



Analysis of Traffic-Induced Ground Vibration in Highway Viaducts

Nida Erdem¹ and Emre Timur²

¹ Dokuz Eylul University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Geophysical Engineering Buca 35160 Izmir, Türkiye

² Dokuz Eylul University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, Buca 35160 Izmir, Türkiye

ORCID: 0000-0002-6578-3347, 0000-0003-2084-7164

Keywords

Bornova, Microtremor, Traffic-induced vibration, Viaduct

Highlights

* Traffic-induced vibration analysis on the highway viaduct
* Day and night microtremor measurement on viaduct feet
* Night and day measurement frequencies are close to each other

Aim

Determination of traffic-induced ground vibration in highway viaducts using microtremor measurements

Location

This study has implemented in a field area of Bornova district of Izmir metropolitan city

Methods

Microtremor method, Nakamura technique, horizontal/vertical spectral ratio method

Results

Day-time dominant frequencies are lower than the frequencies obtained from night-time measurements due to the heavy traffic and the active metro line in the region

Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The author has no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 30.07.2022

Revised: 20.10.2022

Accepted: 25.10.2022

Printed: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1151176



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Emre Timur

Email: emre.timur@deu.edu.tr

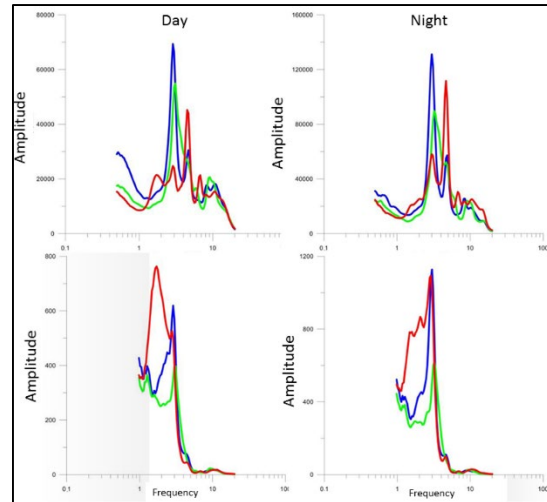


Figure
Spectrum of the component of data measured at 9th point during day and night times

How to cite:

Erdem N., Timur E., 2022. Analysis of Traffic-Induced Ground Vibration in Highway Viaducts, Turk Deprem Arastirma Dergisi 4(2), 230-245, <https://doi.org/10.46464/tdad.1151176>



Karayolu Viyadüklerindeki Trafik Kaynaklı Titreşimlerin Analizi

Nida Erdem¹ ve Emre Timur²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Programı, Buca 35160 İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Buca 35160 İzmir, Türkiye
ORCID: 0000-0002-6578-3347, 0000-0003-2084-7164

ÖZET

Bu çalışmada, deprem nedeniyle hasar oluşma tehlikesi bulunan yapılar üzerinde oluşabilecek titreşim kaynaklı zararların belirlenebilmesi amacıyla mikrotremor ölçümleri alınarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, hem karayolu hem de hafif raylı sistem trafiğinin yoğun olduğu İzmir İli, Bornova İlçesinde bulunan Bornova viyadüğü boyunca viyadük ayaklarında 13 farklı noktada ölçümler alınmıştır. Veriler, trafiğin yoğun olduğu gündüz saatlerinde ve sakin olduğu gece saatlerinde iki kez kaydedilmiştir. Alınan ölçümler değerlendirilerek, trafik kaynaklı titreşimlerin hem frekans spektrumu hem de H/V yöntemi ile gündüz ve gece ölçümleri arasındaki farklar incelenmiştir. Viyadükle aynı zemin özelliklerine sahip olan Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesi içinde çeşitli noktalarda alınan mikrotremor ölçümleri kullanılarak, zemin etkisi giderilmiş ve sadece yapının etkisi ortaya konmuştur. Ayrıca belirlenen baskın frekansların çevre binalar üzerindeki olası etkisi de belirlenmiştir. Trafiğin yoğun olması ve bölgede bulunan metro hattının aktif olması nedeniyle gündüz ölçümlerinden elde edilen frekansların, gece ölçümlerinden elde edilen frekanslara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Bornova, Mikrotremor, Trafik kaynaklı titreşim, Viyadük

Öne Çıkanlar

- * Karayolu viyadüğünde trafik kaynaklı titreşim analizi.
- * Viyadük ayaklarında gece ve gündüz mikrotremor ölçümü yapılması.
- * Gece ve gündüz ölçüm frekanslarının birbirine yakın olması.

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.07.2022
Düzeltilme: 20.10.2022
Kabul: 25.10.2022
Basım: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1151176

Sorumlu yazar

Emre Timur
Eposta:
emre.timur@deu.edu.tr

Analysis of Traffic-Induced Ground Vibration in Highway Viaducts

Nida Erdem¹ and Emre Timur²

¹ Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Geophysical Engineering Buca 35160 İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, Buca 35160 İzmir, Türkiye
ORCID: 0000-0002-6578-3347, 0000-0003-2084-7164

ABSTRACT

In this study, microtremor measurements were performed and analysed in order to determine the vibration-induced damages that may occur on structures by carrying risk of damage due to earthquakes. In this context, 13 measurements were taken at different points of the viaduct feet along the Bornova viaduct located in Bornova district of İzmir province, where both dense highway and light rail system traffic is observable. Data were recorded twice during the daytime hours when the traffic was heavy and at night when it was calm. By evaluating the measurements taken, the differences between the frequency spectrum of traffic-induced vibrations and the H/V method between day and night measurements were examined. By using microtremor measurements taken at various points in the Central Campus of Ege University, which has the same ground characteristics as the viaduct, the ground effect was eliminated and only the effect of the structure was revealed. In addition, the possible effects of the dominant frequencies based on the surrounding buildings were also determined. It has been determined that the frequencies obtained from daytime measurements are lower than the frequencies obtained from nighttime measurements due to the heavy traffic and the active metro line in the region.

Keywords

Bornova, Microtremor, Traffic-induced vibration, Viaduct

Highlights

- * Traffic-induced vibration analysis on the highway viaduct.
- * Day and night microtremor measurement on viaduct feet.
- * Night and day measurement frequencies are close to each other.

Manuscript

Research Article

Received: 30.07.2022
Revised: 20.10.2022
Accepted: 25.10.2022
Printed: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1151176

Corresponding Author

Emre Timur
Email:
emre.timur@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Birinci derece deprem bölgesi içinde yer alan İzmir ili, sismik risk araştırmaları açısından büyük önem taşımaktadır. İzmir Körfez'inin doğusunda olan, Bornova Ovası olarak adlandırılan bölgeyi oluşturan jeolojik birimler sağlam kayalardan oluşmamaktadır (Kıncal 2005). Dolayısıyla, olası bir depremde bölgedeki yapıların daha fazla zarar görmesi beklenebilir. Sadece doğal kaynaklı titreşimler (depremler) değil, yapay kaynaklı titreşimler de (trafik vb.) zaman içerisinde yapılara zarar verebilir. Bu gibi zararları araştırmak için çeşitli jeofizik yöntemler kullanılabilir.

Mikrotremor yöntemi; yapıların ve zeminin hâkim titreşim periyodunu elde etmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlarla; olası bir depremde oluşan titreşimler veya sürekli olan yapay kaynaklı gürültülerin oluşturduğu titreşimlerde, yapı ve zeminin rezonansa girmemesi için önlemler alınabilmektedir. Mikrotremorların genlikleri 0.1-1 mikron arasında, periyotları ise 0.05-2 sn arasında değişir. Mikrotremorların kaynağı da çeşitlilik gösterir. Araştırmacılara göre mikrotremorlar doğal kaynaklı çevresel titreşimler veya insan aktivitesi sonucu oluşurlar. 0.1-1 sn arası periyotlardaki mikrotremorların, rzgr, trafik, tren ve diğer endüstriyel aktivitelerle oluştuğu, orta periyotlu (0.3-0.5 Hz ve 1 Hz arasında) mikrotremorların deniz dalgalarının kıyıdaaki yayılımından kaynaklandığı, daha uzun periyotlu hareketlerin ise atmosferdeki alçak basınç-okyanus etkileşmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Mikrotremorların en önemli özelliği, bu tür titreşimlerin noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir. Mikrotremorlar ile zemin hâkim titreşim periyodu doğrudan elde edilebildiğinden önemi artan bir yöntemdir (Ates 2020, Bayrak ve diğ. 2021).

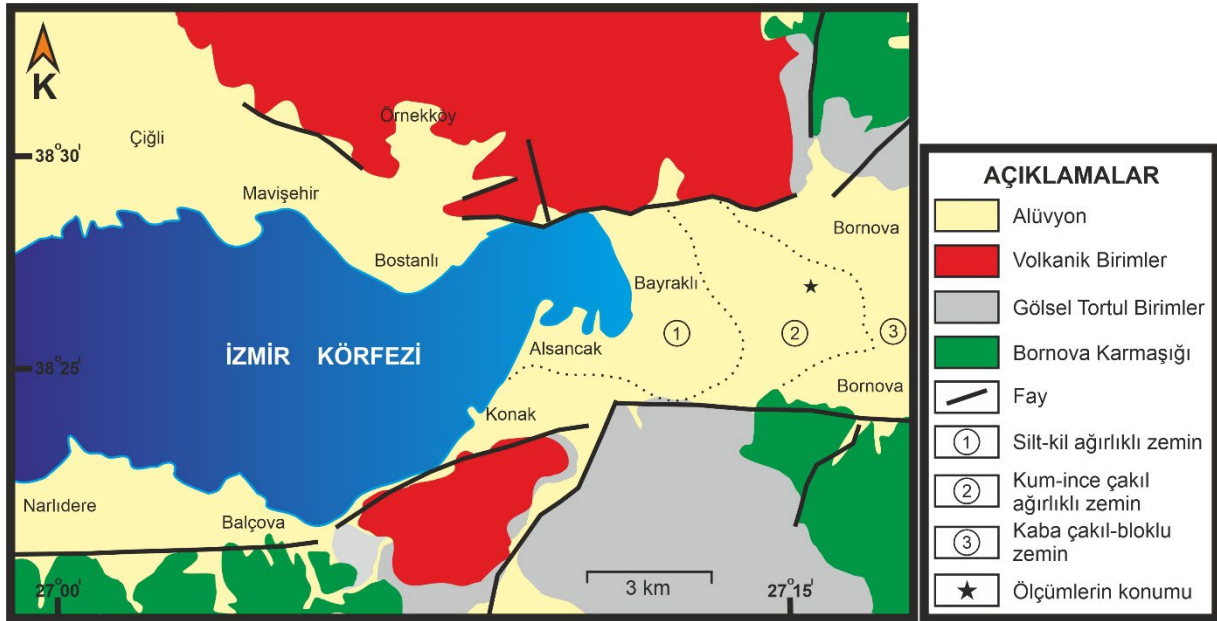
Bu alışma kapsamında, İzmir Körfezi'nin doğusunda kalan Bornova İlçesindeki, Bornova viyadüğünün zeminle birleşen ayaklarında mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Viyadüğün bulunduğu bölgede şehir içi metro hattı da bulunmaktadır. Metronun aktif olduğu saatlerde oluşturduğu titreşim ve viyadükten geçen araçların oluşturduğu titreşimler oldukça etkilidir. Bu titreşimler yakınında bulunan yapılara zaman içerisinde zarar verebilmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler GEOPSY programı ile değerlendirilerek H/V spektrumları ve K-G, D-B ve düşey bileşen spektrumları elde edilmiştir. Trafik'in yoğun olduğu saatlerde alınan ölçümlerin sonuçları ile durağan saatlerde alınan ölçümlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ise çalışma alanında oluşan yapay kaynaklı titreşimler hakkında fikir elde edilmiştir. Elde edilen frekans spektrumlarının tüm bileşenleri, viyadük ile benzer zemin özelliklerine sahip olan Ege Üniversitesi Merkez Kampüs alanı içinde alınan mikrotremor ölçümleri kullanılarak elde edilen ortalama spektruma oranlanmış ve zemin etkisinin giderilmesi amaçlanmıştır.

1.1) Genel Jeoloji

Çalışma alanı, Bornova (İzmir) Grabeni zerindeki yamaç molozu ve ağırlıklı olarak gözlenen alüvyonlar üzerinde yer almaktadır. Yamaç molozları, temel kayalardan türeme blok ve çakılların silt ve kil içerikli kum matriks içinde bulunduğu bir malzeme özelliği sunmaktadır. Bu zeminin özelliği, üzerinde bulunduğu ana kayanın özelliklerine göre de değişmektedir. Marnlar üzerinde yer alan yamaç molozlarının matriksi silt-kil ierikliyken, çakıl-taşlarının üzerinde yer alanların matriksi ince-orta kum boyutuna sahip malzemelerden oluşmaktadır. Yamaç molozları arazi genelinde, eğimin nispeten düşük olduğu alanlarda ve derelerle sınırlı alanlarda gözlenmiştir (regel 2019). Araştırmanın yapıldığı Bornova Grabeni, batıda denize açılan basit bir dağ arası havza tabanı özelliği taşımaktadır. Ancak alüvyal morfoloji dikkatli incelendiğinde, bu taban üzerinde zemin özellikleri farklı bölümlerin bulunduğu dikkati çekmektedir (Kayan 2000). Bunlar, Bornova'ya inen derelerin hidro-jeomorfolojik özellikleri ile ilgilidir. Dağ yamaçlarından inen kk dereler dışında, Bornova'ya gelen üç büyük dağ deresi bulunmaktadır. Bu üç büyük akarsu, ovada  büyük birikinti konisini oluşturur. Bunlar,

kuzeyden ve güneyden ova ortasına uzanarak tabanı daraltır ve çok silik bir morfoloji ile ova tabanını doğu ve batı olarak ikiye ayırmaktadır. Bornova birikinti konisi batısına ulaşan alüvyonlar az ve ince olduğundan denize doğru fazla ilerleyememiştir (Şekil 1) (Kıncal 2005).



Şekil 1: Bornova ovası ve çevresinin alüvyal jeomorfoloji haritası (Kıncal, 2005'ten geliştirilmiştir)
Figure 1: Alluvial geomorphology map of Bornova plain and its surroundings (modified from Kıncal, 2005)

1.2) Depremsellik

Mevcut deprem kataloglarındaki bilgiler ve bilimsel çalışmalar, Ege Bölgesi depremselliğinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Bayrak ve Bayrak 2012). Deprem odak dağılımları, daha önceki büyük depremlerin mekanizmaları ile sürmekte olan deniz jeolojisi ve deniz jeofiziği araştırmaları, bölgenin normal/doğrultu atımlı bileşene sahip faylardan oluşan bir tektonik sistem denetiminde aktif hale gelebileceğini göstermektedir.

Deprem, İzmir ili tarihinde önemli bir yer tutar ve geçmişteki büyük depremlerin izlerini bugün hem jeolojik ortamda hem de tarihsel kent dokusu içinde izlemek olanaklıdır. İzmir ve civarında tarihsel ve aletsel dönemde yoğun deprem aktivitesi görülmektedir. İzmir şehri ve Bornova ilçesi, tarihten günümüze yakın çevresinde meydana gelen birçok büyük depremden etkilenmiştir. 20.03.1389 Sakız Adası depremi, 10.07.1688 İzmir Körfezi depremi, 4 ay aryla meydana gelen 12.05.1852 ve 08.09.1852 İzmir depremleri, bu kapsamda hasar yaratan önemli depremlerdir (Altınok ve Ersoy 2000). Özellikle 03.04.1881 Sakız Adası depremi ($M_w=6.5$) Çeşme kıyılarında etkili olmuş, ilçenin bazı yerleşim alanlarında $I_0=9$ şiddetinde hissedilmiştir (Altınok ve diğ. 2005). Yakın tarihte ise, Orta ve Güney Ege'de meydana gelen 12.06.2017 ($M_w=6.2$) Karaburun-Midilli (DEÜ 2017) ve 21.07.2017 ($M_w=6.5$) Bodrum-Kos (Dogan ve diğ. 2019) depremlerinde yerel ölçekte tsunamiler oluşmuş, can kaybına yol açmamakla birlikte maddi hasarlar meydana gelmiştir. Ancak 30 Ekim 2020 $M_w=6.9$ Sisam Adası-İzmir Depremi, Bornova'da alüvyal birimler üzerindeki birçok binanın yıkılmasına neden olmuş, biri tsunamiden olmak üzere toplam 117 kişi yaşamını yitirmiş, 1000'den fazla yaralanma oluşmuştur. Bu depremde İzmir kıyılarında 3.8 m tırmanma yüksekliğine ulaşan tsunami de yaşanmıştır (Dogan ve diğ. 2021).

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında toplanan mikrotremor verileri, yatay/düşey spektral oran yöntemi olan Nakamura Yöntemi (Nakamura 1989) ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda GEOPSY yazılımı 3.3.2 sürümü (GEOPSY 2005, Wathelet ve diğ. 2020) kullanılmıştır. Nakamura yönteminde mikrotremorların sınırlı ortam üzerinde yer alan tek bir tabakada yayılan Rayleigh dalgaları olduğu varsayımı yapılır. Nakamura yöntemine göre yapılan analizlerde baskın periyotlar büyük bir yaklaşıklıkla belirlenebilir. Yöntem kullanılırken yapılacak bazı veri işlem aşamaları vardır. Bu veri işlem aşamaları, zeminin jeolojisi ve çevredeki yapıların etkisi düşünülerek en doğru yorumlama yapılması için daha önce örnek veri kullanılarak uygulanmıştır. İncelemeden elde edilen yaklaşımlarla, çalışmada alınan ölçümler daha sağlıklı değerlendirilmiştir.

Yatay/Düşey spektral oran yöntemi Japonya'da çeşitli yerlerde alınan kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak bulunmuştur. Yöntemin temeline bakıldığında, Nakamura'ya göre mikrotremorları oluşturan Rayleigh türü dalgalardır ve bunlar yüzey kaynakları tarafından yaratılır. Bu dalga türü tabakalı bir ortamda hem yatay hem de düşey hareketlerden eşit şekilde etkilenmektedir. Nakamura (1989) mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir. Yönteme göre gürültü titreşimlerinin düşey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmez. Buna karşılık yatay bileşenler, zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı önemli büyütmeleme uğrar. Böylece yatay bileşen kayıtların spektrumlarının düşey bileşen kayıtların spektrumlarına oranlanması zemin transfer fonksiyonunun elde edilmesini sağlar. Yöntem, mikrotremorları yarı sonsuz ortam üzerine uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamaya çalışır. Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlanmaktadır. Bunlar yüzeydeki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine (HS, VS) ait genlik spektrumları ve üstteki yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine (HB, VB) ait genlik spektrumlarıdır.

Bu çalışma kapsamında, İzmir Körfezi'nin doğusunda kalan Bornova ilçesindeki, Bornova viyadüğünün zeminle birleşen ayaklarında gündüz ve gece mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Viyadüğün bulunduğu bölgede şehir içi metro hattı da bulunmaktadır. Metronun aktif olduğu saatlerde oluşturduğu titreşim ve viyadükten geçen araçların oluşturduğu titreşimler oldukça etkilidir. Bu titreşimler yakınında bulunan yapılara zaman içerisinde zarar verebilmektedir. Trafığın yoğun ve metronun aktif olduğu saatlerde (gündüz) alınan mikrotremor ölçümleri ile trafiğin durağan ve metronun çalışmadığı saatlerde (gece) alınan mikrotremor ölçümleri değerlendirilerek, titreşimlerin oluşturduğu hâkim periyotlar elde edilmiştir. Ayrıca gece ölçümlerinden elde edilen titreşim kayıtlarından en durağan olan veri kaydı değerlendirilerek zeminin hakim titreşim periyodu elde edilmiştir. Elde edilen periyotlar kıyaslanarak metro ve viyadükten geçen araçların oluşturduğu trafik kaynaklı titreşimlerin etkileri gözlenmiştir.

3. VERİ

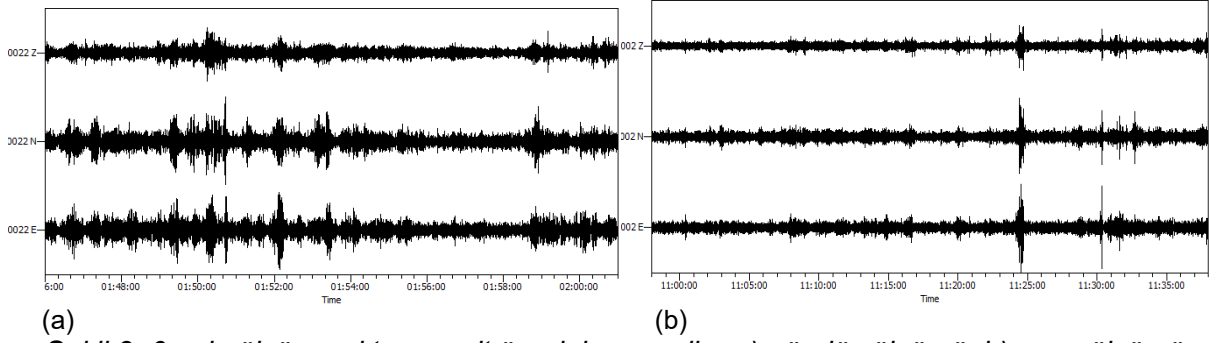
Araştırma kapsamında kullanılan veriler, İzmir ili, Bornova ilçesi şehir içi metro hattının da bulunduğu karayolu viyadüğünde alınmıştır. Gündüz, trafiğin yoğun ve metro hattının aktif olduğu saatlerde oluşan titreşimin büyüklüğü ile gece, trafiğin durgun ve metro hattının pasif olduğu saatlerdeki titreşimin büyüklüğü mikrotremor yöntemi ile ölçülerek çevrede bulunan yapılara etkisi incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: a) İzmir ili, Bornova ilçesinde bulunan karayolu viyadüğünün konumu ve çalışma alanının uydu görüntüsü, b) Gece, c) Gündüz mikrotremor ölçümleri

Figure 2: Satellite view of the study area and the location of the highway viaduct in Bornova district of Izmir city, Microtremor measurements during b) Night, c) Day times

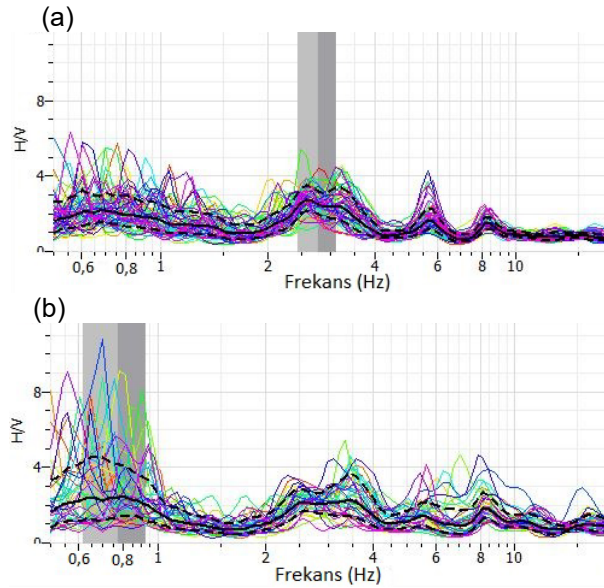
Arazi ölçümlerinden elde edilen mikrotremor verileri, öncelikle bilgisayara okutulmuş ve ardından tüm bileşenler sıfır ortalamaya indirgenmiştir. Spektrum ortamındaki verilere Band pass filtresi uygulanıp 0.50-10 Hz arasındaki sinyaller değerlendirilmeye alınmıştır. Konno ve Ohmachi yuvarlatma tekniği uygulanmış ve yuvarlatma bant girişi 40 olarak alınmıştır. Verilere Kosinus penceresi uygulanarak verilerin köşeleri yüzde 10 oranında yuvarlatılmıştır. Pencere boyu 20 sn seçilmiştir. Bu işlemler sonucunda uygulanan Hızlı Fourier dönüşümü ile veriler frekans ortamına geçirilerek, yatay/düşey (H/V) bileşen oranları GEOPSY programı ile hesaplanmış ve çizdirilmiştir (Erdem 2016). Viyadüğün ortasındaki 6 nolu ölçü noktasına ait gündüz ve gece saatlerinde alınan örnek ham veriler Şekil 3'te sunulmuştur.



(a) (b)
Şekil 3: 6 nolu ölçüm noktasına ait örnek ham veriler a) gündüz ölçümü, b) gece ölçümü
Figure 3: Raw data of 6th measurement station a) day time, b) night measurement

4. BULGULAR

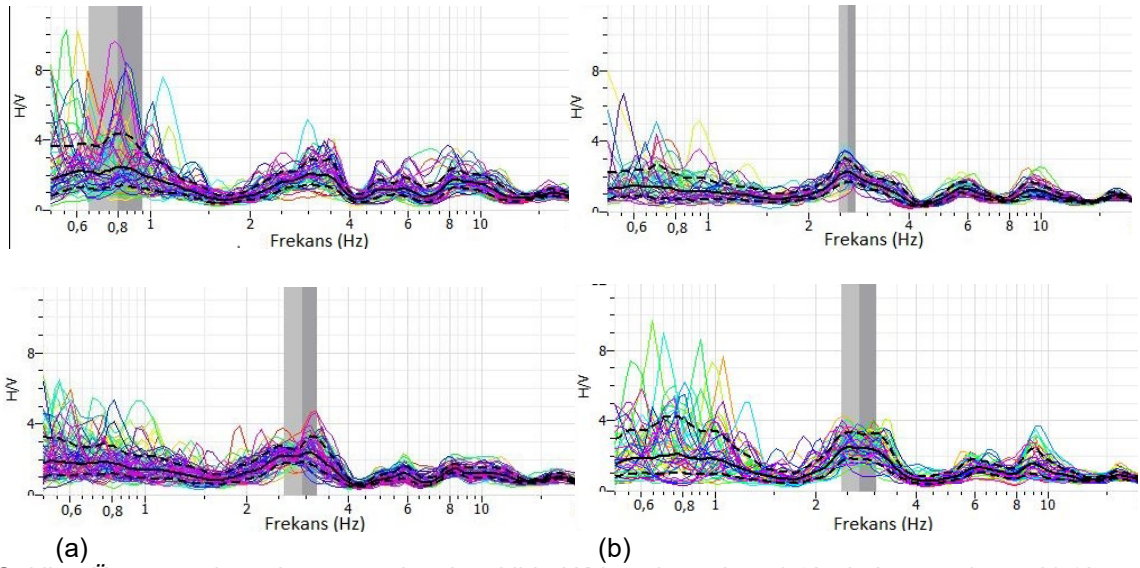
Gece ve gündüz alınan mikrotremor ölçümüne ait örnek ayrıntılı görsel Şekil 4'te verilmiştir. 1'inci ölçüm noktasında gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 2-4 Hz, 6 Hz, 8 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 0.6-0.9 Hz, 2-4 Hz ve 8 Hz olan genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin Kuzey-Güney (K-G), Doğu-Batı (D-B) ve Düşey (Z) bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 1.5-3.5 Hz, 5 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 4-8 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise, düşey bileşende 2-4 Hz, 5 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 2-6 Hz; D-B bileşeninde ise 2.7 Hz, 4.3 Hz, 6-10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür.



Şekil 4: 1.ölçüm noktasına ait H/V spektrumları a) gündüz, b) gece
Figure 4: H/V spectrums for the 1st measurement point a) daytime, b) night

Diğer ölçüm alınan noktaların veri değerlendirmeleri incelendiğinde, noktalara ait baskın frekanslar gözlenmiştir. 2'nci ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde; 2-4 Hz, 6 Hz, 8 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise 0.5 -1.5 Hz, 1.5-4 Hz, 4-7 Hz, 7-13 Hz frekanslarda genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde; düşey bileşende 2-3.5 Hz, 4.2 Hz, 6-8 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 4-5 Hz, 5-7 Hz; D-B bileşende ise 3 Hz, 4.5 Hz, 6-9 Hz frekanslarında yüksek genlikler gözlenmiştir. Gece alınan

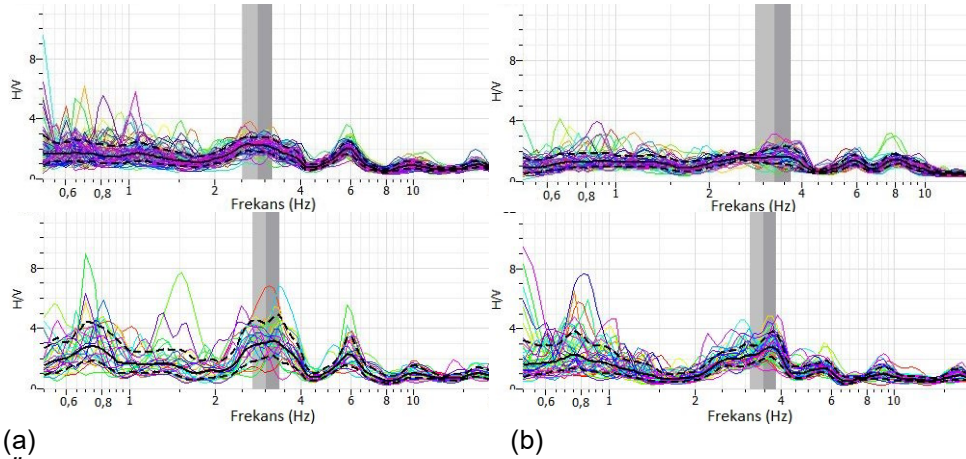
verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-4 Hz, 4.3 Hz, 6-10 Hz; K-G bileşende 2-4 Hz, 4-6 Hz, 8-10 Hz; D-B bileşeninde ise 2.8 Hz, 4- 6 Hz, 6-10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 5a). 3'üncü ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 2.6 Hz, 6 Hz, 10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekanslar 2.7 Hz, 4-8 Hz, 9 Hz olarak gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 2- 4 Hz, 4.3 Hz, 6-9 Hz; K-G bileşeninde 3.2 Hz, 4-8 Hz, 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise 2.7 Hz, 4.5 Hz, 6-12 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-3.5 Hz, 4.5 Hz, 6-10 Hz; K-G bileşeninde 3 Hz, 3.5-5 Hz, 5-8 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4-6 Hz, 6-12 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 5b).



Şekil 5: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 2'nci ölçüm noktası, b) 3'üncü ölçüm noktası

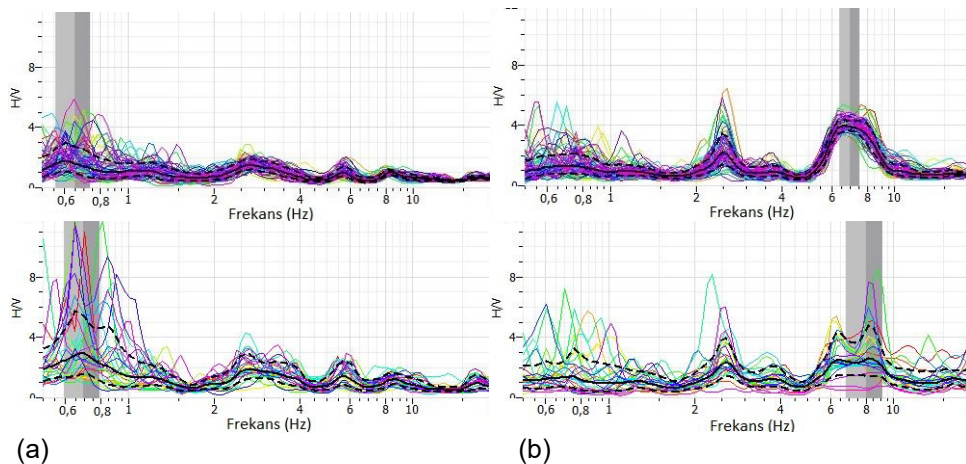
Figure 5: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 2nd measurement point, b) 3rd measurement point

4'üncü ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 3 Hz, 6 Hz, frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise 0.5-0.9 Hz, 3 Hz, 6 Hz frekanslı genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 2- 4 Hz, 4.7 Hz; K-G bileşeninde 2-8 Hz, 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise 2-7 Hz, 5 Hz aralığında frekanslar görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-4 Hz, 5 Hz, 6-10 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 4-8 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 6a). 5'inci ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 1.5-4.5 Hz, 6 Hz, 8 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise 1.5-4.5 Hz, 4.5-7 Hz, 7-13 Hz frekanslarında genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 2.7 Hz, 4.6 Hz; K-G bileşeninde 2-5 Hz, 5-8 Hz 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise 2.8 Hz, 4.7 Hz, 6-10 Hz frekanslarında genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-4 Hz, 4.6 Hz, 6-8 Hz; K-G bileşeninde 2-6 Hz, 6-8 Hz, 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise 2.8 Hz, 4-6 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 6b).



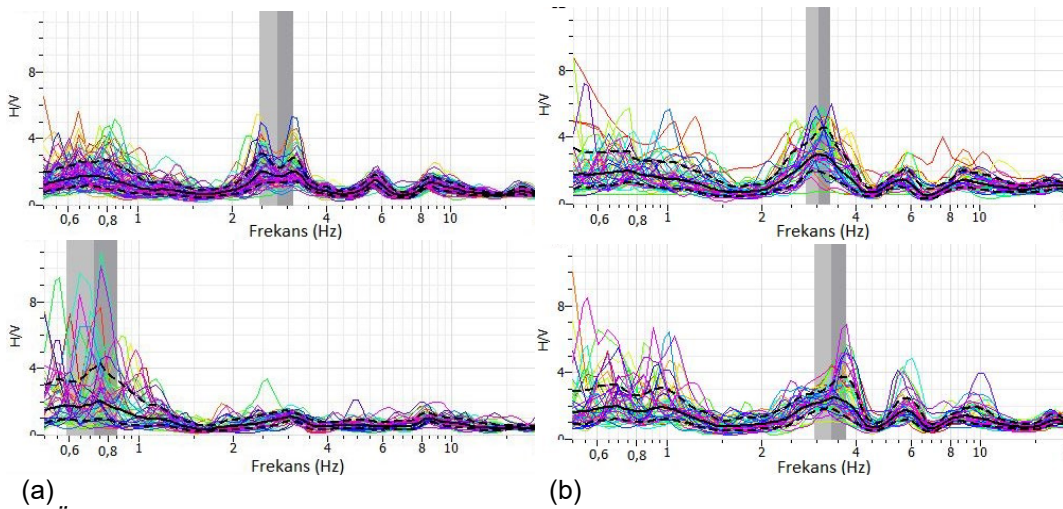
(a) (b)
Şekil 6: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 4'üncü ölçüm noktası, b) 5'inci ölçüm noktası
Figure 6: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 4th measurement point, b) 5th measurement point

6'ncı ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 0.5-0.8 Hz, 2-4 Hz, 5.8 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise, frekansları 0.5-1.5 Hz, 3 Hz, 6 Hz olan genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 2.7 Hz, 4.6 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 6 Hz 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise frekansları 2.7 Hz, 4.6 Hz, 6-15 Hz olan genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-4 Hz, 4-6 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 4-8 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 5 Hz, 6-10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 7a). 7'nci ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 2.6 Hz, 7 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise, frekansları 2.7 Hz, 5-12 Hz, olan genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4-6 Hz, 7 Hz, 10 Hz; K-G bileşeninde 2.6 Hz, 7 Hz 10 Hz; D-B bileşeninde ise 7 Hz frekanslı genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 4.7 Hz, 7 Hz, 8-15 Hz; K-G bileşeninde 2.8 Hz, 4-6 Hz, 8-12 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 7 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 7b).



(a) (b)
Şekil 7: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 6'ncı ölçüm noktası, b) 7'nci ölçüm noktası
Figure 7: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 6th measurement point, b) 7th measurement point

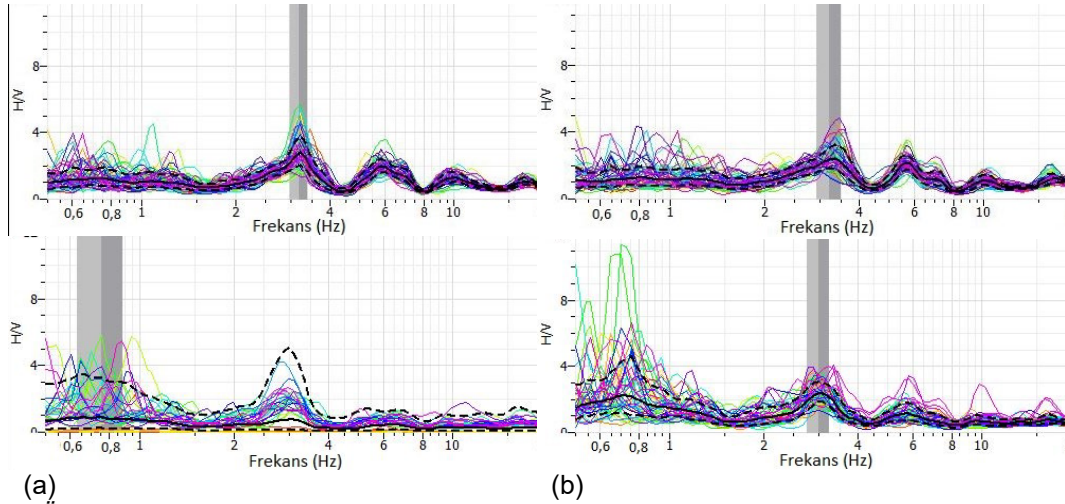
8'inci ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 0.5-1.5 Hz, 2-4 Hz, 5.8 Hz, 9 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 0.5-1.5 Hz, 1.5-4 Hz, olan genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 2-4 Hz, 4.7 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 2-4 Hz, 4-8 Hz 8-12 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4.8 Hz, 6-15 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 3 Hz, 4.8 Hz, 7 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 5 Hz, 6-10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 8a). 9'uncu ölçüm noktasında gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 3 Hz, 5.5 Hz, frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekanslar 1.5-4.5 Hz, 6 Hz, 7-15 Hz olarak gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4.5 Hz, 7 Hz; K-G bileşeninde 3 Hz, 8-15 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4-6 Hz, frekanslı genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2.5-4 Hz, 4.7 Hz; Kuzey- Güney bileşeninde 2-8 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4.7 Hz, frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 8b).



Şekil 8: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 8'inci ölçüm noktası, b) 9'uncu ölçüm noktası

Figure 8: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 8th measurement point, b) 9th measurement point

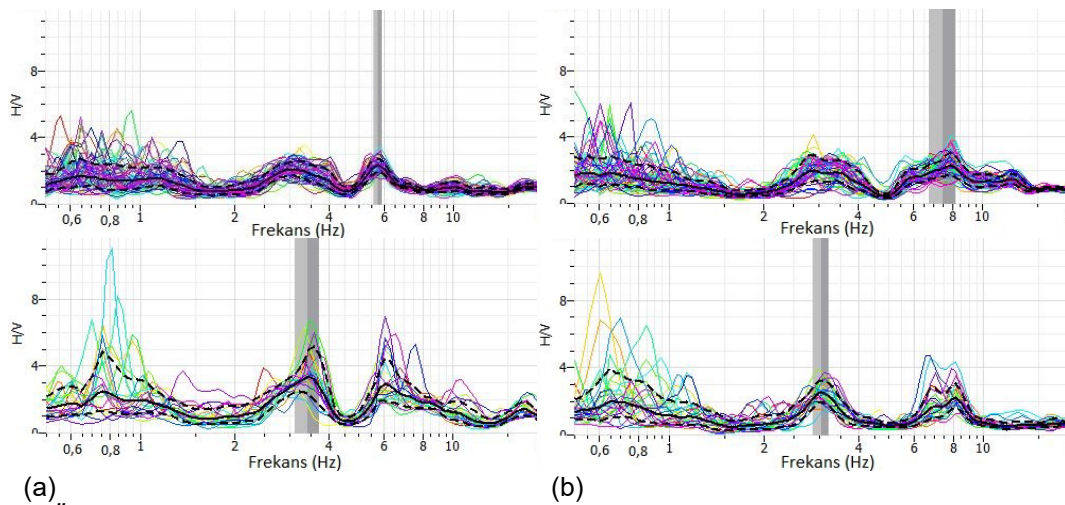
10'uncu ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 3.2 Hz, 6 Hz, 8-15 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 1.5-4 Hz, 4-8 Hz, olan genlikler gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4.5 Hz; K-G bileşeninde 3.2 Hz, 4-8 Hz; D-B bileşeninde ise 2-4 Hz, 4.5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 4.7 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4.7 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 9a). 11'inci ölçüm noktasında, gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 3.3 Hz, 4-8 Hz, 8-15 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 3 Hz, 4-8 Hz, olan genlik değerleri gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4.5 Hz; K-G bileşeninde 2.5-5 Hz; D-B bileşeninde ise 2.8 Hz, 4.5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise, düşey bileşende 2-4 Hz, 4.6 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4-6 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 9b).



Şekil 9: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 10'uncu ölçüm noktası, b) 11'inci ölçüm noktası

Figure 9: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 10th measurement point, b) 11th measurement point

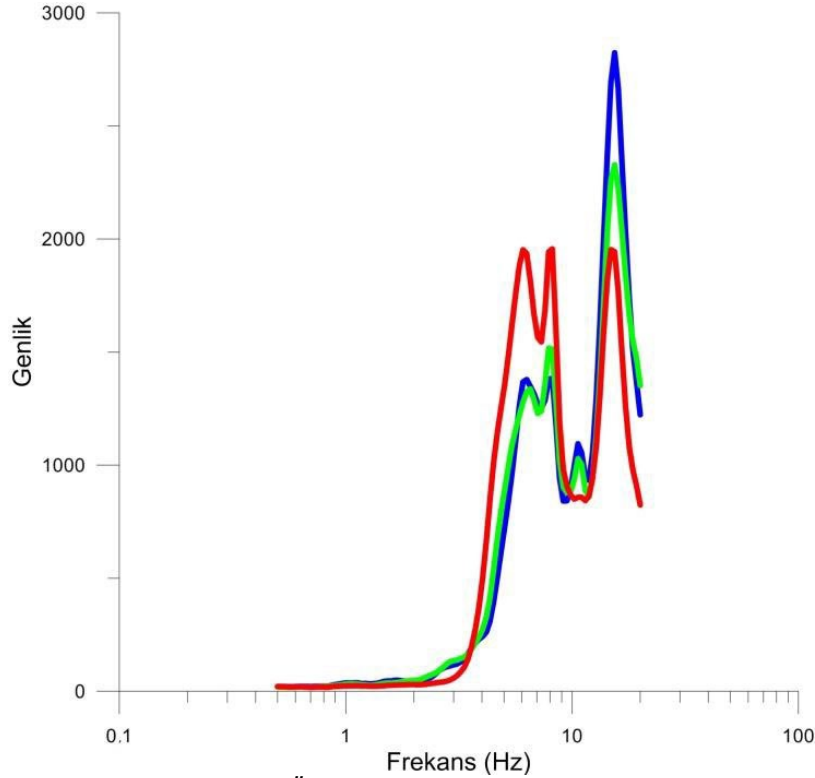
12'nci ölçüm noktasında gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 0.5-1.5 Hz, 3 Hz, 5.6 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 0.5-1.5 Hz, 3.5 Hz, 5-13 Hz olan genlik değerleri gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4.5 Hz; K-G bileşeninde 3-7 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4.5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 4.5 Hz; K-G bileşeninde 3-5 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4-6 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 10a). 13'üncü ölçüm noktasında gündüz alınan verinin H/V spektrumu incelendiğinde 0.5-1.5 Hz, 1.5- 5 Hz, 5-15 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin H/V spektrumunda ise frekansları 0.5-1.5 Hz, 3 Hz, 5-12 Hz olan genlik değerleri gözlenmiştir. Gündüz alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde düşey bileşende 4.7 Hz; K-G bileşeninde 2.5-7 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4.5 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür. Gece alınan verinin K-G, D-B ve Düşey bileşen spektrumları incelendiğinde ise düşey bileşende 2-4 Hz, 5 Hz; D-B bileşeninde ise 3 Hz, 4-6 Hz, 6-10 Hz frekanslarında yüksek genlikler görülmüştür (Şekil 10b).



Şekil 10: Üstte gündüz, altta gece olacak şekilde H/V spektrumları a) 12'nci ölçüm noktası, b) 13'üncü ölçüm noktası

Figure 10: H/V spectrums for the day on the top, and night at the bottom a) 12th measurement point, b) 13th measurement point

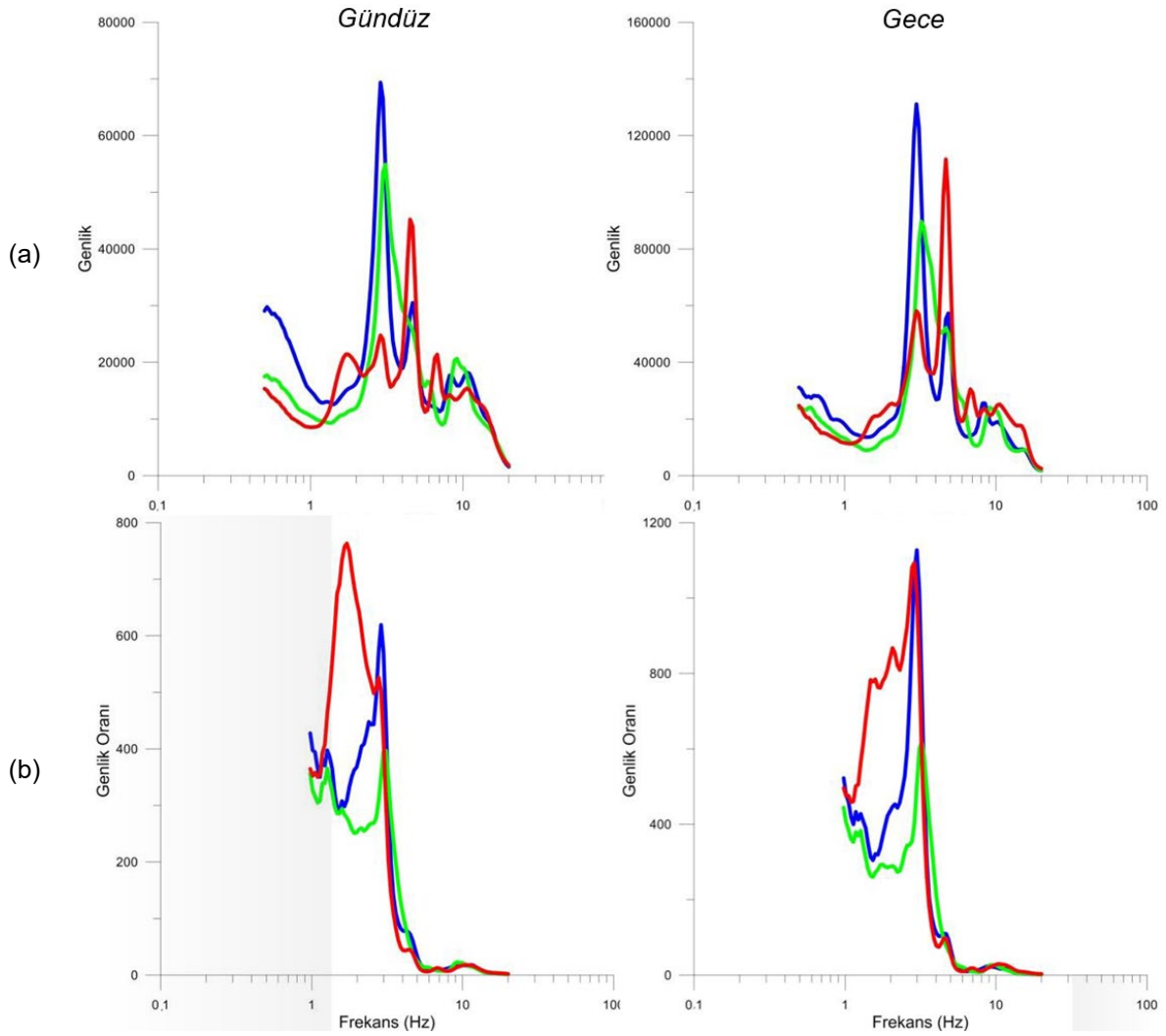
Elde edilen bulgularla civarda alınan ölçümlerin doğal frekansı karşılaştırılmıştır. Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde yapılan çalışmada zeminin frekansı 0.86 Hz ile 1.1 Hz arasında değişim göstermektedir. Yapı dayanımı ve periyodu araştırmalarında sıklıkla kullanılan mikrotremor yöntemine ait verilerden, zemin etkisinin giderilmesiyle elde edilen bulguların yorumlanması son yıllarda geniş uygulama alanı bulan bir yöntemdir (Warnana ve Utama 2011). Bu amaçla seçilen bir viyadük ayağına ait veriler bu yöntemle değerlendirilmiştir. Civarda alınan bu ölçümlerin çalışma alanına yakın olan ve zemin etkisinin en iyi gözlemlendiği trafik gürültüsüz ölçümden (Şekil 11) faydalanılarak, viyadük ayaklarında alınan ölçümlerdeki zemin etkisi elimine edilmiş ve trafiğin neden olduğu yapay titreşimler değerlendirilmiştir.



Şekil 11: Çalışma alanı yakınında, Ege Üniversitesi Rektörlüğü bahçesinde alınan verinin spektrumu (sırasıyla mavi: D-B, yeşil: K-G, kırmızı: Düşey bileşendir)

Figure 11: Spectrum of the data measured in the garden of Ege University Rectorate where is near the study area (blue, green and red colors are E-W, N-S, and Vertical components, respectively)

Bu işlem için viyadüğün 9 numaralı ayağında alınan ölçüm (Şekil 12a) seçilmiştir. Gece ve gündüz alınan ölçümlerde zeminin titreşim etkisi giderilerek sadece trafiğin neden olduğu titreşimlerin frekansları gözlenmiştir (Şekil 12b). Zemin etkisi giderilmiş veri incelendiğinde, her üç bileşenin aynı frekansta yüksek genlik verdiği gözlenmiştir.



Şekil 12: a) 9'uncu noktada gündüz ve gece alınan verilerin bileşen spektrumları, b) Veri üzerindeki zemin etkisinin elimine edilmiş bileşen spektrumları (sırasıyla mavi: D-B, yeşil: K-G, kırmızı: Düşey bileşendir)

Figure 12: a) Spectrum of the component of data measured at 9th point during day and night times, b) Spectra of the components of the eliminated background effect on the data (blue, green and red colors are E-W, N-S, and Vertical components, respectively)

Ayrıca çalışma alanı yakınlarındaki binaların hakim frekans değerleri literatürdeki temel kaynak çalışmalardan derlenen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan bağıntılar; (1), (2) ve (3) no'lu eşitliklerde verilmiştir:

- Gallipoli ve diğ. (2010) $T=0.016 \times H$ (1)

- Navarro ve diğ. (2002) $T=0.049 \times N$ (2)

- Eurocode 8 $T=0.075 \times H^{0.75}$ (3)

Bu bağıntılardaki T, yapının periyodunu; H, yapının yüksekliğini ve N ise yapıdaki kat sayısını ifade etmektedir. Yakın alandaki binaların ortalama 7 katlı olduğu ve kat yüksekliğinin yaklaşık 3 m olduğu kabul edilerek; (4), (5) ve (6) no'lu eşitliklere göre hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen frekans değerlerine göre, 7 katlı bir binanın hâkim frekansının ~3.0 Hz olduğu görülmektedir:

- Gallipoli ve diğ. (2010) $T=0.016 \times 21=0.336$ sn $F=2.98$ Hz (4)
- Navarro ve diğ. (2002) $T=0.049 \times 7=0.343$ sn $F=2.92$ Hz (5)
- Eurocode 8 $T=0.075 \times 7^{0.75}=0.323$ sn $F=3.1$ Hz (6)

Şekil 11’de verilen, zemin etkisinin giderilmiş olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, çalışma alanındaki trafik kaynaklı titreşimlerin frekans değerleri ile binanın hâkim frekansının yaklaşık değerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Bu durumda, binanın frekansı ile trafik kaynaklı titreşimin frekansının rezonansa girmesi ve ciddi zararlar oluşturması olasıdır. Bu nedenle bu tür yapılar için önlemler alınmalı ve yeni yapılacak binalar için bu etkenler göz önünde bulundurularak gerekli çalışmalar ve hesaplamalar ile güvenlik sınırlarına dikkat edilmelidir. Ayrıca rezonans riskinin önlenmesi için son yıllarda hasarsız yapı incelemelerinde sıklıkla kullanılan mikrotremor yönteminin binaların katlarında da uygulanması tercih edilmelidir: Bulguların, bu tür ölçümlerden elde edilecek sonuçlarla ve trafiğin neden olduğu titreşim etkileriyle karşılaştırılarak yapı zararlarının önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında toplanan veriler incelendiğinde, viyadüğün karayoluyla bağlantısına yakın ayaklarda, uzaktaki ayaklara göre daha düşük frekanslar gözlenmiştir. Bunun nedeni viyadüğün bitimindeki rampadan çıkan araçların eğimden dolayı daha fazla hız yapma gereksinimi duymaları ve viyadüğün bitimindeki ayakların boylarının diğerlerine göre daha kısa olmasından dolayı, kaynak-alıcı ilişkisine göre titreşimin daha kısa sürede, sönümlenmeden iletilmesine bağlanabilir. Gündüz, trafiğin yoğun olması ve bölgede bulunan metro hattının aktif olması nedeniyle gündüz ölçümlerinden elde edilen frekanslar gece ölçümlerinden elde edilen frekanslara göre daha düşüktür. Gece ölçümleri alınırken metro hattının aktif olmadığı saatler seçildiği için, bu ölçümlerde viyadüğün etkisi daha net gözlenmiştir. Nokta bazında bakıldığında genel olarak gece ölçümlerinden elde edilen frekanslar daha yüksek değere sahiptir fakat bazı noktalarda gece ve gündüz ölçüm frekansları birbirine çok yakın değerlerde de görülmüştür. Bu durum, viyadükten geçen araçların trafiğin yoğun olmamasından dolayı daha hızlı bir şekilde yol alması ve ağır vasıtaların gece saatlerinde, gündüz saatlerine göre daha fazla ve sık geçmesidir.

Çalışma alanının yakınlarındaki binaların da bu titreşimlerden etkilenmesi olasıdır. Binaların baskın frekansları ile trafik ve metronun oluşturduğu titreşimlerin frekansının değerleri birbirine yakın değerler olması durumunda yapılarda hasara neden olabilir. Böyle bölgelerdeki eski yapılar daha kısa bir zaman içerisinde etkilenebilir. Bina yapımında; geleneksel spektrum ve H/V yöntemlerinin yanı sıra, zemin etkisi giderilmiş sadece yapay kaynaklı titreşimlerin oluşturduğu verilerin de kullanılması yararlı olacaktır. Dolayısıyla, bütün olası riskler göz önünde bulundurularak önlem alınması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Nida ERDEM’in Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir. Tez süresince yapılan çalışmalara destek olan Sayın Zülfikar ERHAN’a, cihaz konusunda destek olan Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ne ve katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Altinok Y., Ersoy S., 2000. Tsunamis Observed on and Near the Turkish Coast, *Natural Hazards* 21, 185-205.

Altinok Y., Alpar B., Ozer N., Gazioglu C., 2005. 1881 and 1949 earthquakes at the Chios-Cesme Strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, 717-725.

Ates E., 2020. Comparison of Horizontal / Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya, *Turk. J. Earthq. Res.* 2(2), 160-175, Erişim adresi: <https://doi.org/10.46464/tdad.746926>

Bayrak Y., Bayrak E., 2012. An evaluation of earthquake hazard potential for different regions in Western Anatolia using the historical and instrumental earthquake data. *Pure and Applied Geophysics* 169(10), 1859-1873.

Bayrak E., Ozer C., Cakici H., Kocadagistan M.E., 2021. January 24, 2020 Sivrice (Turkey) earthquake (Mw6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Engineering Seismology Studies, *Turk. J. Earthq. Res.* 3(2), 125-148, Erişim adresi: <https://doi.org/10.46464/tdad.1003057>

DEÜ, 2017. 12 Haziran 2017, 15:28 TSİ) Mw=6.2 İzmir Karaburun, Ege Denizi) Depremi Değerlendirme Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Erişim adresi: [DEÜ Jeofizik](http://deu.jeofizik)

Dogan G.G., Annunziato A., Papadopoulos G.A., Guler H., Yalciner A.C., Cakir T., Sozdinler C., Ulutas E., Arikawa T., Suzen M.L., Guler I., Probst P., Kanoglu U., Synolakis C., 2019. The 20th July 2017, Mw = 6.6) Bodrum-Kos Tsunami Field Survey, *Pure and Applied Geophysics* 1-25.

Dogan G.G., Yalciner A.C., Yuksel Y., Ulutas E., Polat O., Guler I., Sahin C., Tarih A., Kanoglu U., 2021. The 30 October 2020 Aegean Sea Tsunami: Post-Event Field Survey Along Turkish Coast, *Pure and Applied Geophysics* 178, 785-812.

Erdem N., 2016. Karayolu Viyadüklerindeki Trafik Kaynaklı Titreşimlerin Analizi, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 88 s.

Eurocode 8, 2004. European Committee for Standardization, Design of structures for earthquake resistance, Part 1. General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Erişim adresi: [Eurocode-8](http://eurocode-8)

Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Sket-Motnikar B., Zupancic P., Gosar A., Prevolnik S., Herak M., Stipcevic J., Herak D., Milutinovic Z., Olumceva T., 2010. Empirical estimates of dynamic parameters on a large set of European buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering* 8(3), 593-607.

GEOPSY 2005. Geophysical signal database for noise array processing. Erişim adresi: www.geopsy.org

Kayan İ., 2000. İzmir Çevresinin Morfotektonik Birimleri ve Alüvyal Jeomorfolojisi. Batı-Anadolu'nun Depremelliği Sempozyumu (BADSEM) 2000 Bildiriler Kitabı, 103-111, İzmir.

Kıncal C., 2005. İzmir iç körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeoloji açısından değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi, İzmir, 372 s.

Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report of Railway Technology Research Institute* 30, 25-33.

Navarro M., Sanchez F.J., Fetiche M., Vidal F., Enomoto T., Iwatate T., Matsuda I., Maeda T., 2002. Statistical estimation for dynamic characteristics of existing buildings in Granada, Spain using microtremors. (In: Structural Dynamics, Eurodyn 2022, vol.1, Editors: Grundmann H., Schueller G.I, Balkema Publishers, Rotterdam-Holland, 853 p.), 807-812.

Üregel R.P., 2019. Structural and textural features of the Kavacık granite in Bornova Melange. MSc Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 73 p.

Warnana S.D.D., Utama T.W., 2011. Evaluation of buildings strength from microtremor analyses, *International Journal of Civil and Environmental Engineering* 11(05), 93-99.

Wathelet M., Chatelain J.-L., Cornou C., Di Giulio G., Guillier B., Ohrnberger M., Savvaidis A., 2020. Geopsy: A User-Friendly Open-Source Tool Set for Ambient Vibration Processing, *Seismological Research Letters* 91(3), 1878--1889, doi: 10.1785/0220190360.

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

Araştırma kapsamında kullanılan veri, lisansüstü tez çalışması kapsamında elde edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Araştırma kapsamında yer alan bulguların ve bilgilerin; herhangi bir kişi ve kurumla çıkar çatışması ya da ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): E.T.
- Literatür araştırması (*Literature research*): N.E.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): N.E., E.T.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): N.E., E.T.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): N.E.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): N.E., E.T.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): E.T.