DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
Cilt/*Vol.*:18■ No/*Number*:3■Sayı/*Issue*:54■Sayfa/*Page*:652-668■ EYLÜL 2016/*Sep 2016*
DOI Numarası (DOI Number): 10.21205/deufmd.2016185428

Makale Gönderim Tarihi (Paper Received Date): 01.02.2016 Makale Kabul Tarihi (Paper Accepted Date): 13.09.2016

ZEMİNLERİN DEPREM-ZEMİN-YAPI ORTAK DAVRANIŞI KAPSAMINDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ:BALÇOVA/İZMİR ÖRNEĞİ

(INVESTIGATION OF SOIL BY GEOPHYSICAL METHODS IN SCOPE OF EARTHQUAKE-SOIL-STRUCTURE COMMON BEHAVIOUR: A CASE STUDY FOR BALÇOVA/İZMİR)

Özkan Cevdet ÖZDAĞ[1] , Mustafa AKGÜN[2], Eren PAMUK[3], Evren KIRNIÇ[4]

ÖZ

Bu çalışmada, balçova ilçesinde yer alan zeminlerin özellikleri, dinamik yükler (deprem hareketi) altında oluşması muhtemel deprem-zemin-yapı ortak davranışını belirlemek için, jeofizik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışmada, TUBİTAK 106G159 nolu proje kapsamında 21 noktada toplanan çok kanallı yüzey dalgası (ÇKYD) verilerinden ve mikrotremor ölçümlerden yararlanılmıştır. Deprem-zemin-yapı ortak davranışını zemin özelliklerine göre tanımlamak amacıyla periyot duyarlılık bölgeleri kullanılmıştır. ÇKYD verilerinin analizinden elde edilen s dalga hız-derinlik profillerinden zemin kalınlığı hakkında ön bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, deprem sırasında ilgili zeminde oluşabilecek yanal deformasyon değişimlerini irdelemek için mikrotremor verilerinden elde edilen quasi transfer spektrumları (QTS) kullanılarak kg hasar endeks katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma alanında, QTS pik genlik değerleri çalışma alanının denize yakın kısımlarına yaklaştıkça, 3 sn- 5 sn periyot aralığında daha baskındır. Kg hasar endeks değerleri de, benzer şekilde denize yaklaştıkça 20 değerinin çok üstüne çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre, bu alanlarda deprem sırasında yer değiştirmeye duyarlı yapı zemin ortak davranışın oluşması ve zemin yanal deformasyonunun da çoğunlukla elastik sınırlar dışında olma olasılığını arttırmaktadır. Kayma dalgası (Vs) hızının 40 m seviyelerde değerleri 760 m/s den daha küçük olduğu için zeminin 30 m' den daha kalın olduğu sonucuna varılmıştır. s dalga hızı ve kg değerleri arasındaki değişimler birlikte irdelendiğinde; vs değerinin artmış olduğu bölgelerde kg hasar indeki değerlerinde azalma gözlenmiştir. bu sonuçlar dikkate alındığında çalışma alanında yapılacak yapılar için, yönetmeliklerdeki tasarım spektrumları yerine, yerinde hazırlanmış tasarım spektrumları kullanılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Mikrotremor, MASW, Quasi Transfer Spektrumu, Zemin Transfer Fonksiyonu.

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Ege Bölgesi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İZMİR, cevdet.ozdag@deu.edu.tr

[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh., İZMİR, mustafa.akgun@deu.edu.tr

[3] Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh., İZMİR, eren.pamuk@deu.edu.tr (sorumlu yazar)

[4] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz Araştırmaları Birimi, ANKARA, evren.kirnic@mta.gov.tr

ABSTRACT

In this study, Earthquake-Soil-Structure interaction were examined under dynamic conditions (earthquake) by geophysical methods. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and microtremor measurements were used in this study which were applied in TUBITAK 106G159 project at 21 stations. Also period sensitivity region can be used to define common behavior characteristics of earthquake-soil-structure according to soil characteristics. Preliminary information were obtained about soil thickness using S wave velocity from MASW studies. In addition,vulnerability index (Kg) were calculated using Quasi Transfer Spectrum from microtremor data for horizontal deformation which will be occured ground surface during an earthquake.IIn the study area, peak amplitude values in QTS are more dominant with 3-5 sec periods at these sites. Similarly, Kg values reach up to more than 20 at the sites close to sea. According to these results, common behaviour of soil-structure will be sensitive to displacement during an earthquake and lateral deformation should be expected much. Because of Vs where were measured at 40 meter is smaller than 760 m/sec, soil thickness more than about 30 meter. In this condition, we suggest that using in-situ design spectras instead of design spectrum in regulations while designing earthquake resistant building will be built in the study area.

Keywords: *Microtremor, MASW, Quasi Transfer Spectrum, Soil Transfer Function.*

1. GİRİŞ

Türkiye'de Batı Anadolu Fay kuşağında 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 yükler altında oluşan zemin davranışlarını tanımlamak için mühendislik ana kayası, zemin, zemin transfer fonksiyonu, zemine gelen dinamik yükler ile bu yüklere bağlı oluşması muhtemel gerilme-şekil değiştirme (stress-strain) ilişkilerinin tanımlanması gerekir. Bunun için ilk olarak, yerinde (in-situ) yöntemler kullanılarak çalışma alanına ait yer altı yapısının (zemin+ana kaya) modellemesi yapılır. Yer modelini oluşturmak için kullanılan temel parametreler P (boyuna), S (kayma) dalga hızları, tabaka kalınlıkları veyoğunluk değerleridir. Bu parametreleri elde etmek için yeryüzeyinde ve kuyularda uygulanan çeşitli jeofizik yöntemler kullanılır.

Zeminlerde yanal yönde dinamik yük oluşturan deprem kuvvetini tanımlamak için zemin transfer fonksiyonu kavramı kullanılır. Zemin transfer fonksiyonu kuramsal ve gözlemsel olarak elde edilebilir. Gözlemsel olarak Nakamura (1989), kuramsal olarak Herak (2008) çalışmasında tanımlanan izlence uygulanır. Son olarak gerilme-yamulma ilişkisine bağlı olarak zemin deformasyon tanımları yapılır (elastik, elastopolastik ve plastik).

Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin önemli bir bölümünü yer kabuğunun oluşturan sert anakaya içinde geçirirler. Seyahatlerinin son aşaması, özellikleri

anakaya ya 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). Bu kapsamda zemin olarak adlandırılan yüzey tabakasında S dalgası hızı 760 m/s den az olduğu kabul edilir ve 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 (NEHRP 2003; Nath 2009). Mühendislik ana kayası olarak adlandırılan bölgede zeminin dinamik yapısının değişmediği yani S dalga hızı değerlerinin değişmediği kabul edilir (NEHRP 2003; 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.

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. Yerel zemin koşullarının tanımlanmasında, kolay ve güvenilir yöntemlerden biride Nakamura (1989) 'nın geliştirdiği H/V (yatay/düşey) oranı veya Quasi Transfer Spektrumu (QTS) tekniğidir. QTS tekniği 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 ve 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 (Radius, 1999). Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği (TDY)'ne göre çalışma alanının Z3-Z4 zemin sınıfında olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, Balçova ve yakın çevresinde yer alan zeminlerin dinamik etkiler (deprem hareketi) altındaki davranışını kontrol edecek olan yerel zemin koşulları, jeofizik yöntemlerle irdelenerek araştırılmıştır. Tuğsal vd. (2007) çalışmasında tanımlanan 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 kestirimi ve buna bağlı duyarlılık haritalarının oluşturulması için mikrotremor yönteminden yararlanılmış ve kayma deformasyonu hakkında bilgi edinmek için ÇKYD yöntemi kullanılmıştır. Yine hasar dağılımının önceden kestirimi için QTS'den Kg hasar endeksi değerleri elde edilmiştir. ÇKYD yöntemiyle, Vs, Vp değerleri elde edilmiş ve Vs hız dağılım haritası oluşturulmuştur.

2. ÇALIŞMA ALANI

İzmir Körfezi'nin güneyi genellikle Pliyosen-Kuvaterner yaşlı karasal-denizel çökellerden oluşmaktadır (Şekil 1a). Çökellerin önemli bir kısmı, Holosen yelpaze deltalarından meydana gelmiştir ve burada iri çakıl malzeme yer almaktadır. 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 vd, 2005). Balçova' da fay sistemleriyle ilişkili jeotermal yapılar gözlenmektedir. Bununla birlikte, jeotermal alanlarda çok sayıda mikro-deprem oluşma olanağı vardır (Badur, 2011). Giammanco vd. (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 oluştuğu gözlenmiştir. Narlıdere-Balçova bölgesindeki, yerel magnitüdü $1.0 \leq ML \leq 3.1$ arasında değişen depremler de çoğunlukla jeotermal aktivite ile ilişkilendirilmektedir (MTA, 2005).

Meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu normal veya az/çok doğrultu atım bileşeni olan normal faylanmayı işaret etmektedir (Aksarı,2010; Cuenot vd., 2006).

3. KURAMSAL BİLGİLER

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.

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. 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. 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. 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. Yine dış kuvvetler etkisiyle meydana gelen şekil değişimi kuvvetlerin ortadan kaldırılması ile tam olarak eski haline geri dönmüyor ise, yani deformasyonun bir kısmı ortadan kalkıyor 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) doğrusal deformasyon halinden uzaklaşır.Bu

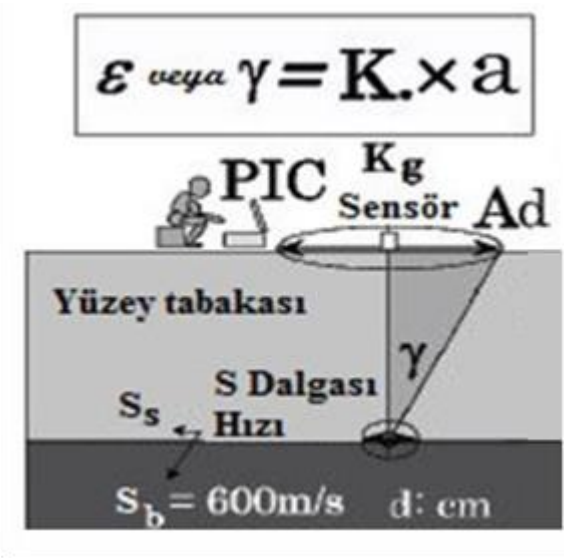
tip malzemede gerilme daha da arttırılırsa cisimde devamlı deformasyon yani uniform akma başlar. Viskoz malzemeler ise mükemmel akışkanlarla katılar arasında yer almaktadır. Bu tip cisimler kendi ağırlıkları ile zamana bağlı bir deformasyon gösterirler.



Şekil 1. a)İzmir Körfezi ve Çevresinin Genel Jeoloji Haritası (Sözbilir vd., 2008'den değiştirilmiştir.) b) MASW ve Mikrotremor ölçü lokasyonları

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. 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 endeksini kullanarak, deprem sırasında oluşacak olası hasarın kestirimini yanal yöndeki deformasyon değişimine bağlı olarak tanımlanmasını amaçlamıştır. Nakamura (1997) 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 yamulması değişimleri ana kayadaki ivme ve zeminin hakim frekans-genlik değerleri arasındaki oran belirleyecektir. Birim kayma yamulması oluşacak artışlar önce zeminin elastik davranışını ve buna bağlı olarak yapısal hasar oranını doğrudan etkileyecektir. Kesme yamulmasının matematiksel olarak hesaplanması K değerleri ile, ana kayadaki maksimum ivmenin (a) çarpımını içermektedir. K değerleri zemin ve çeşitli yapılar için tanımlanmış olup zemin için Kg, dolgu alanlar için Kj ve rijit yapılar için Kb değeri kullanılır (Nakamura, 2009) (Şekil 2) .



Şekil 2. Kesme yamulması deformasyonu ve K parametresi ilişkisi (Nakamura, 2009'dan değiştirilmiştir.)

Bu çalışmada Kg değeri üzerinde durulmuş olup , Kg değerinin matematiksel olarak elde edilişi en yalın hali ile (Nakamura, 2009)'a göre açıklanmış ve bağıntı 1'de verilmiştir.

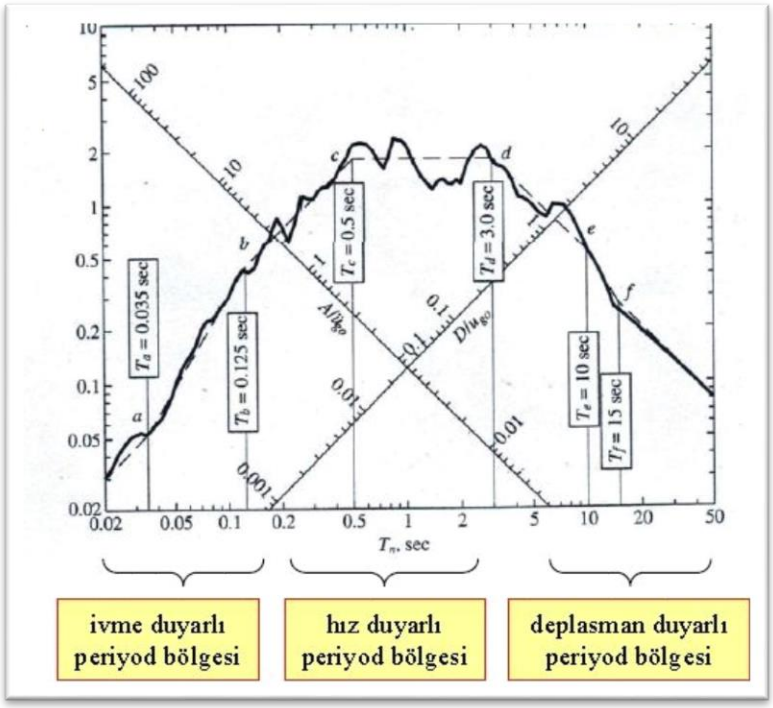
$$Kg=Ag^2/Fg \quad (1)$$

Bağıntı 1'de Ag QTS'deki en büyük genlik değerini, Fg ise Ag'ye karşılık gelen frekans değerini tanımlamaktadır. Nakamura (1997) deprem sonrasında oluşan yapısal hasarlar ile Kg

değeri arasındaki ilişkiyi irdelediğinde Kg değerinin 20 den büyük olduğu alanlarda hasar oranın arttığını saptamıştır. Ayrıca Kg değerinin belirli koşullar altında alanın sıvılaşma derecesini kontrol ettiği varsayılmaktadır.

Deprem anında, salınım sonucunda meydana gelecek zemin- yapı ortak hareket sonuçlarıyla, yapı yüksekliği arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla pik periyot değerlerinden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda Şekil 3'te zemin transfer fonksiyonlarından elde edilen pik periyot değerleri kullanılarak, elde edilen duyarlılık haritası örneği yer almaktadır (Tuğsal ve diğer., 2007).

- Deplasman Duyarlı Spektral Bölge (Yüksek Periyot Değerli Bölge). Bu bölgede zemin yüzeyinde deprem sırasında oluşacak spektral genlik değerlerindeki değişimler üzerinde yer hareketinin deplasman (yer değiştirme) etkisi baskın olacaktır.
- Hız Duyarlı Spektral Bölge (Orta Periyot Değerli Bölge). Bu bölgede zemin yüzeyinde deprem sırasında oluşacak spektral genlik değerlerindeki değişimler üzerinde yer hareketinin hız etkisi baskın olacaktır.
- İvme Duyarlı Spektral Bölge. Bu bölgede (Küçük Periyot Değerli Bölge), zemin yüzeyinde deprem sırasında oluşacak spektral genlik değerlerindeki değişimler üzerinde yer hareketinin ivme etkisi baskın olacaktır.



Şekil 3. Periyot Duyarlılık Bölgeleri (Tuğsal ve diğer., 2007). Spektral Bölge Tanımı Yapılırken Periyot ve Yapı Yükseliği Arasındaki İlişki Temel Alınmıştır.

Yapıların ivme hassaslığı uzun olan periyot bölgesinde veya dışında kalmaları sonucuna göre elastik veya rijit davranış gösterirler. Örneğin ivme duyarlı bölgede, 15-20 katlı bir yapı yada deprem yalıtımlı (büyük periyotlu) yapılar elastik davranış göstereceklerdir.

Sonuçta; ivme duyarlı periyot bölgesinde oldukça fazla yapısal titreşim modları oluşacak ve yüksek ivme genliğine maruz kalacaktır. Bu ise elastik taban kesme kuvvetini ve katlar arası ötelenmeleri yüksek katlı yapılarda artıracaktır. Sonuç olarak; yapının ilk modal periyodu T1, ilk mod kütle katılım oranını büyüterek yüksek modların katkılarını azaltacaktır. Depremin talep ettiği düktilite bu ivme duyarlı periyod bölgesinde artacaktır.

Böylece deprem öncesi zemin yapı ortak davranışını tanımlamak için yapılacak çalışmalarla periyot değerlerine bağlı olarak tanımlanacak spektral hassas bölge tanımları saptanabilir. Bu bölge tanımları kullanılarak yapılacak yapıların yükseliği ve rijitliği hakkında daha sağlıklı bilgiler sağlanmış olacaktır.

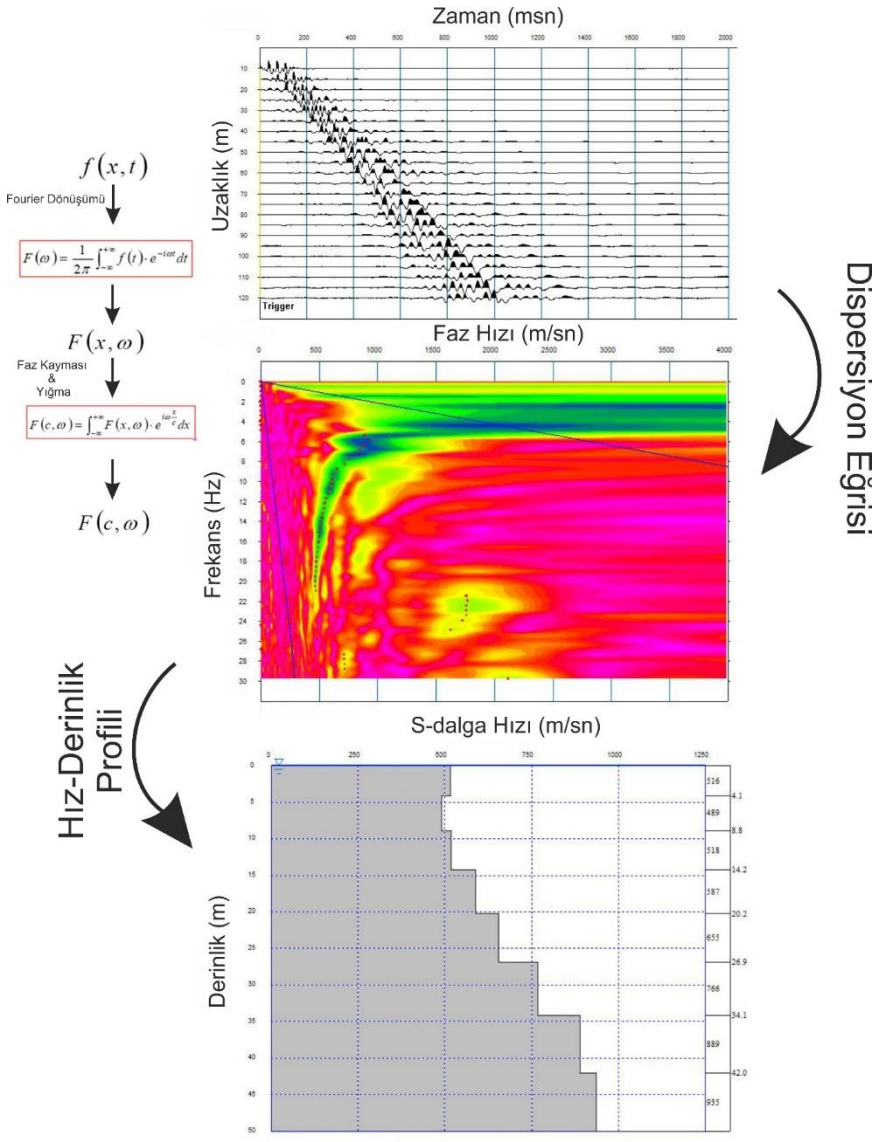
4. VERİ TOPLAMA VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında kullanılan bütün veriler TÜBİTAK 106G159 numaralı KAMAG projesi kapsamında toplanmıştır. Çalışma alanında ölçü lokasyonları Şekil 1b'de verilen 21 profil boyunca MASW ölçümleri alınmıştır. MASW 24 kanallı Geometrics Geode sismik aleti ve 4,5 Hz lik düşey jeofonlar kullanılmıştır. Jeofon aralıkları 5 m olarak seçilmiştir. Kaynak olarak ivmeli hidrolik balyoz (100 lb) kullanılmıştır. MASW yöntemi uygulamasında düz, orta ve/veya ters atışlar ile veri toplanmıştır. Kaynağın ilk jeofona olan uzaklığı (ofset) düz ve ters atışlarda 5 m olarak seçilmiştir. Örnekleme aralığı 0,125 msn kayıt uzunluğu 2 sn'dir. Profil uzunlukları 115 m'dir. Veri kalitesini artırmak için her noktada en az 3 düşey yığma (aynı noktada 3 vuruş) yapılmıştır.

ÇKYD veri işlemi sırasında SeisImager programının Surface Wave Wizard modülü kullanılmıştır (Underwood, 2007). Ters çözüm işleminde temel mod dispersiyon (frekansa karşılık faz hızı) eğrisi kullanılmıştır. Ters çözüm işleminde sönümlü en küçük kareler algoritması kullanılarak zeminin fiziksel özelliklerini temsil eden bir boyutlu (1B) S dalgası hız-derinlik profilleri elde edilmiştir. ÇKYD veri işlem aşamaları Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışma alanı için elde edilen Vs-derinlik kesitlerinden 40 m derinlik değeri için elde edilen Vs değerleri haritalanmıştır (Şekil 5).

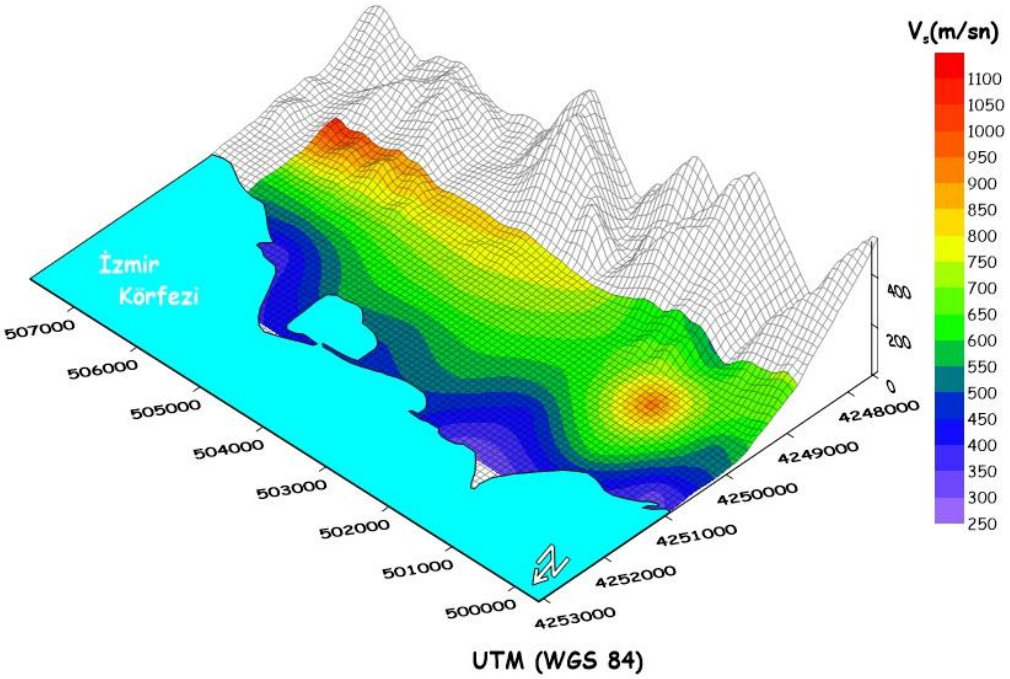
Şekil 5'de verilen 40m derinlik için Vs seviye haritası incelendiğinde; S-Dalga hızı değerlerinin 250 ile 1150 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Körfez civarında hızların diğer bölgelere göre çok daha düşük olduğu ve körfezden uzaklaştıkça muhtemelen azalan zemin kalınlığı ve farklı jeolojik birimlerin etkisiyle S-dalga hızı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Yaklaşık 23 km^2 civarında olan çalışma alanında toplam 21 noktada mikrotremor ölçüsü alınmıştır (Şekil 1b). Mikrotremor ölçümlerinde Güralp Systems CMG-6TD geniş bant hız ölçer sismometre kullanılmıştır. Mikrotremor kayıtları 20-30 dakika (dk) boyunca ve 100 Hz örnekleme aralığı ile alınmıştır. Mikrotremor kayıtları Scream 4.4 programı ile sayısal olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, kültürel gürültüler ile rüzgardan kaynaklanacak gürültülerden olabildiğince az etkilenmesi için ölçüm noktalarının seçimine dikkat edilmiştir. Kayıtların alınması sürecinde veri kalitesi bilgisayar üzerinde sürekli gözlenerek gürültü içeriği göz önüne alınmış ve gürültünün fazla olduğu yerlerde kayıt süresi daha uzun (45-60 dk) tutulmuştur.

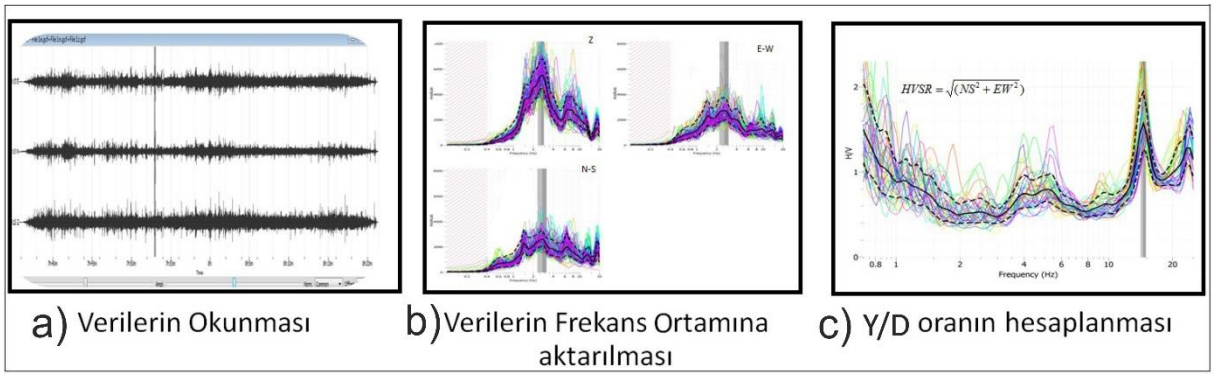


Şekil 4. ÇKYD Veri İşlem Aşamaları.

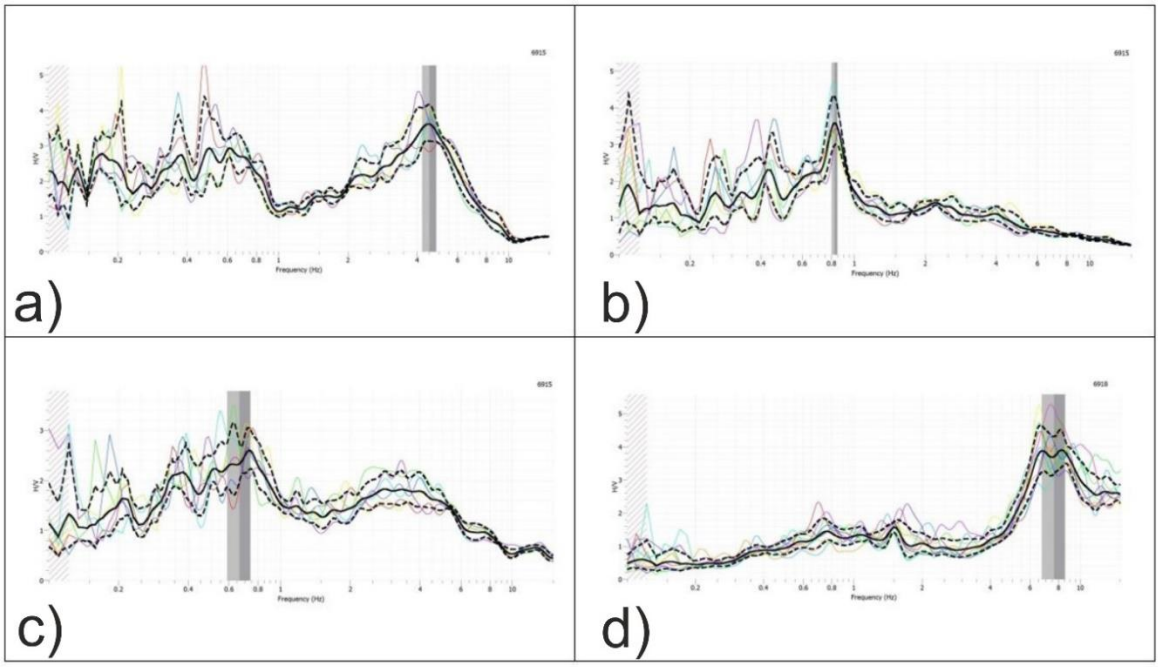
Mikrotremor veri değerlendirme çalışmaları Geopsy (SESAME, 2004) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Wathelet, 2010). Öncelikle değerlendirmede aşamalarında mikrotremor verilerinin doğrusal bileşen etkisi giderildikten sonra 0.05-20 Hz aralığında bant geçişli süzgeç uygulanmıştır. 81.92 sn'lik pencereler seçilerek %5 kosinüs traşlama uygulanmıştır. Herbir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Sonuç olarak Yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak Yatay/Düşey (Y/D) spektral oranları elde edilmiştir (Şekil 6). Elde edilen Y/D spektral oranları SESAME (2004) kriterlerine göre irdelenmiş ve hesaplanan pik değerlerin güvenilirliği denetlenmiştir (Şekil 7). QTS spektrumlarından elde edilen Pik periyot, Y/D spektral oran ve bu değerlerden hesaplanan Kg değerleri sırasıyla Şekil 7,8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 5. 40 m derinlik için S-Dalga Hız dağılımı

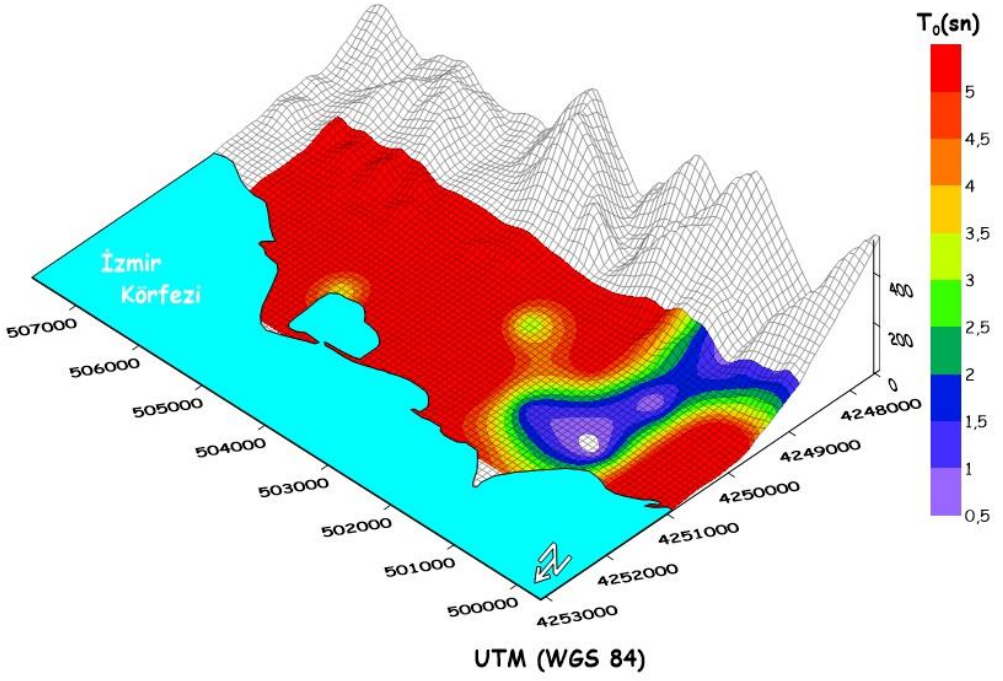


Şekil 6. Mikrotremor Veri İşlem Aşamaları. a. Zaman Ortamı Gürültü Kayıtlarının Okunması, b. Kayıtların Frekans Ortamına Geçirilmesi (HFD) c. Y/D Oranının Hesaplanması



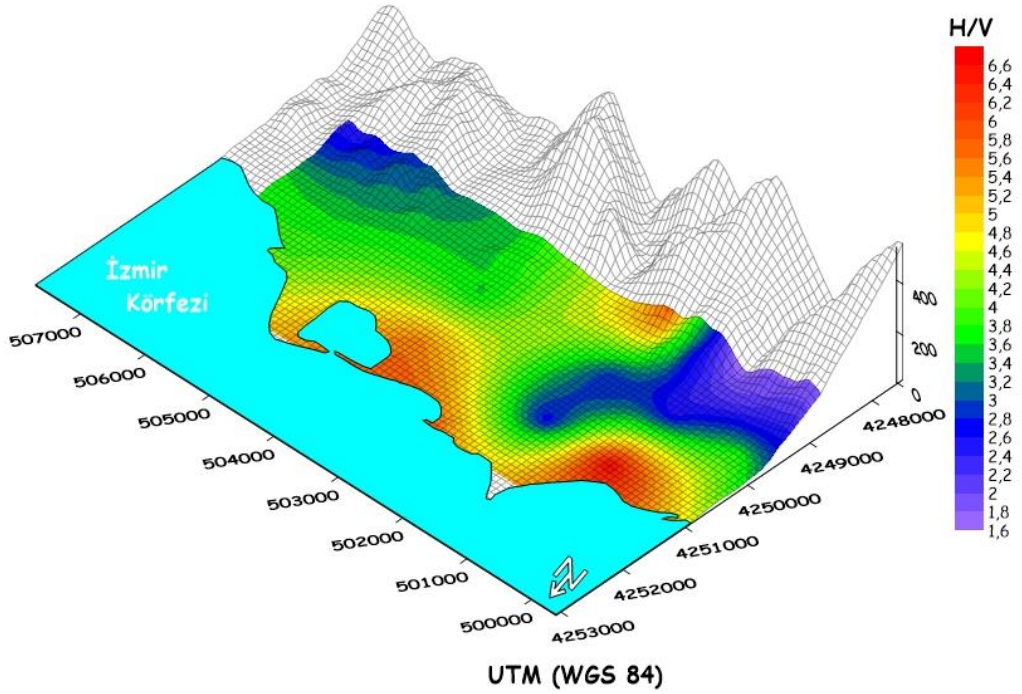
Şekil 7. Çalışma alanına ait örnek Y/D spektrumları. a. M1 Noktası Y/D Spektral Oranı, b. M12 Noktası Y/D Spektral Oranı, c. M14 Noktası Y/D Spektral Oranı, d. M21 Noktası Y/D Spektral Oranı

Şekil 8'de verilen pik periyot dağılım haritası incelendiğinde; periyot değerlerinin 0.5 ile 6 s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Özellikle çalışma alanının batısı ve doğusunda yüksek periyot değerleri dikkat çekmektedir.



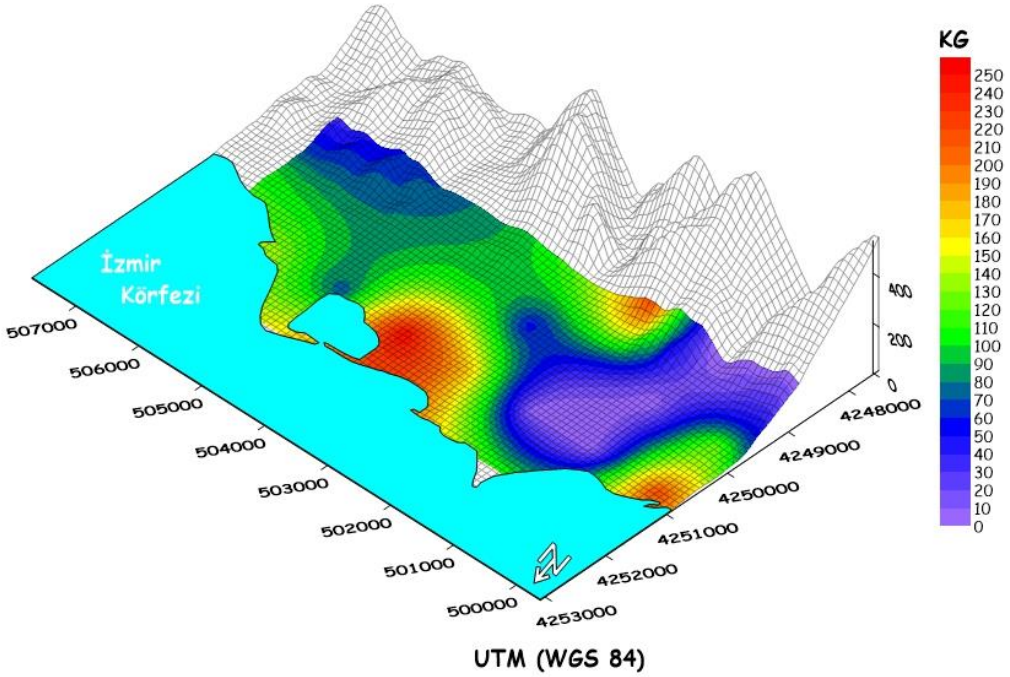
Şekil 8. Pik periyot dağılım haritası.

Şekil 9'da verilen Y/D spektral oran değerlerinin dağılımı incelendiğinde; genlik değerlerinin 1.6 ile 6.6 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Özellikle körfeze yakın kesimlerde bu değerlerin maksimum değerde olduğu, körfezden uzaklaştıkça bu değerlerin nispeten azaldığı görülmektedir. Periyot haritası ile karşılaştırıldığında; düşük periyotlu olan bölgelerde Y/D spektral oran değerlerinin de düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. H/V (Y/D) spektral oranlarındaki en büyük genliklerin dağılım haritası

Şekil 10'da verilen Kg değerlerinin dağılımı incelendiğinde; Çalışma alanının körfeze yakın kesimlerinde bu değerlerin 250 'ye kadar ulaştığı görülmektedir. Y/D spektral oran değerlerinin ve periyot değerlerinin düşük olduğu yerlede bu değerlere bağlı olarak nispeten daha düşük değerdedir. Kg değeri genellikle çalışma alanında 20'den büyük değerdedir. Sadece çalışma alanının batısında kalan küçük bir alanda Kg değerinin 20'den küçük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 10. Pik frekans ve genliklere göre Kg dağılım haritası

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Balçova ve yakın çevresinde yer alan zeminlerin dinamik etkiler (deprem hareketi) altındaki davranışını kontrol edecek yerel zemin koşulları, jeofizik yöntemlerle incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmada, 2008-2012 yılları arasında gerçekleştirilen TÜBİTAK 106G159 numaralı proje kapsamında 21 noktada yapılmış MASW ve Mikrotremor ölçümlerden yararlanılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen çıktılara göre, QTS spektrumlarındaki pik genlik değerlerinin çalışma alanının büyük bir kısmında T_0>1 sn olduğu görülmektedir. Bunun anlamı çalışma alanının denize yakın kesimlerinin deprem sırasında yer değiştirmeye duyarlı yapı zemin ortak davranışının olma olasılığının yüksek olacağıdır. Ayrıca bu alanlar için anakaya derinliği 30 m'den fazla beklenmelidir (Teves ve Costa, 1996). QTS genlik haritası (Y/D spektral oran) (Şekil 9) incelendiğinde, genliklerin denize yaklaştıkça göreceli olarak arttığı gözlenmiştir. Bunun anlamı denize doğru yaklaştıkça ana kayadan zemin yüzeyine ulaşacak olan deprem dalgalarının genlik frekans değerlerindeki değişimlerin daha fazla olacağıdır.

Kg Hasar endeks değerleri çalışma alanının özellikle denize yakın kısımlarında ve genel olarak 20 değerinin çok üstüne çıktığı görülmekte yani eşik değerini aştığı gözlemlenmiştir. Aynı bölgelerde S-dalga hızının 40 m derinlik için 760 m/sn'den düşük olduğu ve aynı zamanda zemin hakim titreşim periyodu değerlerinin 1 sn'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alanlarda olası bir depremde zemin yanal deformasyonunun büyük olasılıkla elastik sınırlar dışında olması beklenmelidir. Çalışma alanında en yüksek hız değerleri çalışma alanının güney-doğu kısımlarında elde edilmiştir (Şekil 10).

40 m derinlik için elde edilen S dalga hızları, zemin hakim titreşim periyodu değerleri ve Kg hasar endeksi parametresi karşılaştırmalı olarak irdelendiğinde; S hızının artmış olduğu bölgelerde Kg hasar endeksi değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın nedeni, zeminin S dalga hızı ile dinamik bir yük altında oluşacak yanal deformasyonunun doğrudan ilişkili olmasıdır. Aynı zamanda bu bölgelerde zemin hakim titreşim periyodunun yükseldiği yani anakaya derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu tanımlara göre çalışma alanının büyük bir bölümünün anakaya derinliği 40 m'den fazladır. Bu durum dikkate alındığında çalışma alanı içerisinde inşa edilmesi planlanan yapılar için yerinde elastik tasarım spektrumlarının oluşturulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Aksarı, D., Karabulut, H. ve Özalaybey, S. (2010). Stress interactions of three moderate size earthquakes in Afyon, southwestern Turkey. *Tectonophysics, 485*, 141-153.

[2] Aktepe, E., Aydın, C. (2013). İzmir çevresinde yapılan sismotektonik araştırmaların CBS ve mekansal istatistik yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi,* Ankara.

[3] Badur, E., (2011). Jeotermal Alanlarda Çökme-Depremsellik ve Sar Girişimölçer Çalışmaları, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* İzmir.

[4] Cuenot, N., Charlery, J., Dorbath, L. ve Haessler, H. (2006). Faulting mechnasims and stres regime at the European HDR (Hot Dry Rock) site of Soultz - souts - Forests – France, *Geothermics, 35,* 561-575.

[5] Emre, T. Ve Sözbilir, H. (2005). Geology, geochemistry and geochronology of the Balçova andesite, eastern and end of the Küçük Menderes Graben. *Minereal Research and Exploration Institue (MTA) of Turkey Bulletin 131*, 1-19.

[6] 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 Volconlogy and Geothermal Research, 178,* 795-806.

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

[8] Maden Tetkik Arama (MTA), (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri, İzmir.

[9] Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR of RTRI, 30,* 25-33.

[10] Nakamura, Y. (1997). Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. *World Congress on Railway Research,* Florence.

[11] 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: Enviromental Security, 33-51.

[12] Nath, S.K. (2007) Seismic Microzonation Framework – Principles & Applications,‖ Proceedings of Workshop on Microzonation, Indian Institute of Science, Bangalore, sf. 9-35.

[13] NEHRP (2003). Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, Fema 450.

[14] Radius (1999), İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı.

SESAME Projesi, "Site EffectS assessment using AMbient Excitations", 2001-2004, http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr.

[15] 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

[16] 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.

[17] Underwood, D., (2007). Introduction to SeisImager/SW, Geometrics Inc.

[18] Wathelet M., (2010). "Geopsy project" http://www.geopsy.org/index.html. Erişim tarihi 05.2016

[19] Yalçınkaya, E. (2010). Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni, 63,* 77-80.

ÖZGEÇMİŞ / CV

Özkan Cevdet ÖZDAĞ; Uzm. (Spec.)

Lisans derecesini 2013 yılı Haziran ayında Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden, Yüksek Lisans derecesini 2015 yılının Ocak ayında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden (Jeofizik Mühendisliği) almıştır. 2015 yılı Şubat ayından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde (Jeofizik Mühendisliği) Doktora eğitimini sürdürmektedir. Aynı zamanda 2014 yılı Eylül ayından itibaren Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Deprem Yönetimi Anabilim dalında II. yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Hali hazırda Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğünde Uzman olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Deprem-Zemin-Yapı İlişkisi, Yüzey Dalgası Yöntemleri, Kuyu İçi Sismik Çalışmalar, Zemin-Ana kaya modellemeleri üzerinedir.

He got his bachelors' degree in the Department of Geophysics Engineering at Dokuz Eylul University, Izmir/Turkey in 2013 June, his master's degree in the Graduate School of Natural and Applied Sciences (Department of Geophysics Engineering) at Dokuz Eylul University, Izmir/Turkey in 2015 January. He continues his PhD Graduate School of Natural and Applied Sciences (Department of Geophysics Engineering) at Dokuz Eylul University, since 2015 February. Also he continues his second master's degree in the Graduate School of Natural and Applied Sciences (Department of Earthquake Management), since 2014 september. He is still an academic member of the Rectorate at Dokuz Eylul University. His major areas of interests are: Earthquake-Soil-Structure interaction, Surface waves methods, Well log seismic, Soil-Bedrock modelling.

Mustafa AKGÜN; Prof.Dr.

Lisans derecesini 1983'te İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 1987'de Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı, Doktora derecesini 1993 yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden aldı. Hala Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları Deprem-Zemin-Yapı İlişkisi, Yüzey Dalgası Yöntemleri, Zemin-Ana kaya modellemeleri üzerinedir.

He got his bachelors' degree in the Geological Engineering Department at Dokuz Eylul University, Izmir/Turkey in 1983, his master degree in the Institute of Marine Sciences and Technology Marine Geology and Geophysics Program at Dokuz Eylul University, Istanbul/Turkey in 1987, PhD degree in the Graduate School of Natural and Applied Sciences (Department of Geophysical Engineering) at Dokuz Eylul University, Izmir/Turkey in 1993. He is still an academic member of the Geophysical Engineering Department at Dokuz Eylül University. His major areas of interests are: Earthquake-Soil-Structure interaction, Surface waves methods, Well log seismic, Soil-Bedrock modelling.

Eren PAMUK; Araştırma Görevlisi (Research Assistant)

Lisans derecesini 2009'da Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 2014'de İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden, Doktora derecesini 2006 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden aldı. 2014 yılı Şubat ayından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde (Jeofizik Mühendisliği) Doktora eğitimini sürdürmektedir. Temel çalışma alanları: Deprem-Zemin-Yapı İlişkisi, Yüzey Dalgası Yöntemleri, Zemin-Ana kaya modellemeleri üzerinedir.

He got his bachelors' degree in the Geophysical Engineering Department at Cumhuriyet University, in 2009, his master degree in the Geophysical Engineering Department at Dokuz Eylül University, Izmir/Turkey in 2014. He continues his PhD Graduate School of Natural and Applied Sciences (Department of Geophysical Engineering) at Dokuz Eylul University, since 2014 February. His study topics are Earthquake-Soil-Structure interaction, Surface waves methods,Soil-Bedrock modelling.

Evren KIRNIÇ; Jeofizik Yüksek Müh. (M.Geophysics eng.)

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden 2013 yılı Haziran ayında mezun olmuştur. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek Lisans derecesini 2015 yılında almıştır ve Fen Bilimleri Enstitüsünde 2016 yılında başlamış olduğu jeofizik mühendisliği doktora programına devam etmektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü' nde Jeofizik Mühendisi olarak 2015 yılının Ağustos ayından beri çalışmaktadır. Çalışma alanı: Deprem-zemin-yapı ilişkisi.

Evren Kırnıç got his bachelor's degree in June 2013 from Department of Geophysics Engineering at Dokuz Eylul University also he got his master degree in 2015 from Dokuz Eylul Universirty Graduate School of Natural and Applied Sciences. Besides, he has been studying his Phd at the same university since 2016 and has been working in General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) since 2015 August. His major areas of intersests are: Earthquake-Soil-Structure interaction.