



Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North)

Aykut Tunçel^{1*}, Özkan Cevdet Özdağ², Eren Pamuk³, Mustafa Akgün¹

¹Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, İzmir, 35160, Turkey

²Dokuz Eylül University, Aegean Region Research Center, İzmir, 35430, Turkey

³General Directorate of Mineral Research & Exploration, Department of Geophysical Research, Çankaya/Ankara, 06800, Turkey

Highlights:

- Mutual evaluation of the microtremor and scenario earthquake
- Calculation of the dynamic amplification factor
- Distribution of the predominant soil period along the study area

Keywords:

- Dynamic amplification factor
- Predominant soil period
- Microtremor
- Scenario earthquake

Article Info:

Research Article
Received: 27.04.2017
Accepted: 16.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416459

Acknowledgement:

This study supported by TÜBİTAK (Project number:106G159)and research fund of Dokuz Eylül University (Project number: 2009.KB.FEN.036).

Correspondence:

Author: Aykut Tunçel
e-mail:
aykut.tuncel@deu.edu.tr
phone: +90 232 301 7279

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the distribution of dynamic amplification factor (DAF) values at the study area were obtained by joint evaluation of scenario earthquake parameters that could occur in the study area with single station microtremor data gathered at 112 points. The dynamic amplification factor can also be defined as the ratio of the magnitude of earthquake waves from the bedrock to the ground. Also the DAF value is a parameter that represents the entire spectrum, not a single peak value.

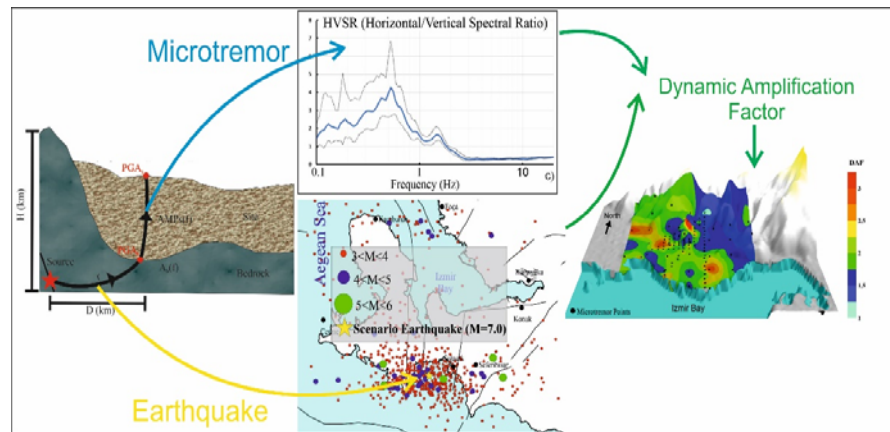


Figure A. Distribution of dynamic amplification factor (DAF) values

Purpose: This study aims to reach the dynamic amplification factor (DAF) at Karsiyaka district located within the metropolitan area of Izmir. To calculate this parameter scenario earthquake and microtremor data used as input.

Theory and Methods:

HVSr values were obtained by proportioning the horizontal component spectra obtained from microtremor method measurements to the vertical component spectrum in the study area. Joint evaluation applied to scenario earthquake and the HVSr functions to calculate dynamic amplification factor (DAF) values. The parameter DAF means of microtremor HVSr were used as soil transfer function while making calculation. An earthquake whose magnitude was selected as 7 was used as the earthquake scenario. DAF values were calculated separately for each point, and DAF results were mapped.

Results:

Particularly when looking at the DAF changes in the south and southwest parts of the study area, at least a 2 times increase (amplification) can be expected in the effect of the earthquake on the alluvial plain from the bedrock to the ground surface. When the north of the study area is examined, results of DAF values are obtained less than 2. It is seen that the smallest amplification part of the study area is the northeast part.

Conclusion:

DAF values include not only the predominant period but also all period effects. So we can come to the conclusion that DAF value has the effects of all the units in the ground.



Mikrotremor verisi kullanılarak zeminlerin dinamik büyütme faktörü değerlerinin hesaplanması: İzmir (Kuzey) örneği

Aykut Tunçel^{1*}, Özkan Cevdet Özdağ², Eren Pamuk³, Mustafa Akgün¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35160, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Ege Bölgesi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir, 35430, Türkiye

³Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi, Çankaya/Ankara, 06800, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Mikrotremor ve senaryo depremin birlikte değerlendirilmesi
- Dinamik büyütme faktörünün hesabı
- Zemin hâkim titreşim periyodunun çalışma alanındaki dağılımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 27.04.2017
Kabul: 16.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416459

Anahtar Kelimeler:

Dinamik büyütme faktörü,
zemin hâkim titreşim
periyodu,
mikrotremor,
senaryo deprem

ÖZET

Bu çalışmada 112 noktada toplanan tek istasyon mikrotremor verisi kullanılarak çalışma alanında meydana gelebilecek bir senaryo deprem parametrelerinin ortak değerlendirilmesi ile çalışma alanına ait dinamik büyütme faktörü (DBF) değerlerinin dağılımı elde edilmiştir. Dinamik büyütme faktörü anakayadan gelen deprem dalgalarının zemin tarafından ne kadar büyütüleceğinin bir oranı olarak da tanımlanabilir. Ayrıca, DBF değeri tek bir pik değeri değil tüm spektrumu temsil eden bir parametredir. Tek istasyon mikrotremor yöntemi ile toplanan veriler yatay/düşey spektral oran (HVSr) tekniği ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı araştırma alanına ait zemin hâkim titreşim periyodu (ZHTP), dinamik büyütme faktörü, jeoloji ve topografya verilerinin çalışma alanındaki dağılımlarının ortak yorumlanmasıdır. Alüvyon birimin bulunduğu deniz seviyesine yakın bölgelerde genellikle 2'den daha büyük dinamik büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir. Volkanik kayalardan oluşan ve yüksek kotlarda yer alan bölgelerde ise 2 değerinden daha düşük dinamik büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir. Beklenildiği şekilde zemin hakim titreşim periyot değerleri, dinamik büyütme faktörü ile doğru orantılı olarak çalışma alanında dağılım göstermektedir. Araştırma alanında görülen en küçük büyütme değeri 1,20 iken maksimum büyütme değerleri 3 civarındadır. Dinamik büyütme faktörü ve zemin hakim titreşim periyodunun maksimum değerler aldığı yerlerin, topoğrafyanın düşük olduğu alüvyonel birim üzerine denk gelmesi bu parametrelerin çalışma alanı için birbirleriyle uyumlu olarak elde edildiğini göstermektedir.

Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North)

HIGHLIGHTS

- Mutual evaluation of the microtremor and scenario earthquake
- Calculation of the dynamic amplification factor
- Distribution of the predominant soil period along the study area

Article Info

Research Article
Received: 27.04.2017
Accepted: 16.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416459

Keywords:

Dynamic amplification
factor,
predominant soil period,
microtremor,
scenario earthquake

ABSTRACT

In this study, the distribution of dynamic amplification factor (DAF) values at the study area were obtained by joint evaluation of scenario earthquake parameters that could occur in the study area with single station microtremor data gathered at 112 points. The dynamic amplification factor can also be defined as the ratio of the magnitude of earthquake waves from the bedrock to the ground. Also the DAF value is a parameter that represents the entire spectrum, not a single peak value. The data collected by using single station microtremor method were evaluated by horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) technique. The scope of the study is the common interpretation of predominant soil period (PSP), dynamic amplification factor, geology data and topography data of the research area. Dynamic amplification factor values are obtained generally higher than 2 at regions near the sea level that composed of alluvial units. Dynamic amplification factor values which are lower than 2 were obtained at the volcanic rocks located at high elevations. As expected, predominant soil period values are distributed in directly proportional to the dynamic amplification factor at the study area. The smallest amplification value in the study area is 1.20, while the maximum magnification value is around 3. The coincidence of the maximum values of predominant soil period and dynamic amplification factor with the alluvial units where the elevation is low shows that these parameters were obtained in harmony with each other.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: aykut.tuncel@deu.edu.tr, cevdet.ozdag@deu.edu.tr, eren.pamuk@deu.edu.tr, mustafa.akgun@deu.edu.tr / Tel: +90 232 301 7279

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

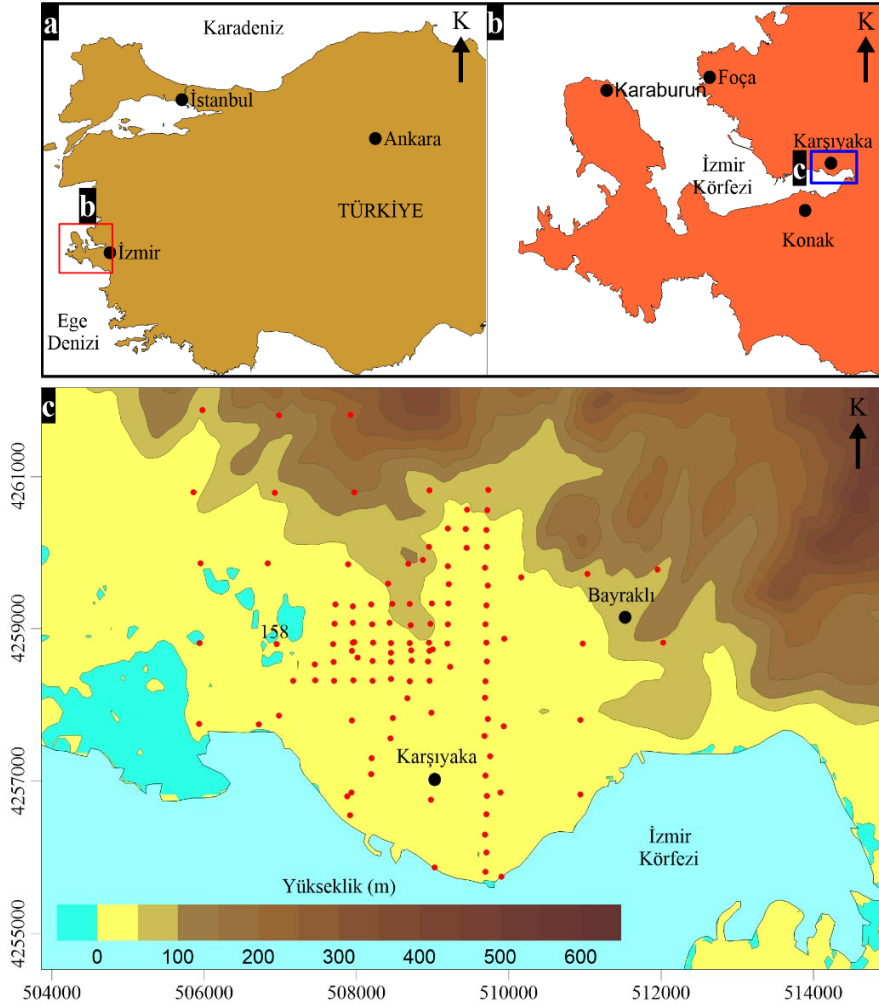
Deprem hareketi süresince yapıların davranışlarını incelemek, depreme dayanıklı yapılar tasarlamak, deprem sırasında zeminlerin nasıl bir davranış sergileyeceğini tahmin etmek ve depremin ölümcül sonuçlarını engellemek için birçok mühendislik disiplini ortak çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalarla oluşabilecek depremin parametrelerinin önceden kestirilmesi ve zeminin buna göre davranışının analizi öncelik kazanmaktadır. Deprem ve zemin hareketinin modellenmesi ve buna göre yapı tasarlanması durumunda can ve mal kayıplarının minimum düzeyde tutulması sağlanabilir. Depremler meydana gelmeden önce deprem sonrası yapılacak işlerin ve alınacak önlemlerin planlanması gerekir. Bu planlama çalışmalarının iyi bir şekilde yapılabilmesi için gelecekte ne kadar büyüklükte bir depremin oluşabileceği ve yerleşim merkezlerinin bu depremden nasıl etkilenebileceği sağlıklı bir şekilde analiz edilmelidir. Gelecekte ne kadar büyüklükte bir deprem oluşabileceği sismik tehlike çalışmalarıyla, yerleşim merkezlerinde oluşması olası büyüklükte bir depremden ne ölçüde etkilenebileceği ise deprem senaryolarıyla belirlenmeye çalışılır. Deprem senaryoları ile öngörülen deprem parametrelerinin, zemin ve yapılarla ait parametreler ile ortak yorumlanması deprem zararlarını en aza indirmek için izlenmesi gereken önemli bir yoldur. Bir çalışma alanına etki edecek bir depremin öncelikle tahmin edilmesi gereken parametreleri arasında büyüklük, meydana geldiği derinlik ve etki edeceği alana uzaklığı gibi değişkenler yer alır. Deprem dalgalarının kaynağından çıkıp hedefe ulaşması için takip ettiği yolda geçtiği tabakaların yapısal özellikleri de ayrıca önemlidir. Depremin oluşturduğu sismik dalgalar yer yüzeyindeki bir yapıya ulaşmadan önce en son zemin tabakasından geçer ve bu tabakanın fiziksel özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Zemin tabakasının hâkim titreşim periyodu, kalınlığı ve makaslama dalgası hızı gibi parametreler deprem-zemin-yapı arasındaki ilişkinin aydınlatılması açısından önemlidir. Anakayadan gelen depremin zemin tabakası tarafından ne kadar büyütüleceğini tahmin etmek için ise dinamik büyütme faktörü (DBF) gerekli bir parametredir. Zemin yüzeyindeki PGA değerinin, anakayadaki PGA değerine oranı dinamik büyütme faktörü olarak tanımlanır. DBF değerleri frekans ortamında yapılan teknik varsayım ve hesaplamalarla bilgisayar programı kullanılarak elde edilebilir. Dinamik büyütme faktörü değerleri ölçü alınan yere göre ve meydana gelebilecek deprem özelliklerine göre değişim gösterebilir, yani sabit değil değişken (dinamik) bir parametredir. Zemin büyütmesine kıyasla, DBF değerleri deprem parametreleri ile ortak çözümlerle hesaplandığı için gerçekleştirilecek bir depremin büyütmesini tahmin etmek için daha geçerli bir parametre olarak nitelendirilebilir. DBF, mikrotremor gürültü kayıtları ve senaryo deprem parametreleri (magnitüd, episantr uzaklığı, derinlik, sönüm faktörü) kullanılarak daha önceki çalışmalarda [1, 2] farklı çalışma alanları için hesaplanmış ve deprem etkisinin yapıya iletilirken zemin tarafından ne kadar büyütülebileceği tahmin edilmiştir. Bu çalışma dâhilinde çalışma alanında DBF hesaplamaları

yapılmıştır. DBF hesaplamaları için ModelHVSR programı [3] kullanılmış ve deprem parametreleri programa girdi olarak verilmiştir. Bir HVSR grafiğinde düşey eksende okunan en büyük değer büyütme faktörü ve buna karşılık gelen yatay eksendeki maksimum değer ise zemin hâkim titreşim periyodu (ZHTP) olarak tanımlanır. Büyütme faktörü değeri spektrumun tamamını temsil etmemektedir, buna karşın DBF değeri hesaplanırken tüm spektrum hesaplamaya katılmaktadır. Deprem olgusunun çok değişkenli karmaşık bir olay olmasına rağmen bu şekilde yürütülen çalışmalar ile deprem sonuçlarının önceden kestirilmesi alınacak önlemleri planlama açısından son derece önemlidir.

Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre İzmir ili birinci derece deprem kuşağında yer almakta ve sıklıkla küçük ve orta ölçekte depremlerden etkilenmektedir. Çalışma ile amaçlanan; İzmir şehrinin kuzeyinde kalan araştırma alanında dinamik etkiler (deprem) altında zeminlerin nasıl davranacağını, DBF ve zemin hâkim titreşim periyodu parametrelerinin alandaki dağılımları incelenerek yorumlanmasıdır. Ayrıca elde edilen parametrelerin kendi içindeki uyumlarının yanı sıra jeolojik birimler ve yükseklik gibi değişkenlerle de arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında İzmir ilinin kuzeyinde belirlenen çalışma alanında (Şekil 1) tek istasyon mikrotremor yöntemi ile toplanan veriler ve sismik aktivitenin yüksek olduğu yerde meydana gelebileceği kabul edilen bir senaryo (hedef) deprem kullanılarak çalışma alanında DBF değişimleri hesaplanmıştır. Mikrotremor veri seti 112 noktada kaydedilen en az yarım saat süreli gürültü kayıtlarından meydana gelmektedir. Kırmızı daireler çalışma alanında mikrotremor yöntemi kayıt yerlerini (112 nokta) göstermektedir. Mikrotremor tek istasyon yöntemi ile sağlıklı veri toplamak, özellikle bu çalışmada olduğu gibi yoğun insan ve trafik gürültülerinin olduğu yerlerde biraz zor olsa da, gürültülerin az olduğu gece saatlerinde uygun veriler toplamak mümkün olmaktadır. Senaryo deprem parametreleri seçilirken 2000 yılından günümüze kadar olan depremler İzmir ve çevresini dâhil eden bir çerçevede büyüklüğü 3'ten büyük olacak şekilde USGS deprem kataloğu [4] indirilerek incelenmiş ve depremin yeri ve diğer parametreleri buna göre seçilmiştir. Hesaplanan ve elde edilen tüm parametreler ile çalışma alanına ait jeoloji ve topografya bilgileri harmanlanarak elde edilen ortak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen dinamik parametreler (DBF, ZHTP) ve çalışma alanının fiziksel özelliklerinin (jeoloji ve topografya) birbirlerini destekler nitelikte ve kendi içinde uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışma alanında daha önce [5] çok kanallı yüzey dalgaları (ÇKYD) yöntemi verilerinden hesaplanan zemin büyütmesi değerleri bu çalışmada hesaplanan DBF değerleriyle uyumlu olarak gözlenmiştir.

2. JEOLJİ VE SİSMOTEKTONİK (GEOLOGY AND SEISMOTECTONICS)

İzmir ve yöresinde temeli, Üst Kretase yaşlı Bornova Melanjı (karmaşığı) oluşturur [6]. Bornova Melanjı,



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası a) Türkiye batı sınırları b) İzmir şehri sınırları c) Karşıyaka ve Bayraklı ilçeleri ve çalışma alanının topografya haritası (Location map of the study area a) the western borders of Turkey b) the borders of Izmir city c) the topography map of the districts of Karşıyaka and Bayraklı and the study area)

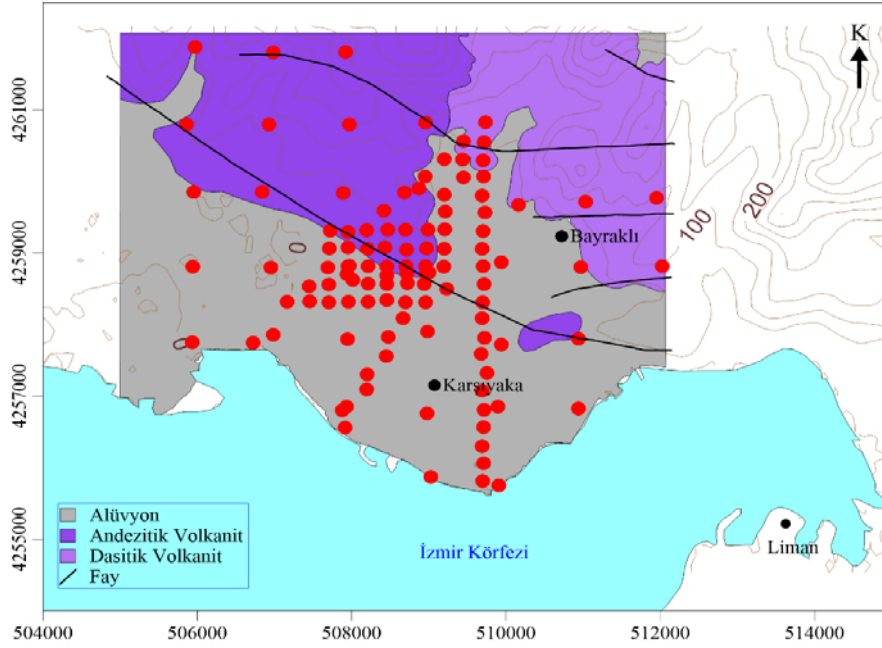
kumtaşı/şeyl-kalkerli şeyl ardalılarından oluşmuş matriks içerisinde yüzen platform türü kireçtaşı ve diyabaz bloklarından ve çakıl taşı mercek/kanal dolgularından meydana gelmiştir [7]. Neojen yaşlı görsel tortullar Bornova Melanjı'nın üzerine aşıl uyumsuz olarak gelir. Yamanlar volkanitleri de mevcut birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı alüvyon alanda mevcut tüm birimleri uyumsuz olarak üstler [8]. Çalışma alanında yer alan jeolojik birimlerin dağılımları (Volkanik birimler ve alüvyon) ve fayların yayılımı Şekil 2'de verilmiştir.

İzmir Körfezi ve çevresi kuzeyden güneye KD-GB trendli doğrultu atımlı faylar, D-B doğrultusunda normal faylar tarafından deforme edilmektedir. Normal faylar Karaburun-Foça açıklarında, İzmir Körfezinin iç kısımlarında Alaçatı, Teke ve Kuşadası açıklarında gözlenmektedir. Normal faylar doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmektedir. Ana faylar İzmir Körfezi sınırında Karaburun ters fayı, Tuzla fayı, Seferihisar fayı doğrultu atımlı faylardır. Bu faylar D-B sıkışma, K-G genişleme altındaki kayma modeliyle açıklanabilir [11]. İzmir ve çevresinde yer alan ana faylar,

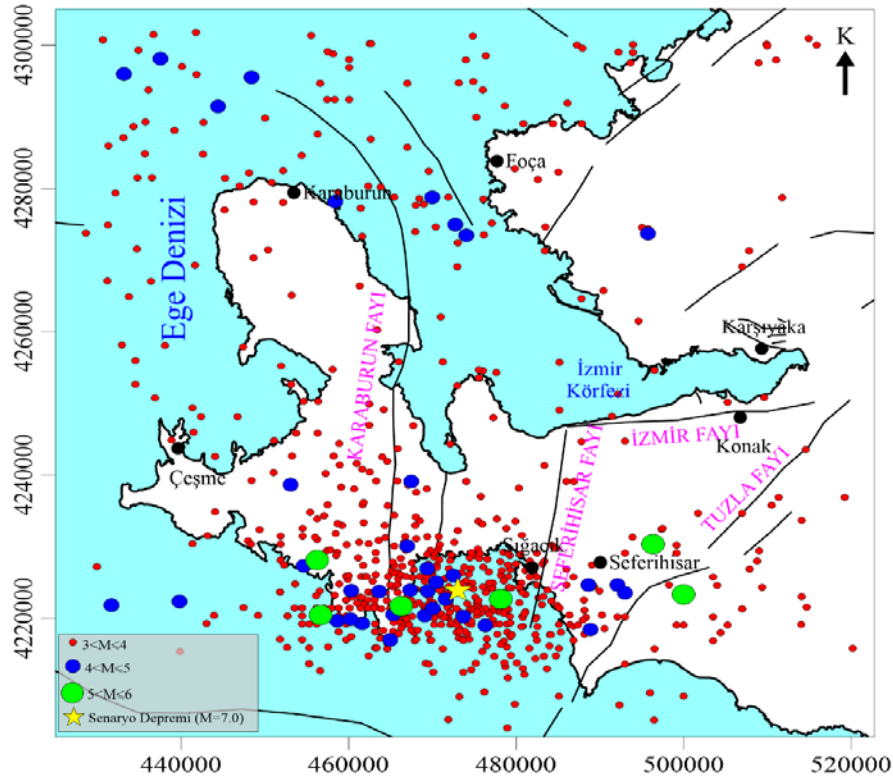
Türkiye Diri Fay Haritası Şaroğlu vd. [12] tarafından gösterilmiş bulunan Cumaovası-Seferihisar çizgiselliğiyle birlikte, Emre vd. [13] tarafından yapılmış olan bu bölgedeki çalışmalarda tanımlanmışlardır.

Çalışma alanının yer aldığı İzmir ve çevresinde USGS deprem kataloğuna [4] göre 2000 yılından günümüze kadar meydana gelmiş Şekil 3'de gösterilen sınırlar çerçevesinde olan 3'ten büyük 726 adet deprem bulunmaktadır. Seçilecek olan senaryo deprem parametrelerinin gerçekleşebilecek depreme yakın olması amacıyla çalışma alanında meydana gelmiş depremler USGS deprem kataloğundan incelenmiştir.

Depremlerin yoğun olarak meydana geldiği yerler Sığacık Körfezi ve Seferihisar civarı olup çalışma alanına 50 km civarında uzaklıktadır. Bu bölgedeki deprem yoğunluğunun büyük bölümünü 17 Ekim 2005 tarihinde büyüklüğü $M=5,7$ olan depremlerle başlayan ve büyüklüğü $M=5,9$ ile devam eden ve 21 Ekim tarihine kadar süren binlerce artçı depremden oluşan Sığacık Körfezi ve Seferihisar depremleri oluşturmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası ([9]'den değiştirilerek). Kırmızı daireler mikrotremor ölçüm yerlerini göstermektedir (112 nokta). Faylar çeşitli çalışmalardan [9, 10] derlenmiştir (Simplified geological map of the study area (after [9]). The red circles show microtremor measurement points (112 points). Faults have been compiled from various studies [9, 10].



Şekil 3. İzmir şehir merkezi ve ilçelerinde 2000 yılından günümüze kadar meydana gelmiş büyüklüğü 3'ten fazla olan 726 adet depremin harita üzerindeki dağılımları (USGS deprem kataloğundan derlenmiştir, [4]). Sarı yıldız senaryo deprem olarak seçilen depremin yerini gösterir. Siyah çizgiler bölgedeki daha önceki çalışmalardan [9, 10] derlenen fayların yayılımını göstermektedir (The distributions of 726 earthquakes on map which have the magnitude values bigger than 3 (collected from the USGS earthquake catalogue, [4]), from the year 2000 to recent day in the city center and districts of İzmir. The red star indicates the location of the target earthquake. Black lines show the spread of faults compiled from previous studies in the region [9, 10]

3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

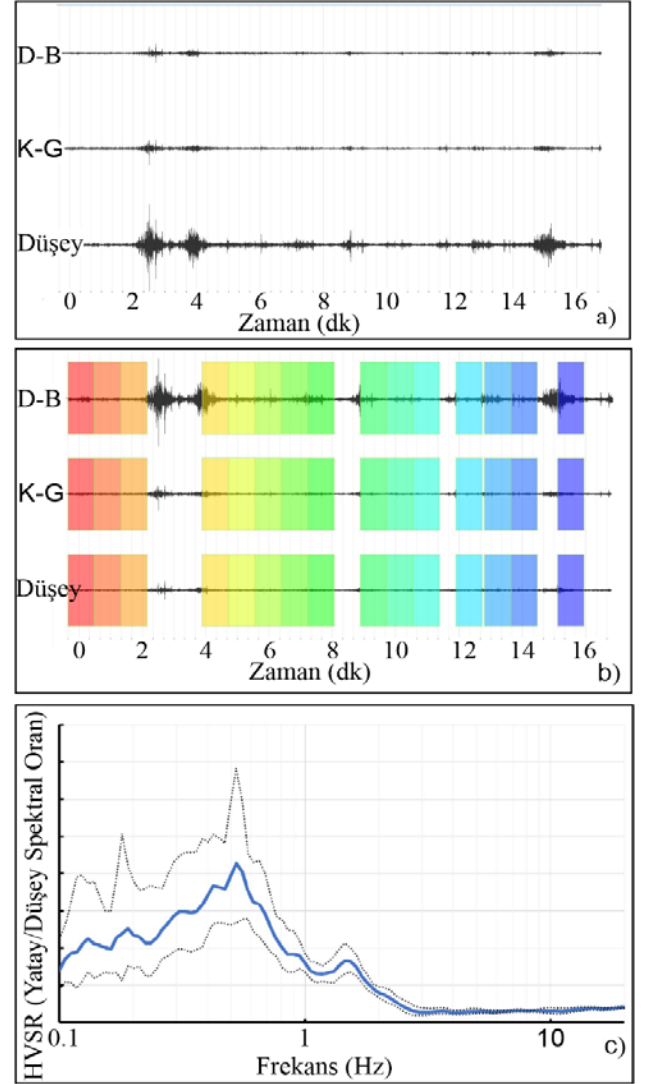
3.1. Mikrotremor Ölçümleri (Microtremor Measurements)

Tek istasyon mikrotremor yönteminde; mikrotremor kayıtlarının yatay bileşeninin düşey bileşene spektral oranlaması şeklinde uygulanır. Bu yöntem Nakamura [14] tarafından yapılan çalışma ile geliştirilmiştir ve HVSR tekniği olarak anılmaktadır. Nakamura bu çalışmasında, genelde düşey bileşenli dalgaların genliğinde değişimin çok fazla olmayacağını yatay bileşenli dalgaların ise geçtiği zemin özelliklerinden etkileneceğini varsaymaktadır. Nakamura yönteminde; yüzey jeolojisinden kaynaklanan yerel etki yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranı ile bulunur. Son yıllarda tek istasyon mikrotremor yöntemi [2, 15], yaygın olarak kullanılmaktadır [16, 17]. Yöntemin diğer jeofizik yöntemler ile birlikte kullanıldığı durumlarda çalışma alanında elde edilen verilerin birbirleriyle kıyaslanması da mümkün olmaktadır ve önceki çalışmalarda uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [18].

Çalışma alanında zemin hâkim titreşim periyodu (ZHTP) dağılımlarını elde etmek için mikrotremor yöntemi ölçümleri uygulanmıştır. Ölçümler yarım saatlik süre boyunca örnekleme aralığı 100 Hz seçilerek kayıt edilmiştir. Çalışmalar Güralp marka CMG-6TD genişbant hız kayıtcısı ve yardımcı donanımlar (dizüstü bilgisayar, akü, vs.) yardımıyla yürütülmüştür. Gürültü kayıtları tek cihaz kullanılarak, her noktada yapılan ölçümler birbirinden bağımsız olacak şekilde toplanmıştır ve çalışma alanında 112 noktada uygulanmıştır (Şekil 2). Çalışmada kullanılan mikrotremor yöntemi verileri daha önceki çalışmalarda [5, 15] farklı jeofizik yöntemlerle elde edilen veriler ile ortak değerlendirmeye alınmış ve zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada ise senaryo deprem parametreleri ile ortak çözümde kullanılmaktadır. Veri değerlendirme aşaması ise şu şekildedir; öncelikle mikrotremor verilerinin trend etkisi giderildikten sonra 0,05-20 Hz aralığında bant geçişli süzgeç uygulanmıştır. Boyu 25 sn. ile 80 sn. arasında değişen pencereler seçilerek %5 işleçli kosinüs çanı törpüsü uygulanmıştır. Her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen spektrumlara ise bant genişliği $b=40$ seçilerek Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır. Son aşamada ise yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşen spektrumuna oranlanmasıyla HVSR değerleri elde edilmiştir. Şekil 4'te çalışma alanında yer alan 158 numaralı noktaya ait ham veri kaydı, pencereleme işlemi ve elde edilen spektral oran eğrisi verilmiştir.

Çalışma alanının güneyi denize yakın ve kot olarak çok düşük kısımları oluşturur ve burada yüksek ZHTP (>2 sn.) değerleri elde edilmiştir. Jeolojik birim olarak alüvyonların üzerine denk gelen bu kısımlarda 2 saniyeden 3,57 saniyelere ulaşan hakim periyot değerleri elde edilmiştir. Yüksek kotlara çıkıldıkça jeolojik birimlerin değişmesi ve anakaya derinliğinin göreceli olarak azalması ile ZHTP değerleri

daha kısa süreli salınım trendine doğru ilerleyip 2 saniye altında değerler almaktadır [15] (Şekil 5).

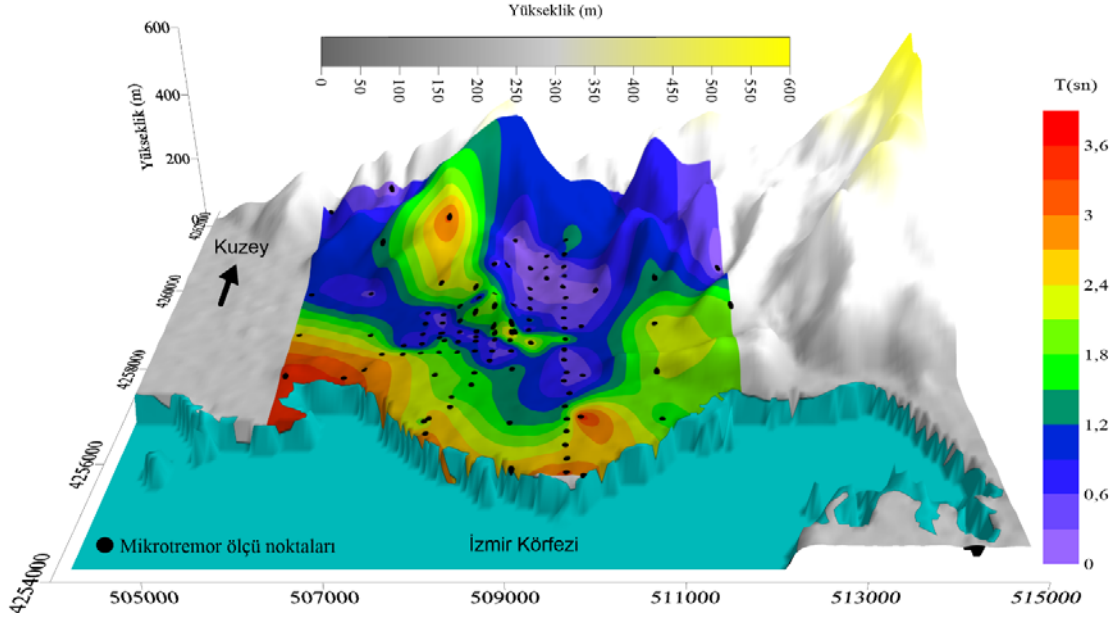


Şekil 4. Çalışma alanında yer alan 158 numaralı ölçüm noktasına ait veri işlem adımları a) ham veri b) pencereleme işlemi c) H/V spektral oran grafiği

(Data processing steps at the measurement point 158 located in the study area a) raw data b) windowing process c) graphic of the H/V spectral ratio)

3.2. DBF Hesaplamaları (DAF Calculations)

Tek istasyon mikrotremor yöntemi verisi zamana bağlı olarak kayıt edildikten sonra her bileşene ait spektrumlar elde edilir. Yatay bileşenlere ait spektrumların düşey bileşenlere oranlanmasıyla yatay/düşey spektral oran (HVSR) elde edilir, Nakamura [14] yaptığı çalışmada HVSR eğrilerinin zemin transfer fonksiyonu olarak tanımlanabileceğini söylemiştir. Bilindiği üzere zemin transfer fonksiyonu anakayadan gelen deprem dalgalarının zemin tarafından ne kadar değiştirilip (büyütülüp) yüzeye taşınacağını belirler. Sismik tehlike analizinin yapılmasındaki en önemli amaçlarından biri de senaryo



Şekil 5. Çalışma alanında mikrotremor verilerinden elde edilen ZHTP değerlerinin topografya haritası üzerinde dağılım haritası ([15]'den değiştirilmiştir)

(Distribution map of predominant soil period (PSP) values obtained from microtremor data on the topography map of the study area (after [15]))

deprem parametreleri kullanılarak zemin tabakasının yüzeyindeki pik yatay yer ivmesinin (PGA) hesaplanmasıdır. Bu çalışmada senaryo deprem büyüklüğü (M), episantr uzaklığı (D), odak derinliği (H) ve sönüm faktörü (r) parametreleri ile tanımlanmaktadır.

Parseval teoreminden hatırlanacağı üzere, spektral genliklerin karekök ortalamasının ilgili zaman serisinin karekök ortalaması ile özdeş olması Eş. 1 ile ifade edilebilir [3]. Burada akselogramın zaman ortamındaki kaydı a(t) ve Fourier genliği A(f) olacak şekilde;

$$kko [A(f)] \propto kko [a(t)] \quad (1)$$

Bu sonuca göre Eş. 2 [3] ve Eş. 3 [3] bağıntıları PGA_y ve PGA_a değerlerine erişmek için kullanılır. Bu bölümdeki bağıntılarda yer alan “y” alt indisi yeryüzeyini, “a” alt indisi anakayayı ve AMP ise büyütmeye değerini temsil etmektedir.

$$PGA_y \propto kko [a_y(t)] \propto kko [A_a(f)AMP_y(f)] \quad (2)$$

$$PGA_a \propto kko [a_a(t)] \propto kko [A_a(f)] \quad (3)$$

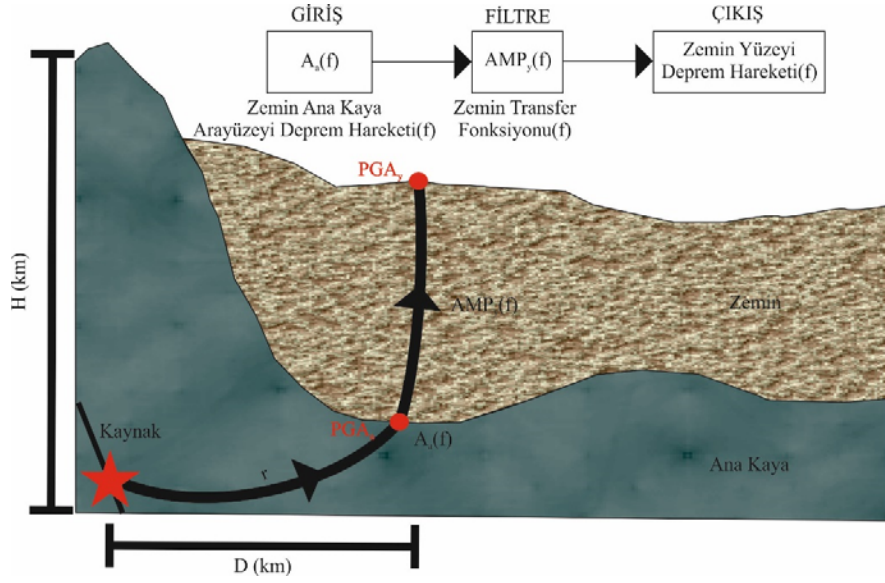
PGA_y yüzeydeki ve PGA_a ise anakayadaki pik ivme değerleri olmak üzere DBF faktörü Eş. 4 [3] eşitliği ile tanımlanır. Eşitliklerin ve teoremin ayrıntılı açıklaması Herak [3] tarafından verilmiştir.

$$DBF = PGA_y / PGA_a = kko[A_a(f)AMP_y(f)] / kko [A_a(f)] \quad (4)$$

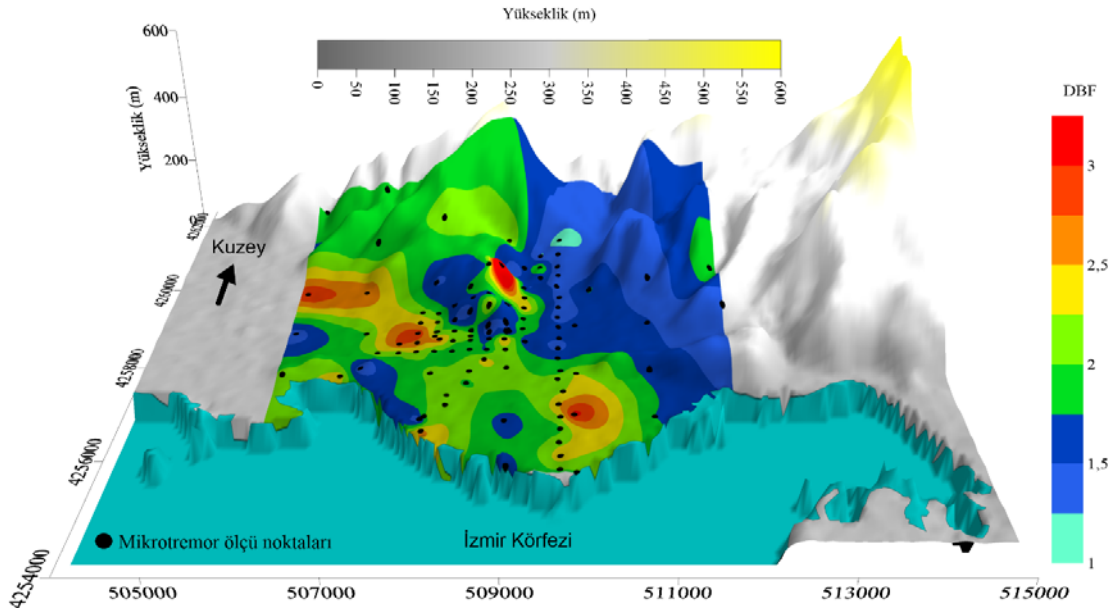
Çeşitli çalışmalarda [19, 20] önerilen ampirik bağıntılar DBF hesaplamak için kullanılan ModelHVSr programında [3], $A_a(f)$ 'yı senaryo deprem parametrelerinin (M, D, H, r) bir fonksiyonu olarak tanımlamak için kullanılır. Buradan

anlaşıldığı üzere kullanılan yazılımda Eş. 4'ün paydası senaryo deprem parametrelerinden payı ise yer yüzeyinde kaydedilen mikrotremor verisinden elde edilen spektrumdan hesaplanmaktadır. DBF parametresinin hesabı ve Eş. 4 bağıntısındaki değişkenlerin görsel açıdan daha iyi anlaşılabilmesi için şematik model hazırlanmıştır (Şekil 6).

Bu çalışma kapsamında alanda toplanan mikrotremor verileri ve seçilen senaryo deprem parametreleri ücretsiz olarak sunulan ModelHVSr programında [18] ortak çözüme sokularak araştırma alanında DBF değerlerini elde edilmiştir. DBF hesaplamalarının çalışma alanına dağılımları Şekil 7'da haritalanmıştır. Değerlendirmede kullanılan deprem bölgedeki sismik hareketlilik göz önüne alınarak Sığacık körfezi civarında seçilmiş ve haritada sarı yıldız sembolü ile gösterilmiştir (Şekil 3). Senaryo deprem 7 büyüklüğünde, 10 km derinlikte, 50 km episantr uzaklığında ve geçtiği jeolojik birimlere göre sönüm parametresi (r) 0,6 olarak seçilmiştir. Bu parametreler seçilirken yıkıcı etkisi olabilecek bir deprem olması amacıyla büyüklüğü 7 seçilmiştir, bölgedeki yüksek magnitüd hesaplanan depremlerin 10 km civarında olması derinlik seçimi için etkili olmuştur. Aktif bir bölgeye 50 km uzaklıkta olması (Şekil 3) ve bölgenin jeolojik özellikleri de dikkate alınarak sönüm parametresi belirlenmiştir. Ayrıca senaryo depremin derinliği 30 km olacak şekilde değiştirilerek tüm veri tekrar değerlendirilmiş ve deprem derinliğinin buradaki DBF hesaplaması için çok küçük değişimler gösterdiği gözlenmiştir. Depremin derinliği, büyüklüğü, sönüm faktörü ve magnitudü değiştirildiğinde oluşacak spektrumların pik değerleri değişse bile spektrumun tamamının karekök ortalaması büyük oranda değişmemektedir. Elde edilen sonuçlar bu parametrelere sahip bir deprem meydana geldiğinde beklenen sonuçlar olup farklı senaryo deprem



Şekil 6. Deprem parametreleri ve DBF hesaplamasında kullanılan parametrelerin zemin-anakaya modeli üzerinde şematik anlatımı. (Schematic description of earthquake parameters and parameters used in DBF calculation on ground-bedrock model.)



Şekil 7. Mikrotremor verisi ve senaryo deprem parametreleri kullanılarak hesaplanan DBF değerlerinin topografya haritası üzerinde dağılımları (Distribution of DAF values calculated using microtremor data and target earthquake parameters on the topographic map)

tasarlayıp farklı parametreler kullanılması ile hesaplanacak DBF değerleri de farklılık gösterecektir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çalışma alanında özellikle İzmir körfezi kıyısına yakın kısımlarda tek istasyon mikrotremor yöntemiyle elde edilen ZHTP değerleri görece yüksek elde edilmiştir. Bu değerler 2 saniye ve üzerinde değişmektedir. Körfezin kuzeyine doğru ilerledikçe jeolojik birimlerin volkanik kayalardan oluşması ZHTP değerlerinin körfezin güneyine göre

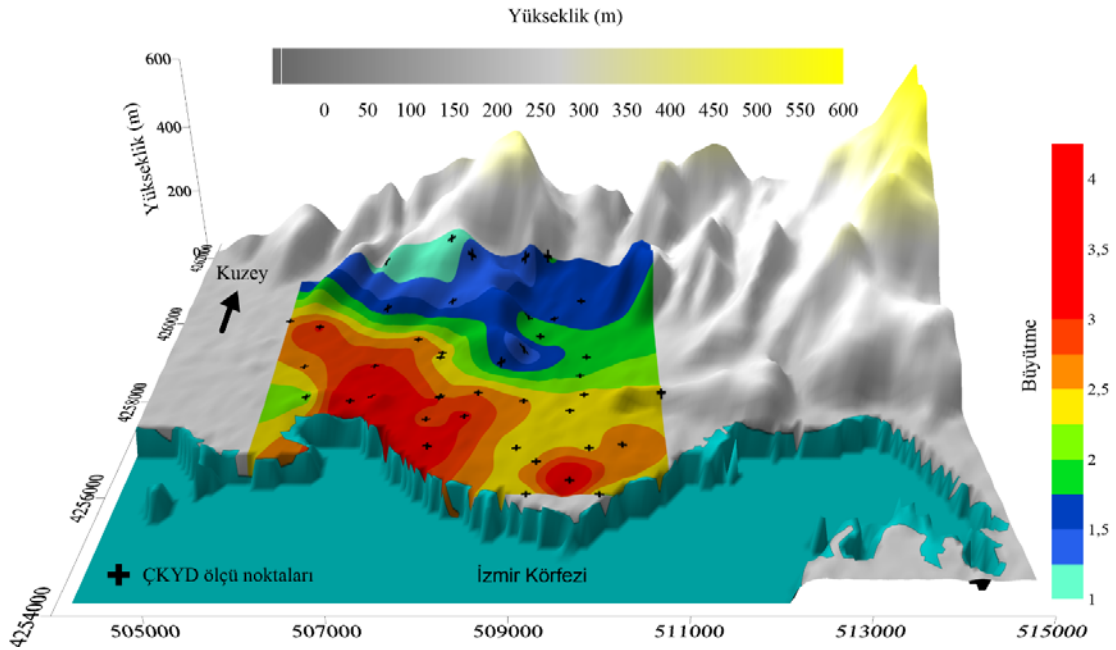
azalmasına sebep olmaktadır. Burada elde edilen ZHTP değerleri spektrumda okunan maksimum periyot değerlerini yansıtmaktadır. Bu değerler deprem anında zeminin salınacağı periyot olarak ele alındığında, zeminin üzerine inşa edilecek binaların zeminle yakın periyotlarda olmasından kaçınılması gerekir. Bilindiği üzere zeminle yakın periyotlarda salınan bir yapı, zemin ile rezonansa girebilir ve beraber salınabilir. Bu durumda yapı daha yıkıcı etkilere maruz kalabilir. Bu çalışmada kullanılan mikrotremor verileri daha önce zemin dinamik özelliklerini yorumlama amaçlı kullanılmıştı [15]. Bu paragrafta depremin salınım periyodunu tahmin etmek için mikrotremor verisi

kullanımının önemi vurgulanmıştır. Çalışma alanında daha önce yapılan çalışmada [5] 43 profilde elde edilen 30 m için makaslama dalgası hızları kullanılarak Midorikawa [21] tarafından verilen ampirik bağıntılar ile zemin büyütmesi değerleri hesaplanmış ve dağılım haritası verilmiştir (Şekil 8). Elde edilen DBF değerleri ile (Şekil 6), sismik hızlardan hesaplanan zemin büyütmesi değerlerinin rakamsal olarak ve bölgeye dağılımının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Buradaki uyumdan kasıt elde edilen parametre değerlerinin çalışma alanının kuzeyinde 2'den küçük olması, güneyinde ise 2 den büyük değerler alması olarak açıklanabilir. Ayrıca jeolojik birimlerin çalışma alanındaki dağılımı da büyütme değerleriyle uyumlu elde edilmiştir. Sağlam ve sıkı kaya zeminler çalışma alanında kuzeyinde yer almakta ve 2'den büyük değerler almakta iken güneydeki gevşek ve dayanımı düşük birimler üzerinde 2'den büyük değerler gözlenmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında ÇKYD yöntemi ile elde edilen zemin büyütmesi değerleri ile bu çalışmada hesaplanan DBF değerlerinin birbirine uyumlu olduğu sonucu çıkmaktadır. Her ne kadar bu iki hesaplama yönteminde araştırma derinlikleri birbirinden farklı olsa da sonuçların benzerliği bize zemin tabakasının büyütme üzerinde ne kadar etkili olduğu sonucuna varmamıza imkân sağlar. Çünkü ÇKYD yönteminde araştırma derinliği 30 metrelerde olup bu yöntemle elde edilen büyütme değerlerinin ancak zemin tabakasının etkisi olarak yorumlanabilir. Bu çalışmada kullanılan deprem ve mikrotremor verileri ise çok daha derinlerden gelen yüksek periyotlu dalgaları içerdiğinden dolayı daha derin zemin etkilerinin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Çalışma alanında V_{s30} hız değerleri incelendiğinde en yüksek 900 m/sn, en düşük ise 150 m/sn hız değerleri elde edilmiştir [15]. Hızların dağılımına göre

çalışma alanının kuzeybatısında maksimum değerler gözlenmiş ve aynı kesimlerde ZHTP değerleri en düşük değerlerini almıştır. Çalışma alanının güneyinde maksimum ZHTP değerleri hesaplanan yerlerde elde edilen hız değerleri ise oldukça düşüktür. Çalışma alanı için V_{s30} hız değerleri ve ZHTP değerlerinin birbirleriyle ters orantılı olarak uyumlu şekilde değişmekte olduğundan bahsedilebilir.

Özellikle çalışma alanının güney ve güneybatı kesimlerinde DBF değişimlerine bakıldığında alüvyonel düzlükler üzerinde anakayadan zemin yüzeyine gelecek olan depremin etkisinde en az iki kat artış (büyütme) beklenebilir. Çalışma alanının kuzeyine bakıldığında DBF değerlerinin 2 değerinden daha küçük sonuçlar elde edilirken çalışma alanının en küçük büyütme veren kısmının kuzeydoğu tarafı olduğu görülmektedir. Hesaplanan DBF değerlerinde kullanılan mikrotremor spektrumu (HVSr) tüm periyot değerlerindeki etkiyi içerdği için, DBF değerleri alandaki sadece hakim periyottaki değil tüm periyotlardaki etkileri içermektedir. Dolayısıyla DBF değerinin zemin içindeki tüm birimlerin etkilerini taşıdığı sonucuna varabiliriz

DBF değerlerinin yanal yöndeki değişimleri göz önüne alındığında araştırma alanı heterojen yapısal özellikler sunmaktadır. Bunun anlamı tüm çalışma alanını temsil edecek tek bir deprem büyütmesi (DBF) veya PGA değeri kullanmak yetersiz kalacaktır. Yapı planlanan bir parsel için yerinde ölçümlerle büyütme değerlerinin ve diğer dinamik parametrelerin hesaplanması büyük önem taşır. Çünkü heterojen dağılım gösteren alanlarda çok kısa mesafelerde bile jeolojik birimler değişebilir. Diğer dinamik parametreler ÇKYD yönteminin yanı sıra pasif kaynaklı ReMi, SPAC gibi yöntemler kullanılarak daha derin Vs-derinlik profilleri elde



Şekil 8. Çalışma alanında 43 profil üzerinde uygulanan ÇKYD yönteminden elde edilen makaslama dalgası hızları ile hesaplanan zemin büyütmesi dağılım haritası ([5]'den değiştirilmiştir) (Soil amplification distribution map calculated from the shear wave velocities obtained from the MASW method applied on 43 profiles in the study area (after [5]))

edilebilir ve derin etkileri de yansıtan büyütme değerleri ampirik bağıntılar ile hesaplanabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada kullanılan veriler TÜBİTAK-KAMAG 106G159 numaralı proje ve Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri 2009.KB.FEN.036 numaralı proje kapsamında toplanmıştır. Yazarlar makalenin gelişiminde rol oynayan ve makaleye katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederler. Yazarlar projelerde emeği geçen tüm ekibe teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Herak M., Overview of recent ambient noise measurements in Croatia in free-field and in buildings, *Geofizika*, 28, 21-40, 2011.
- Özdağ C., Gönenç T., Akgün M., Dynamic amplification factor concept of soil layers: a case study in İzmir (Western Anatolia), *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (11), 10093-10104, 2015.
- Herak M., Model HVSR-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise, *Computers & Geosciences*, 34, 1514-1526, 2008.
- United States Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>. Erişim tarihi Nisan 04, 2017.
- Tunçel A., Jeofizik yöntemlerle zemin-anakaya sınırının belirlenmesi ve dinamik zemin parametrelerinin elde edilmesi: Karşıyaka ve Güzelbahçe (İzmir) örneği, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014.
- Özbek D., Altındağ Köyü (İzmir) çevresinin jeoloji ve Altındağ taş ocaklarının mühendislik jeolojisi, Bitirme Ödevi, Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1981.
- Erdoğan B., İzmir-Ankara Zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi., *TPJP Bülteni*, c. 2/1-Aralık, 1-20, 1990.
- Kıncal C., İzmir iç körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 2005.
- MTA, 1:500,000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, İzmir (No: 7) Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, 2002.
- Uzel B., Sözbilir H., Özkaymak Ç., Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 439-471, 2012.
- Ocağolu N., Demirbağ E., Kuşçu İ., İzmir körfezi ve çevresinin sualtı aktif fayları ve depremselliği, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 27 (1), 23-40, 2005.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşçu İ., Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü MTA, Türkiye, 1992.
- Emre Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C., Göktaş F., İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri, MTA Rapor No: 10754, 86s., Jeoloji Etütleri Dairesi, 2005.
- Nakamura Y., A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Japan*, 30, 25-33, 1989.
- Tunçel A., Pamukçu O., Gönenç T., Akgün, M., Mikrotremor, Çok Kanallı Yüzeysel Dalgaları (ÇKYD) ve Mikrogravite Yöntemleri Kullanılarak Zemin Dinamik Özelliklerinin İrdelenmesi: Karşıyaka-İzmir Örneği, *Yerbilimleri Dergisi*, 37 (2), 2016.
- Pamuk E., Akgün M., Özdağ Ö. C., Gönenç T., 2D soil and engineering-seismic bedrock modeling of eastern part of İzmir inner bay/Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 137, 104-117, 2017.
- Pamuk E., Özdağ Ö. C., Özyalın Ş., Akgün M., Soil characterization of Tinaztepe region (İzmir/Turkey) using surface wave methods and Nakamura (HVSR) technique. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 16(2), 447-458, 2017.
- Akgün M., Gönenç T., Tunçel A., Pamukçu O., A multi-approach geophysical estimation of soil dynamic properties in settlements: a case study in Güzelbahçe-İzmir (Western Anatolia), *Journal Of Geophysics and Engineering*, 10 (4), 045001, 2013.
- Trifunac M. D., Broad band extension of Fourier amplitude spectra of strong motion acceleration. University of Southern California, Los Angeles, CA, USC Report no. CE 93-01, 109, 1993.
- Lee V. W., Trifunac M. D., Frequency dependent attenuation function, and Fourier amplitude spectra of strong earthquake ground motion in California. University of Southern California, Los Angeles, CA, USC Report no. CE 95-03, 190, 1995.
- Midorikawa S., Prediction of isoseismal map in Kanto Plain due to hypothetical earthquake. *Journal of Structural Dynamics*, 33, 43-48, 1987.