içermekte, çakıllı alüvyon olarak yaklaşık 5 m. ya da fazla kalınlıklardaki tabakalardır.
- Grup III : Zemin 5 m. veya daha fazla kalınlıktaki alüvyon içermektedir.
- Grup IV : Yumuşak delta depozitleri, çamur ve üst toprak tabakasını içeren alüvyoner zeminler olup, tabaka kalınlığı 30 m. veya daha fazladır.

Şekil 9a ve 9b, bize, çalışılan sahanın sınıflandırılmasına göre hangi bölgelerin daha hassas olduğunu açıkça göstermektedir. Şekilleri incelediğimizde, hemen hemen aralarında bir fark olmadığı kolaylıkla farkediliyor. Çalışma sahasının tamamı denebilecek kısmı I. grup ile II. grup arasında kalmaktadır. Her iki şekilde de gözükten çok çarpıcı örnek, II. grubun alüvyon üzerinde konturlanmasıdır. Çalışılan sahanın Tersiyer ve daha yaşlı jeolojik birimlerden oluştuğunu bilmediğimizi farzederek, elde edilen sonuç (I.-II. grup), bize, sahanın ne tür bir zemine sahip olduğunu, pratik olarak, belirtmektedir. Bu sonuç, bölge için elde edilen hakim frekans sınırını da doğrulamaktadır. Kanai'nin zemin sınıflandırmada kullandığı analiz metodu, zemin türünü belirlemede hala oldukça dengeli ve pratik bir yöntem olduğunu göstermiştir.



Şekil 8: İkincil hakim frekanslarına göre çalışma sahasının eş-frekans kontur haritası.

Figure 8: Isofrequency contour map of the study area as respect of secondary predominant frequencies.



Şekil 9: Birincil ve ikincil hakim frekanslara göre çalışma sahasının mikrobölgeleme haritaları.

Figure 9: Microzonation maps of the study area us respect of primary and secondary predominant frequencies, respectivity.

Daha sağlıklı sonuçlar alabilmek için, daha sonraki çalışmalarda aşağıda belirtilen olgulara dikkat edilmesi gerektiği inancındayız:

- Şehirlerde yapılması planlanan MT ölçümlerinde, çalışmaların şehrin daha az kalabalık olacağı düşünülen bir zamanda yapılması, veya yapılaşma olmadan ölçümlerin alınması.
- En az iki dakikalık sürekli kayıtların alınması, şayet çok daha geniş bir veri boyu seçilirse MT'ların durağanlığının tesbiti ile daha doğru sonuçları elde etmeye çalışmak.
- Mikrobölgeleme'ye yönelik olarak, MT'larla beraber, diğer jeofizik yöntemlerinde uygulanması (Sismik, elektrik, kuyu verileri ve testler...), çok daha mükemmel neticeler verecektir. Ayrıca mikro-deprem ağları kurularak bölgenin sismisitesi ve aktif fayların mevcut olup olmadığı da araştırılmasının mevcut bilgiler yalıdır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma boyunca teşvik ve desteklerini bizden esirgemeyen Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Ahmet Mete Işıkara'ya, yardımlarından dolayı Doç. Dr. Niyazi Türkelli'ye ve çok değerli katkılarından dolayı Dr. H. Sadi Küleli'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışma süresince göstermiş oldukları yardımlarından dolayı B. Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeofizik AnaBilim Dalı elemanlarına, Tolga Bekler'e, Rengin Gök'e, Gonca Örgülü'ye, Jennifer S. Avcı'ya, Nafiz Kafadar'a ve Erhan Ayhan'a çok teşekkür ederim.

Sağolsunlar.

KAYNAKLAR

- Field, E. H., Hough, S. E. and Jacob, K. H. 1990, Using microtremors to assess potensial earthquake site response : a case study in Flushing Meadows, New York City, Bulletin of the Seismological Society of America, 80, 1456-1480.
- Gençoğlu, S. and Ayhan, E. 1974, İzmir mikrobölgeleendirme etüdünde yapılan mikrotremor çalışması. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 5, 28-51.
- Kagami, H., Duke, C. M., Liang, G. C. and Ohta, Y. 1982, Observation l to 5 second microtremors and their applications to earthquake engineering. Part II. Evaluation of site effect upon seismic wave amplification due to extremely deep soil deposits. Bulletin of the Seismological Society of America, 72, 1801-1812.
- Kagami, H., Okada, S., Shiono, K., Oner, M., Dravinski, M. and Mal, A. K., 1986, Observation l to 5 second microtremors and their applications to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in Saint Fernando Valley, Bulletin of the Seismological Society of America, 76, 1801-1812.
- Kanai, K., Tanaka, T. and Osada, K. 1954, Measurement of the micro-tremor l, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32, 199-209.
- Kanai, K. and Tanaka T. 1961, On microtremors VIII, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 39, 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T. and Yoshizawa, S. 1965, On microtremors IX, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43, 577-588.
- Kanai, K., Tanaka, T., Osada, K., Suzuki, T., Morishita, T. and Yoshizawa, S. 1966, On Microtremors X, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 44, 645-696.
- Kanai, K., Tanaka, T., Osada, K., Suzuki, T., Morishita, T. and Yoshizawa, S. 1966, On Microtremors XI, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 44, 1297-1333.
- Kanai, K. 1983, Engineering seismology, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, 251.
- Katz, L. J. 1976, Microtremor analysis of local geological conditions, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 45-60.
- Katz, L. J. and Bellon, R. S. 1978, Microtremor site analysis study at Beatty, Nevada, Bulletin of the Seismological Society of America, 68, 757-765.
- Kobayashi, H. 1974, Report on the seminar on microzonation and third meeting of the workshop group on microzonation (UNDP/LINESCO Survey of Seismicity of the Balkan Region), On some results and aspects of microzonation in the Balkan Region, May-April, Skopje, Appendix IV.
- Kobayashi, H., Seo, K., Midorikawa, S. and Kato, S. 1986a, Report on Seismic microzonation studies of the Mexico Earthquake of September 19, 1985. Part I. Measurement of microtremors in and around Mexico D. F., Report of the Graduate School at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan, p68.
- Kobayashi, H., Seo, K., Midorikawa, S. and Kato, S. 1986b, Report on Seismic microzonation studies of the Mexico Earthquake of September 19, 1985. Part II. Estimated strong ground motions in the Mexico City due to the Michoacan, Mexico earthquake of September 19, 1895 based on characteristic of microtremor, Report of the Graduate School at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan, p34.
- Lermo, J., Rodriguez, M. and Singh, S.K. 1986, The Mexico Earthquake of September 19, 1985: natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurement and strong motion data. Earthquake Spectra, 4, 805-814.

SISMOLOJI - SİSMİK

- Ohta, Y., Kagami, H., Goto, N. and Kudo, K. 1978, Observations 1 to 5 seconds microtremors and their applications to earthquake engineering. Part I. Comparison with long-period accelerations at Tokachi-Oki Earthquake of 1968, Bulletin of the Seismological Society of America, 68, 767-779.**
- Sato, T., Kawase, H., Matsui, M. and Kataoki, S. 1991, Array measurements of high frequency microtremors for underground structure estimation, International Earthquake Microzonation Conference Proceedings, 2, 409-416.**
- Scherbaum, F. and Johnson, J. 1992, Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis (PITSA), IASPEI Software Library, Vol. 5**
- Seo, K., Samano, T., Yamanaka, H., Hao, X., Koyama, S. and Takeuchi, M. 1989, Comparative considerations about the effect of surface geology on seismic motion among different site conditions in Meeting of IASPEI, Istanbul.**
- Seo, K., Samano, T., Yamanaka, H., Hao, X., Koyama, S., Takeuchi, M., Fujioka, K., Kishino, Y., Kawano, K., Asano, K., Nakajima, N., Murai, M., Mualchin, L. and Hisada, Y. 1991, Microtremor measurements in the San Francisco Bay Area. Part I: Fundamental characteristics of microtremors, International Earthquake Microzonation Conference Proceedings, V.2, Part II, 417-424.**
- Tanaka, T., Kanai, K., Osada, K. and Leeds, D. J. 1968, On microtremors XII, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 46, 1127-1147.**
- Willmore, P. L., Chakrabarty, S. K., Hodgson, J. H., Honda, H., Karnik, V., Kiznichenko, V., Rothé, J. P., Teissyre, P. and Wilson, J. T. 1963, Manual of seismological observatory practice by The Committee for the Standardisation of Seismographs and Seismograms, March 12-15, Sta 2-2.2**