



## Comparison of Horizontal/Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya

Erkan Ates<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara, Turkey  
ORCID: 0000-0002-5646-9778

### Keywords

Earthquake, Accelerometer, Microtremor, Dominant Frequency, Amplification

### Highlights

- \* Soil properties were investigated by using the Horizontal/Vertical Spectral Ratio method
- \* The dominant frequency and amplification values were determined using the HVSR method
- \* It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

### Acknowledgements

The earthquake data is provided from Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department. Microtremor measurements were taken within the scope of AFAD National Earthquake Research Program UDAP-G-15-04 project.

### Aim

In this study, The results of HVSR method of microtremor and earthquake records were compared.

### Location

City district of Amasya and 4 district centers

### Methods

The earthquake and microtremor records of Amasya center and 4 district centers were analyzed using the Horizontal / Vertical Spectral Ratio (HVSR) method.

### Results

It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

### Supporting Institutions

AFAD

### Manuscript

Research Article

Received: 02.06.2020

Revised: 24.11.2020

Accepted: 03.12.2020

Printed: 30.12.2020

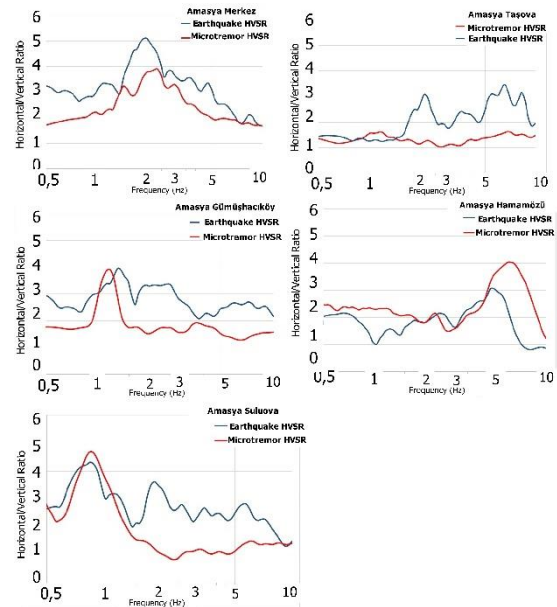
### DOI

10.46464/tdad.746926

### Corresponding Author

Erkan Ates

Email: erkan.ates@afad.gov.tr



Figure

Microtremor and earthquake data analysis results

### How to cite

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, <https://doi.org/10.46464/tdad.746926>



## Deprem ve Mikrotremor Kayıtları Kullanılarak Elde Edilen Yatay/Düşey Spektral Oranların Karşılaştırılması: Amasya Örneği

Erkan Ateş<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Çankaya 06800 Ankara, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-5646-9778

### ÖZET

Amasya ili merkezi ve 4 ilçe merkezinde bulunan ivmeölçer istasyonlarının kaydettiği deprem verileri ile zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınan mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran (HVSR) yöntemi analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında deprem ve mikrotremor verilerinin analizlerinden yatay/düşey oran sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Alüvyon kalınlığının yüksek olduğu Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarındaki sonuçlar (hâkim frekans ve büyütme) birbirine oldukça yakındır. Kayma dalga hızı daha yüksek olan Amasya merkez ve Hamamözü istasyonlarında ise büyütme ve hâkim frekans değerlerinde çok az farklılıklar bulunmaktadır. Yalnız Taşova istasyonunda yapılan mikrotremor analizinde net bir pik gözlenmemiştir. Yapılan çalışma sonucu mikrotremor ve deprem kayıtlarının yatay/düşey spektral oran yöntemi sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

### Anahtar kelimeler

Deprem, İvmeölçer, Mikrotremor, Hâkim Frekans, Büyütme

### Öne Çıkanlar

- \* Yatay/Düşey Spektral Oran yöntemi kullanılarak zemin özellikleri araştırılmıştır
- \* HVSR yöntemi kullanılarak hâkim frekans ve büyütme değerleri belirlenmiştir
- \* Deprem ve Mikrotremor kayıtlarının analizlerinin uyumlu olduğu görülmüştür

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.06.2020  
Düzeltilme: 24.12.2020  
Kabul: 03.12.2020  
Basım: 30.12.2020

### DOI

10.46464/tdad.746926

### Sorumlu yazar

Erkan Ateş  
Eposta:  
erkan.ates@afad.gov.tr

## Comparison of Horizontal/Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya

Erkan Ates<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara, Turkey  
ORCID: 0000-0002-5646-9778

### ABSTRACT

The earthquake data recorded by the accelerometer stations in the city district of Amasya and 4 district centers were compared with the horizontal / vertical spectral ratio (HVSR) method analysis of the microtremor records taken to determine the soil dynamic properties. When the results are compared, it is seen that the horizontal / vertical ratio results from the earthquake and microtremor data analysis are consistent with each other. The results (dominant frequency and amplification) at Suluova and Gümüşhacıköy stations where the alluvium thickness is high are very close to each other. At Amasya central and Hamamözü stations with higher shear wave velocities, there are very few differences in amplification and dominant frequency values. A clear peak was not observed in the microtremor analysis performed only at Tasova station. As a result of the study, it has been concluded that the results of the horizontal / vertical spectral ratio method of microtremor and earthquake records are compatible with each other.

### Keywords

Earthquake, Accelerometer, Microtremor, Dominant Frequency, Amplification

### Highlights

- \* Soil properties were investigated by using the Horizontal/Vertical Spectral Ratio method
- \* The dominant frequency and amplification values were determined using the HVSR method
- \* It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

### Manuscript

Research Article

Received: 02.06.2020  
Revised: 24.11.2020  
Accepted: 03.12.2020  
Printed: 30.12.2020

### DOI

10.46464/tdad.746926

### Corresponding Author

Erkan Ateş  
Email:  
erkan.ates@afad.gov.tr

## 1. GİRİŞ

Bir deprem meydana geldiğinde yeryüzündeki tabakalar fiziki özelliklerine göre az veya çok hissedecektir. Bazı tabakalar deprem dalgasının genliğini bazı frekanslarda artırırken bazı frekanslarda sönmeyecektir (Yalçınkaya 2010). Deprem dalgalarının zemin tabakalarını bu şekilde büyütülmesine zemin etkisi adı verilir. Bu etki genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden zemin büyütmesi olarak adlandırılmaktadır. Zayıf yer özelliklerine sahip alanlarda deprem hasarının büyük etkisi olduğu Kobe depreminin incelenmesiyle kanıtlanmıştır (Irikura 1996). Maksimum büyütmenin görüldüğü ilk hakim frekans ( $f_0$ ) aynı zamanda rezonans frekansı olarak da adlandırılır. Rezonans olayı etkileşim halindeki iki farklı titreşim frekansının çakışması durumudur.

Zemin büyütmesinin belirlemenin en etkili yöntemi deprem (ivmeölçer) kayıtlarının incelenmesidir. Ancak bunun için yeterli sayıda kuvvetli yer hareketi cihazı kurulması ve bu cihazların yeterli sayıda deprem kaydetmesi gerekmektedir. Zemin büyütmesini belirlenmenin bir yolu da mikrotremor kayıtlarının analiz edilmesidir. Depremlerin kayıtlarına uygulanan yatay/düşey spektral oran (EHV), kaynak ve yol etkilerini ortadan kaldırırken yerel alan etkileri hakkında bilgi verir (Langston 1977). Deprem kayıtlarına uygulanan yatay/düşey spektral oran (EHV) yönteminde deprem kayıtlarının S-dalgasının düşey bileşenin yer koşullarından etkilenmediği prensibiyle, yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşene oranlanması prensibine dayanır (Nakamura 1989, Lermo ve Chavez 1993).

Tek istasyon kullanılması, referans (anakaya) istasyon gerektirmediği için HVSR yönteminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Bonilla ve diğ. 1997, Gok ve diğ. 2014, Pamuk 2019). Bu yöntem ülkemizde de yaygın olarak kullanılmıştır; Yalçınkaya (2005) Bursa ilinde kurulan ivmeölçerler, Ateş ve Uyanık (2019) da Kocaeli ilinde kurulu bulunan ivmeölçerler ile kayıt edilen depremlere bu yöntemi uygulayarak zemin etkisini belirlemişlerdir. Ayrıca Özer (2019) Erzurum ilindeki ivmeölçer istasyonlarını, Perk ve Ozer (2019) Hatay ilinde bulunan ivmeölçer istasyonlarının kaydettiği bir adet deprem kaydını, Alcik (2018) Muğla ili Bodrum ilçesinde kurulu bulunan 5 adet ivmeölçer istasyonunun kaydettiği  $M_w=6.6$  Bodrum depremi ana şok ve artçı deprem kayıtlarını kullanarak yer tepkisini belirlemişlerdir.

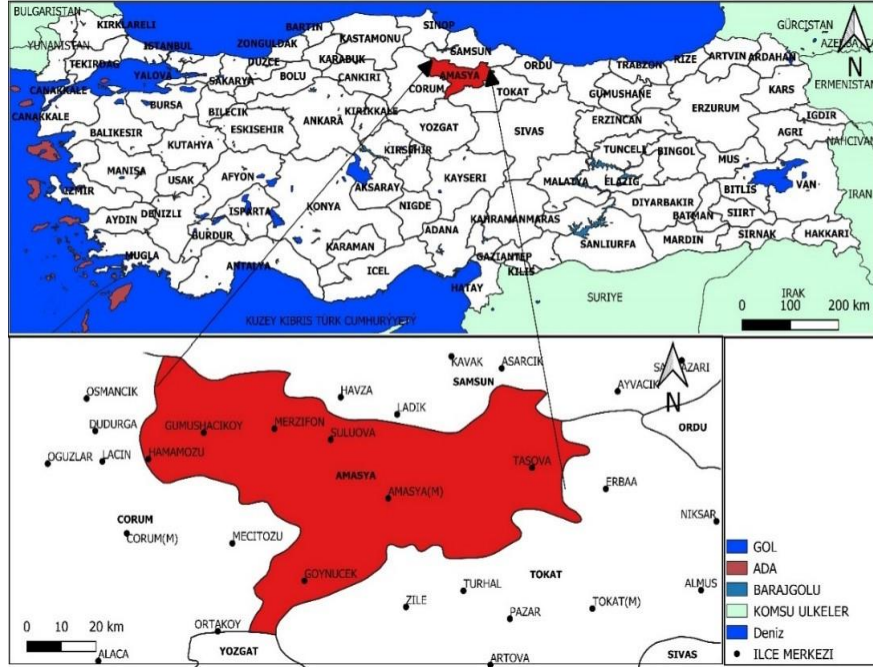
Mikrotremor ölçümleri kullanılarak yer etkisinin belirlenmesi son dönemde oldukça yaygınlaşmıştır. Mikrotremor ölçümlerine uygulanan yatay düşey spektral oran yönteminde, yatay bileşen spektrumları düşey bileşene oranlanır. Bu şekilde zemin hâkim periyodu ve zemin büyütmesi belirlenebilir. Ölçümlerin hızlı toplanması ve deprem meydana gelmeden zemin etkisinin belirlenmesi amacıyla zemin etütlerinde ve plana esas etüt çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Tunçel ve diğ. 2019, Livaoğlu 2015).

Amasya ili tarihte birçok depreme maruz kalmıştır. Günümüzde mevcut yerleşim alanlarının yetersiz kalmasından dolayı şehirler alüvyon alanlar üzerinde yayılmaktadır. Bu nedenle özellikle yerleşim alanlarının zemin özelliklerinin iyi araştırılması çok önemlidir. Amasya ilinde T.C İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilen 8 adet kuvvetli yer hareketi istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların tamamının zemin sınıflama çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışmamızda ivmeölçer istasyonları tarafından kayıt edilen gerçek deprem kayıtları ile CMG-6TD hızölçer cihazı ile alınan mikrotremor ölçümlerine yatay/düşey spektral oran (HVSR) yöntemi uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanımız olan Amasya ili; Orta Karadeniz Bölümünün iç kısmında yer almaktadır. Yüz ölçümü  $5701 \text{ km}^2$  olup nüfusu 2017 yılı sayımına göre 329.888 dir. 7 adet ilçesi bulunmaktadır. Nüfusunun %40'ı merkezde geri kalan %60 nüfusu ise ilçelerinde bulunmaktadır. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda ise çalışma konusu 5 ilçenin 475 yıllık

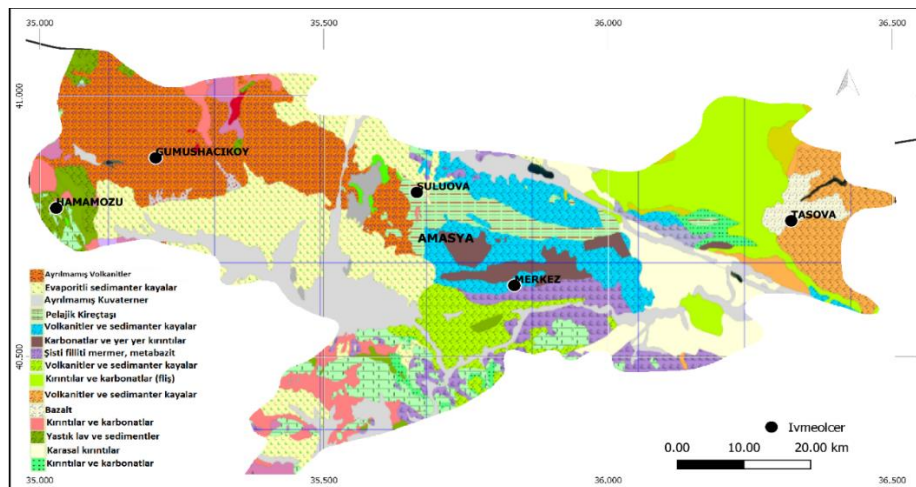
tekrarlama periyodunda en büyük yer ivmesi 0.4 g'den büyüktür (TDTH 2018). Bu durum Amasya ilindeki deprem tehlikesinin yüksek olduğunu göstermektedir.



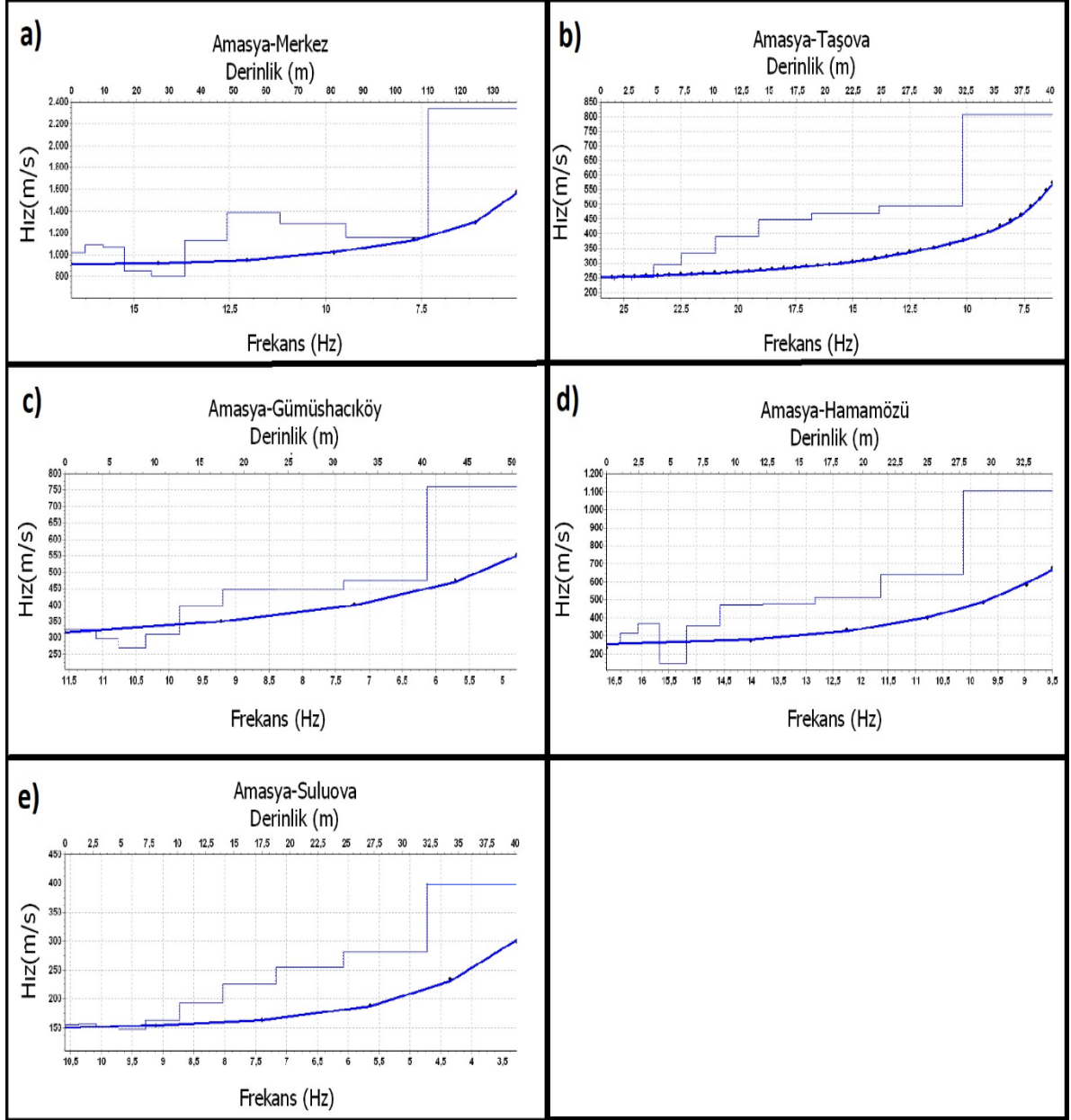
Şekil 1: Çalışma Alanı

## 2.1) Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Kayma Dalgası Hız Kesitleri

İstasyonların bulunduğu alanların MTA yer bilimleri portalından alınan genel jeoloji haritasına göre Amasya merkez istasyonu Neritik Kireçtaşı, Amasya Taşova istasyonu Karasal kırıntılar, Gümüşhacıköy ve Hamamözü istasyonları Sedimanter kayalar, Suluova istasyonu ise ayrılmış Kuvarterner üzerinde konumlanmıştır (Şekil 2) (Akbaş ve diğ. 2011).



Şekil 2: Amasya ilinin genel jeoloji haritası (Akbaş ve diğ. 2011)



Şekil 3: MASW Ölçümü sonuçları a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova (Kurtuluş ve diğ. 2020)

İstasyonların zemin sınıflarının belirlenebilmesi için yapılan yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) çalışmalarının sonuçları gösterilmiştir (Şekil 3). Yapılan ölçüm sonuçlarına göre Amasya merkez istasyonunun kayma dalga hızı yüksek olup istasyon yakınında yüzeylenmiş kaya birimleri mevcuttur. Gümüşhacıköy ve Suluova ilçelerinde bulunan istasyonların ilk 30 metre ortalama kayma dalga hızları ( $V_{s30}$ ) ise 360 m/s ve 200 m/s'dir. Bu iki istasyonda kayma dalga hızları düşüktür. Taşova ve Hamamözü istasyonlarının ölçüm sonuçlarına göre 15 metreden sonra kayma dalga hızlarında bir artış görülmektedir.

## 2.2) Tarihsel Depremler

Anadolu'daki en eski yerleşim yerlerinden biri olan Amasya, tarihte birçok depreme maruz kalmıştır. Bölgede hakkında detaylı bilgi edinilen ilk deprem 1579 yılına aittir. Çorum'da pek çok hasara neden olan bu deprem, Amasya'da da hasara sebep olmuştur (Ambraseys ve

Finkel 1995). 1598 yılında gerçekleşen bir diğer depremin de Amasya'da büyük hasara sebep olduğu Venedik kaynaklarında kayıtlara geçmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995). 17'nci yüzyılda da Amasya ve çevresinde birçok depremin meydana geldiği tarihi kayıtlarda yer almaktadır. 1647-1648 tarihleri arasında bölgede meydana gelen depremde Amasya'da Hacı Hamza Mescidi, Fethiye Camii ve Hilafet Gazi Medresesinin hasar gördüğü kayıtlara geçmiştir (Yaşar 1912-1928). Aynı yüzyılda bölgede meydana gelen en büyük deprem ise 16 Ağustos 1668 Depremidir. Bu depremde, etki alanı değerlendirmelerine göre Niksar-Bolu arasındaki Kuzey Anadolu Fayı tamamen kırılmıştır. Sultan Bayezid Camii'nin kubbeleri, minareleri, Amasya Kalesi'nin duvarları, kargir binalar, camilerin çoğunun kubbeleri ve Bedesten kısmen ya da tamamen yıkılmıştır (Yaşar 1912- 1928). 14 Eylül 1684 yılında gerçekleşen bir diğer depremde ise Amasya kentindeki taş binaların ve evlerin yıkıldığından bahsedilmektedir. Bunların yanı sıra Sultan Beyazıt Camii'nde de hasar olduğu kaydedilmiştir (Yaşar 1912-1928).

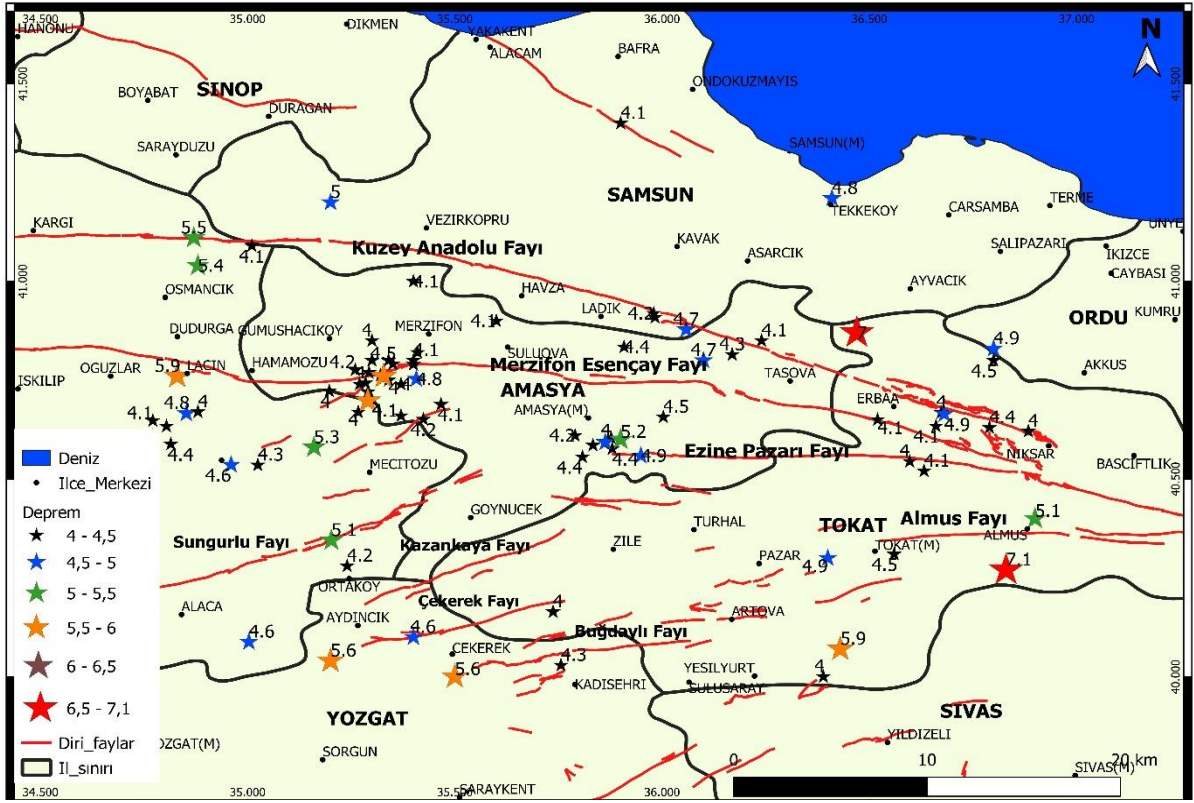
18'inci yüzyılda meydana gelen depremlerden 1734 depreminde, önceki depremlerde hasar almış harabe haldeki Beyler Sarayı tamamen yıkılmıştır (Yaşar 1912-1928). Vezirköprü ve Merzifon'u etkileyen 29 Ekim 1776 depreminde ise bu kentlerdeki kötü durumdaki binaların bir kısmı ile Amasya'da bulunan Ayşe hatun Türbesinin yıkıldığı rapor edilmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995). Yüzyılın sonunda Temmuz 1794'da meydana gelen depremde ise Çorum ve çevresi şiddetli olarak etkilenmiştir. Şehirdeki kamu binalarının çoğunluğu yıkılmış ve hasar görmüştür. Amasya ve Kargı çevresinin de kuvvetli etkilendiği belirtilmektedir (Ambraseys ve Finkel 1995).

### 2.3) Aletsel Dönem Meydana Gelen Depremler

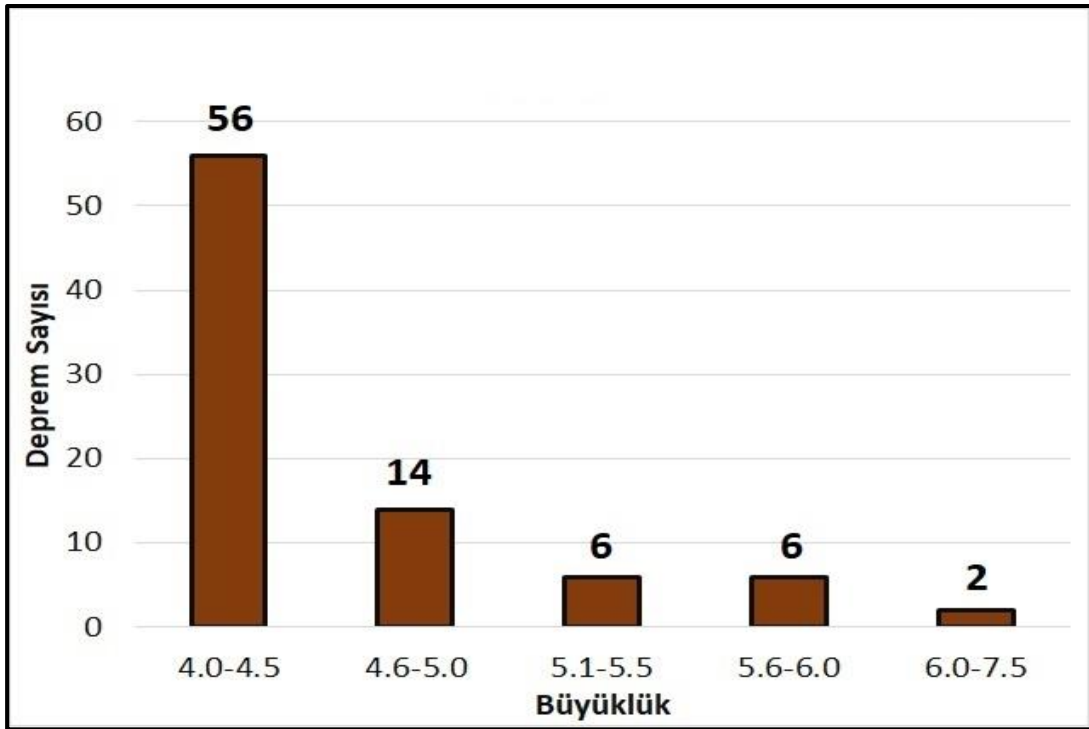
Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen  $M \geq 4.0$  84 depremin dağılımı Şekil 4'te, büyüklük-sayı grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir. Depremlerin genel olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu, Merzifon Esençay Fayı ve Ezine Pazarı fayı üzerinde gerçekleştiğini görülmektedir.

Bu depremler arasından magnitüdü 7'den büyük olan iki depremden ilki 1916 yılında meydana gelmiştir. Bu deprem hakkında kesin net bilgiler bulunmamaktadır. İkincisi ise 20 Aralık 1942 tarihinde yerel saat ile 17.03'te meydana gelen, merkez üssü Erbaa-Niksar hattı olan,  $M_s=7.0$  büyüklüğündeki depremdir. Bu deprem 1939'daki depremden daha fazla can ve mal kaybına sebep olmuş, Erbaa adeta haritadan silinmiştir. Depremde, Niksar'ın doğusu ile Erbaa kuzeyi arasında yaklaşık 50 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşurken büyük can ve mal kaybının olduğu Niksar'da da birkaç yapı ayakta kalabilmiştir (Eyidoğan ve diğ 1991).

Bölgede meydana gelen depremlerin 22 adeti 14.08.1996 tarihinde meydana gelen depremlerin artçılarıdır. Büyüklüğü 5.7 ve 5.6 olan iki deprem Mecitözü ve bağlı köylerde 2.606 konutta hasar meydana getirmiştir.



Şekil 4: Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen  $M \geq 4.0$  depremlerin dağılımı (AFAD 2020, Fay bilgisi Emre ve diğ. 2013)



Şekil 5: Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen  $M \geq 4.0$  depremlerin büyüklük – sayı grafiği (AFAD 2020)

### 3. YÖNTEM VE VERİ

#### 3.1) Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (HVSR)

Yöntem deprem ve mikrotremor kayıtlarında düşey bileşenin yerel jeolojiden etkilenmediği görüşüne göre yatay bileşenlerin genlik spektrumlarının düşey bileşen genlik spektrumuna oranlanması prensibine dayanır (Nakamura 1989; Lermo ve Chavez 1993). Bu şekilde zemin hâkim periyodu ve büyütme değerleri hesaplanabilir.

Yöntem deprem kayıtlarına ve mikrotremor kayıtlarına başarı ile uygulanmaktadır. Eşitlik 1'de gösterildiği üzere yatay bileşen spektrumlarının bileşkelerinin düşey bileşene oranlanarak zemine ait hâkim frekans ve büyütme değerleri bulunabilir.

$$St = Hy \div Vd \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen  $H_y$  yatay bileşen genlik spektrumlarının bileşkesini  $V_d$  düşey bileşen genlik spektrumunu  $S_t$  transfer fonksiyonunu göstermektedir.

#### 3.2) Mikrotremor Kayıtlarına Uygulanan HVSR Yöntemi

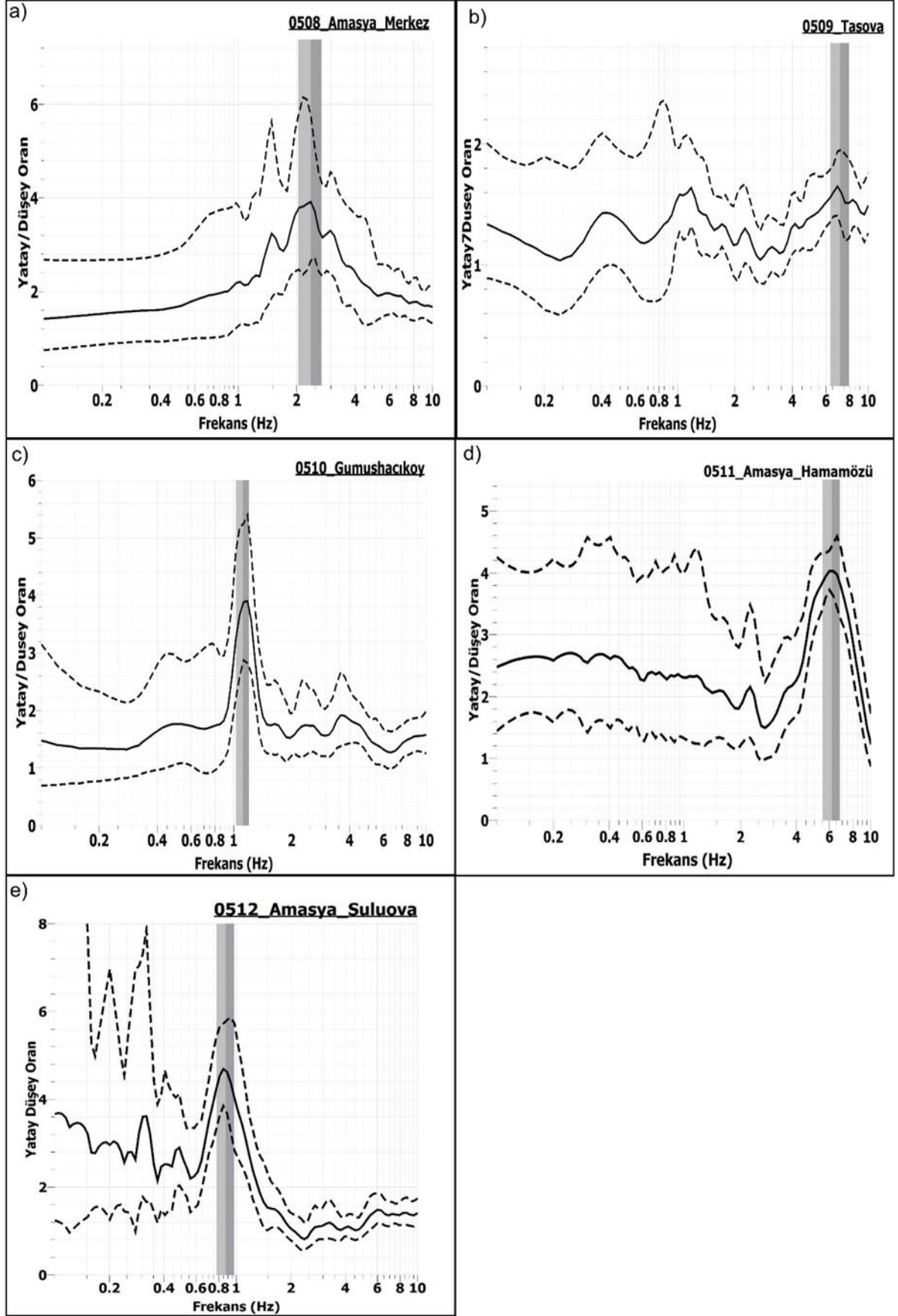
Mikrotremor verilerinin toplanmasında GÜRALP CMG 6TD hızölçer sismometre kullanılmıştır. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12 Volt pil kullanılmıştır. Ölçüm süreleri ise Amasya merkez istasyonunda arazide meydana gelen sorunlar nedeniyle kısa tutulmuş olup 17 dk, Taşova istasyonunda 50 dk, Hamamözü, Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarında ise 1 saat üzerinde mikrotremor kaydı saniyede 100 örnek olacak şekilde alınmıştır.

5 istasyonda toplanan veriler Geopsy programında değerlendirilmiştir (SESAME 2004). Verilerde trend analizi yapılmış, band geçişli filtre uygulanmış (0.1-25 Hz), veriye başından ve sonundan kosinüs törpü (%5) yapılmış ve uygun pencereler seçilmiş, 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. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde, SESAME kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre pencere boyu ( $f_0 > 10$  / pencere boyu), belirgin devirlerin sayısının (hâkim frekans, pencere sayısı ve pencere boyunun çarpımı) 200'den büyük olması,  $f_0$  (hakim frekans) değerinin 0.5 Hz'den büyük veya küçük olma durumu, H/V eğrisinin standart sapma değerlerinin belli değerlerden küçük olması kriterleri göz önüne alınmıştır. İstasyondan toplanan verilerin değerlendirmeleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Hamamözü, Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarında pencere boyu 25 sn, Amasya merkez ve Taşova istasyonunda ise seçilen 25 sn'lik pencere boyu sayısının yetersiz olması nedeniyle 10 sn olarak alınmıştır. Analizlerde kullanılan pencere boyları ve devir sayıları SESAME standartlarındadır.

İstasyonların mikrotremor analizlerinin sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Gümüşhacıköy ve Suluova ilçeleri geniş bir alüvyon tabakası üzerindedir. Alınan sonuçlar MASW sonuçları ile uyumludur. Yapılan analizlerde 2 istasyonda da 1 Hz civarında doruklar gözlenmiştir. Taşova istasyonunda ise mikrotremor analizlerinde net bir doruk görünmemektedir. Amasya Merkez istasyonunda ise 2.36 Hz de çok net bir doruk hesaplanmıştır. Amasya Hamamözü istasyonunda ise 6 Hz civarında bir doruk hesaplanmıştır.





Şekil 6: Mikrotremör ölçümü sonuçları a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova

### 3.3) Deprem kayıtlarına Uygulanan Yatay/Düşey Spektral Yöntemi (EHV) ve Analizde Kullanılan Depremler

Yapılan çalışmada 2015-2019 yılları arasında meydana gelen ve büyüklükleri 3.0 ile 4.9 arasında değişen 10 adet deprem kaydı kullanılmıştır (AFAD 2020). Depremlerin lokasyonları Şekil 8'de gösterilmiştir. Kullanılan depremler ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Analizlerde hangi istasyonlar için hangi depremlerin kullanıldığını ise Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan analizlerde Amasya ili çevresinde meydana gelmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Örnek bir deprem istasyonu kabini Şekil 7'de gösterilmiştir.

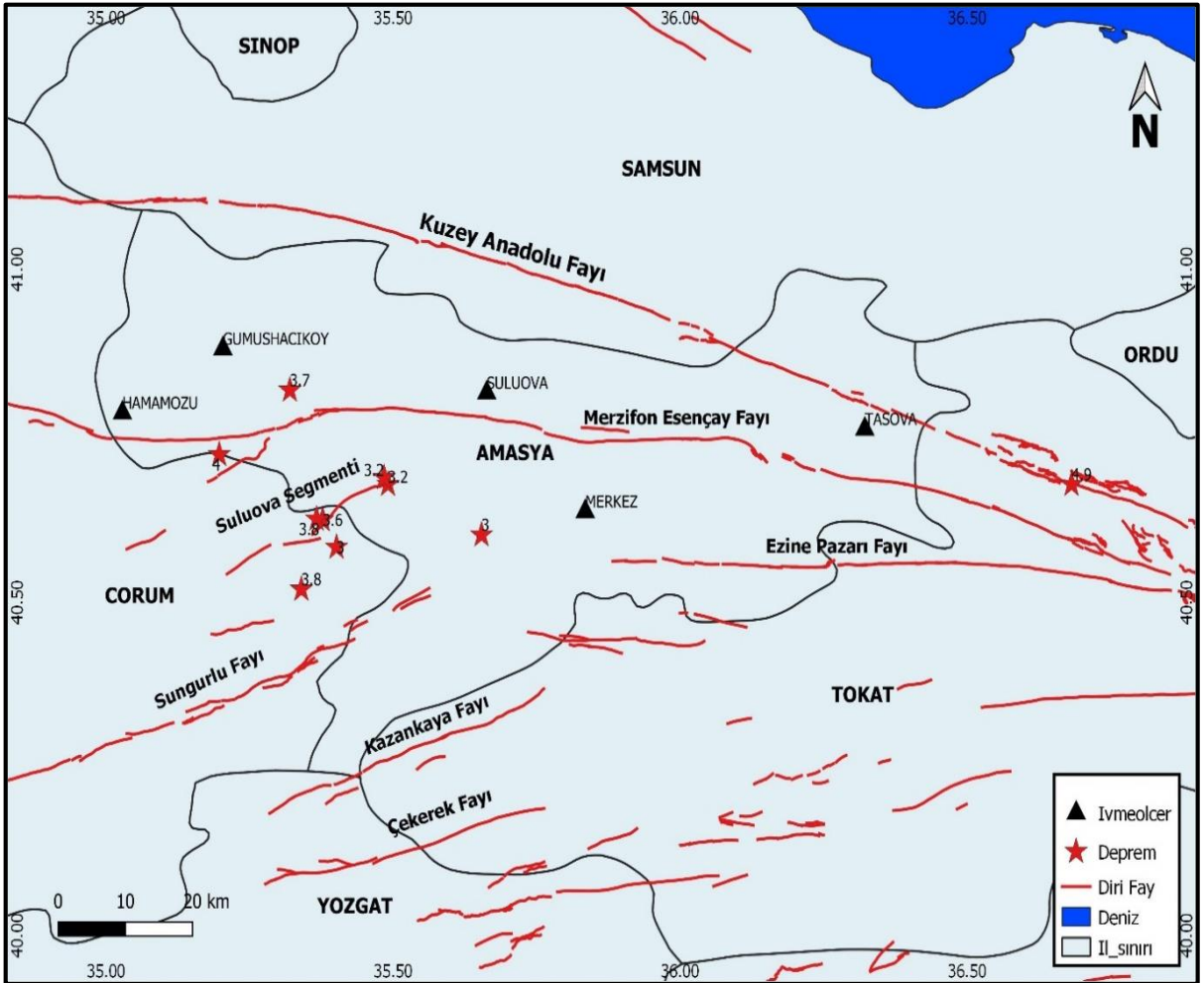
Kullanılan depremlerden hiçbiri hasar yapıcı değildir. En büyük kayıt Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen 4.9 büyüklüğündeki Erbaa depremidir. Bu depremin hasar kaydı bulunmamakla birlikte deprem merkez üssünde ve çevre illerde hissedilmiştir. Analizde kullanılan diğer depremlerin büyük bir kısmı Suluova parçası üzerinde meydana gelmiş küçük depremlerdir. İki deprem ise Merzifon-Esençay Fayı ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 7: Kuvvetli yer hareketi istasyon kabini

Tablo 1: Analizde kullanılan depremler (AFAD)

No	Tarih	Boylam	Enlem	Derinlik	Büyüklik
1	09-10-2015	36.6820	40.6778	21	4.9 (M <sub>w</sub> )
2	20-07-2018	35.4910	40.6778	7	3.2 (M <sub>w</sub> )
3	18-10-2018	35.1970	40.7225	11	4.0 (M <sub>w</sub> )
4	19-03-2019	35.3200	40.8193	11	3.7 (M <sub>w</sub> )
5	28-03-2019	35.4841	40.6881	13	3.2 (M <sub>l</sub> )
6	28-05-2019	35.6540	40.6020	14	3.0 (M <sub>l</sub> )
7	13-07-2017	35.3401	40.5203	13	3.8 (M <sub>w</sub> )
8	11-09-2019	35.3773	40.6245	8	3.6 (M <sub>w</sub> )
9	12-01-2017	35.4013	40.5835	11	3.0 (M <sub>l</sub> )
10	11-09-2019	35.3666	40.6258	11	3.8 (M <sub>w</sub> )



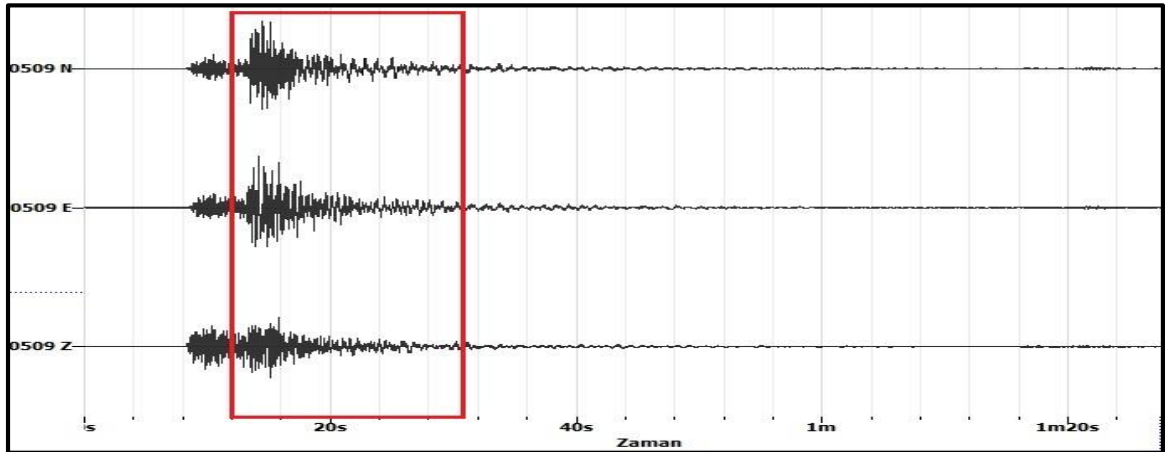
Şekil 8: Analizde kullanılan depremler

Tablo 2: İstasyonların kullanıldığı depremler

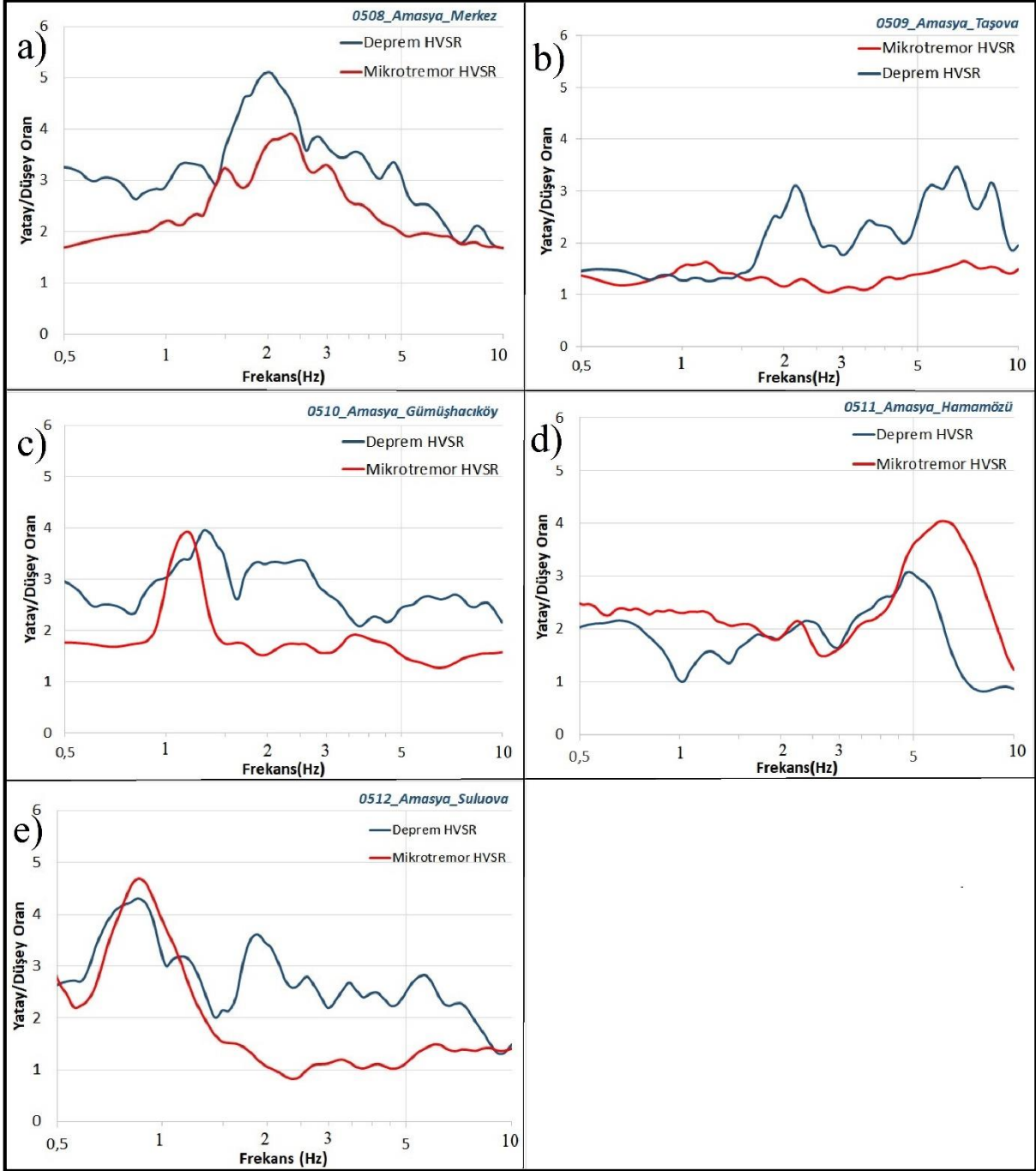
Tarih	Büyükük	Merkez	Taşova	Gümüşhacıköy	Hamamözü	Suluova
09-10-2015	4.9 ( $M_w$ )	X	X	X		
12-01-2017	3.2 ( $M_w$ )			X		
13-07-2017	4.0 ( $M_w$ )	X			X	X
20-07-2018	3.7 ( $M_w$ )				X	X
18-10-2018	3.2 ( $M_l$ )	X			X	
19-03-2019	3.0 ( $M_l$ )	X	X			X
28-03-2019	3.8 ( $M_w$ )	X	X	X		
28-05-2019	3.6 ( $M_w$ )	X				X
11-09-2019	3.0 ( $M_l$ )			X		
11.09.2019	3.8 ( $M_w$ )				X	
Kullanılan deprem sayısı		6	3	4	3	6

Amasya merkez ve 4 ilçesinde bulunan ivmeölçer cihazlarının kaydettiği deprem verilerinin S dalgasına, yatay düşey spektral oran yöntemi uygulanmıştır. İlçelerde bulunan deprem gözlem istasyonları 3 farklı markaya (Guralp 5TD, GMSPLUS, SARA SA10) aittir. Verilerin örnekleme aralığı saniyede 100 örnek olacak şekilde ayarlanmıştır. Zemin hâkim frekansının ve büyütmenin belirlenebilmesi için deprem kaydının yalnızca S dalga fazı kullanılmıştır. Her istasyon için minimum 3 deprem kaydı kullanılmış olup, S dalga fazının 2 sn önünden başlayarak tüm fazı içine alacak şekilde toplam 20 sn'lik kısım kullanılmıştır. Deprem dalgasının S dalga fazına 0.1-25 Hz bant geçişli filtre uygulanmış, veri baş ve sonundan kosinüs törpü (%5) yapılmış ve 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.

S dalgasının seçilmesindeki pencere boyları için 5 sn (4 pencere), 10 sn (2 pencere) ve 20 sn'lik (1 pencere) pencereler denenmiş ve en uygun olanın 5 sn'lik 4 pencerenin ortalamasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Örnek olarak Taşova istasyonunda kaydedilen ve analizde kullanılan depremlerden 1 adet kayıt ve seçilen S fazı (seçili pencere) örnek olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Analizlerde kullanılan Taşova istasyonuna ait bir kayıt (Kırmızı ile işaretlenen bölge seçilen S dalgasını göstermektedir.)



Şekil 10: Deprem ve mikrotremör ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova

#### 4. BULGULAR

5 adet istasyonun kaydettiği deprem kayıtlarının ve istasyonların mikrotremör ölçümlerinin yatay/düşey spektral oran yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmeler Tablo 3 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Vs-derinlik kesitlerine bakılarak alüvyon kalınlığı fazla olan Gümüşhacıköy ve Suluova istasyonlarında mikrotremör ve deprem kayıtları sonuçları birbirlerine çok yakındır. Bu durum yöntemin özellikle alüvyon ve yüksek empedans farkı gösteren sahalarda net bir doruk oluşturmaktadır tezini doğrulamaktadır.

Tablo 3'te görüleceği üzere hâkim frekanslarda en yüksek fark Hamamözü istasyonunda yakalanmıştır. İki farklı veri kullanılarak benzer sonuçlara bu istasyonda da ulaşılmıştır. Bu istasyonun Vs-derinlik kesitlerine bakıldığında kayma dalgası hız değişiminin 20 metreden sonra arttığı görülmüştür.

Amasya merkezde bulunan deprem istasyonunun ölçüm sonuçlarına bakıldığında baskın hâkim frekanslarda benzerlikler yakalanırken büyütme değerlerinde küçükte olsa bir farklılık gözlenmiştir.

Taşova istasyonunda ise deprem ve mikrotremor sonuçları uyumsuzdur. Mikrotremor sonuçlarında net bir pik görülmemiş ancak deprem kayıtlarının analizinde 2 Hz ve 6 Hz de pikler görülmüştür. Bu istasyonun MASW yöntemiyle elde edilen Vs-derinlik kesitleri incelendiğinde 15 m ye kadar kayma dalga hızı düşük devam etmesine rağmen derinlere inildikçe kayma dalga hızı artmış 30 metre sonra 800 m/s hıza ulaşmıştır. Bu sahalarda deprem kayıtlarının analizleri veya diğer jeofizik yöntemler kullanılabilir (SESAME 2004).

Tablo 3: Deprem ve mikrotremor analizi sonuçları

İlçe	f0 (Mikrotremor)	f0 (Deprem)	Büyütme (Mikrotremor)	Büyütme (Deprem)
Merkez	2.4	2.0	4.0	5.1
Taşova	--	6.6	--	3.5
Gümüşhacıköy	1.2	1.3	3.9	4.0
Hamamözü	6.1	5.0	4.0	3.1
Suluova	0.8	0.8	4.7	4.3

## 5. SONUÇLAR

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda ise çalışma konusu 5 ilçenin tümünde ivme değeri 0.4 g'nin üzerindedir. Deprem tehlikesi yüksek olan yapılaşmaya açık alanlarda, mühendislik yapılarının dinamik yükler altında rezonans (yapı ile zeminin doğal periyodunun örtüşmesi) etki göstermemesi için zemin hâkim titreşim periyotları dikkate alınmalıdır.

Deprem kayıtları ve mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında 5 istasyondan 4 tanesinde hâkim frekans ve büyütme değerinde yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. Özellikle çok kalın alüvyon sahalarda kurulu bulunan Gümüşhacıköy ve Suluova istasyonlarında deprem ve mikrotremor analizleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir bu ilçelerde zemin hâkim frekansı 0.8 Hz ile 1.2 Hz arasında ve büyütme değerleri yaklaşık 4 kattır.

Kayma dalga hızları daha yüksek olan Hamamözü ve Amasya merkez istasyonlarında ise iki farklı veri ile yapılan analizlerin sonuçları birbirine çok yakındır. Büyütme değerlerinde ise anormal bir fark bulunmamaktadır.

Yalnızca Taşova istasyonunda bir uyum gözlenememiştir. Bu istasyonunun mikrotremor kayıtlarının analizlerinde çok net bir pik gözlenmemiştir. Mikrotremor ölçümünün sonuç vermediği bu tip sahalarda deprem kayıtlarının analizi veya diğer jeofizik yöntemler kullanılabilir.

Deprem ve mikrotremor kayıtlarına uygulanan HVSR sonuçları karşılaştırıldığında uyumlu oldukları görülmektedir. Elde edilen sonuçlar çalışmanın ilk sonuçlar olup istasyonlar daha fazla deprem kaydı aldığıında çalışma güncellenecektir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan mikrotremor ölçümleri AFAD Ulusal Deprem Araştırma Programı UDAP-G-15-04 projesi kapsamında alınmıştır. Ölçümlerin alınması sırasında görevli Jeofizik Mühendislerine, deprem verilerinin kaydedilmesi ve arşivlenmesini sağlayan Deprem Dairesi Personellerine, olumlu eleştirileri ile çalışmaya katkı koyan hakemlere ve çevirideki katkıları için kuzenim Burcu KOÇ ve arkadaşım Selim SEZER'e değerli zamanlarını bu çalışma için paylaştıkları için eşim Gülten ve oğlum ÇINAR'a sonsuz teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

AFAD, 2020. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH), Ankara.

Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr>

Akbaş B., Akdeniz N., Aksay A., Altun İ.E., Balcı V., Bilginer E., Bilgiç T., Duru M., Ercan T., Gedik İ., Günay Y., Güven İ.H., Hakyemez H.Y., Konak N., Papak İ., Pehlivan Ş., Sevin M., Şenel M., Tarhan N., Turhan N., Türkecan A., Ulu Ü., Uğuz M.F., Yurtsever A. ve diğerleri, 2011. Turkey Geology Map, General Directorate of Mineral Reserach and Exploration Publications. Ankara-Turkey.

Erişim adresi: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>

Alcik H., 2018. Investigation of local site responses at the Bodrum peninsula (southwest of Turkey) using the mainshock and aftershocks of the 20 July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos earthquake, *Annals of Geophysics* 61(3), SE339.

Ambraseys N.N., Finkel C., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas. A historical review 1500-1800, Eren Yayınları, İstanbul.

Ateş E., Uyanık O., 2019. Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 23, 46-60.

Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J., 1997. Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site effect estimation using S-wave, coda, and H/V methods, *Bulletin of the Seismological Society of America* 87, 710-730.

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Elmaci H., Olgun S., Saroglu F., 2013. 1/1.250.000 scaled Turkey active fault map, General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication

Eyidoğan H., Güçlü U., Utku Z., Değirmenci E., 1991. Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988), İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Gok E., Chavez-Garcia F.J., Polat O., 2014. Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 229, 88-97.

Irikura K., Iwata T., Sekiguchi H., Pitarka A., 1996. Lessons from the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake: why where such destructive motions generated to buildings?, *Journal of Natural Disaster Science* 17(2), 99-127.

- Kurtulus C., Sertcelik F., Sertcelik I., Kuru T., Tekin K., Ates E., Apak A., Kokbudak D., Sezer S., Yalcin D., 2020. Determination of site characterization in Turkey strong motion recording stations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35(4), 1829-1846.
- Langston C.A., 1977. Corvallis, Oregon, crustal and upper mantle receiver structure from teleseismic P and S waves, *Bulletin of the Seismological Society of America* 67, 713-724.
- Lermo J., Chavez G.F.J., 1993. Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station, *Bulletin Seismological Society of America* 83,1574–1594.
- Livaoğlu H., 2015. Kocaeli-Gölcük-Değirmendere Bölgesi için Zemin Hakim Frekansı-Sediman Kalınlığı İlişkisinin ve Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Kocaeli.
- Nakamura Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute* 30(1), 25-33.
- Özer C., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması, *DEU FMD* 21(61), 247-257.
- Pamuk E., 2019. Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern Anatolian region, *Turkey, Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 60 (4), 549-568.
- Perk S., Ozer C., 2019. İvme-Ölçer istasyonları altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye, *Turkish Journal of Earthquake Research* 1 (2), 167-179.
- SESAME, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Measurements Processing and Interpretation, European Research Project.
- TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- Yalçınkaya E., 2005. BYT-Net (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi* 7(2), 75-86.
- Yalçınkaya E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli, *Jeofizik Bülteni* 63,77-80.
- Yaşar H.H., 1912-1928. Amasya tarihi, 4 cilt, Necm-i İstikbal Matbaası, İstanbul, 846 p.
- Tuncel A., Ozdag O.C., Pamuk E., Akgun M., 2019. Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34(1), 43-52.