

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALÇOVA ZEMİNLERİNİN JEOFİZİK
YÖNTEMLERLE DİNAMİK ANALİZİ

Evren KIRNIÇ

Eylül, 2015
İZMİR

BALÇOVA ZEMİNLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE DİNAMİK ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

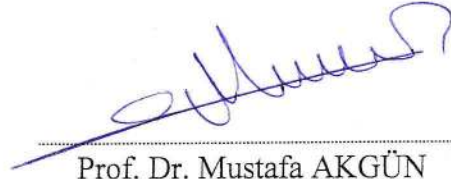
Evren KIRNIÇ

Eylül, 2015

İZMİR

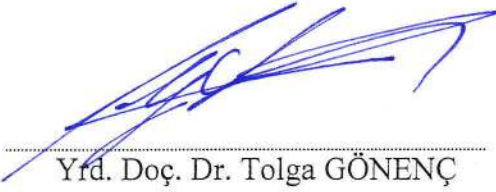
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EVREN KIRNIÇ, tarafından PROF. DR. MUSTAFA AKGÜN yönetiminde hazırlanan “BALÇOVA ZEMİNLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE DİNAMİK ANALİZİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



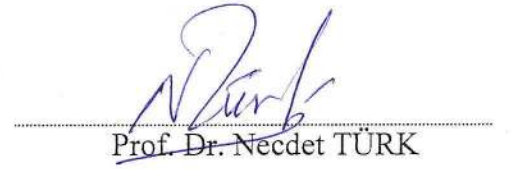
Prof. Dr. Mustafa AKGÜN

Yönetici



Yrd. Doç. Dr. Tolga GÖNENC

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Necdet TÜRK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışma sürecinde , tecrübe ve bilgisiyle bana vermiş olduğu destekten dolayı danışman hocam Prof. Dr. Mustafa AKGÜN'e, tez çalışmasında kullandığım arazi verilerini sağlayan TÜBİTAK KAMAG 106G159 proje ekibine, çalışmalarına katkılarından dolayı Uzm. Özkan Cevdet ÖZDAĞ'a, Jeofizik Müh. Yaprak İPEK'e ve öğrenim hayatım boyunca benden ilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Evren KIRNIÇ



BALÇOVA ZEMİNLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE DİNAMİK ANALİZİ

ÖZ

Deprem kaynak özellikleri ve yapı kalitesinin benzer olduğu yerlerde dinamik koşullar altındaki zeminin birim şekil değiştirme özelliği,olası hasarın belirlenmesinde etkin bir rol oynayacaktır. Zeminlerin birim şekil değiştirme özelliğiyle ilgili olarak hasar indeks değerini(Kg) tanımlanmıştır ve tanıma göre Kg değerleri 20'nin üzerinde olduğunda zeminlerin birim şekil değiştirme değıştirme özelliğinin elastik sınırlar içinde olmadığı kabul edilmektedir.

Bu kapsamda Balçova İlçesi İzmir ve yakın çevresinin yerel zemin koşulları, jeofizik yöntemlerle irdelenerek,zeminin dinamik yükler altındaki davranış hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Rayleigh dalgalarının dispersif özelliğinden yararlanılarak iki boyutlu derinlik-hız haritaları oluşturularak, Vs değışimi gözlenmiştir. Sismik ana kaya PGA değeri ile zemin yüzeyindeki PGA değeri arasındaki değışimleri izlemek için, Quasi transfer spektrumunun genlik değeri karekök ortalaması alınarak, elde edilen sonuçlar haritalanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, zemin birim şekil değıştirme özelliğinin elastik yapıda olmadığı görülmüştür. MASW seviye haritaları incelendiğinde zeminin 40 metrede dahi baskın olduğu ve bu yüzden yönetmeliklerde kullanılan Vs30 hızının söz konusu alan için geçersiz olduğu anlaşılmış olup yerinde tasarım kavramının ön plana çıkarılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca QTS genlik değeri karekök ortalaması alındığında, RMS değeri göre olasılıkla sismik ana kaya PGA değeri, zemin yüzeyine 1,5-2 kat büyütülerek aktarılacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Quasi transfer spektrumu, mikrotremor, hasar indeks değeri, karekök ortalama

DYNAMIC ANALYZE OF BALÇOVA SOILS VIA GEOPHYSICAL METHODS

ABSTRACT

Under dynamic conditions, strain property of ground plays a crucial role where quality of buildings are similar. Depending on strain, damage index value (K_g) is defined. According to this definition, when K_g values are higher than 20 threshold , it is accepted that ground does not act elastically.

In this context, local ground conditions in Balçova and it's vicinity, have been analyzed with geophysical methods so that we can get some information about ground acts (under dynamic conditions).Further more in current study, using dispersion of Rayleigh waves, two dimensional depth-velocity maps were constituted.Also using root mean square calculation method, PGA changings, between seismic bedrock and ground level, were obtained from Quasi Transfer Spectra amplitude values .

As a result of thisstudy ,it is highly possible that strain property of ground will not act elastically. When MASW level maps are examined, it is seen that ground layer is stil dominant at 40 meters. That means V_{s30} is invalid for this area. So in situ design should use for study area. As well as these results, according to RMS evaluations, it is estimated that, seismic bedrock PGA values will be amplified 1.5 or 2 times, when they have reached to ground surface.

Keywords: Quasi transfer spectra, microtremor, damage index value, root mean square

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – ÇALIŞMA ALANI	5
2.1 Balçova ve Çevresinin Jeolojik ve Tektonik İncelemesi.....	5
BÖLÜM ÜÇ – KURAMSAL TEMELLER.....	9
3.1 Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı.....	9
3.2 Zemin Özelliklerinin Dinamik Davranışa Etkisi.....	11
3.3 Quasi Zemin Transfer Fonksiyonu ve Lineer Sistem Kuramı	16
3.4 Yapı Yüksekliği-Zemin Hakim Periyodu İlişkisi.....	19
3.5 Jeofizik Yöntemler	19
3.5.1 Mikrotremor Yöntemi ve Hasar İndeks Değeri (Kg) Kavramı.....	19
3.5.1.1 Mikrotremorların Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler	24
3.5.2 MASW Yöntemi	27
BÖLÜM DÖRT– JEOFİZİK ÇALIŞMALAR - ELDE EDİLEN ÇIKTILAR ..	29
4.1 Mikrotremor Verilerinin Elde Edilmesi, Değerlendirilmesi ve Çıktıları.....	29
4.2 MASW Verilerinin Değerlendirilmesi ve Çıktılar	37

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR.....	42
EKLER.....	47



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 İzmir çevresi genel jeoloji haritası.	6
Şekil 2.2 Holosen yelpaze deltaları.	6
Şekil 2.3 Çalışma alanı.	7
Şekil 2.4 Çalışma alanına ait jeolojik birimler.	8
Şekil 2.5 İzmir körfezi çevresi genelleştirilmiş zemin-anakaya modeli.	8
Şekil 3.1 Dinamik kayma modülü.	10
Şekil 3.2 Duyarlılık bölgeleri.	13
Şekil 3.3 Rayleigh dalgası bileşenleri.	17
Şekil 3.4 Rayleigh ile mikrotremordan elde edilen H/V nin karşılaştırılması	17
Şekil 3.5 Zemin transfer fonksiyonunun filtre sistemi olarak gösterilmesi	18
Şekil 3.6 K değerleri açıklamaları.	22
Şekil 3.7 Nakamura tekniği.	25
Şekil 3.8 2-B hız kesiti elde edilişi.	28
Şekil 4.1 Pik periyot dağılım haritası.	32
Şekil 4.2 H/V genlik haritası.	32
Şekil 4.3 Yer değiştirme frekans aralığına duyarlı, periyot duyarlılık haritası.	33
Şekil 4.4 Hız frekans aralığına duyarlı, periyot duyarlılık haritası.	33
Şekil 4.5 İvme frekans aralığına duyarlı, periyot duyarlılık haritası.	34
Şekil 4.6 Pik frekans ve genliklere göre Kg haritası.	34
Şekil 4.7 Yer değiştirmeye frekans aralığına duyarlı Kg haritası.	35
Şekil 4.8 Hız frekans aralığına duyarlı Kg haritası.	35
Şekil 4.9 İvme frekans aralığına duyarlı Kg haritası.	36
Şekil 4.10 Sismik ana kayaya ait PGA değerlerinin zemin yüzeyindeki değişimi.	36
Şekil 4.11 10 m derinlik hız.	38
Şekil 4.12 20 m derinlik hız.	38
Şekil 4.13 30 m derinlik hız.	39
Şekil 4.14 40 m derinlik hız.	39

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Deprem yönetmeliğine göre zemin sınıflaması.	3
Tablo 1.2 Depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerindeki V_{s30} a göre sınıflamalar	3
Tablo 1.3 Eurocode 8 zemin sınıflaması.	4



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Türkiye dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ülkemizin yüz ölçümünün %42 si birinci derece deprem kuşağı üzerindedir fakat Türkiye’de yapılaşma bir deprem ülkesine göre genellikle bilinçsiz olmakla birlikte, geçmişte meydana gelen depremlerde çok sayıda insanımızı kaybetmiş bulunmaktayız.

Türkiye’de Batı Anadolu Fay hattında yer alan İzmir ili 1900 yılı öncesi ve aletsel dönemde birçok depreme maruz kalmıştır. Bilinen depremlerden özellikle Torbalı merkezli 1928 ve merkezi Dikili’ye yakın 1939 tarihli depremler can ve mal kaybına yol açmıştır (Aktepe, 2013). Gelecekte meydana gelebilecek depremlerde, geçmişteki gibi kötü sonuçlarla karşılaşmamak için yapılaşmada, modern teknolojiden yararlanarak yapı-zemin davranışları bir bütün olarak göz önüne alınmalıdır.

Dinamik etkiler altında oluşan zemin davranışlarını tanımlamak için mühendislik ana kayası, zemin, zemin transfer fonksiyonu, mühendislik ana kayası ve zemin içinde ve yüzeyindeki dinamik yükler ile bu yüklere bağlı olarak oluşacak stress-strain ilişkisinin tanımlanması gerekir. Bunun için önce, in-situ (yerinde) yöntemler kullanılarak yeraltının zemin ana kaya modellemesi yapılır. Model oluşturmak için kullanılan temel parametreler P ve S dalga hızları ile yoğunluk değerleridir. Bu parametre değerlerine ulaşmak için çeşitli jeofizik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler sismik yüzey ve kuyu içi çalışmalar yapılarak uygulanır (Akgün, 2013).

Daha sonra, zeminde yanal yönde dinamik etki yaratan deprem kuvvetini tanımlamak için zemin transfer spektrum kavramı kullanılır. Zemin transfer fonksiyonu kuramsal ve gözlemsel olarak elde edilebilir. Gözlemsel olarak Nakamura (1989), kuramsal olarak Herak (2008) çalışmasında tanımlanan izlençe uygulanır. Son olarak stres-strain ilişkisine bağlı olarak zemin deformasyon tanımları yapılır (elastik, elastoplastik ve plastik) (Akgün, 2013).

Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin önemli bir bölümünü yer kabuğunun oluşturan sert anakaya içinde geçirirler. Seyahatlerinin son aşaması, özellikleri anakayaya göre oldukça farklı olan gevşek tutturulmuş zemin olarak adlandırılan yüzey tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının fiziksel özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin karakteristiğini büyük ölçüde belirler (Yalçınkaya, 2010). Zemin olarak adlandırılan yüzey tabakasında S dalgası hızı 760 m/s den az olduğu kabul edilir. S dalgası hızının 760 m/s den büyük olduğu yerler mühendislik ana kayası olarak, 3000 m/s den büyük olduğu yerler ise sismik ana kaya olarak adlandırılmaktadır. Mühendislik ana kayası olarak adlandırılan bölgede zeminin dinamik yapısının değişmediği yani S dalga hızı değerlerinin değişmediği kabul edilir (NEHRP 1994; Kramer 1996). Sismik ana kaya olarak adlandırılan tabakada ise, söz konusu tabakaya ait derinlik seviyesinden itibaren yanal yönde fiziksel değişimlerin olmadığı ve üst derinlik seviyelerine göre daha homojen bir yapının var olduğu kabul edilir ve bu tabakada S dalgası hızı 3000 m/s den büyüktür (Akgün, 2013).

Yapı-zemin özelliklerine bağlı olarak deprem anında yapısal hasara neden olan üç temel faktör bulunmaktadır. Bu faktörler yerel zemin koşulları, deprem özellikleri ve yapı özellikleridir. Deprem kaynak özellikleri ve yapı kalitesinin benzer olduğu yerlerde, yerel zemin koşulları, oluşabilecek hasarın belirlenmesinde etkin bir rol oynamaktadır (Yalçınkaya, 2010). Yerel zemin koşullarının tanımlanmasında, kolay ve güvenilir yöntemlerden biride Nakamura (1989) 'nın geliştirdiği H/V veya Quasi Transfer Spektrumu (QTS) tekniğidir. Quasi transfer spektrumu ilk olarak Japonya'daki kuvvetli yer hareketlerinden yola çıkılarak , yatay/düşey oranı zeminin yumuşaklığı ve büyütme faktörünün karşılaştırılması sonucu elde edilen maksimum değerden türetilmiştir (Nakamura,1989).

İzmir Körfezi Çevresi ile ilgili çalışmalarda, söz konusu çalışma alanında daha önce Radius projesi kapsamında araştırmalar yapılmış ve bu araştırmaların sonucunda bölgedeki kayma dalgası hızının 300-400 m/s büyütme değerinin ise 1-2 aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır.

Ayrıca çalışma alanının deprem yönetmeliğine göre (Şekil 1.1), (Şekil 1.2) Z3-Z4 zemin sınıfında olduğu görülmüştür. Radius projesiyle karşılaştırma yapıldığında,güncel çalışmada büyütme değerinin 2-6, S dalgası hızının kıyıya yakın bölgelerde 10,20,30 ve 40 m derinlik seviyeleri için 250-300 m/s arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca aynı seviyeler için kıyıdan uzaklaştıkça kayma dalgası hızının (V_s) genellikle 300 m/s den büyük olduğu görülmüştür.

Tablo 1.1 Deprem yönetmeliğine göre zemin sınıflaması (Bozkurt, 2010)

Sınıf	V_s (m/s)	T_a-T_b (s)	V_p/V_s	G_s (kg/cm ²)	E_d (kg/cm ²)	Q (kg/cm ²)
Z1	>700	0,10-0,30	1,5-2	>10000	>30000	10-100
Z2	400-700	0,15-0,40	2-2,5	3000-10000	10000-30000	3-10
Z3	200-400	0,15-0,60	2,5-3	600-3000	1700-10000	1-3
Z4	<200	0,20-0,90	3-10	<600	<1700	<1

Tablo 1.2 Depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerindeki V_{s30} 'a göre zemin sınıflaması (Özçep, 2009)

Vs 30(m/s)	180	360	760	1500	
UBC/97 (ABD) IBC/2000	S _E	S _D	S _C	S _B	S _A
YUNANİSTAN EAK 2000	D-C	C B A		A	
EC8(ENV 1998)	C	C B A		A	
EC8(prEN 1998) (Draft, 2001)	D	C	B	A	
YENİ ZELANDA 2000(Draft)	D(T>60s, Vs30<200)	C (T>60s, Vs30<200)	B	A	
JAPONYA(highway bridges)	III D(T>60s, Vs30<200)	II (I) (T=0,2-0,6s, Vs30=200-600)		I (T<0,2 s, Vs30>600)	
TÜRKİYE	Z4-Z3	Z3-Z2	Z3-Z2-Z1	Z1	
AFPS/90	S ₃ -S ₂	S ₃ -S ₂ -S ₁	S ₁ -S ₀	S ₀	

Eurocode 8 deprem yönetmeliğinde tanımlandığı gibi $T_0>1$ s koşulunda zeminler S1 ve S2 olarak tanımlanır (Tablo 1.3). Bunun anlamı bu bölgelerde uzun periyotlu zemin tepki spektrumlarının tanımlanması gerekir. Böylece özellikle yüksek katlı binalar için daha güvenli deprem yüklerinin hesaplanması sağlanmış olur.

Bunun için S1-S2 özelliğine sahip zeminlerde yerinde çalışmalarla (in-situ) zemin modellerinin oluşturulması ve zemin transfer fonksiyonlarının hesaplanması önem arz etmektedir. Bu kapsamda çalışma alanının T0 değerleri incelendiğinde 1 s den büyük olduğu dolayısıyla Eurocode 8 zemin sınıflamasına göre, çalışma alanının S1-S2 zemin sınıfında tanımlanması ve söz konusu çalışma alanı için (in-situ) zemin modellerinin oluşturulması gerekmektedir.

Tablo1.3 Eurocode 8 zemin sınıflaması (Akgün, 2013)

Zemin Tipi	Zemin Büyütme Faktörü		Periyot Başlangıç		Periyot Sonu	
	EC8 (S)	TDY 2007 S(T)	EC8 (T _B)	TDY 2007 (T _A)	EC8 (T _C)	TDY 2007 (T _B)
A veya Z1	1	1	0,15	0,10	0,40	0,30
B veya Z2	1,2	1	0,15	0,15	0,50	0,40
C veya Z3	1,15	1	0,20	0,15	0,60	0,60
D veya Z4	1,35	1	0,20	0,20	0,80	0,90
E veya Z4	1,4		0,15		0,50	
S1 ve S2	Deprem etüdü sonucu eğer yukarıdaki periyot değerleri sağlanmıyorsa, EUROCODE bu etüd sonucu oluşan spektrumların tanımlanacağı zemin bölgelerini S1 ve S2 olarak tanımlar.					

Bu çalışma içeriğinde, Balçova ve yakın çevresinde yer alan zeminlerin dinamik etkiler (deprem hareketi) altındaki davranışını kontrol edecek olan yerel zemin koşulları, jeofizik yöntemlerle irdelenerek araştırılmıştır. Yer hareketinin alçak (0,1-0,33 Hz), orta (0,33-2,25 Hz) ve yüksek (2,25-15 Hz) frekanslarına bağlı olarak periyot duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve hasar endeks değerleri hesaplanmıştır. Hasar dağılımının kestirilmesi buna bağlı duyarlılık haritalarının oluşturulması için mikrotremor yönteminden yararlanılmış ve kayma deformasyonu hakkında bilgi edinmek için MASW yöntemi kullanılmıştır. Mikrotremor verileri Nakamura tekniğine göre değerlendirilmiş ve yer hareketinin düşük frekanslı bileşenlerine karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür. Yine hasar dağılımının kestirilmesi için Quasi Transfer Fonksiyonlarından Kg hasar indeksi değerleri elde edilmiştir. MASW yöntemiyle, Vs, Vp değerleri elde edilmiş ve Vs hız dağılım haritası oluşturulmuştur. Pik genlik frekansları dikkate alınarak yapılan çalışma sonucuna göre elde edilen Kg hasar endeks katsayısının genellikle 20 den büyük olduğu görülmüştür.

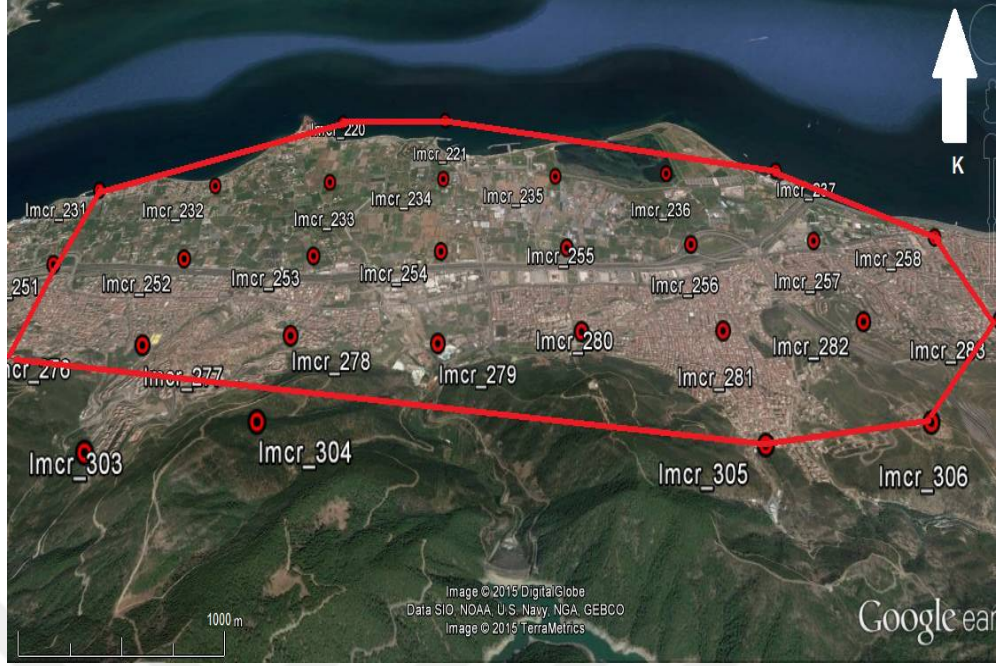
BÖLÜM İKİ

ÇALIŞMA ALANI

2.1 Balçova ve Çevresinin Jeolojik ve Tektonik İncelemesi

Zeminin dinamik parametrelerinin araştırılması kapsamında önce çalışma alanında zemin olup olmadığı ve zemin oluşum mekanizmasının jeolojik araştırılıp tanımlanmış olması gerekir. Deprem-zemin-yapı etkileşimi yönünde zemin tanımı yapılırken $V_s < 760$ m/sn. kuralı kullanılmaktadır. Ancak zemini oluşturan katmanların yanal ve düşey yöndeki S dalga hızı değerlerinin etkileyecek özelliklerin jeolojik olarak da tanımlanması gerekir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalarda ve düşey yönde mühendislik ana kayası ($V_s > 760$ m/sn) ve zemin ($V_s < 760$ m/sn) tanımları dikkate alınarak jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmalıdır (Akgün,2013).

İzmir Körfezi'nin güneyi genellikle Pliyosen-Kuvaterner yaşlı karasal-denizel çökellerden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Çökellerin önemli bir kısmı, Holosen yelpaze deltalarından meydana gelmiştir ve burada iri çakıl malzeme yer almaktadır(Şekil 2.2).Bölgenin hemen güneyindeki İzmir Fayı Balçova ve Narlıdere segmenti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taban güney bloğundaki akarsuların oluşturduğu yelpaze deltası çökelleri Narlıdere ile Balçova arasında geniş bir kıyı ovasını şekillendirmiştir.Balçova-Güzelbahçe arasındaki jeolojik oluşumlar genellikle Bornova filişini keser veya bununla Kuvaterner yaşlı çökeller arasında dokanak oluşturmaktadır. Bu oluşumların güney bloğunda Balçova ile Buca arasında Miyosen yaşlı volkanik ve çökel kayalar yer almaktadır (Emre ve diğer., 2005). Balçova' da fay sistemleriyle jeotermal yapı gözlenmektedir. Jeotermal alanlarda çok sayıda mikro-deprem elde etme olanağı vardır. (Giammanco ve diğer., 2008) tarafından yapılan çalışmada, akışkan basıncının deprem kümelenmeleri ile ilişkisi araştırılmış ve basınçlı gaz çıkışlarının, aynı zamanda deprem hiposantırlarının da meydana geldiği 7-12 km derinliklerde olduğu gözlenmiştir. Narlıdere-Balçova bölgesindeki, magnitudü $1,0 \leq M_L \leq 3,1$ arasında değişen depremler de çoğunlukla jeotermal aktivite ile ilişkilidir.



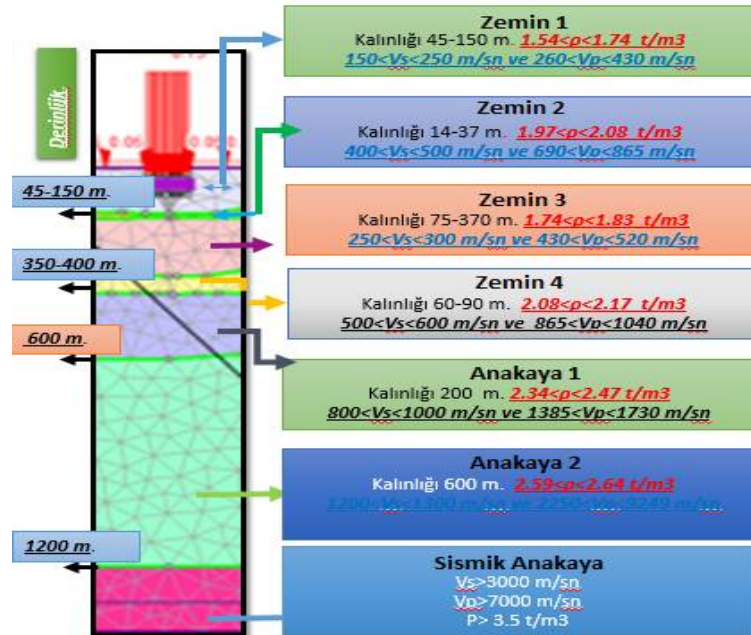
Şekil 2.3 Çalışma alanı

Daha önce söz konusu çalışma alanı için karotlu ve standart penetrasyon deneyli zemin sondajı yapılmıştır (Ongun, 2013). Sondaj işlemi sonucunda, yüzeyden itibaren 0,3 metre derinliğe kadar bitkisel toprak malzemesi bulunmaktadır. 0,3-3,0 metre derinliğe kadar kumtaşı bloklu, killi inşaat malzemesi içerikli dolgu tespit edilmiştir. 3,0 ile 6,5 metreler arasında kil (grimsi siyahımsı renkli, bitki kökleri içerikli, 6-6,5m arası ince çakıllı) mevcuttur. 6,5-7,5 metreler arası kumlu killi çakıl, 7,5-8,0 metrelerinde kumlu killi çakıl birimi görülmüştür. 8,0 ile 12,0 metreler arasında kumlu çakıl, 12,0-12,5 metreler de killi çakıl, 12,5 ile 17,5 metreler arasında kum, 17,5 metreden 20,0 metreye kadar çakıllı kum tespit edilmiştir. 20,0 ile 22,0 metreler arasında killi kumlu çakıl, 22,0 ile 23,5 metrelerinde çakıllı kum, 23,5 ile 24,5 metreler arasında kum, 24,5 metreden 31,0 metreye kadar killi kumlu çakıl, 31,0-32,0 metreler arası kum, 32,0-34,0 metreler arası çakıllı kil 34,0-36,5 metreler arası killi çakıl ve 36,5-40,0 metreler arasında çakıllı kil seviyeleri tespit edilmiştir (Şekil 2.4). Yer altı suyu seviyesi 5,0-6,0 metreler arasındadır (Ongun, 2013). Arazi sondaj logu EK-2 de verilmiştir.

Derinlik (m)		Dolgu malzemesi (Kumtaşı blokları içerir)	Dolgu
5m	5.5m	Siyah humus içerikli kil	3m Kil
10m		Çakıllı kil Kumlu killi çakıl	6,5m
15m		Kumlu çakıl (gevşek zemin)	
20m		Gevşek kum	
25m		Çakıllı kum	
30m		Killi kumlu çakıl	
35m		Çakıllı kum	
40m		Kum	
		Killi kumlu çakıl	
		Kum	
		Çakıllı kil / killi çakıl	
		Sırtı, Killi çakıl	
		Sert, Çakıllı kil / killi çakıl	

Şekil 2.4 Çalışma alanına ait jeolojik birimler (Ongun, 2010)

İzmir körfezi çevresi zeminleri için zemin anakaya modeli geliştirilmiş olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.4) (Akgün 2013).



Şekil 2.5 İzmir körfezi çevresi geliştirilmiş zemin-anakaya modeli (Akgün, 2013)

BÖLÜM ÜÇ

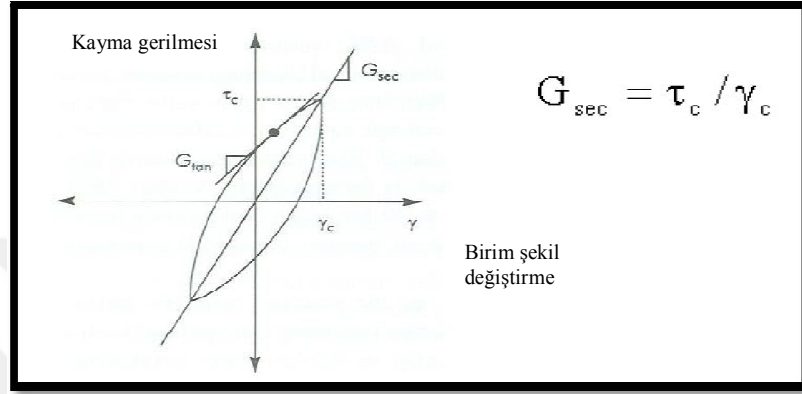
KURAMSAL TEMELLER

3.1 Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı

Depremler veya dalga yükleri gibi tekrarlı yüklemeler altında zemin davranışının incelenmesinde, zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi önemli bir konudur. Zeminlerin drenajsız durumda tekrarlı yükler altındaki davranışı araştırılırken, mukavemet kaybı, kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma, kohezyonlu zeminlerde ise aşırı deformasyonlar ve göçme durumlarının incelenmesi gereklidir. Zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışı mukavemet, gerilme-şekil değiştirme karakteristikleri üzerinden incelenir. Dinamik etkiler altında zemin davranışı, gerilme-şekil değiştirme özellikleri olarak genellikle dinamik kayma modülü, sönüm oranı değerleri ve bunların birim şekil değiştirmeye bağlı olarak değişimlerin bulunması, mukavemet özellikleri olarak da göçmeye veya büyük şekil değiştirmeye neden olan kayma gerilmesi genliği ve çevrim sayılarıdır (Özener,2015).

Zeminlerin dinamik davranış özellikleri, zeminde oluşan deformasyonun mertebesi ile ilişkilidir. Elastik ve elasto-plastik davranış koşullarındaki şekil değiştirme seviyelerinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme özellikleri ön plana çıkmaktadır. Daha büyük şekil değiştirme seviyelerinde ise uygulanan yük altında zemindeki mukavemet kayıpları ve plastik şekil değiştirme özellikleri önem kazanmaktadır. Düşük deformasyon seviyelerinde, rijitlik, sönümleme, poisson oranı, yoğunluk gibi parametreler dalga yayılmasını etkileyen zemin özellikleridir. Dinamik zemin özelliklerini etkileyen faktörler, ortalama efektif çevre gerilmesi, boşluk oranı, yükleme çevrim sayısı, suya doygunluk derecesi, aşırı konsolidasyon oranı, yükleme frekansı, dane çapı dağılımı, ince dane oranı, plastisite indeksi, kullanılan deneysel yöntem, yükleme biçimi ve yüklemenin doğrultusu gibi etmenler sıralanabilir (Özener, 2015).

Histerez ilmiklerinin uç noktalarından geçen doğrunun eğimi kayma modülü olarak tanımlanır. (Şekil 3.1) Kayma modülü şekil değiştirme düzeyine göre değişken değerler alır. Dinamik kayma oranı birim deformasyon düzeyi arttıkça azalmakta, doğrusal olmayan bir davranış sergilemektedir (Özener, 2015).



Şekil 3.1 Dinamik kayma modülü (Özener, 2015)

G_{max} 'ın değeri kumlarda efektif çevre basıncına, killerde ise drenajsız kayma mukavemeti, efektif düşey gerilme ve aşırı konsolidasyon oranına bağlı olmaktadır. Plastik şekil değiştirmelerin varlığı sürtünme gibi nedenlerle, enerji kayıplarının olduğunu göstermektedir. Her bir çevrim sonunda bir miktar enerji sönümlenmekte ve bu ilişki sönümleme oranı olarak tanımlanmaktadır. Sönüm, dinamik yüklenmiş bir malzemedeki ya da mekanik sistemdeki enerji miktarının ısıya dönüşüp azalmasıdır. Bir malzemenin sönümünün büyük olması, bu malzemenin dinamik yükleme ya da titreşimler sırasında daha çok enerji yutması demektir. Zeminlerin sönüm özelliklerini bilmek, zeminlerde dalga yayılımı, deprem yükleri karşısında zemin davranışı gibi dinamik problemlerin çözümü açısından önem taşımaktadır. Zemin dinamik parametreleri sismik yansıma yöntemi, sismik kuyu yöntemi, karşıt kuyu yöntemi, sismik koni yöntemi gibi yöntemlerle elde edilebilir. Örneğin kayma modülü G_{max} , yoğunluk ve V_s hızına bağlı olarak bulunabilmektedir. Ayrıca V_s hızına bakılarak zeminin gevşek/yumuşak, orta sıkı/orta katı veya sıkı/ katı-çok katı olup olmadığı pratik amaçlar için belirlenebilir (Özener, 2015).

Genellikle zeminler elasto-plastik davranış gösteren anizotrop malzemelerdir. Zeminlerin dinamik davranışının şekil değiştirme aralığına göre farklılık gösterdiği ve dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesinde ve analizinde olası şekil değiştirme seviyesinin belirleyici bir rol oynadığı bilinmektedir. Şekil değiştirmelerin elastik sınır içerisinde kaldığını ifade edebilmek için teorik olarak yaklaşık 10^{-5} den küçük olması gerektiği ve elastik sınırlar içerisinde dinamik kayma modülünün maksimum değerinde ve sabit olduğu kabul edilir (Özener, 2015).

Şekil değiştirme seviyesinin yaklaşık 10^{-3} civarında olması durumunda zeminin davranışları elasto-plastik bir hal alır ve dinamik kayma modülü şekil değiştirmeler arttıkça azalır. Aynı zamanda bu şekil değiştirme seviyelerinde dinamik yüklemelerle birlikte enerji sönümlenmesi de başlar ve zeminin bu özelliği sönüm oranı ile ifade edilir. Kayma şekil değiştirmelerinin 10^{-2} den büyük olması durumunda zemin özellikleri şekil değiştirmeler arttıkça değişmeye ve kalıcı şekil değiştirmeler oluşmaya başlar. Bu şekil değiştirme seviyesinden sonra dinamik kayma modülü ve sönüm oranı yükleme çevrimleri ile değişmeye devam eder. Bu durumda zemin davranışı azalan histerisis türü olarak isimlendirilir (Özener, 2015).

3.2 Zemin Özelliklerinin Dinamik Davranışa Etkisi

Depreme dayanıklı bina tasarımı yapılırken, binanın, küçük ölçekli depremler sırasında hasar meydana getirmemesi, orta ölçekli depremler sırasında üzerinde oluşabilecek hasarların onarılabilir düzeyde olması, büyük ölçekli depremler sırasında ise can kaybına yol açmaması hedeflenmektedir (Akgün, 2013).

Hedeflenen amaç doğrultusunda yapı-zemin ortak mekanik davranışı önem arz etmektedir. Belirli bir sıcaklık ve basınç altında maddelerin mekanik davranışı, elastik, plastik, viskoz davranış olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Yapıyı ve zemini oluşturan malzemeler belirli bir gerilme değerine kadar yüklendikten sonra, yükün kaldırılması ile yine eski boyutunu kazanıyorsa malzeme elastik bir yapıdadır (Dirik, 2006).

Elastik cisimler ancak belirli bir gerilme sınır değerine kadar muhafaza edilebilirler. Sınır aşıldığında yük kaldırıldıktan sonra malzemede bir miktar deformasyon kalır ve bu deformasyona kalıcı deformasyon denir (Dirik,2006).

Kalıcı deformasyonda, malzeme gerilmenin belirli bir değerinde kırılmaya uğrar. Bazı cisimler elastik limiti takip eden çok düşük bir deformasyondan sonra kırılmaya maruz kalır. Bu tür cisimler gevrek yapıdadır. Bazı malzemeler ise elastik limiti aştıktan sonra plastik deformasyon gösterir ve bu nedenle elastik limit ile kopma arasındaki deformasyon oldukça büyük olur. Bu özelliği gösteren malzemeler sönümlü bir yapıya sahip olmaktadır (Dirik, 2006).

Yine dış kuvvetler etkisiyle meydana gelen şekil değişimi kuvvetlerin ortadan kaldırılması ile tam olarak yok olmuyor ise, yani deformasyonun bir kısmı yok oluyor bir kısmı kalıyor ise malzeme elastoplastik bir özellik gösteriyor demektir. Gerilme artmaksızın deformasyonun sürekli olarak arttığı malzemelere plastik malzeme denir. Başka bir deyişle küçük gerilme değerleri için elastik bir cisim gibi davranan numune, belirli bir gerilme değerinden sonra (elastiklik sınırı) lineer deformasyon halinden ayrılır (Dirik, 2006).

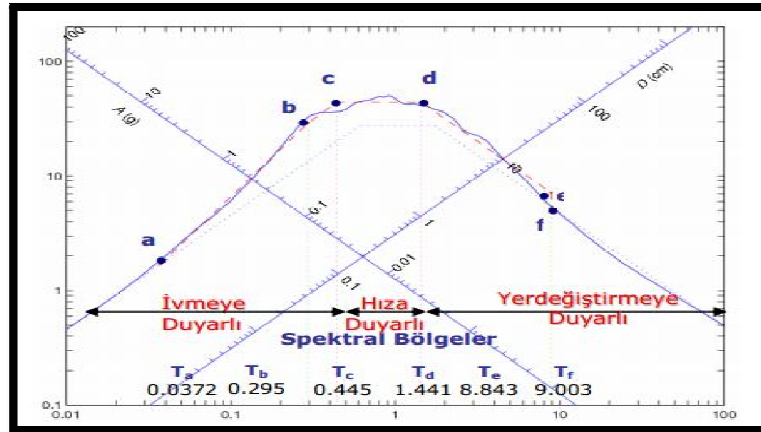
Bu tip malzemede gerilme daha da arttırılırsa cisimde devamlı deformasyon yani uniform akma başlar. Viskoz malzemeler ise mükemmel akışkanlarla katılar arasında yer almaktadır. Bu tip cisimler kendi ağırlıkları ile zamana bağlı bir deformasyon gösterirler (Dirik, 2006).

Yapı ve zemin üzerine kuvvet uygulayarak, belirli bir gerilmeye neden olan deprem dalgası, farklı genlik ve frekans içeriklerine sahip dalgalardan meydana gelmektedir. Deprem dalgasının içeriğindeki farklı periyotlara bağlı olarak, zeminin duyarlılık özelliği değişim göstermekte, bu değişimde deprem sırasında yapı davranışını etkilemektedir (Akgün, 2013).

Günümüzde TDY 2007 ve Eurocode 8 yönetmeliklerine göre zeminlerin deprem sırasında yapacağı dinamik davranış spektrumlarının ön kestirilmesinde Vs30 hız değerleri ile pik periyot (T0) değerleri yaygın olarak kullanılır. Eurocode 8 deprem yönetmeliğinde tanımlandığı gibi $T_0 > 1$ sn ve $V_{s30} < 300$ m/sn koşulunda zeminler S1 ve S2 olarak tanımlanır. Bunun anlamı bu bölgelerde uzun periyotlu zemin tepki spektrumlarının tanımlanması gerekir (Akgün, 2013).

Böylece özellikle yüksek katlı binalar için daha güvenli deprem yüklerinin hesaplanması sağlanmış olur. Bunun için S1-S2 özelliğine sahip zeminlerde yerinde çalışmalarla (in-situ) zemin modellerinin oluşturulması ve zemin transfer fonksiyonlarının hesaplanması önem arz etmektedir.

Deprem anında, salınım sonucunda meydana gelecek zemin- yapı ortak hareket sonuçlarıyla, yapı yüksekliği arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla pik periyot değerlerinden yararlanılmaktadır. Bu bağlamda kabulü (Şekil 3.2) de zemin transfer fonksiyonlarından elde edilen pik periyot değerleri kullanılarak, elde edilen duyarlılık haritası örneği yer almaktadır (Tuğsal ve diğer., 2007).



Şekil 3.2 Duyarlılık bölgeleri (Tuğsal ve diğer., 2007)

Basit bir şekilde sert zemin ile yumuşak zemin arasında bir ayırım yapmak gerekirse, sert zeminler sismik dalga hızının yüksek olduğu, yumuşak zeminler ise sismik dalga hızının düşük olduğu zeminler olarak tanımlanabilir.

Bir deprem meydana geldiğinde, farklı sismik dalgalar kaynaktan itibaren yer içinde değişik hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu dalgalar yeryüzüne eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti; depremin büyüklüğüne, kaynaktan uzaklığına, dalgaların yol aldığı ortamın fiziksel özelliklerine ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır.

Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin önemli bir bölümünü yer kabuğunun oluşturan sert anakaya içinde geçirirler. Seyahatlerinin son aşaması, özellikleri anakayaya göre oldukça farklı olan gevşek tutturulmuş zemin tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının fiziksel özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin karakteristiğini büyük ölçüde belirler (Yalçınkaya, 2010).

Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne zemin etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinde, zemin etkisi terimi zemin büyütmesi olarak adlandırılır (Yalçınkaya, 2010). Büyütme olayını fiziksel olarak açıklamak gerekirse, basit bir harmonik dalga için enerji akısı (E),

$$E = A^2 w^2 (\rho V / 2) \quad (3.1)$$

A: Dalga genliği

w: Açısal frekans

ρ : Ortamın yoğunluğu

V: Ortamın sismik dalga hızı

Yeryüzüne doğru sismik dalga hızı ve ortam yoğunluğu giderek azalır. Enerji akışının başka hiçbir nedenle değişmediğini ve dalga frekansının seyahat sırasında sabit olduğunu kabul edersek, enerjinin korunması ilkesine göre; azalan ortam dalga hızı ve yoğunluğunun , artan genlik ile karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle, sert anakayadan yumuşak zemin tabakalarına geçen deprem dalgalarının genliği büyür. Ne kadar büyür sorusunun cevabı ise Zoesset bağıntısı ile tanımlanabilir (Yalçınkaya, 2010) ;

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \left(\frac{\pi}{2}\right) * \varepsilon} \quad (3.2)$$

B: maksimum büyütme

α : Empedans oranı

ε : Sönüm oranı

Empedans oranı anakaya/yumuşak zemin tabakası geçişinde hız ve yoğunluğun ne kadar değiştiğini gösterir. Empedans oranı ne kadar büyük olursa, sismik dalga genliği o oranda büyür. Empedans oranı matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\alpha = (\rho_r * V_r) / (\rho_s * V_s) \quad (3.3)$$

$\rho_r * V_r$: Anakayadaki yoğunluk-hız çarpımı

$\rho_s * V_s$: Zemindeki yoğunluk-hız çarpımı

Yumuşak zemin tabakalarının sert anakayaya göre sönümlendirme özelliği daha fazladır. Zeminlerin sönümlendirme özelliği, sönüm oranı (ε) ile ifade edilir;

$$\varepsilon = (\eta * w) / (2 * G) \quad (3.4)$$

η : Zemin viskozitesi

w: Açısal frekans

G: Zemin kayma modülü

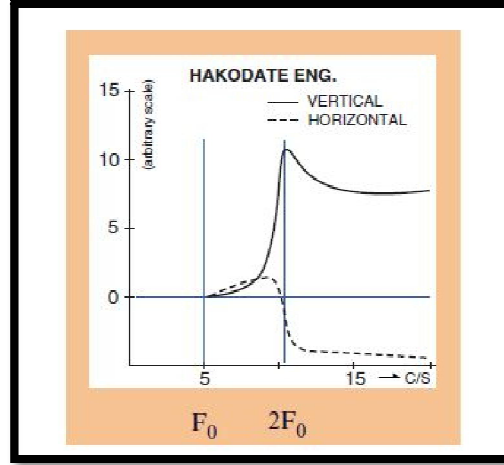
Sönüm oranının yüksek olması, dalga genliklerinin daha da azaltılacağı anlamını taşır. Genelde hasar yapıcı özelliğe sahip dalga grubu 0,1 Hz ile 10 Hz arasında bileşenlere sahiptir (Yalçınkaya, 2010). Deprem dalgalarının frekans içeriğini kaynaktaki kırılmanın özellikleri belirler, daha sonra yayıldığı ortamın özellikleri bunu şekillendirir. Büyütme frekans bağımlıdır. En fazla büyütmenin ne olacağına empedans oranı ve sönüm oranı karar verirken, bunun hangi frekanslı dalgada olacağına yumuşak zemin tabakasının kalınlığı ve sismik dalga hızı karar verir.

3.3 Quasi Zemin Transfer Fonksiyonu ve Lineer Sistem Kuramı

Zemin koşullarını anlamamanın en iyi yolu doğrudan deprem hareketinin yapı yapılacak noktaya özgün olarak gözlenmesi olmakla birlikte bu tür çalışmalar hem yüksek sismik aktiviteye sahip hem de yanal ve düşey yönde zemin özellikleri ani değişen alanlarla kısıtlıdır. Son yıllarda, yüksek sismik aktiviteye sahip bölgelerde ana kaya referans noktasının tam olarak belirlenememesi gibi kısıtlamalar nedeniyle, referans içermeyen metotlar uygulanmaya başlanmıştır. Bunun anlamı ana kaya referans noktası kullanmadan doğrudan zemin üzerinde ölçü alınması sağlayacak yöntemlerin kullanılmasıdır. Bu yöntemlerden biride yüzey jeolojisinin etkisini anlamamızda oldukça yararlı bir araç olan mikrotremor yöntemidir (Nakamura, 2009).

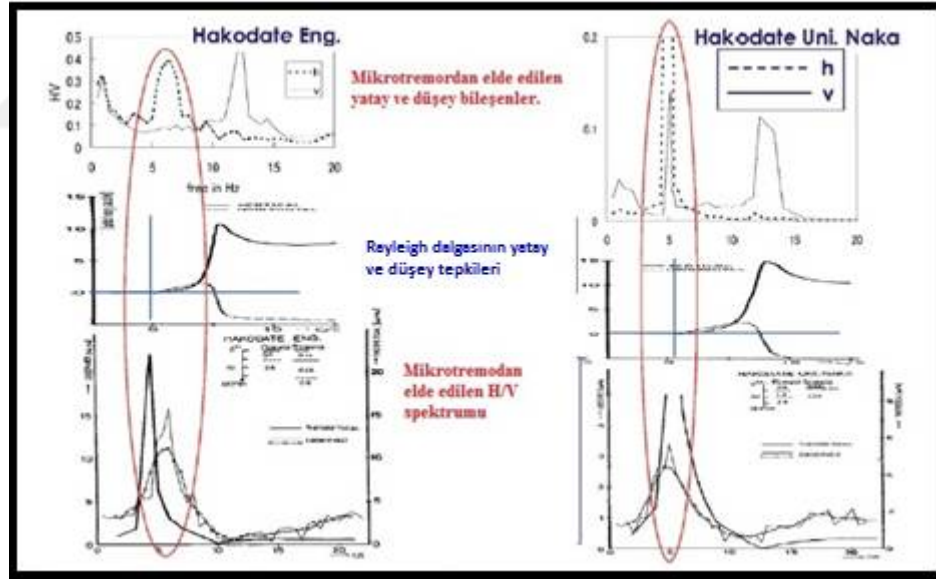
Mikrotremordan elde edilen Quasi Transfer Spektrumu (QTS) bu tanımlara oldukça iyi bir şekilde uymaktadır. Ayrıca QTS spektrumları kullanılarak hem ana kaya zemin yüzeyi arasındaki zemin özellikleri hem de deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşabilecek yanal deformasyon değişimleri hakkında kolay ve hızlı bilgi sağlanabilmektedir. Böylece, zemin büyütme faktörünü tanımlayarak elde edilecek temel rezonans frekansının elde edilmesinde QTS başarılı olarak kullanılır. QTS ve diğer adıyla H/V spektrumunda gözlenen pikler her ne kadar Rayleigh dalgasıyla ilişkilendirilse de gözlenen piklerde rayleigh dalgasının enerjisi oldukça düşük hatta sıfıra yakın olduğu için, Nakamura (2009) çalışmasında, piklerin SH dalgasının özel bir türevi olduğunu ortaya koymuştur. Gözlenen pikler S dalgasının çoklu yansımalarını ifade ettiğinden, QTS adlandırması kullanılmıştır (Nakamura, 2009).

Nakamura (2009) yaklaşımını açıklamak gerekirse, Rayleigh dalgası yatay/düşey spektrumlarında gürültü gibi davranır. Bunun nedeni yüzey tabakasının yani zeminin yüksek geçişli bir filtre gibi davranmasıdır. Yüzey tabakasının baskın frekans değerinde (F_0), Rayleigh dalgası yayılım gösteremez (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Rayleigh dalgası bileşenleri (Nakamura, 2009)

Rayleigh dalgası enerjisini minimum grup hızının gözlemlendiği pik frekansa aktarır, bu değer yaklaşık $2F_0$ 'dır. Bu yüzden SH dalgasının çoklu yansımaları F_0 etrafında gerçekleşir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Rayleigh ile mikrotremordan elde edilen H/V nin karşılaştırılması (Nakamura, 2009)

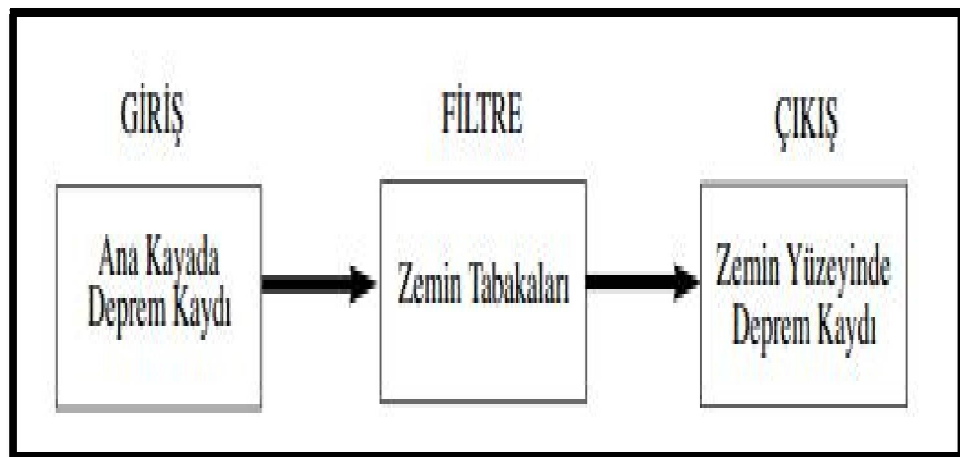
Şekil 3.4 dikkatle incelendiği zaman, mikrotremordan elde edilen yatay/düşey spektrumuna bakıldığında, spektrumun pik frekans değerinde, Rayleigh dalgasının enerjisi neredeyse sıfırdır. Rayleigh dalgası enerjisinin en büyük değerini aldığı frekans ise F_0 frekansının yaklaşık iki katına denk gelmektedir (Nakamura, 2009).

Sonuç olarak özellikle mikrotremorda yatay bileşende gözlenen pik değerin Rayleigh dalgası ile bir ilişkisi bulunmamakta ve değerin esas kaynağının, SH dalgasının çoklu yansıması olduğu söylenmektedir.

Zemin davranış analizi tekniklerinin önemli bir kısmı transfer fonksiyonlarının kullanımına dayanmaktadır. Süper pozisyon tekniğine dayalı olduğu için bu yaklaşım lineer sistemlerin analizi ile sınırlıdır. Nonlineer davranış, eş değer lineer zemin özellikleri ile iteratif prosedür kullanılarak tahmin edilebilir

Transfer fonksiyonu yaklaşımının matematiksel yönüne ait hesaplar karışık sayısal işlemler içerse de yaklaşım oldukça basittir. Ana kayadaki zamana bağlı hareket Fourier serisi olarak temsil edilir. Ana kaya hareketinin Fourier serisindeki her bir terim transfer fonksiyonu ile çarpılarak yüzeydeki hareketin Fourier serisi üretilir.

Daha sonra ters teknik kullanılarak yüzeydeki hareket zamana bağlı olarak tanımlanır. Bu tanıma göre transfer fonksiyonu; ana kaya hareketindeki her bir frekans değerinin zemin tabakası tarafından nasıl büyütüldüğünü ya da küçültüldüğünü belirlemektedir. Transfer fonksiyonlarının değerlendirilmesi lineer yaklaşımın esasını oluşturmaktadır (Yağcı, 2014).



Şekil 3.5 Zemin transfer fonksiyonunun filtre sistemi olarak gösterilmesi (Yalçınkaya,2004)

3.4 Yapı Yüksekliği-Zemin Hakim Periyodu İlişkisi

Zemin tabakaları, genellikle ana kayadaki yüksek periyotlu spektral ivmeyi, düşük periyotlu spektral ivmeye göre daha fazla büyötmektedir (NEHRP, 1994). En büyük büyötmenin göröldüğü T_0 ise zemin hakim periyodudur. Ana kaya üzerindeki yüzey tabakasının kalınlığı ne kadar büyük olursa, zemin hakim periyodu da o kadar büyük olmaktadır (Yalçınkaya, 2004). Tıpkı zeminlerde olduğı gibi, yapıların da bir hakim periyodu vardır. Yapıların hakim periyodunu, inşa edildiğı malzemelerin özellikleri ve yapının boyutları belirlemekte ve kat sayısı/10 şeklinde düşünölmektedir. Yani 5 katlı bir bina için; yapının hakim periyodu 5/10 dan 0,2 s olur.

Zemin hakim periyodunu değıştirmek zor ve masraflı bir iş olduğından, genellikle yapının hakim periyodunun zemin hakim periyodundan farklı dizayn edilmesi yoluna gidilir. Bunun için öncelikle zemin hakim periyodunun doğıru bir şekilde tespit edilmesi önem arz etmektedir (Yalçınkaya, 2004).

3.5 Jeofizik Yöntemler

Yapılan jeofizik çalışmada, TÜBİTAK 106G159 numaralı proje kapsamında yapılan jeofizik mikrotremor ve masw ölçülerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Aşağıda mikrotremor ve MASW ölçümlerinden elde edilebilecek ve deprem-zemin-yapı ortak davranışını tanımlamak için kullanılabilecek parametreler hakkında kuramsal bilgiler verilecektir.

3.5.1 Mikrotremor Yöntemi ve Hasar İndeks Değeri (Kg) Kavramı

Depremler ve sismik patlamalar dışında yeraltında oluşan ve zemin yüzeyinde çok küçük ölçekli titreşimler yaratan titreşimciklere mikrotremor adı verilmektedir. Doğal ve doğal olmayan kaynakların etkisiyle oluşan bu titreşimcikler, genlikleri 10^{-4} ile 10^{-2} mm aralığında, periyotları 10^{-3} s ile birkaç saniye arasında değışen özelliklere sahiptir. Bu konudaki çalışmalar, mikrosismik kavramı ile tanımlanır (Okada, 2003).

Zemin yüzeyinde oluşan bu titreşimler uygun koşullarda ve kayıtçılarla kayıt edildiğinde zemin yüzeyinde olası bir depremde oluşacak titreşim hareketinin hangi periyotlarda baskın olacağı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar.

Deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak titreşim hareketinin genlik frekans özelliklerine bağlı olarak zeminin hangi deformasyon seviyesinde davranacağı tahmin edilebilir. Örneğin bulunduğumuz alanda doğal titreşim periyodu 0.2 s ise burada bir deprem olması durumunda yerin salınacak periyodu budur. Bu aynı zamanda bu noktada çok sayıda harmonik hareketin gerçekleşeceğini fakat baskın hareketin genlik değerinin 0,2 s de maksimum olacağı anlamına gelmektedir.

Kanai (1961), geliştirmiş olduğu bir yöntemle, depremler sırasında zemin yüzeyinde oluşacak titreşim hareketindeki etkili baskın periyot değerlerinin, mikrotremor (titreşimcik) ölçümlerinden elde edilen yerin baskın dönemi ile yakın bir ilişki içersinde olduğunu göstermiştir. Bu ilişki, yerin tekdüze olması durumunda daha belirgin olmaktadır.

Kanai'nin bu yaklaşımı, kalınlığı ortalama 30-40 m olduğu varsayılan ortamlarda kullanılarak deprem olmadan önce zemin yüzeyinde hangi periyottaki dalgaların etkin olacağı ve hangi tür binaların etkileneceği ortaya konulmuştur. Örneğin zemin hakim periyodu parametresi, temel tasarım sırasında yapının kaç katlı olması gerektiğini belirlemekte kullanılabilir. Ancak zemin kalınlığı arttıkça bu yaklaşımı kullanırken dikkat edilmesi gerekir (Akgün ve diğer., 2013).

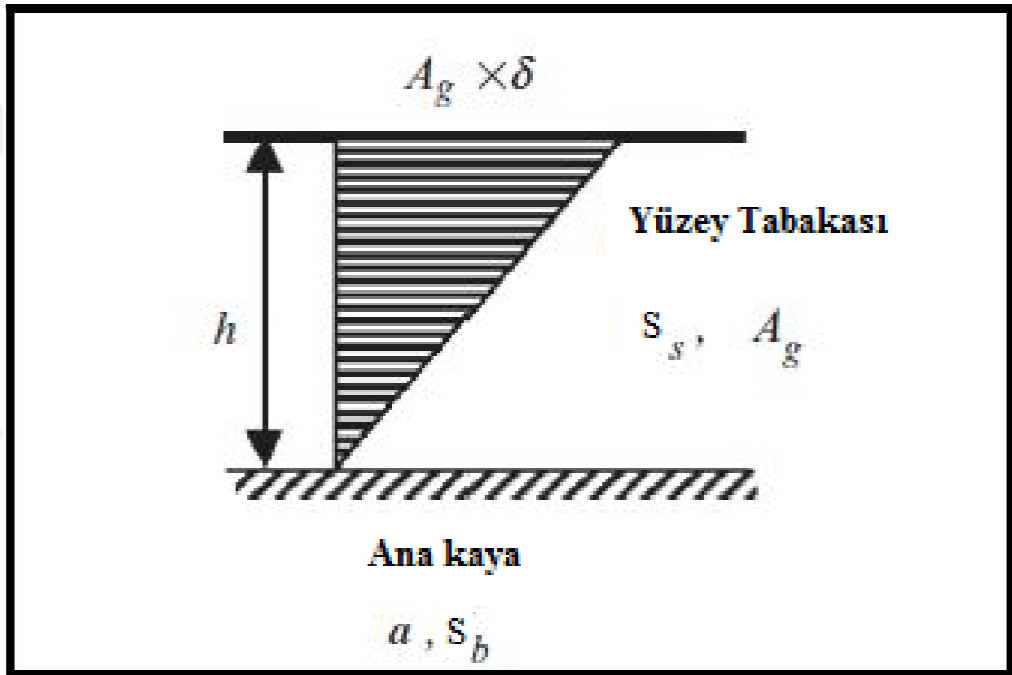
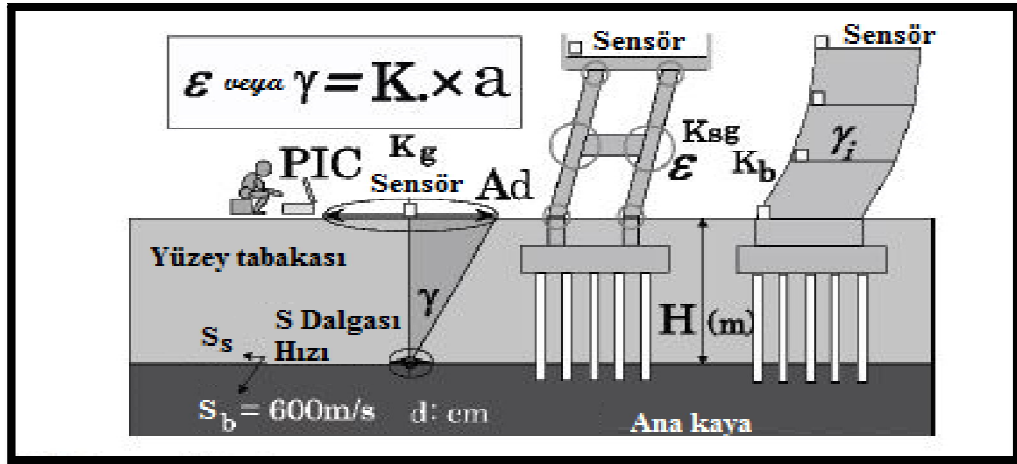
Titreşimcikler, periyotları çok küçük dalgalardır. Gündüzleri doğal olmayan etkenlerin fazla olmasından dolayı geceden daha aktiftir, dalga şekilleri düzgün değildir. Mikrotremorun en önemli özelliği, noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir. Kısa periyotlu titreşimler 1s ve altı periyotlarla ve kültürel kaynaklarca oluşturulan titreşimlerken , 1 s ve üzeri olanlar ise doğal kaynaklı titreşimlerdir (Akgün ve diğer., 2013).

Yapısal kısımlarda meydana gelen hasar, deformasyonun neden olduğu gerilme sınırının aşılmasından kaynaklanmaktadır. Gerilme sınırının aşılması yapının çökmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yüzden Nakamura (1997), gerilme odaklı hasar indeksini kullanarak, deprem sırasında oluşacak olası hasarın kestirimini yanal yöndeki deformasyon değişimine bağlı olarak tanımlanmasını amaçlamıştır.

Nakamura çalışmasında, temel olarak deprem nedeniyle zemin yüzeyinde oluşacak birim kayma deformasyonunun zeminin hakim genliğini tanımlayan frekansı ve bu frekanstaki genlik değeri ile ilişkili olduğunu belirtmiştir

Ana kayada kesme dalgası hızı sabit olarak kabul edildiğinde, birim kayma deformasyonundaki değişimleri ana kayadaki ivme ve zeminin hakim genlik-frekans değerleri arasındaki oran belirleyecektir. Birim kayma deformasyonunda oluşacak artışlar önce zeminin elastik davranışını ve buna bağlı olarak yapısal hasar oranını doğrudan etkileyecektir (Akgün, 2013).

Hesaplama matematiksel olarak K değerleri ile, ana kayadaki maksimum ivmenin çarpımını içermektedir. K değerleri zemin ve çeşitli yapılar için tanımlanmış olup zemin için K_g , dolgu alanlar için K_j ve rijit yapılar için K_b değeri kullanılır (Nakamura, 2009) (Şekil 3.6) .



Şekil 3.6 K değerleri açıklamaları (Nakamura, 2009)

Bu çalışmada Kg değeri üzerinde durulmuş olup , Kg değerinin matematiksel olarak elde edilişi aşağıdaki gibidir (Nakamura, 2009). Kesme deformasyonu (3.5) bağıntısıyla gösterilmek üzere,

$$\gamma = \frac{A_g \cdot d}{h} \quad (3.5)$$

Ag: Yüzey tabakasının büyütme faktörüdür.

h: Yüzey tabakasının kalınlığıdır.

d: Sismik yer değiştirmesidir.

Anakaya ve yüzey tabakasının S dalga hızları (S_b ve S_h) yukardaki formülde yerine konulunca, yüzey tabakasının frekansı F_g (3.6) bağıntısındaki gibi olur:

$$F_g = S_b / (4.A.g.h) \quad (3.6)$$

Ana kayadaki ivme değeri γ bu eşitliklere göre yeniden yazılırsa, formül (3.7) bağıntısı gibi olur;

$$\gamma = \frac{A.g.\alpha_b}{(2\pi.F_g)^2} * (4.A.g. \frac{F_g}{S_b}) \longrightarrow \gamma = \left(\frac{A.g^2}{F_g} \right) * \left(\frac{\alpha_b}{\pi^2 S_b} \right) \longrightarrow \gamma = c.K_g.\alpha \quad (3.7)$$

olur.

$\alpha_b = (2\pi F_g)^2$ ve kesme gerilmesi γ olarak kabul edilirse;

$$c = \frac{1}{\pi^2 S_b} \quad (3.8)$$

$$K_g = \frac{A.g^2}{F_g} \quad (3.9)$$

c birçok yerde sabit olarak kabul edilmektedir (Nakamura, 2009). Nakamura deprem sonrasında oluşan yapısal hasarlar ile K_g değeri arasındaki ilişkiyi irdelediğinde K_g 'nin 20 den büyük olduğu alanlarda hasar oranının arttığını saptamıştır. Ayrıca K_g değerinin belirli koşullar altında alanın sıvılaşma derecesini kontrol ettiği varsayılmaktadır.

3.5.1.1 Mikrotremorların Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Mikrotremor ölçümleri deprem mühendisliğinde zemin-ana kaya özelliğine bağlı olarak, deprem-zemin-yapı ortak davranışının tanımlanması için gerekli olan birçok parametrenin belirlenmesine yönelik olarak kullanılabilir. Bununla beraber, mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi, aranan parametrelere ve kullanılan yöntemlere göre farklılıklar göstermektedir. Kullanılacak değerlendirme yöntemlerinin hepsi farklı kabuller ve yaklaşımlar sağlamaktadır, ancak hepsinde ortak olan ve ilk yapılması gereken spektral analiz uygulamasıdır. Bunun için Fourier Dönüşümleri kullanılarak zaman ortamında kayıt edilen veriler frekans ortamında tanımlanır (Akgün, 2013).

Mikrotremor verilerinin analizinde yaygın olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mikrotremor verilerinin analiz yöntemleri genel olarak üç grupta değerlendirilmektedir.

- Fourier genliklerinin veya güç spektrumlarının yorumlanması şeklindeki yöntem
- Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması şeklindeki değerlendirme yöntemi
- Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı, bir başka deyişle Nakamura Yöntemi gibi yöntemlerdir

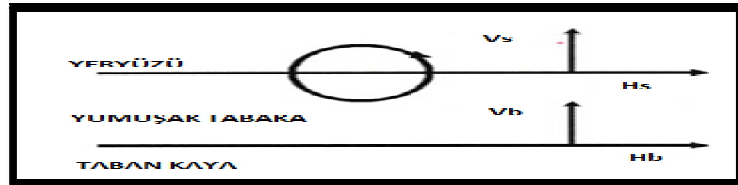
Referans Noktasına Göre Spektral Oranlar Yöntemi: Kuvvetli ya da zayıf zemin hareketi değerlendirme çalışmalarında, ortak pencere tanımı yapılabilecek türden çalışmalarda, referans istasyonundan ve veri alınan diğer istasyonlarda, Referans noktasına göre spektral oranlar yöntemi sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntemde S dalgalarının etkin olduğu kısımlar genellikle pencereleme işlemi ile çıkarılır ve Fourier Genlik spektrumları alınır. İstasyondan alınan verilerden hesaplanan spektrum oranlanarak referans istasyon ile istasyon arasındaki transfer fonksiyonu hesaplanmış olur. Bu yöntemde karşılaşılan en önemli sorun referans istasyon ile veri alınan diğer istasyonlar arasında ortak zaman pencereleri tanımlamaktır.

Bu yöntem kullanılırken yapılan ana kabul, tüm istasyonlar için dalga yayılım yolu ve kaynak özelliklerinin aynı olduğudur.

Uzun periyotlu mikrotremorlarda dalga yayılma yolu ve kaynak özellikleri aynı kabul edilmektedir ancak kısa periyotlu mikrotremorlar genellikle kültürel olduklarından dalga yayılım yolu ve kaynak özelliklerini aynı kabul etmek olanaksızdır. Bu sebepten büyütme seviyesi doğru olarak belirlenmese de zemin baskın periyodu doğru olarak belirlenebilmektedir (Akgün, 2013).

Nakamura Yöntemi: Bu yöntemde esas alınan temel yatay spektrumların düşey oranlanmasıyla bölgesel yer etkilerinin hesaplanabilmesidir. Bu fikir Nakamura tarafından 1989 yılında açıklanmıştır (Şekil 3.7). Bu yöntem ile üç bileşenli titreşim kayıtları kullanılarak zeminin özellikleri belirlenebilmektedir.

Yüzey jeolojisinden kaynaklanan zemin etkileri yüzeyin yumuşak kısmındaki deprem kayıtlarının yatay bileşenleri ile temel kayanın yüzeydeki yatay bileşeni arasındaki spektral oran olarak kabul edilir.



Şekil 3.7 Nakamura tekniği (Nakamura, 1989)

Nakamura'ya göre Rayleigh dalgaları için transfer fonksiyonu $TF(w)$, yani yerel yanıt fonksiyonu ve kaynak spektrumu için karşılığı:

$$TF(w) = H_S(w) / H_B(w) \quad (3.10)$$

Burada $H_S(w)$ yüzeyde ve $H_B(w)$ gevşek zeminin tabanında ölçülen mikrotremorun yatay bileşeninin spektrum genliğidir. $TF(w)$ transfer fonksiyonu zeminin rezonans frekansında maksimum değere sahiptir. Kaydedilen sinyal kaynak karakteristiğinin etkisindedir.

Nakamura' ya göre kaynak spektrumu $S(w)$

$$S(w) = V_S(w) / V_B(w) \quad (3.11)$$

Olmak üzere, burada $V_S(w)$ ve $V_B(w)$ zeminin transfer fonksiyonunda çıkarılması gereken zemin tabanında ve yüzeyindeki mikrotremorun düşey bileşeninin spektral genlikleridir. (3.10) ile tanımlanan işlem (3.11) ile tanımlanan işleme bölündükten sonra,

$$H_B(w) / V_B(w) = 1 \quad (3.12)$$

olduğu kabulü ile kaynak için düzeltilmiş transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$TF(w) = H_S(w) / V_S(w) \quad (3.13)$$

veya yerel yanıt olarak,

$$R_N = |S_{SH}(w)| / |S_{VS}| \quad (3.14)$$

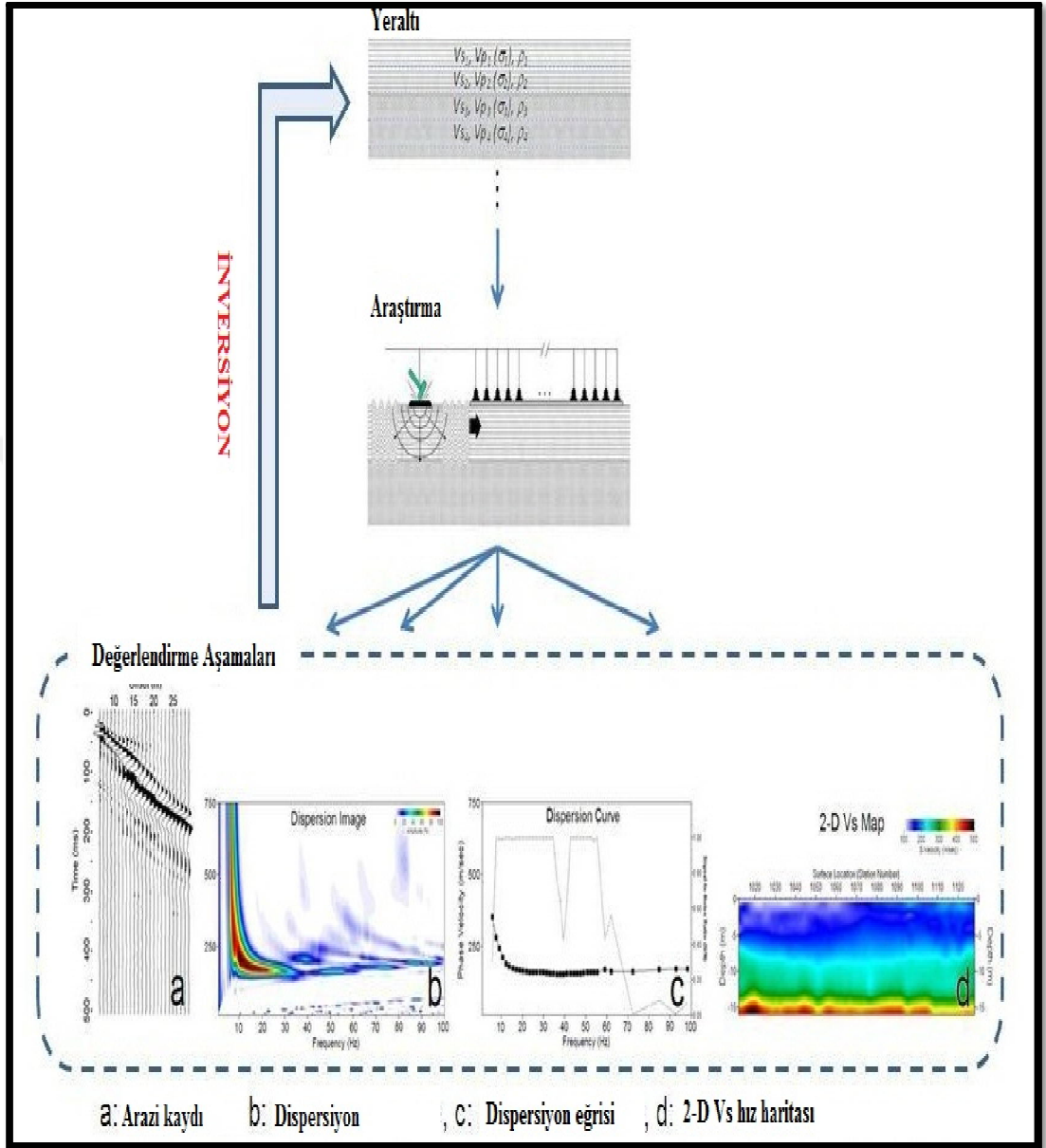
Burada $S_{SH}(w)$ ve S_{VS} zemindeki S dalgasının yatay ve düşey genlik spektrumunu göstermektedir. Deprem tehlikesi senaryoları için anahtar faktör hakim frekans ve yer hareketinin maksimum göreceli büyütme haritalarıdır. Bu bakımdan, mikrotremor ölçüleri deprem esnasında oluşabilecek yer hareketini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Nakamura, 1989).

Kanai (Sıfır Kesme) Yöntemi: Kanai (1961), mikrotremor kayıtlarından alınan bölüm için, sıfır eksenini kestiği zamanlar arasındaki farkın iki katı, periyot olarak kabul edilmektedir. Tespit edilen periyotlar yatay ekseninde, diğer bir periyoda ait frekanslar düşey ekseninde olacak şekilde işaretlenerek periyot dağılım eğrisi oluşturulur. Bu grafikte doruk noktada olan periyot, en çok tekrarlanan periyot olur ve baskın periyodu verir.

Bu yöntem sonucunda elde edilen sonuçlara göre zemin sınıflandırması yapılır. Gençoğlu ve Ayhan (1974) , İzmit'te yaptıkları çalışmada bu yöntemden faydalanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada Kanai yöntemi ve Güç spektrumu yöntemlerini kullanmışlar ve değerlendirme sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

3.5.2 MASW Yöntemi

Yüzey dalgası çok kanallı spektral analizi (MASW) yönteminde dizilim sistemi ve veri toplanması klasik sismik yansımada kullanılan ortak yansıma noktasında CMP (common midpoint) kullanılan ile aynıdır. MASW yönteminde ölçü alımı tıpkı P-kırılma çalışmalarında olduğu gibidir. MASW yönteminde kaynak olarak balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi geçici enerji üreten kaynaklar kullanılır. Veri toplamada genel olarak 1-2 ms örnekleme aralığı kullanılarak 1 veya 2 s süresince veri toplanması, V_s değişiminin belirlenmesi için yeterlidir. Genel olarak 5 yığma yeterlidir. Veri toplanması sırasında sinyal/gürültü oranını arttırmak amacıyla fazla sayıda yığma işlemi kimi zaman harici gürültülerin kayıtlarda etkin olmasına neden olabilmektedir. Küçük jeofon aralığı, sığ derinlik için yüksek çözünürlük sunar. Büyük serim boyu, büyük araştırma derinliği sunmasına rağmen ayrımlılık, kullanılan enerji kaynağı ile doğrudan ilişkilidir (Dikmen ve diğer., 2009). Offset uzaklığı hedeflenen derinliğe göre seçilir. Yüzey dalgaları için elde edilen veriler genel olarak 4-64 Hz gibi geniş bantlıdır. Ölçü profili boyunca birçok noktadan alınan kayma dalgası hızı derinlik grafikleri birleştirilir ve kayma dalgası hızı iki boyutlu kesiti elde edilir. (Şekil 3.8) Öncelikle geniş bantlı yüzey dalgaları V_s profilinin sağlıklı saptanabilmesi için minimum gürültü olarak elde edilmesi ve kaydedilmesi zorunludur. MASW ile yüzey dalgalarının analizi bu gereksinimi sağlar. Veri toplama esnasında yüzey dalgalarının sinyal/gürültü oranını en yüksek seviyede olması etkin olarak kontrol edilebilir. Keza geniş alanların sürekli bir şekilde araştırılmasını sağladığı gibi veri işleminde esnekliğe sahiptir ve her atışta bir V_s profili analiz edilir. V_s verileri X-Z olacak şekilde 2D kesiti değerlendirilir. Jeoteknik incelemelerde ölçü profili altındaki sismik kırılma, V_p ve yüzey dalgası V_s hız dağılımlarının iki boyutlu kesitlerini sağlar. (Çakır, 2011)



Şekil 3.8 2-B hız kesiti elde edilişi (Akgün, 2013)

BÖLÜM DÖRT

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR - ELDE EDİLEN ÇIKTILAR

4.1 Mikrotremor Verilerinin Elde Edilmesi, Değerlendirilmesi ve Çıktıları

Yapılan mikrotremor ölçüm çalışmasında, Balçova ve yakın çevresine ait 23 noktada Nakamura tek istasyon ölçüm tekniği uygulanmıştır. Ölçümlerde GURALP CMG6TD broad band sensör kullanılmıştır. Ölçü alımında zaman örnekleme aralığı Örnekleme aralığı 100 Hz (saniyede 100 okuma) olarak seçilmiştir. Ölçüm süresi olarak, her noktada ortalama 30 dk seçilmiştir. Ölçüm yapılırken çevre şartları konusunda Sesame kriterleri dikkate alınmıştır.

Alınan veriler Sesame Projesi kapsamında geliştirilen Geopsy paket programıyla değerlendirilmiştir. Geopsy programında zaman ortamından frekans ortamına aktarılan verilere FFT uygulandığından, zaman ortamı veri sayısını 2^n e uygun seçmek gerekir. Ayrıca bu çalışmada düşük frekanslardaki genlik değişimleri de dikkate alınmıştır. Bu nedenle pencere boyu 2^{13} olarak 81,92 s seçilmiştir. Yapılan değerlendirme işlemlerinden sonra her ölçüm noktası için Nakamura (1989) yaklaşımına göre HVSR(f) (Quasi Transfer Spektrum) spektrumları elde edilmiştir (Ek-1). Bu işlemler sonucunda elde edilen Quasi Transfer Spektrumları (QTS) gözlemsel olarak elde edilmiş olur.

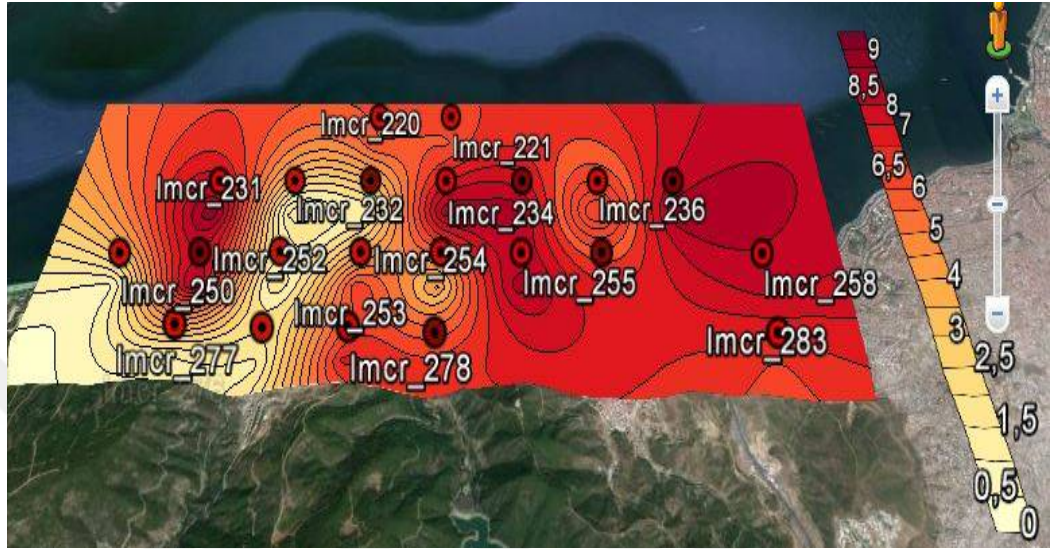
Gözlemsel olarak elde edilen QTS pik genlik-periyot değerleri kullanılarak zemin yüzeyine ait dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Daha sonra periyot duyarlılık bölge tanımına göre ve zemin yüzeyi için QTS spektrumlarında, yer değiştirme (0,1-0,33 Hz), hız (0,33-2,25 Hz) ve ivme (2,25 Hz-15 Hz) duyarlı alanlar tanımlanmıştır (Şekil 4.3), (Şekil 4.4), (Şekil 4.5).

Elde edilen çıktıları yorumlanırken aşağıda açıklanan kriterler dikkate alınmıştır.

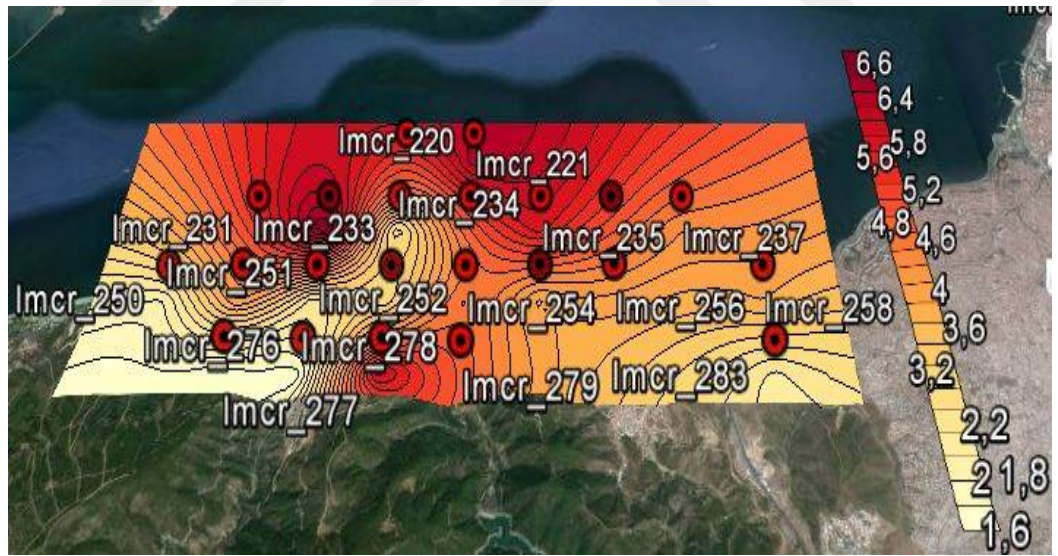
- Yapı yüksekliği ile deprem sırasında oluşacak zemin davranışı arasındaki ilişki irdelenmek için periyot duyarlılık bölge tanımları ve QTS pik periyot değerleri kullanılır. Bunun anlamı, periyot duyarlılık bölge kavramı ve pik periyot değerlerinin ortak yorumlanması sonucunda, deprem sırasında zemin yüzeyindeki davranışın (titreşim genliği) hangi periyot değerlerinde daha baskın olacağı deprem öncesi tahmin edilmiş olur.
- Quasi Transfer Fonksiyonundan elde edilen pik frekans ve genliklerden hesaplanacak K_g hasar endeks katsayıları kullanılarak zemin yapı ortak davranışının hangi deformasyon sınırları arasında kalacağı (plastik-elastik-elastoplastik) önceden saptanmış olur (Şekil 4.6) Daha sonra periyot duyarlılık bölgesi tanımından elde edilen yer değiştirme, hız ve ivmeye duyarlı frekanslardaki K_g değerleri kullanılarak yapı yüksekliği ile zemin yapı ortak davranışının deformasyon değişim sınırları tanımlanmış olur (Şekil 4.7) (Şekil 4.8), (Şekil 4.9).
- Çalışma alanı genelinde zemin hakim olduğu için ana kaya ile zemin yüzeyi arasındaki ortamın deprem hareketi üzerindeki etkisinin araştırılması gerekir.
- Yaklaşık olarak sismik anakaya PGA değerleri ile zemin yüzeyindeki PGA değerleri arasında deprem sırasında oluşabilecek değişimleri izlemek için (Herak, 2008) çalışmasına göre QTS spektrumunun genlik değerlerinin karekök ortalaması kullanılır (Şekil 4.10).
- Pik periyot değerlerinin (T_0) 1 s den büyük olması zeminin 30 m. den daha kalın olduğunu gösterir (Teves-Costa, 1996).
- K_g hasar endeks katsayılarının 20 değerinde büyük çıktığı alanlarda deprem sırasında zemin yapı ortak davranışı sonucu oluşacak yanal deformasyon değişimlerinin elastoplastik ve plastik olma olasılığı yüksektir.

Veri değerlendirme aşamasından sonra elde edilen çıktılarına göre;

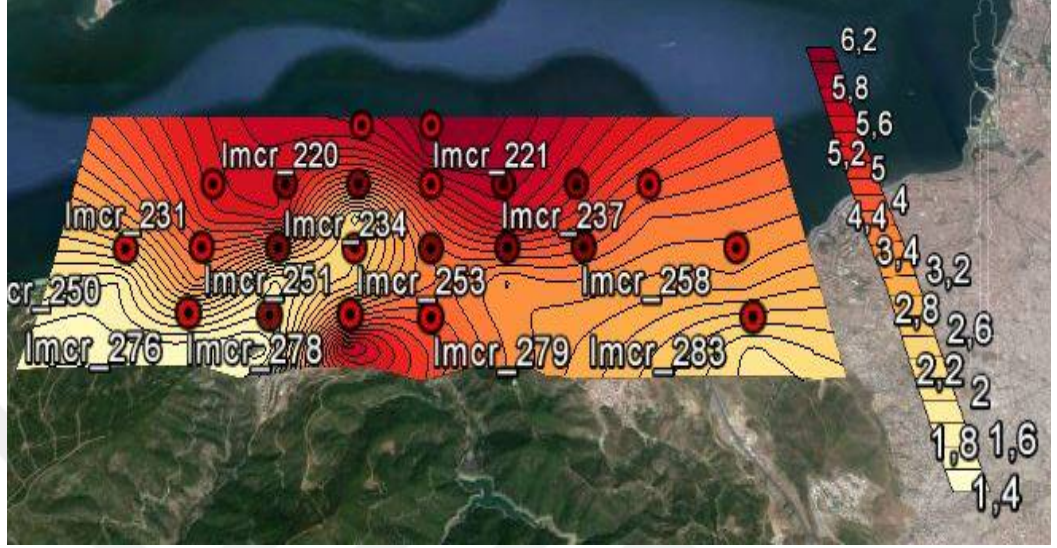
- Pik periyot dağılım haritası incelendiğinde (Şekil 4.1), $T_0 > 1$ olduğu görülmekte ve bu bölgelerde zemin tabakasının 30 m den daha kalın olma olasılığı yüksektir. Mevcut yönetmeliklerde tasarım spektrumları yerine yerinde tasarım spektrumların yapılması gerekir.
- QTS genlik haritası (Şekil 4.2) incelendiğinde, genliklerin denize yaklaştıkça 1 den büyük değerler aldığı gözlenmiştir. Bunun anlamı denize doğru yaklaştıkça ana kayadan zemin yüzeyine ulaşacak olan deprem dalgalarının genlik frekans değerlerinde değişimler olacaktır.
- Periyot duyarlılık haritaları incelendiğinde, deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak olan yer hareketinin yer değiştirme ve hız frekans aralığına (özellikle yer değiştirme) daha duyarlı olduğu görülmektedir. Bunun anlamı bu alanlarda deprem sırasında deplasman etkisi daha baskın olacaktır. Bu durum depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramında yapı yüksekliği ve yapı rijitliği seçimi üzerinde etkili olur.
- Periyot duyarlılık bölge tanımları ve K_g değerlerinin arasındaki ilişki irdelendiğinde, yer değiştirme ve hız frekans aralığı için K_g değerleri 20 değerinden büyük olması deprem sırasında zemin yanıl deformasyon davranışları elastik sınırların dışına çıkacaktır (Şekil 4.6), (Şekil 4.7), (Şekil 4.8).



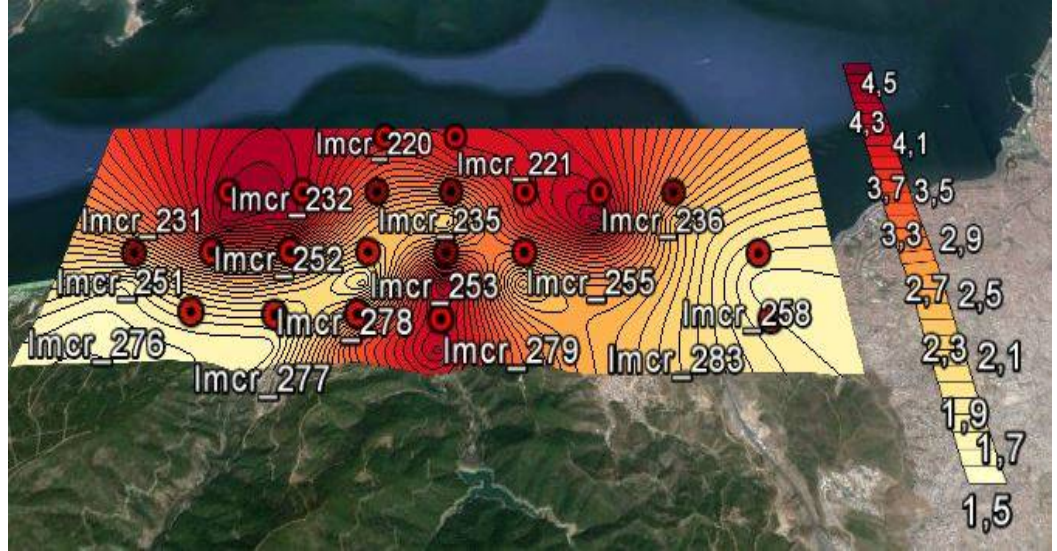
Şekil 4.1 Pik periyot dağılım haritası.



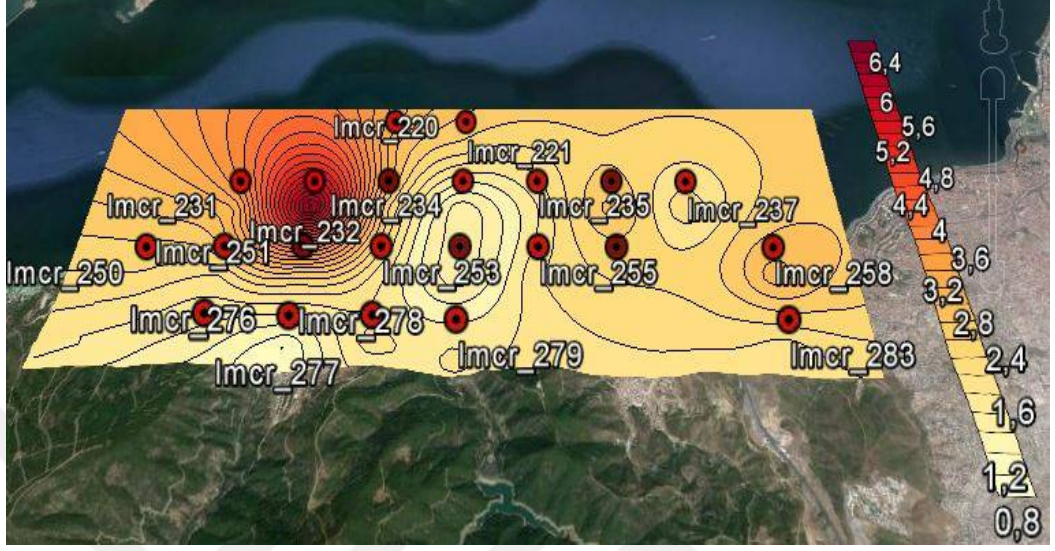
Şekil 4.2 H/V genlik haritası



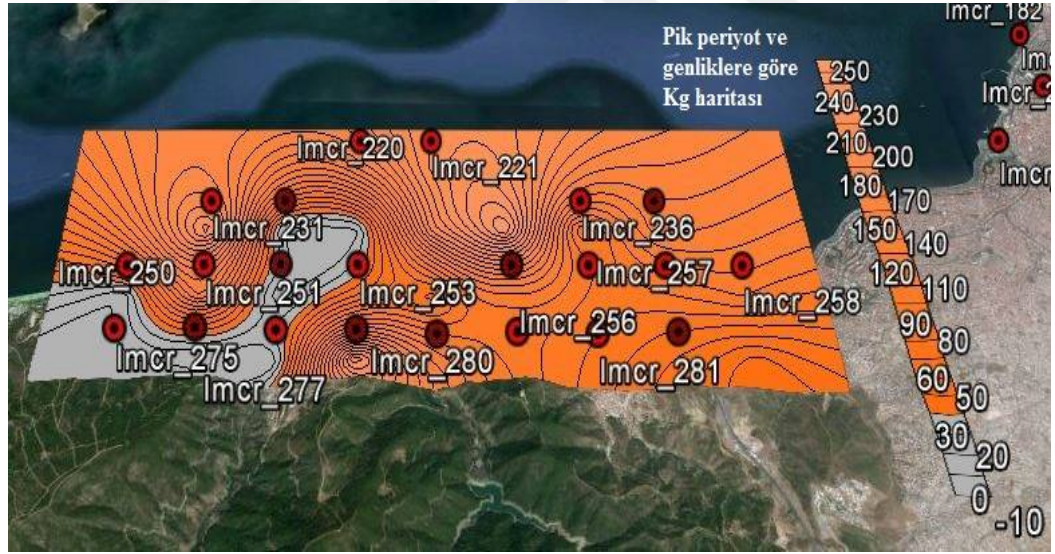
Şekil 4.3 Yer değiştirme frekans aralığına duyarlı,periyot duyarlılık haritası



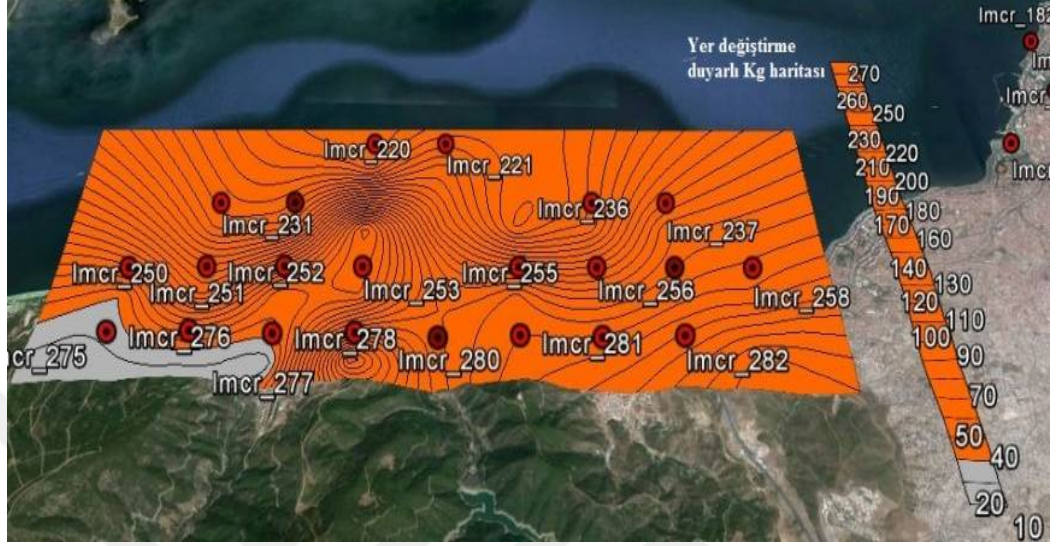
Şekil 4.4 Hız frekans aralığına duyarlı,periyot duyarlılık genlik haritası



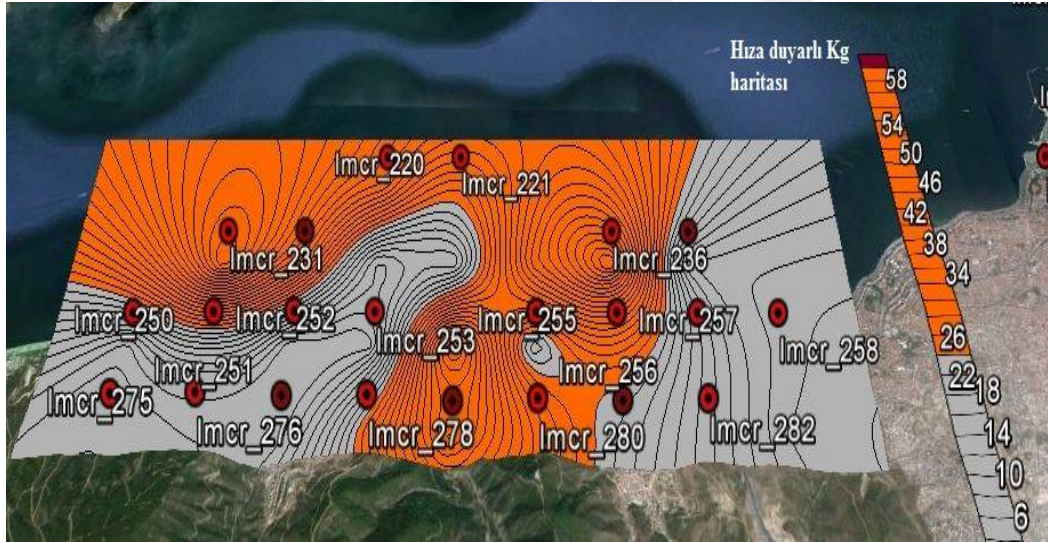
Şekil 4.5 İvme frekans aralığına duyarlı, periyot duyarlılık haritası



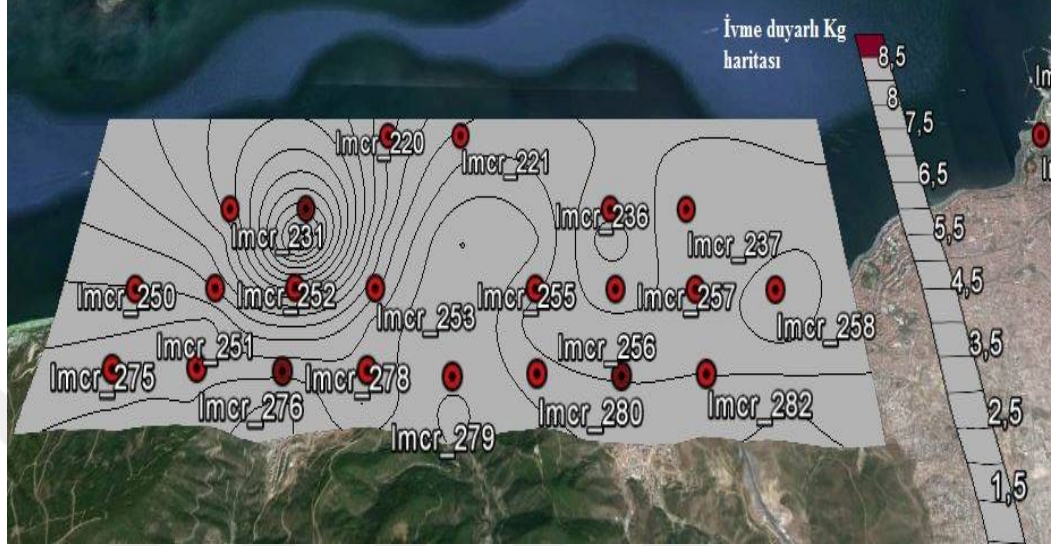
Şekil 4.6 Pik frekans ve genliklere göre Kg haritası



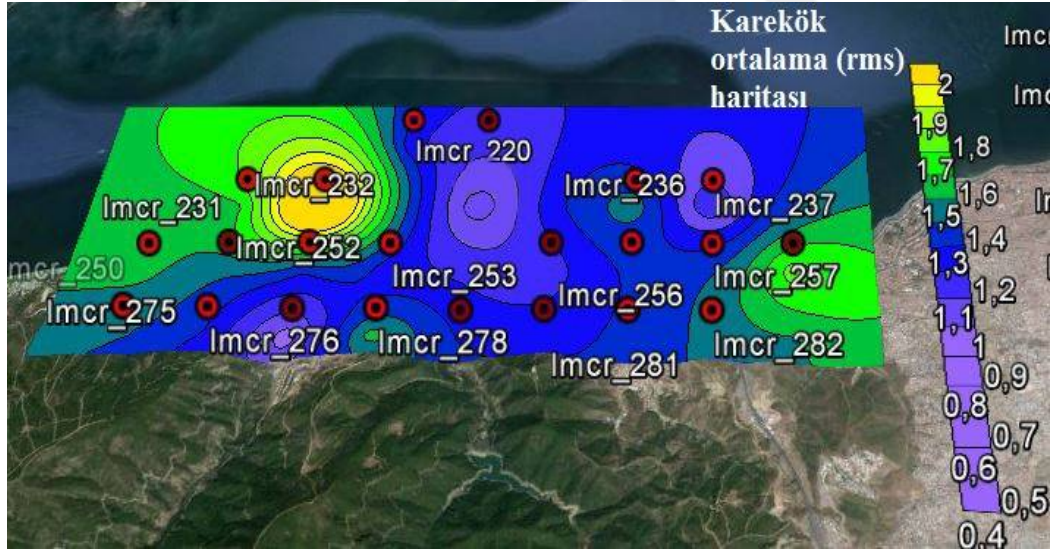
şekil 4.7 Yer değiştirme frekans aralığına duyarlı Kg haritası



şekil 4.8 Hız frekans aralığına duyarlı Kg haritası



Şekil 4.9 İvme frekans aralığına duyarlı Kg haritası



Şekil 4.10 Sismik anakayaya ait PGA değerlerinin zemin yüzeyindeki değişimi

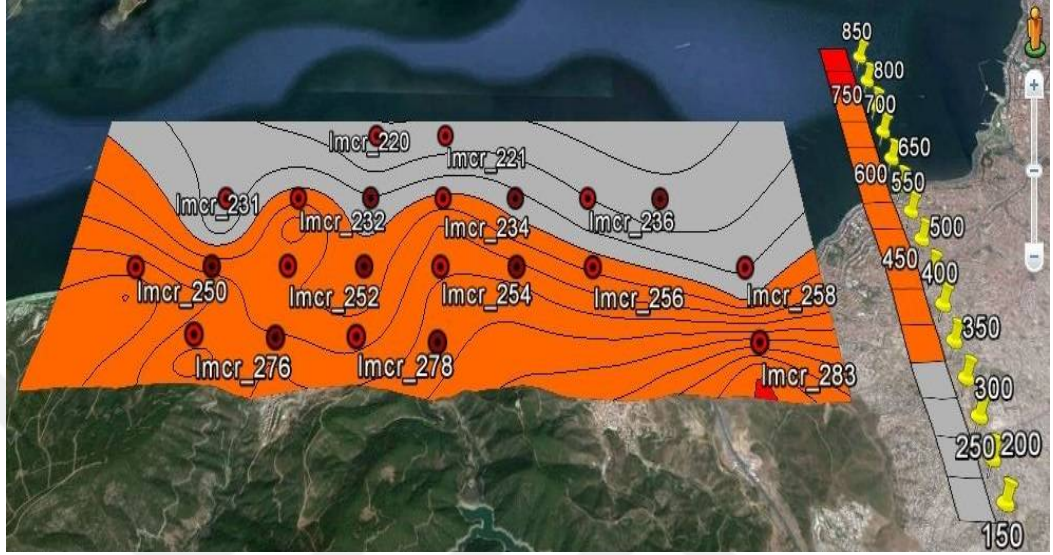
4.2 MASW Verilerinin Değerlendirilmesi ve Çıktılar

TÜBİTAK 106G159 numaraları projede alınmış ölçümlerden yararlanılmıştır. Çalışmalarda 24 kanallı Geometrics Geode cihazı kullanılmıştır. Her ölçüm noktasında yapılan sismik serimin baş orta ve son noktalarında atış yapılarak her noktada ölçü alınmıştır. Her bir serim için elde veriler SurfaceWave Analysis programı ile değerlendirilmiştir

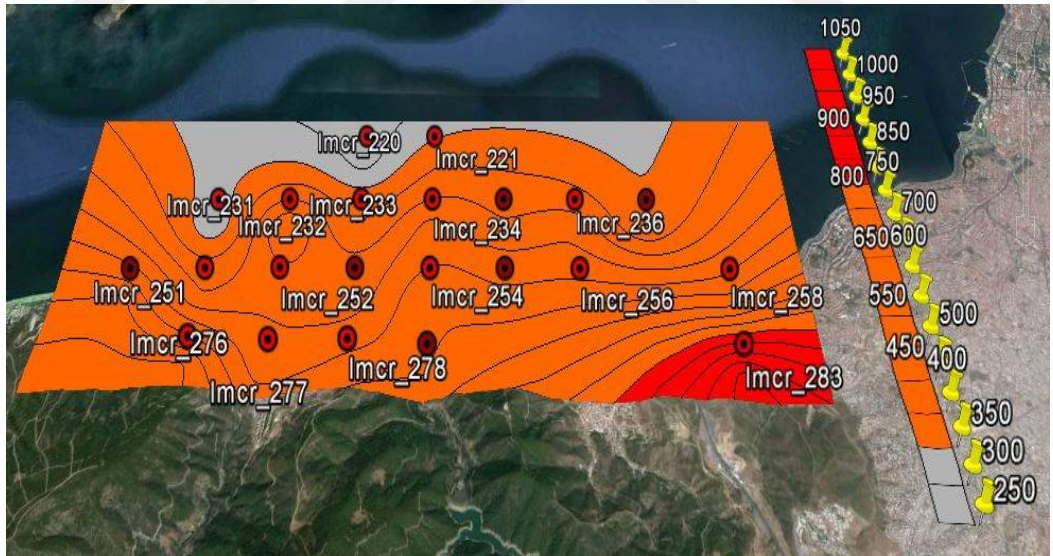
Her ölçüm noktası için, baş orta ve son kavramından elde edilen 3 Vs hız değerinin aritmetik ortalama değeri alınmıştır. Bu değerleri düşey yöndeki 2D boyutlu dağılımını görmek için, 10 , 20 , 30 , ve 40 m için derinlik hız haritaları (Şekil 4.11), (Şekil 4.12), (Şekil 4.13), (Şekil 4.14) oluşturulmuştur.

10 m seviye haritası incelendiğinde (Şekil 4.11), kıyıya yakın yerlerde Vs hızının düşük olduğu (250-300 m/s) ve zemin tabakasının baskın olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde 20 m ve 30 m seviye haritalarına bakıldığında (Şekil 4.12), (Şekil 4.13), kıyıya yakın bölgelerde Vs hızının aynı şekilde düşük olduğu ve zemin tabakasının 30 m de derinliklerde bile belirgin bir şekilde varlığını devam ettirdiği görülmektedir.

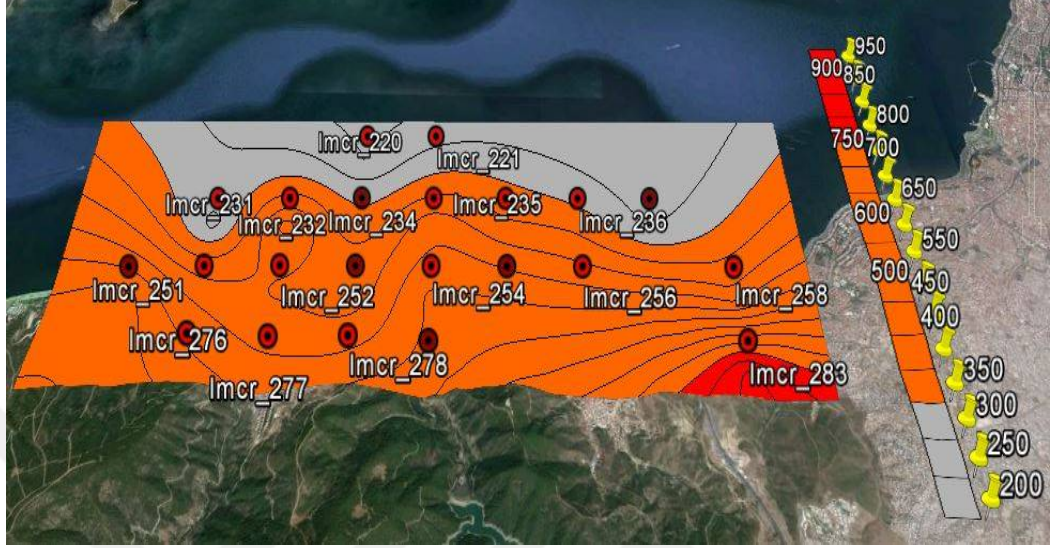
40 m seviye haritası (Şekil 4.14) incelendiğinde ise genel olarak mühendislik anakayasına ulaşamadığı ($V_s < 760$ m/s) gözlenmiştir. Bu yüzden yönetmeliklerde 30 m zemin kalınlığı kuralının, söz konusu alanın deprem-zemin-yapı ortak davranış karakteristiğini tanımlamak için yeterli değildir.



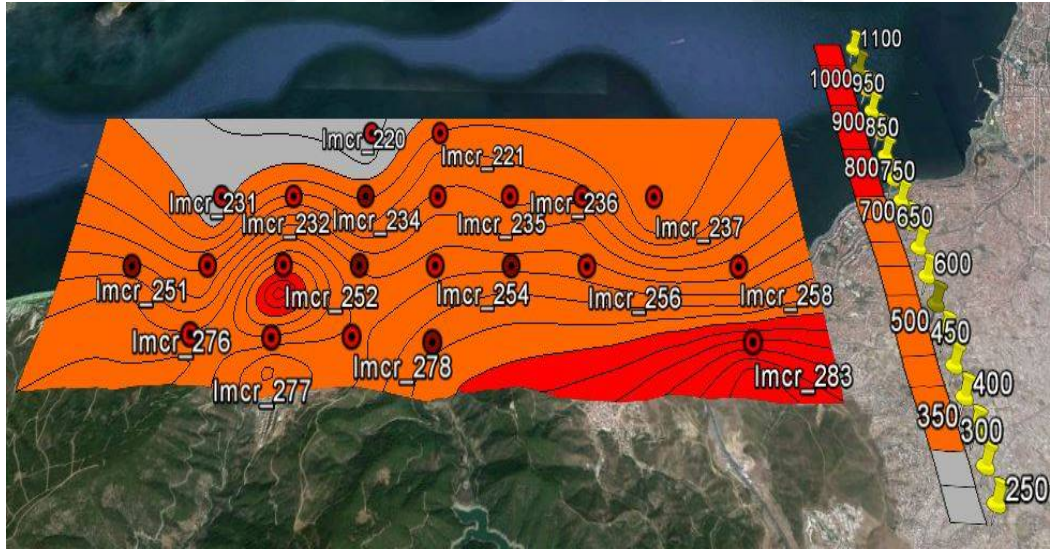
Şekil 4.11 10 m derinlik-hız.



Şekil 4.12 20 m derinlik-hız



Şekil 4.1330 m derinlik-hız



Şekil 4.14 40 m derinlik-hız

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma içeriğinde, Balçova ve yakın çevresinde yer alan zeminlerin dinamik etkiler (deprem hareketi) altındaki davranışını kontrol edecek yerel zemin koşulları, jeofizik yöntemlerle irdelenerek araştırılmıştır. Ayrıca, yer hareketinin alçak, orta ve yüksek frekanslarına bağlı olarak periyot duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve hasar endeks değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada, TÜBİTAK 106G159 numaraları proje kapsamında 23 noktada yapılmış MASW ve Mikrotremor ölçümlerden yararlanılmıştır.

Mikrotremor ölçüm çalışmasında Nakamura tek istasyon ölçüm tekniği uygulanmıştır. Ölçümlerde GURALP CMG6TD broadband sensör kullanılmıştır. Ölçü alımında zaman örnekleme aralığı Örnekleme aralığı 100 Hz (saniyede 100 okuma) olarak seçilmiştir. Ölçüm süresi olarak, her noktada ortalama 30 dk seçilmiştir. Ölçüm yapılırken çevre şartları konusunda Sesame kriterleri dikkate alınmıştır. Alınan veriler Sesame Projesi kapsamında geliştirilen Geopsy paket programıyla değerlendirilmiştir.

MASW çalışmalarında 24 kanallı Geometrics Geode cihazı kullanılmıştır. Her ölçüm noktasında yapılan sismik serimin baş orta ve son noktalarında atış yapılarak her noktada ölçü alınmıştır. Her bir serim için elde veriler Surface Wave Analysis programı ile değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen çıktılarına göre, QTS spektrumlarındaki pik genlik değerlerinin denize yaklaştıkça, 0,1 Hz-0,33 Hz frekans aralığında daha baskın olduğu Bunun anlamı çalışma alanının denize yakın kesimlerinin deprem sırasında yer değiştirmeye duyarlı yapı zemin ortak davranışının olma olasılığı yüksektir.

Kg Hasar endeks değerleri incelendiğinde yine denize doğru ve genel olarak 20 değerinin çok üstüne çıktığı görülmekte yani eşik değerini aştığı gözlemlenmiştir. Yani deprem sırasında, bu alanlarda zemin yanal deformasyonunun çoğunlukla elastik sınırlar dışında oluşma olasılığı yüksektir.

Çalışma alanında zeminin hakim olduğu kesimlerde ana kayadaki PGA değeri ile zemin yüzeyi PGA değerleri arasında ortalama 1,5-2 kat büyütme olma olasılığı yüksektir.

Vs dalga hızı seviye haritaları incelendiğinde 40 m seviyelerde bile hızın 760 m/s den düşük olduğu görülmektedir. Bunun anlamı ise zemin kalınlığının en az 40 m olmadır

Bu durumda depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak ve yönetmeliklerde tanımlanan Vs30 hızı bu bölge için geçerliliğini yitirmektedir. Bu alanlarda yapılacak yapılarda yönetmeliklerdeki tasarım spektrumları yerine yerinde hazırlanmış tasarım spektrumlarının kullanılması önerilir.

Vs dalga hızı ve Kg değerleri arasındaki değişimler birlikte irdelendiğinde; Vs hızının artmış olduğu bölgelerde Kg hasar indeksi değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Buradaki fiziksel gözlemin nedeni, Vs dalgası hızı derinlik ve zeminin baskın frekansı ile doğrudan ilişkilidir. Derinlik-hız haritalarında derinlikler sabit ve her istasyon için aynı değerde olduğunu düşünürsek, buradaki hız artışı baskın frekans olan F_0 değişimine neden olacaktır. Kg değeri yani hasar indeks değeri ise , zemin transfer fonksiyonundan elde edilen genlik ve baskın frekans içeriğiyle doğrudan ilişkili olup, genliğin aynı kalması koşuluyla, frekans birimindeki azalma indeks değerinin artışına neden olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., Gönenç T., Pamukçu, O., Özyalın, Ş. ve Özdağ, Ö. C. (2013). Mühendislik ana kayasının belirlenmesine yönelik jeofizik yöntemlerin bütünsel yorumu : İzmir yeni kent merkezi uygulamaları. *Jeofizik Bülten*, 18, 67-80.
- Akgün, M. (2013). *Deprem - yapı - zemin soru ve cevaplar*. Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Aksarı, D., Karabulut, H. ve Özalaybey, S. (2010). Stress interactions of three moderate size earthquakes in Afyon, southwestern Turkey. *Tectonophysics*, 485, 141-153.
- Aktepe, E. ve Aydın, C. (2013). İzmir çevresinde yapılan sismotektonik araştırmaların CBS ve mekansal istatistik yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara.
- Bozkurt, A. ve Kurtuluş, C. (2010). Gebze sınırları dahilinde yer alan deponi alanının jeolojik, jeofizik ve jeotektonik yöntemlerle araştırılması. *Uygulamalı Yer Bilimleri*, 1, 1-22.
- Cuenot, N., Charlery, J., Dorbath, L. ve Haessler, H. (2006). Faulting mechanisms and stress regime at the European HDR (Hot Dry Rock) site of Soultz - sous - Forests – France, *Geothermics*, 35, 561-575.
- Çakır, T. (2011). *Çok kanallı yüzey dalgaları analizi (masw) yöntemi ile kırılma mikrotremor (remi) yönteminin karşılaştırılması*. Lisans Bitirme Tezi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Dikmen, Ü., Başokur, A.T., Akkaya, İ. ve Arısoy, M.Ö. (2009). *Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde uygun atış mesafesinin seçimi*. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara. 23-32.

Dirik, K. (2006). *Kayaların mekanik davranışları*. Ders Notları. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F. (2005). *İzmir ve yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Emre, T. ve Sözbilir, H. (2005). Geology, geochemistry and geochronology of the Balçova andesite, eastern end of the Küçük Menderes Graben. *Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Bulletin* 131, 1-19.

Eurocode Site Classes. (b.t.) 10 Temmuz 2015

<http://www.eurocodes.co.uk/EurocodeDetail.aspx?Eurocode=8>.

Gençoğlu, S. ve Ayhan, E. (1974). İzmit ili mikrobölgeleme etüdünde yapılan mikrotremor çalışması. *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 5., 28-52.

Giammanco, S., Palano, M., Scaltrito, A., Scarfi, L. ve Sortino, F. (2008). Possible role of fluid overpressure in the generation of earthquake swarms in active tectonic areas: The case of the Peloritani Mts. Sicily, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178, 795-806.

Herak, M. (2008). Model HVSR-A Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computer and Geosciences*, 34, 1514-1526.

Kanai, K. ve Tanaka, T. (1961). On microtremors, 8. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 39, 97-114.

Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall

- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR of RTRI*, 30,25-33.
- Nakamura, Y. (1997). Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. *World Congress on Railway Research*, Florence.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceeding 12 th World Conference on Earthquake Engineering*, 2656.
- Nakamura, Y. (2009). *Basic structure of QTS (HVSr) and Examples of Applications. Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, 33-51.
- NEHRP (1994). *Recommended provisions for seismic regulations of new buildings: Part I provisions*. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- Ongun, E.R. (2010). *İzmir Balçova kuvvetli yer hareketi istasyonu zemin şartlarının jeofizik yöntemlerle araştırılması*. Yüksek Lisans Bitirme Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Okada, H. (2003). The micro seismic survey method: Society of exploration geophysicists of Japan. *Geophysical Monograph*, 12, Society of Exploration Geophysicists.
- Özçep, F. (2009). *Zeminlerin geoteknik ve jeofizik analizi*(1.Baskı). Ankara: Nobel Yayınevi.
- Özener, P. (2015). *Dinamik etkiler altında zemin davranışı*. Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Parlak, S. (2014). *Alüvyonal zeminlerde mikrotremor ve masw yöntemleriyle elde edilen HVSR değerlerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Bitirme Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Radius Projesi (1999). *İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı*.10 Temmuz 2015, <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem>.

Serpen, U. ve Kayan, İ. (2001). Balçova jeotermal sahasının hidrolojik bilançosu. *13th International Petroleum Congress and Exhibition of Turkey*, Ankara

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, Y., Koçer, T. ve diğer. (2008). D-B uzanımlı İzmir fayı ile KD uzanımlı Seferihisar fayının birlikte çalıştığına dair veriler: İzmir körfezini oluşturan aktif faylarda kinematik ve paleosismolojik çalışmalar, Batı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 51, 2, Ankara

Teves-Costa, P., L. Matias, L. ve Bard, P. Y. (1996). Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings. *American Geophysical Union*, 15, 201-209.

Tuğsal, Ü.M., Kara, F.İ., Taşkın B. ve Sezen, A. (2007). Türkiye deprem kayıtları kullanılarak hedef yer değiştirmelerin hesabı için iki ampirik formül. *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul.

Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007). 10 Temmuz 2015

<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>.

Uzel, B., Sözbilir, H. ve Özkaymak, C. (2010). Neotectonic evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: the inner bay of Izmir, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 10, 9-11.

Yağcı, B. (2014). *Zemin davranış analizleri*. 29 Haziran 2015,
<http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/gdm/geo5.pdf>

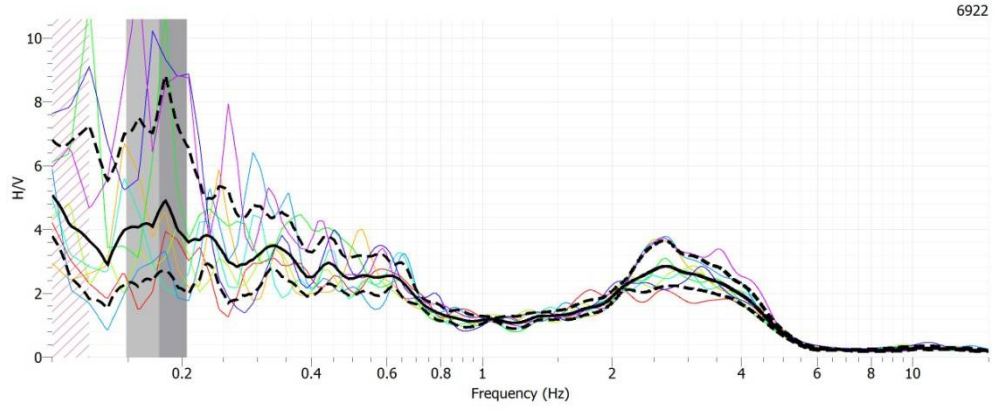
Yalçinkaya, E. (2004). Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 17, 47-56.

Yalçinkaya, E. (2010). Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni*, 63, 77-80.

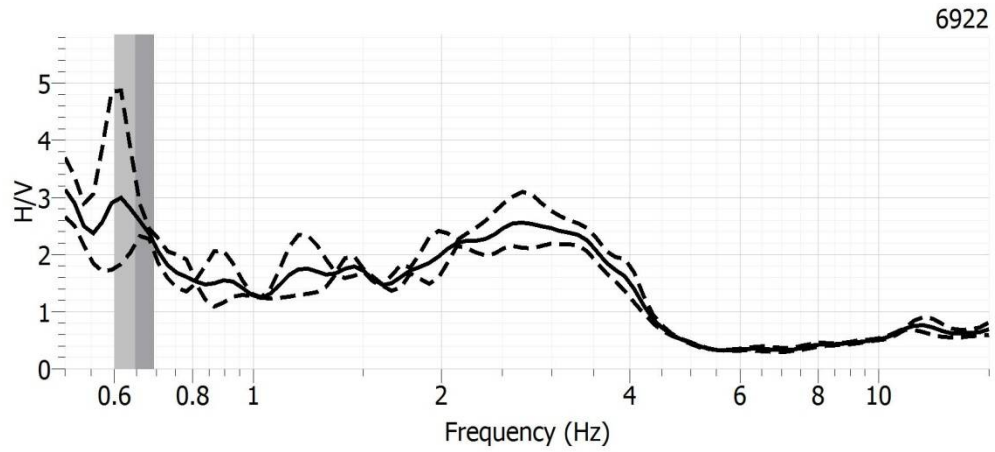


EKLER

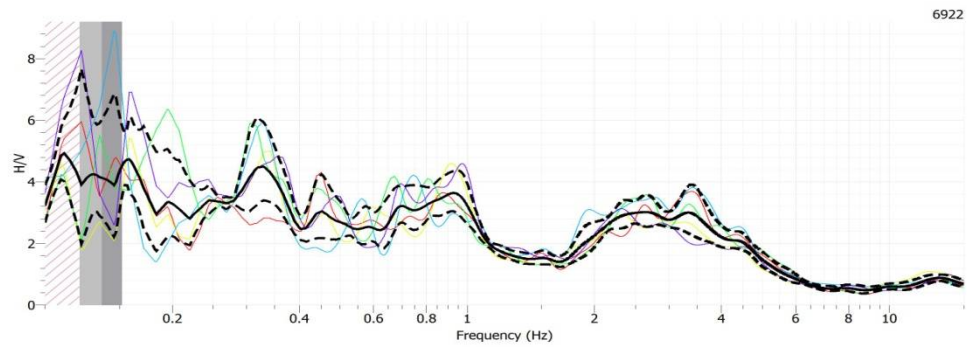
EK-1



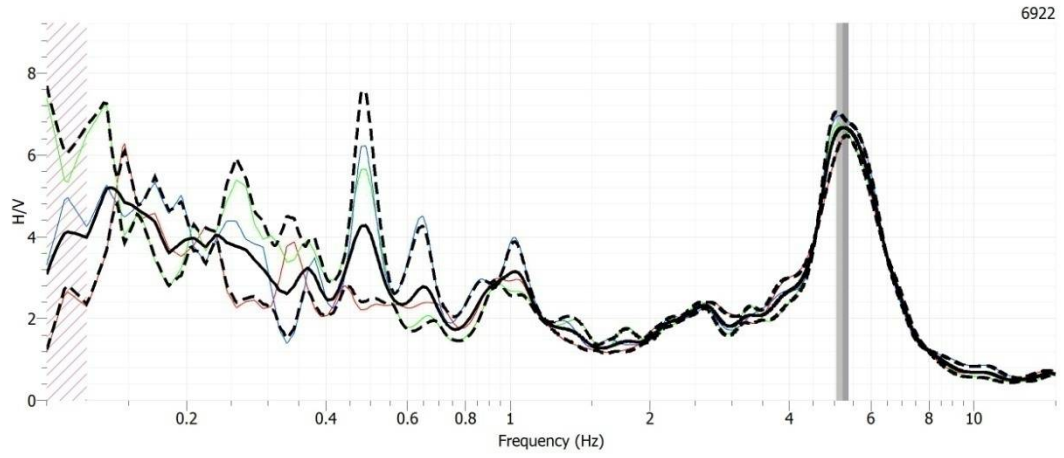
Imcr-220 noktasına ait HVSR spektrumu



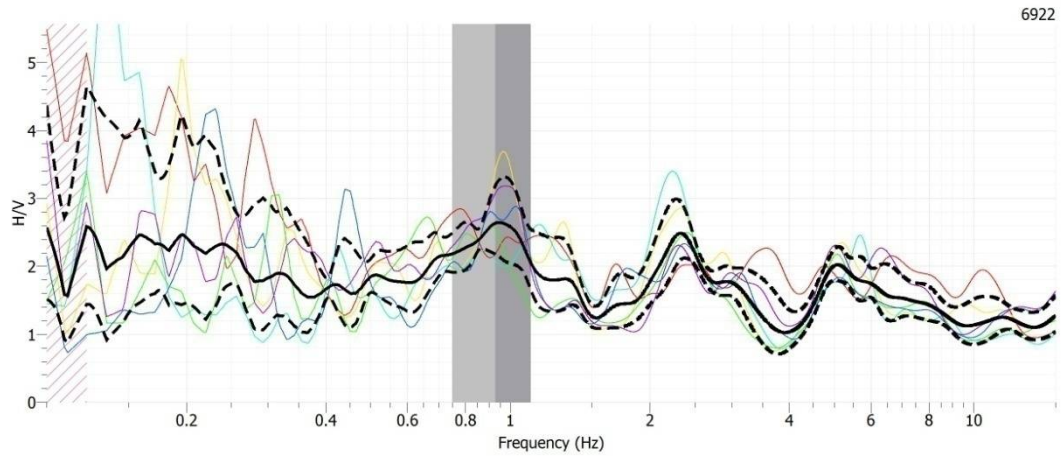
Imcr-221 noktasına ait HVSR spektrumu



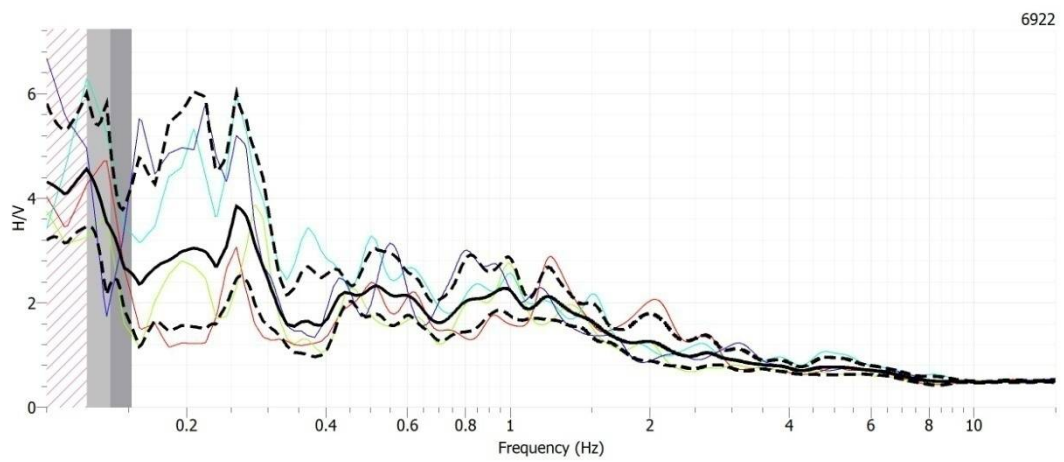
Imcr-231 noktasına ait HVSR spektrumu



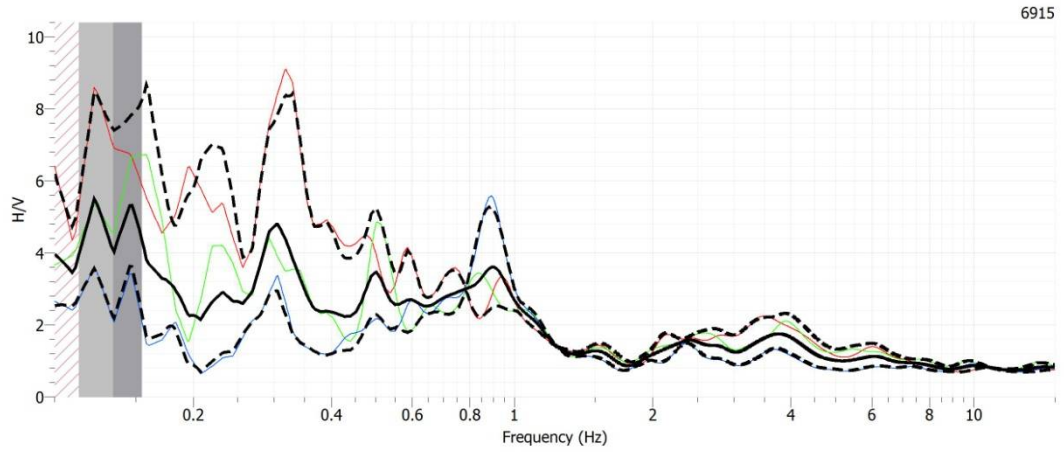
Imcr-232 noktasına ait HVSr spektrumu



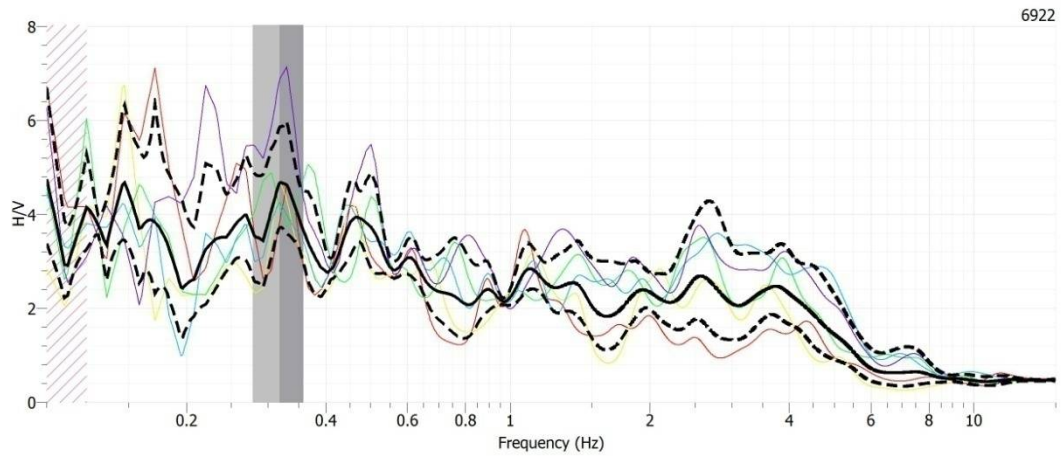
Imcr-233 noktasına ait HVSr spektrumu



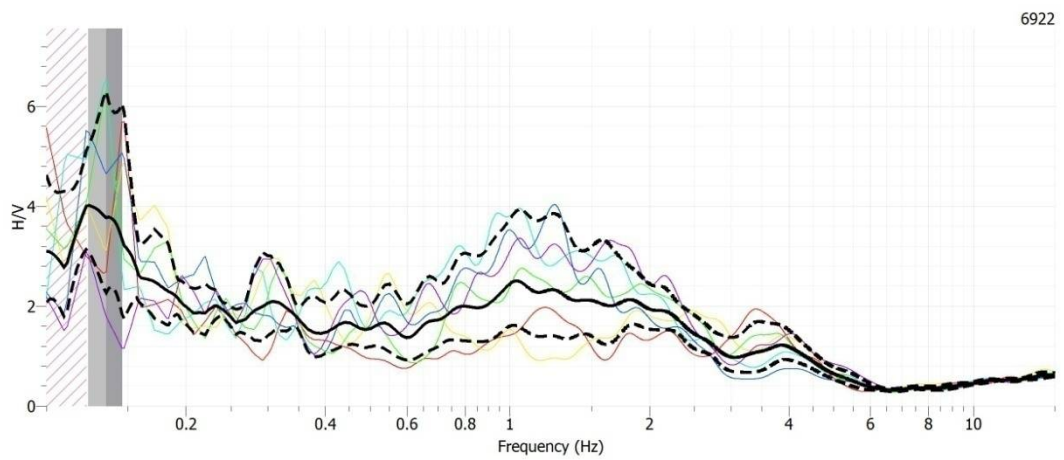
Imcr-234 noktasına ait HVSr spektrumu



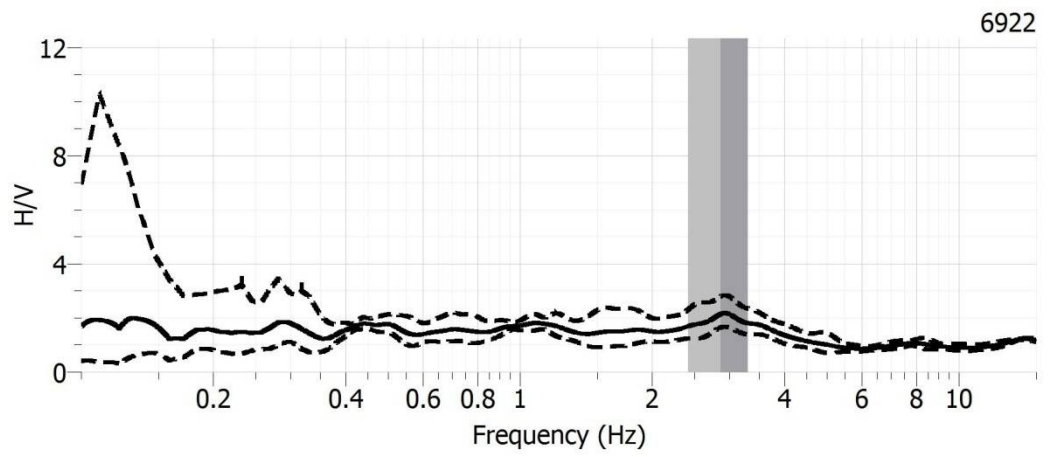
Imcr-235 noktasına ait HVSr spektrumu



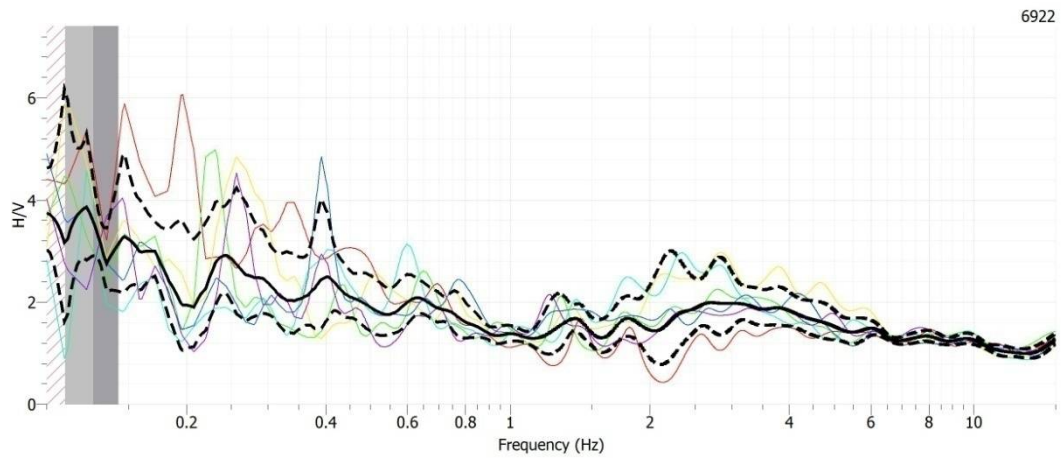
Imcr-236 noktasına ait HVSr spektrumu



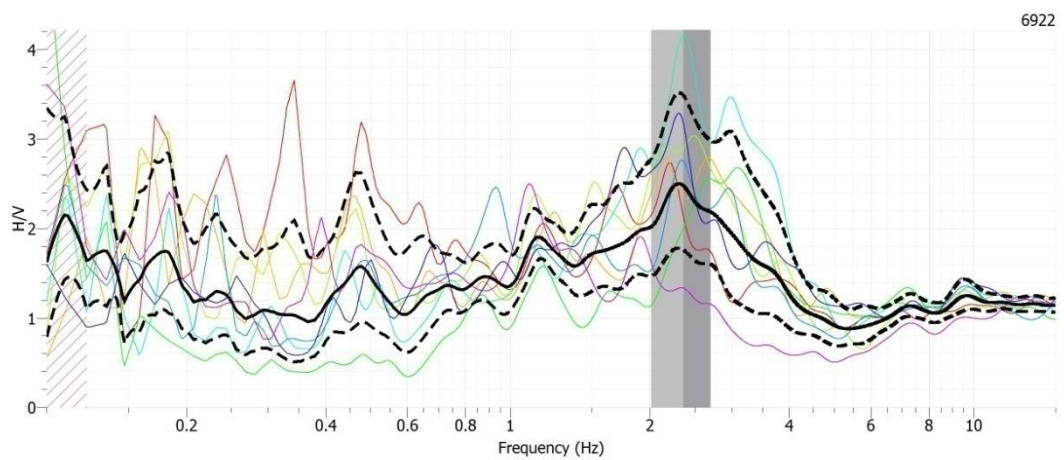
Imcr-237 noktasına ait HVSr spektrumu



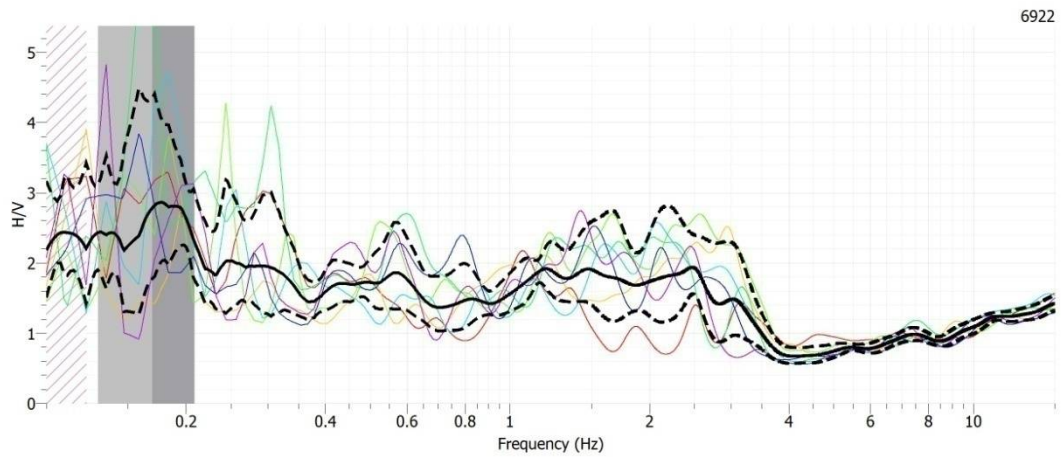
Imcr-250 noktasına ait HVSr spektrumu



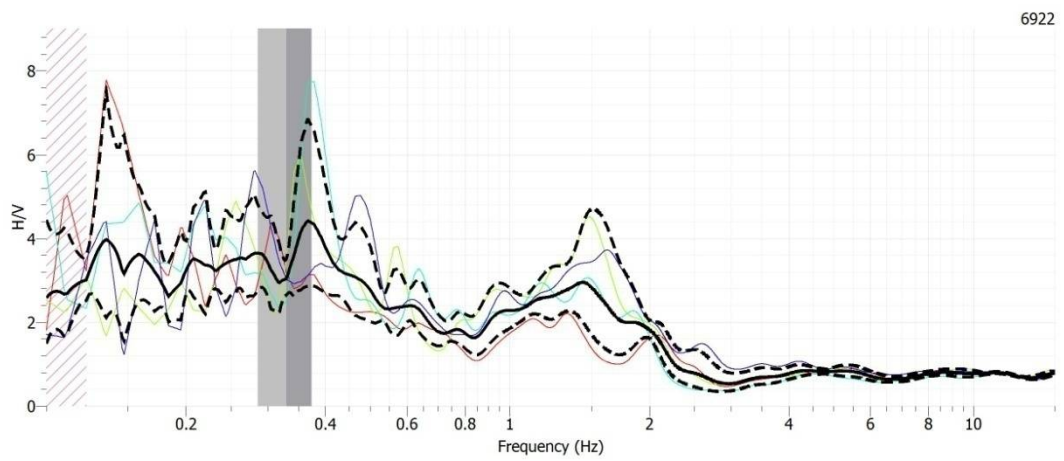
Imcr-251 noktasına ait HVSr spektrumu



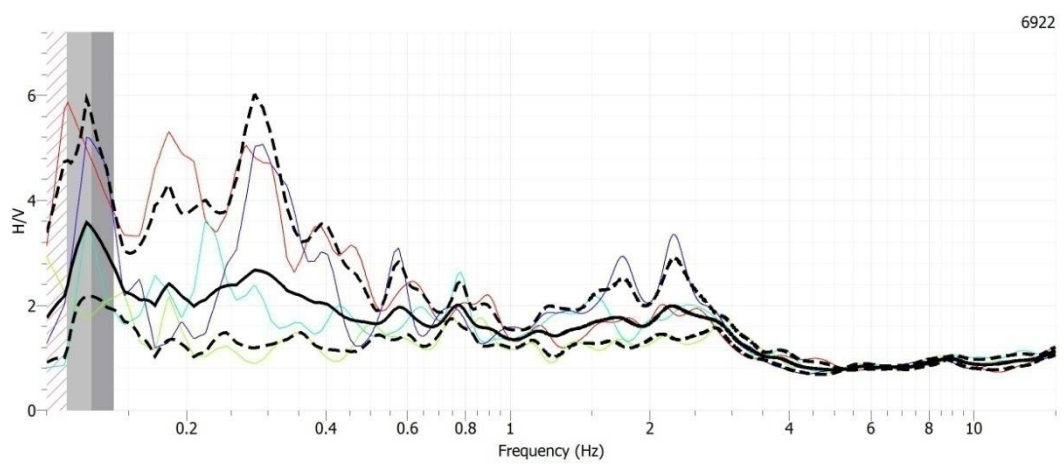
Imcr-252 noktasına ait HVSr spektrumu



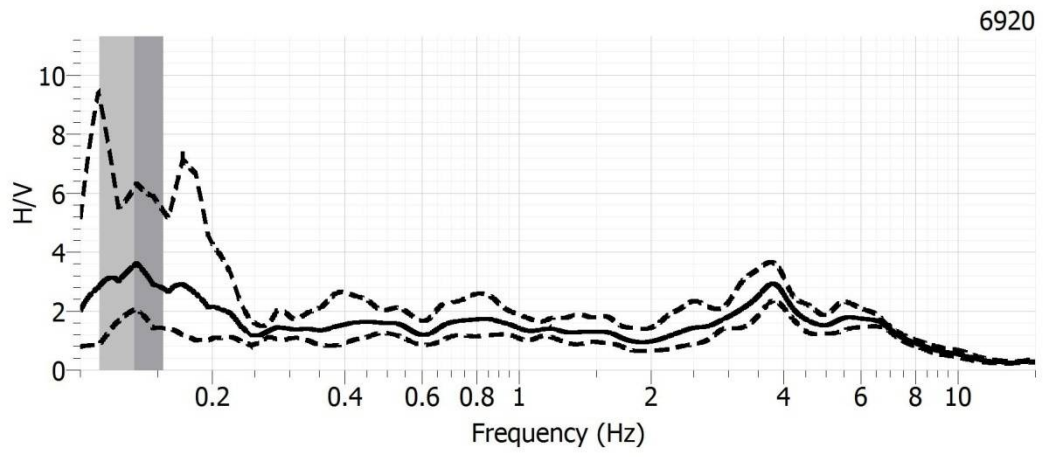
Imcr-253 noktasına ait HVSR spektrumu



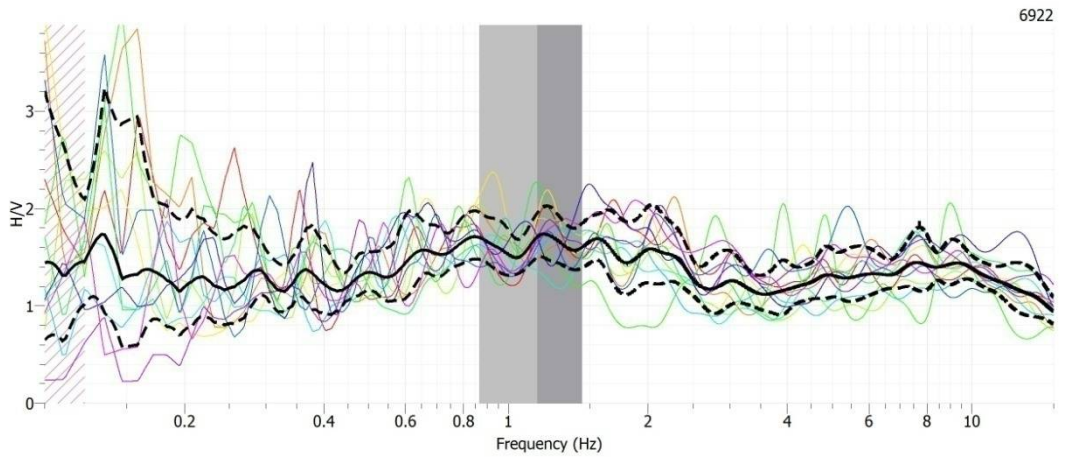
Imcr-254 noktasına ait HVSR spektrumu



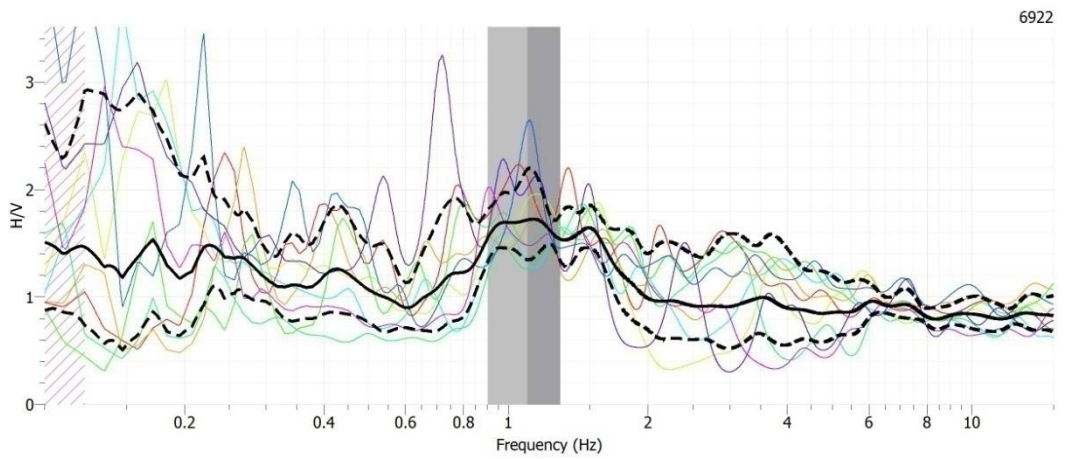
Imcr-255 noktasına ait HVSR spektrumu



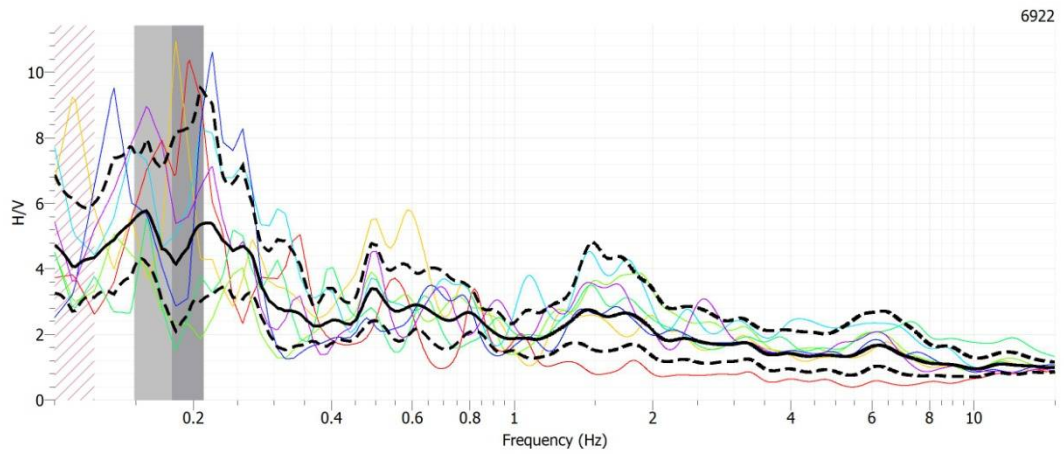
Imcr-258 noktasına ait HVSR spektrumu



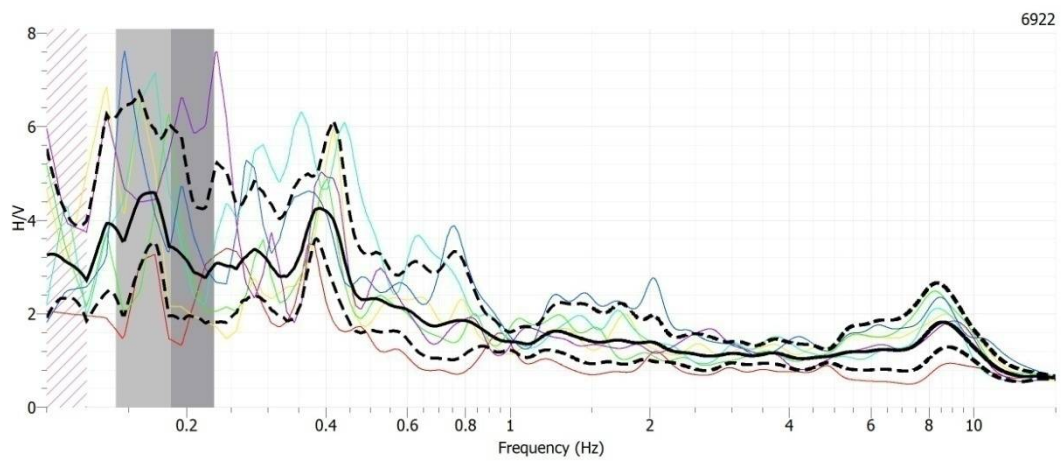
Imcr-276 noktasına ait HVSR spektrumu



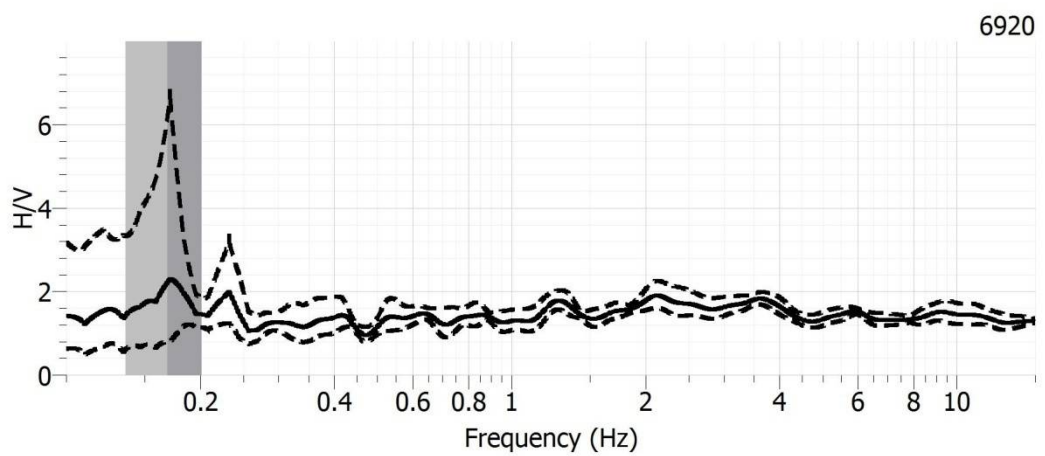
Imcr-277 noktasına ait HVSR spektrumu



Imcr-278 noktasına ait HVSR spektrumu



Imcr-279 noktasına ait HVSR spektrumu



Imcr-283 noktasına ait HVSR spektrumu

DÖKÜMAN NO	:
REVİZYON	: 01
REVİZYON TARİHİ	: 16.06.2008
YAYIN TARİHİ	: 08.03.2008
SAYFA NO	: 2/2

[illegible]

40 metreye kadar sondaj logu (Ongun, 2010)