



January 24, 2020 Sivrice (Turkey) Earthquake (M_w 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Microtremor Studies

Erdem Bayrak^{1,2}, Caglar Ozer^{1,2}, Hamit Cakici³ and Mustafa Engin Kocadagistan⁴

¹ Ataturk University, Earthquake Research Centre, Erzurum, Turkey

² Ataturk University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Erzurum, Turkey

³ Ataturk University, Pasinler Vocational College, Department of Architecture and Urban Planning, Erzurum, Turkey

⁴ Ataturk University, Engineering Faculty, Departments of Metallurgical and Materials Engineering, Erzurum, Turkey

ORCID: 0000-0001-9907-1463, 0000-0001-5401-2013, 0000-0003-1743-676X, 0000-0001-6298-0348

Keywords

Ground-Motion Prediction Equations, Microtremor, Vulnerability Index, V_s30 , Sivrice Earthquake

Highlights

* The ground motion prediction equations in the literature have been compared using the strong ground motion records of the Sivrice earthquake

* The damage in Sivrice district is less than expected is related to the local soil condition

* It has been calculated that the riskiest soil is the Elazig City Center according to the shear deformation values

Acknowledgements

We would like to thank Atatürk University Rectorate for providing logistics and support to ATA-DAM in the field study carried out on 25.01.2020 for the examination of structural damages in the earthquake area, and AFAD Earthquake Department, which provided earthquake location information and data online in this study. The fault information has been digitized from the MTA drawing editor. Microtremor measurements were analyzed using Geopsy software.

Aim

The V_s30 , vulnerability index and plastic-elastoplastic values were obtained with the help of empirical relations using the period and amplification values. Also, different ground-motion prediction equations were compared with the observed peak ground acceleration values.

Location

Elazig-Turkey

Methods

Ground-Motion Prediction Equations and Microtremor

Results

The highest vulnerability index was obtained in Elazig Center and the lowest value was observed in Sivrice

Supporting Institutions

Ataturk University

How to cite

Bayrak E., Ozer C., Cakici H., Kocadagistan M.E., 2021. January 24, 2020 Sivrice (Turkey) earthquake (M_w 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Engineering Seismology Studies, Turk. J. Earthq. Res. 3 (2), 125-148, <https://doi.org/10.46464/tdad.1003057>

Manuscript

Research Article

Received: 30.09.2021

Revised: 04.11.2021

Accepted: 15.11.2021

Printed: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1003057

Corresponding Author

Erdem Bayrak

Email: erdembayrak@atauni.edu.tr



Figure
The damaged structure and Microtremor measurement



24 Ocak 2020 Sivrice (Türkiye) Depremi (Mw 6.8): Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Değerlendirilmesi ve Mikrotremor Çalışmaları

Erdem Bayrak^{1,2}, Çağlar Özer^{1,2}, Hamit Çakıcı³ ve Mustafa Engin Kocadağistan⁴

¹ Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

³ Atatürk Üniversitesi, Pasinler Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Erzurum, Türkiye

⁴ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
ORCID: 0000-0001-9907-1463, 0000-0001-5401-2013, 0000-0003-1743-676X, 0000-0001-6298-0348

ÖZET

Doğu Anadolu Fay Zonu'nda (DAFZ) 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen M_w 6.8 büyüklüğündeki deprem can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Yapısal hasarların zemin açısından araştırılması amacı ile üç farklı hasar gören yapının çevresinde mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen zeminin frekans ve büyütme faktörleri kullanılarak ampirik bağıntılar yardımıyla V_s30 , hasar görebilirlik indisi (Kg) ve zemin deformasyon tahmini gibi parametreler elde edilmiştir. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin hâkim frekans ve büyütme faktörü değerleri Kesrik, Elazığ ve Sivrice için sırasıyla ~ 1.75 Hz; ~ 0.55 Hz ve ~ 1.4 Hz olarak elde edilirken büyütme faktörü değerleri ise ~ 5.1 , ~ 4.2 ve ~ 2.3 olarak hesaplanmıştır. En yüksek hasar görebilirlik indisi Elazığ Merkez'de en düşük değer ise Sivrice'de elde edilmiştir. Ayrıca gözlenen en büyük yer ivmesi değerleri ile beş farklı yer hareketi tahmin denklemi karşılaştırılmış ve en iyi uyum sağlayan model belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Yer Hareketi Tahmini, Mikrotremor, Hasar İndeksi, V_s30 , Sivrice depremi

Öne Çıkanlar

- * Sivrice depremine ait kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak literatürde kullanılan yer hareketi tahmin denklemleri karşılaştırılmıştır
- * Sivrice ilçesindeki hasarın beklenenden az olması yerel zemin koşulları ile ilişkilidir
- * Kayma şekil değiştirme değerlerine göre en riskli zeminin Elazığ Merkez olduğu hesaplanmıştır

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.09.2021

Düzeltilme: 04.11.2021

Kabul: 15.11.2021

Basım: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1003057

Sorumlu yazar

Erdem Bayrak

Eposta:

erdembayrak@atauni.edu.tr

January 24, 2020 Sivrice (Turkey) Earthquake (Mw 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Microtremor Studies

Erdem Bayrak^{1,2}, Çağlar Özer^{1,2}, Hamit Çakıcı³ and Mustafa Engin Kocadağistan⁴

¹ Ataturk University, Earthquake Research Centre, Erzurum, Turkey

² Ataturk University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Erzurum, Turkey

³ Ataturk University, Pasinler Vocational College, Department of Architecture and Urban Planning, Erzurum, Turkey

⁴ Ataturk University, Engineering Faculty, Departments of Metallurgical and Materials Engineering, Erzurum, Turkey

ORCID: 0000-0001-9907-1463, 0000-0001-5401-2013, 0000-0003-1743-676X, 0000-0001-6298-0348

ABSTRACT

The M_w 6.8 January 24, 2020, earthquake has occurred on the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ) caused loss of life and property. Microtremor measurements have been applied near three different damaged buildings to investigate structural damages in terms of soil features. The parameters such as V_s30 , vulnerability index, and soil deformation estimation are obtained with the help of empirical relations using the soil dominant frequency and soil amplification factors calculated as a result of these survey measurements. The soil dominant frequencies have been obtained as ~ 1.75 Hz; ~ 0.55 Hz and ~ 1.4 Hz while the amplification factor values have been calculated as ~ 5.1 , ~ 4.2 , and ~ 2.3 for Kesrik, Elazığ, and Sivrice; respectively. The highest vulnerability index is obtained in Elazığ City center and the lowest value is observed in Sivrice. In addition, five different ground-motion prediction equations are compared with the observed peak ground acceleration values, and the best fitted model has been determined.

Keywords

Ground-Motion Prediction Equations, Microtremor, Vulnerability Index, V_s30 , Sivrice Earthquake

Highlights

- * The ground motion prediction equations in the literature have been compared using the strong ground motion records of the Sivrice earthquake
- * The damage in Sivrice district is less than expected is related to the local soil condition
- * It has been calculated that the riskiest soil is the Elazığ City Center according to the shear deformation values

Manuscript

Research Article

Received: 30.09.2021

Revised: 04.11.2021

Accepted: 15.11.2021

Printed: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1003057

Corresponding Author

Erdem Bayrak

Email:

erdembayrak@atauni.edu.tr

1. GİRİŞ

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından rapor edilen bilgilere göre Elazığ ili Sivrice ilçesi Çevrimtaş Köyünde moment magnitudü (M_w) 6.8 olan bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem sonrası 1000'i aşkın yapı hafif, orta ve ağır düzeyde hasar almış olup, 41 kişi yaşamını yitirmiş ve yaklaşık 1500 kişi hafif ve orta derecede yaralanmıştır. 42 il merkezinde hissedilen Sivrice depreminde en büyük yer ivmesi 0.29 g ile 2308 kodlu AFAD-Sivrice istasyonunda kaydedilmiştir (TADAS 2020). 24 Ocak'tan sonraki bir yıllık periyotta yaklaşık 6.000 artçı deprem meydana gelmiş olup, fay kinematik çözümleri bu depremin sol yönlü doğrultu atımlı fay tarafından karakterize edildiğini göstermektedir (AFAD 2020, Jamalreyhani ve diğ. 2020, Gallovic ve diğ. 2020, Taymaz ve diğ. 2021).

Sivrice depremi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'ndan (KAFZ) sonra Anadolu'nun en büyük ikinci yanal atımlı fay zonu olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde meydana gelmiştir. DAFZ, yaklaşık 550 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atımlı fay karakteristiğine sahip olup altı ana parçadan oluşmaktadır (Şaroğlu ve diğ. 1992). Bu parçalar KKD'dan (Karlıova) GGB yönüne (Türkoğlu) doğru sırasıyla; Bingöl-Karlıova, Hazar-Palu, Sincik-Hazar (bu parça iki alt bölümden oluşur), Gölbaşı-Çelikhhan, Türkoğlu-Gölbaşı ve Antakya-Türkoğlu parçalarıdır (Şaroğlu ve diğ. 1992, Duman ve Emre 2013). Sivrice depremi Hazar-Sincik parçasının Pütürge alt bölümü üzerinde meydana gelmiştir (Duman ve Emre, 2013, AFAD 2020).

Hazar-Sincik parçasının üzerinde yer alan Hazar Gölü Havzası (HGH); 5 km genişliğinde 32 km uzunluğunda KD-GB doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı faylar tarafından yönetilen çek ayır bir havzadır (Burchfiel ve Stewart 1966, Hempton ve Dunne 1984, Aksoy ve diğ. 2007). Moreno ve diğ. (2011) HGH'nin gelişmiş bir çek-ayır havzasını temsil ettiğini, Palu ve Sincik arasındaki fay parçalarının daha büyük depremler üretebileceğini belirtmiştir.

Cetin ve diğ. (2003) yürüttükleri paleosismoloji çalışmasında Hazar-Palu parçasının 7.1 ile 7.7 büyüklüğü arasında deprem üretme potansiyelinin 100 (± 35 yıl) ile 360 (± 35 yıl) yıl arasında değiştiğini iddia etmişlerdir. Nalbant ve diğ. (2002) Coulomb gerilme analizi ile Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gerilme değişimini modelleyerek Sivrice depreminin meydana geldiği alanda gerilmenin arttığını ortaya koymuştur. Sertcelik (2012) Hazar-Sincik parçasındaki soğrulma değerlerinin DAFZ ortalamasına göre yüksek olduğunu belirtmiştir. Bayrak ve diğ. (2015) Doğu Anadolu Fay Zonu'nu bölgelere ayırarak yapmış olduğu olasılıksal deprem tehlike analizinde bölgedeki deprem tehlikesinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ozer ve diğ. (2019) Hazar-Sincik parçasının bulunduğu alanda düşük P- dalga hızları rapor etmişlerdir. Coban ve Sayil (2020) yapmış oldukları çalışmada farklı istatistiksel dağılım modellerini kullanarak bölge için kısa zaman periyodunda bir depremin ($M_w \geq 5.5$) olma olasılığının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, deprem tehlike değerlendirme çalışmalarının birden çok istatistiksel dağılım modeli ile yapılmasının daha tutarlı sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Pousse-Beltran ve diğ. (2020) uydu verileri kullanarak Sivrice depreminin yüzey kırığı davranışlarını inceleyerek 1893 (7.1) ve 1905 (6.9) Malatya depremlerinin karakteristiğinin tam olarak açıklığa kavuşturulmadığını vurgulamışlardır. Hubert-Ferrari ve diğ. (2020) Hazar Gölü'nün son 3800 yılda defalarca önemli sismik sarsıntılara maruz kaldığını ve bu dönem içinde yaklaşık 190 yıllık bir geri dönüş periyoduna sahip olduğunu elde etmişlerdir. Jamalreyhani ve diğ. (2020) Sivrice depreminin ve artçı sarsıntılarının Pütürge parçasının en batı ucunu yaklaşık 30 km'lik bir zonda kirdiğini ve bu zonda gerilme yüklemesinden dolayı benzer büyüklükteki depremlerin gelecekte meydana geleceğini iddia etmişlerdir. Zülfikar (2020) Sivrice depremi için yer hareketi parametreleri ile ivme kayıtlarını karşılaştırarak ASK14 (Abrahamson ve diğ. 2014) denkleminin en uygun denklem olduğunu belirtmiştir. Coulomb gerilme hesaplamaları sonucunda Sivrice depreminin Pütürge ve Palu parçasının batı kısımlarında gerilme seviyesini arttırdığı farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Cheloni ve Akinci 2020, Dogru ve diğ. 2021, Taymaz ve diğ. 2021). Xu ve diğ. (2020) Sivrice depreminin DAFZ'nin kilitle bir alanında meydana geldiği için sismik aktiviteyi arttırdığını ve halen sismik boşlukta bulunan iki kırılmamış parçanın gelecekte tehlikeli olabileceğini

belirtmişlerdir. Ragon ve diğ. (2021) Sivrice depreminin Küresel Konumlama Uydu Sistemleri (KKUS) verileri kullanılarak yürüttükleri çalışmada Palu parçasının sismojenik olduğunu göstermişlerdir. Ozer (2021) Sivrice depremi sonrasında yeraltındaki P- dalga hızlarının (V_p) ve V_p/V_s oranlarının değiştiğini belirtmiştir. Şahin ve Öksüm (2021) 2007-2019 yılları arasında kayıt edilen depremlerin Hazar-Sincik fayı üzerinde soğurulmanın arttığını tespit etmişlerdir. Cetin ve diğ. (2021) Sivrice depremi sonrasında yaptıkları saha gözlemlerinde kaya düşmesi, sıvılaşma kaynaklı kum kaynamaları ve yüzey çatlakları gözlemlenmiştir. Tüm yapılan bu çalışmalar halen DAFZ'nin ve Hazar-Sincik parçasının sismik tehlikesinin yüksek olduğunu ve gelecekte yakın büyüklükteki depremlerin tekrarlanabileceğini göstermektedir. Bu çalışmalar bölgede yapılacak mühendislik çalışmalarının önemli olduğunu göstermektedir.

Sivrice depreminden bir gün sonra 25 Ocak 2020 tarihinde Atatürk Üniversitesi yerbilimcilerinden oluşan ekip Elazığ ve çevresinde yüzey gözlemleri ve mühendislik çalışmaları yürütmüştür. Elazığ ve çevresinde ağır hasar gören/yıkılan üç yapının çevresinde tek istasyon mikrotremor yöntemi ile oluşan hasarlarda zemin etkisinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu ölçümler sonucunda zemin hakim frekans ve büyütme faktörü değerleri kullanılarak ampirik bağıntılar yardımıyla en üst 30m'deki zemin tabakalarının ortalama kesme dalgası hızı (V_{s30}), hasar görülebilirlik indisi (K_g) ve zeminin plastik-elastoplastik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca farklı zemin sınıflarına göre 38 adet kuvvetli yer hareketi istasyon verileri ile beş farklı yer hareketi tahmin denklemi karşılaştırılmıştır.

2. VERİ

Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak hesaplanan en büyük yer ivmesi değerleri (PGA) ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen PGA değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaç için 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen depremde kaydedilen kuvvetli yer hareketi verileri elde edilmiştir (TADAS 2020). Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait bilgiler, kaydedilen en büyük yer ivmesi değerleri ve ana şoka olan episantr uzaklıkları Tablo 1'de verilmiştir. En düşük V_{s30} değeri 376 m/sn ile 6304 nolu istasyona ait iken en yüksek V_{s30} değeri ise 1380 m/sn ile 4404 nolu istasyona aittir. İstasyonların deprem episantrına olan uzaklıkları ise 24 km ile 150 km arasında değişmekte olup, en yakın istasyon 2308 nolu Sivrice istasyonudur. Kaydedilen en yüksek ivme değeri ise 0.29 g ile deprem episantrına en yakın konumda olan Sivrice istasyonunda olduğu rapor edilmiştir.

Ayrıca anaşok meydana geldikten bir gün sonra Elazığ şehir merkezi ile Kesrik mahallesi ve Sivrice ilçelerinde ağır hasar almış/yıkılmış üç yapı çevresinde Güralp marka CMG-6TD tipi sensör kullanılarak mikrotremor ölçüsü alınmıştır (Şekil 1a-d). Ölçümlerin süresi en az 40 dk. olup örnekleme aralığı ise 100 Hz olarak belirlenmiştir. Mikrotremor ölçümleri sırasında en büyüğü 4.1 olan çokça artçı sarsıntı kaydedilmiştir (Şekil 1e). Şekil 2'de ise mikrotremor ölçüm noktaları ve çalışmada kullanılan kuvvetli yer hareketi istasyonları gösterilmiştir.

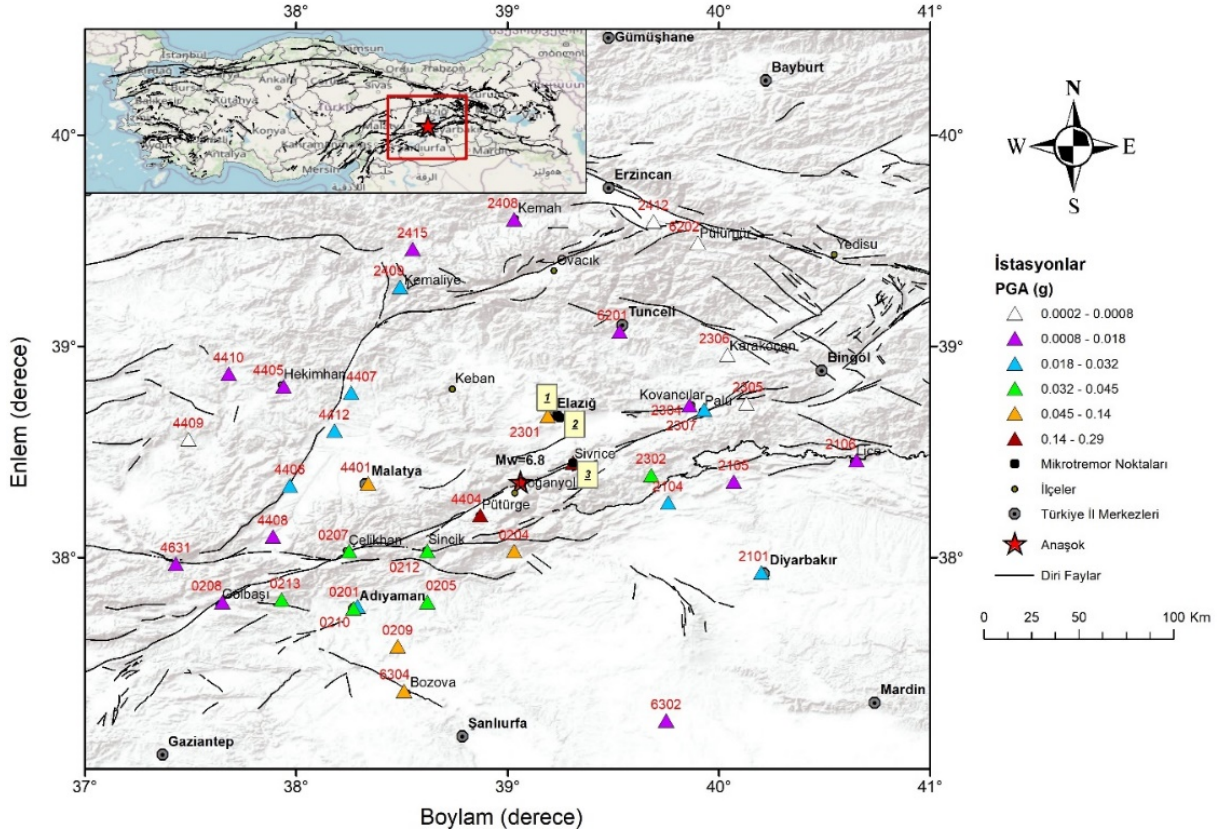
Tablo 1: 24 Ocak 2020 Sivrice depremi kuvvetli yer hareketi kayıt bilgileri (TADAS 2020)

No	Kod	İl	İlçe	PGA (g)	R_{epi} (km)	V_{s30} (m/sn)
1	2308	Elazığ	Sivrice	0.29	23.81	450
2	4404	Malatya	Pütürge	0.24	24.55	1380
3	2301	Elazığ	Merkez	0.14	36.39	407
4	0204	Adıyaman	Gerger	0.11	36.81	555
5	0212	Adıyaman	Sincik	0.046	53.21	-
6	2302	Elazığ	Maden	0.034	53.51	907
7	2104	Diyarbakır	Ergani	0.027	61.64	-
8	4401	Malatya	Merkez	0.087	63.04	481
9	0205	Adıyaman	Kâhta	0.042	74.25	660
10	0207	Adıyaman	Çelikhan	0.033	80.00	660
11	2304	Elazığ	Kovancılar	0.014	80.36	489
12	4412	Malatya	Yazıhan	0.022	80.96	-
13	4407	Malatya	Arguvan	0.032	83.78	735
14	2307	Elazığ	Palu	0.021	84.35	329
15	2105	Diyarbakır	Dicle	0.011	87.92	-
16	6201	Tunceli	Merkez	0.012	89.46	-
17	0210	Adıyaman	Merkez	0.028	94.63	-
18	4406	Malatya	Akçadağ	0.024	95.00	815
19	0201	Adıyaman	Merkez	0.045	96.30	391
20	0209	Adıyaman	Samsat	0.073	100.72	-
21	2305	Elazığ	Beyhan	0.004	101.52	907
22	4408	Malatya	Doğanşehir	0.016	106.78	654
23	2306	Elazığ	Karakocan	0.005	107.88	663
24	4405	Malatya	Hekimhan	0.012	109.79	579
25	2101	Diyarbakır	Bağlar	0.027	110.47	519
26	2409	Erzincan	Kemaliye	0.021	113.82	875
27	0213	Adıyaman	Tut	0.036	117.29	-
28	6304	Ş.Urfa	Bozova	0.079	120.63	376
29	2415	Erzincan	İliç	0.013	130.16	444
30	4410	Malatya	Kuluncak	0.016	132.83	-
31	2408	Erzincan	Kemah	0.017	138.19	416
32	2106	Diyarbakır	Lice	0.011	138.48	-
33	4409	Malatya	Darende	0.008	138.71	-
34	0208	Adıyaman	Gölbaşı	0.018	138.88	469
35	6302	Ş.Urfa	Viranşehir	0.017	138.94	936
36	6202	Tunceli	Pülümür	0.008	144.69	-
37	2412	Erzincan	Çağlayan	0.002	147.42	955
38	4631	K.Maraş	Nurhak	0.015	149.50	543

* (-) ile gösterilen istasyonlar için V_{s30} bilgisi bulunmamaktadır



Şekil 1: Mikrotremor ölçümlerinin alındığı alanlar ve örnek veri a) Kesrik Köyü kerpiç ev (kırmızı kesik çizgili alanda 2010 Kovancılar depremi sonra alınan amatör tedbirlere bir örnektir), b) Elazığ İl Merkezinde deprem yönetmeliklerine uygun dizayn edilmeyen bir yapı, c) Sivrice Merkez Cami, d) Hasar gören alanlarda mikrotremor çalışmaları, e) Örnek mikrotremor kayıtları. Sarı kesikli çizgiler magnitudü 3'ten küçük artçı sarsıntıları gösterirken, beyaz kesikli çizgi magnitudü M_w 4.1 olan depremi temsil etmektedir.



Şekil 2: Çalışmada kullanılan ivme istasyonları ve mikrotremor ölçülerinin lokasyonları. Üçgenler çalışmada kullanılan ivme istasyonlarının lokasyonunu göstermekte olup, renklendirmesi kaydedilen en büyük ivme değerine (PGA) göre yapılmıştır.

3. YÖNTEM

3.1) Yer Hareketi Tahmin Denklemleri (YHTD)

Bir bölgede depremin etkisini belirlemek için yaygın olarak yer hareketi denklemleri kullanılmaktadır (Campbell 2003). Yıllardır farklı araştırmacılar depremlerin ve zeminlerin özelliklerini kullanarak YHTD geliştirmişlerdir (örneğin Campbell 1997, Sadıgh ve diğ. 1997, Kalkan ve Gulkan 2004, Boore ve Atkinson 2008, Akkar ve Bommer 2010, Akkar ve diğ. 2014, Campbell ve Bozorgnia 2014, Graizer ve Kalkan 2015). Bu çalışma kapsamında Kalkan ve Gulkan (2004), Sadıgh ve diğ. (1997), Ambraseys ve diğ. (1996), Akkar ve Bommer (2010) ve Akkar ve diğ. (2014) denklemleri kullanılmıştır.

3.1.1) Kalkan ve Gulkan (2004) Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Kalkan ve Gulkan (2004) Türkiye’de 1976-2003 yılları arasında meydana gelen 57 adet depreme ait 112 kuvvetli yer hareketi kaydını kullanarak denklem 1’i elde etmiştir:

$$\ln Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln \left(\frac{V_s}{V_A} \right) \quad (1)$$

Denklemden, Y: yer hareketi parametresini (en büyük yer ivmesi), M: magnitüdü, $b_1=0.393$, $b_2=0.576$, $b_3=-0.107$, $b_4=-0.899$, $b_v=-0.2$, $V_A=1112$, $V_s=S$ dalgası hızı ve r ise depremden çalışma alanına olan hiposantr uzaklığını $((r_{epi}^2 + h^2)^{1/2})$ ifade etmektedir. V_A değeri gerçek olmayan bir hız değeri olup regresyon sonucunda belirlenmiş bir değerdir (Kalkan ve Gulkan

2004). Kalkan ve Gulkan (2004), bu denklemin magnitudü 4.0 ile 7.4 arasında olan depremlerde maksimum 250 km mesafe için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

3.1.2) Sadigh ve diğ. (1997) Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Sadigh ve diğ. (1997), Kaliforniya'da meydana gelen depremleri kullanarak iki farklı zemin sınıfı için farklı denklemler önermişlerdir. Bu denklemler magnitudü 4'ten büyük depremler için ve maksimum 200 km uzaklık için kullanılabilir. Sağlam zeminler için denklem 2 önerilmektedir:

$$\ln y = C_1 + C_2 M + C_3 (8.5 - M)^{2.5} + C_4 \ln(r_{rup} + \exp(C_5 + C_6 M)) + C_7 \ln(r_{rup} + 2) \quad (2)$$

Denklemden, $C_1=-1.92$, $C_2=1.11$, $C_3=0$, $C_4=-2.1$, $C_5=-0.4845$, $C_6=0.524$, $C_7=0$.

Daha gevşek zeminler için ise denklem 3 önerilmiştir:

$$\ln y = C_1 + C_2 M - C_3 \ln(r_{rup} + C_4 e^{C_5 M}) + C_6 + C_7 (8.5 - M)^{2.5} \quad (3)$$

Denklemden, M =magnitudü, r_{rup} hiposantr uzaklığını $((r^2+h^2)^{1/2})$, $C_1=-2.17$, $C_2=1$, $C_3=-1.7$, $C_4=0.3825$, $C_5=0.5882$, $C_6=0$, $C_7=0$ ifade etmektedir.

3.1.3) Ambraseys ve diğ. (1996) Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Ambraseys ve diğ. (1996), Avrupa ve civarında meydana gelen depremleri kullanarak bir denklem geliştirmiştir. Bu bağıntı (Denklem 4) magnitudü $4.0 < M_s < 7.5$ olan depremler ve maksimum 200 km uzaklık için kullanılabilir:

$$\log y = C_1 + C_2 M + C_4 \log r_{rup} + C_A S_A + C_S S_S \quad (4)$$

Denklemden, M =magnitudü, r_{rup} hiposantr uzaklığını $((r^2+h^2)^{1/2})$, $C_1=-1.48$, $C_2=0.266$, $C_4=-0.922$, $C_A=0.117$, $C_S=0.124$ ifade etmektedir.

Denklemden bulunan S_A ve S_S ise zemin sınıfına göre aşağıda gösterildiği gibi farklı değerler almaktadır.

$V_s > 750$ m/s, $S_A=0$, $S_S=0$,
 $360 < V_s \leq 750$ m/s, $S_A=1$, $S_S=0$,
 $180 < V_s \leq 360$ m/s, $S_A=0$, $S_S=1$,
 $V_s \leq 180$ m/s, $S_A=0$, $S_S=1$.

3.1.4) Akkar ve Bommer (2010) Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Akkar ve Bommer (2010), çoğunluğu Avrupa ve civarında meydana gelen magnitudü 5.0 ile 7.6 arasında değişen 131 adet depreme ait 532 kuvvetli yer hareketi kaydı kullanarak denklem 5'te gösterilen bağıntıyı geliştirmiştir:

$$\log y = b_1 + b_2 + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R_{jb}^2 + b_6^2} + b_7 S_S + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R \quad (5)$$

Denklemden, $b_1=1.04159$, $b_2=0.91333$, $b_3= -0.08140$, $b_4= -2.92728$, $b_5=0.28120$, $b_6=7.86638$, $b_7=0.08753$, $b_8=0.01527$, $b_9=-0.04189$, $b_{10}=0.08015$, R_{jb} Joyner-Boore uzaklığını ve M ise magnitudü ifade etmektedir. F_N ve F_R katsayıları farklı fay türlerine göre aşağıdaki gibi değer almaktadır;

Normal faylar için: $F_N=1, F_R=0$

Ters faylar için: $F_N=0, F_R=1$

Doğrultu atımlı faylar için: $F_N=0, F_R=0$.

S_S ve S_A katsayıları ise farklı zemin sınıflarına göre aşağıdaki gibi değer almaktadır;

Zayıf Zemin: $S_S=1, S_A=0$

Sağlam Zemin: $S_S=1, S_A=0$

Ana Kaya: $S_S=0, S_A=0$.

3.1.5) Akkar ve diğ. (2014) Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Akkar ve diğ. (2014), daha önce Avrupa'da yapılmış olan yer hareketi tahmin denklemlerine (Ambraseys ve diğ. 1996, Akkar ve Bommer 2010, Bommer ve diğ. 2003) daha fazla veri ekleyerek güvenilir bir ilişki geliştirmiştir. Özellikle yeni formda V_{S30} hızının eklenmesi ve magnitüd aralığının genişletilmesi ile modelin kullanım aralığı da arttırılmıştır. Akkar ve diğ. (2014) tarafından hazırlanan yer hareketi tahmini denklem 6-8'de verilmektedir:

$$\ln(Y) = \ln[Y_{REF}(M_w, R, SoF)] + \ln[S(V_{S30}, PGA_{REF})] + \varepsilon\sigma \quad (6)$$

Denklemde,

$$\ln(Y_{REF}) = \begin{cases} a_1 + a_1(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 + [a_4 + a_5(M_w - c_1)] \ln(\sqrt{R^2 + a_6^2}) + \\ a_8 F_N + a_9 F_R & M_w \leq c_1 \text{ için} \\ a_1 + a_7(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 + [a_4 + a_5(M_w - c_1)] \ln(\sqrt{R^2 + a_6^2}) + \\ a_8 F_N + a_9 F_R & M_w > c_1 \text{ için} \end{cases} \quad (7)$$

$$\ln(S) = \begin{cases} b_1 \ln\left(\frac{V_{S30}}{V_{REF}}\right) + b_2 \ln\left[\frac{PGA_{REF} + c(V_{S30}/V_{REF})^n}{(PGA_{REF} + c)(V_{S30}/V_{REF})^n}\right] & V_{S30} \leq V_{REF} \text{ için} \\ b_1 \ln\left[\frac{\min(V_{S30}, V_{CON})}{V_{REF}}\right] & V_{S30} > V_{REF} \text{ için} \end{cases} \quad (8)$$

Denklemde, c_1 magnitüd için kritik bir değer olan 6.75 olarak kullanılmaktadır. V_{REF} ve V_{CON} ise sırasıyla 750 ve 1000 m/sn olarak verilmiştir. PGA_{REF} ise denklem 7 ile verilen referans yer hareketi modelinden hesaplanmaktadır.

Denklem katsayıları ise, $a_1=2.52977$, $a_2=0.0029$, $a_3=-0.05496$, $a_4=-1.31001$, $a_5=0.2529$, $a_6=7.5$, $a_7=-0.5096$, $a_8=-0.1091$, $a_9=0.0937$, $b_1=-0.41997$, $b_2=-0.28846$, $c_1=6.75$, $c=2.5$, $n=3.2$ ve $\sigma=0.7312$ 'dir. Bu denklem için ivme değerleri hesaplanırken Akkar ve diğ. (2014) tarafından sunulan Excel dosyası kullanılmıştır.

3.2) Tek İstasyon Mikrotremor (Nakamura) Yöntemi

Bu yöntem, mikrotremorlerin yüzeye yakın kaynaklardan gelen titreşimlerden oluştuğunu varsaymaktadır (Nakamura 1989; 2019). Bu yöntemde göre titreşimlerin düşey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmemesine rağmen yatay bileşenler yer altı tabakalarının yoğunluk ve hızlarına bağlı olarak değişimlerden büyük oranda etkilenmektedir. Bu motivasyon ile denklem 9'da görüldüğü gibi yatay bileşen spektrumunun düşey bileşen spektrumuna oranlanması ile zemine ait dinamik özellikler elde edilebilir (Nakamura 1989; 2019).

$$HVSr = \sqrt{(NS^2) + (EW^2)} / V \quad (9)$$

Denklemden, NS, EW ve V sırasıyla Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve düşey bileşenin genlik spektrumunu ifade etmektedir.

Zemin ve yapı periyodunu belirlemek için tek istasyon mikrotremor yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma alanına ait zemin hâkim frekans ($1/T$) ve büyütme faktörü (A) değerleri Nakamura yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Nakamura 1989; 2019). Düşük zemin hâkim frekans değerlerinde elde edilen zemin büyütme faktörü değerleri gevşek zeminler ile yüksek frekanslardaki büyütme faktörü kompakt birimler ile ilişkilendirilmektedir (Borcherdt ve diğ. 1991, Park ve diğ. 1999, Louie 2001, Okada 2003, Pamuk ve diğ. 2017, Subasi ve diğ. 2019).

Bu çalışmada mikrotremor verileri değerlendirilirken veri işlem aşamasında bant geçişli filtre (0.05-20 Hz) ve %5 işleçli kosinüs törpü uygulanmıştır. En az 25 sn'lik pencereler kullanılarak en az 12 pencere seçilmiştir. Hesaplanan spektrumlarda b- katsayısı 40 olarak belirlenmiş ve Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır (Konno ve Ohmachi 1998).

Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) tekniği hem gürültü kaydı hem de deprem kaydı kullanılarak hesaplanabilmektedir (Lermo ve Chavez-Garcia 1993, Bonilla ve diğ. 1997, Yalcinkaya ve Alptekin 2005, Parolai 2012, Ozer 2019, Pamuk ve Ozer 2020, Aydın ve diğ. 2021). Bu yöntem genellikle kuvvetli yer hareketi istasyonlarının bulunduğu lokasyonların zemin dinamik özelliklerini ortaya çıkarmak için tercih edilmektedir. Hesaplamalar uygulanırken S-dalga genliğinden birkaç saniye öncesinden deprem kaydının bitişine kadar tek pencere kullanılarak hesaplamalar yapılır. Daha sonra aynı istasyona ait HVSR eğrilerinin ortalaması alınarak ilgili lokasyonu temsil edecek tek bir eğri elde edilir. Bu çalışmada Sivrice ilçesinde mikrotremor çalışmaları sürdürülürken birçok artçı şok da kaydedilmiştir. Sivrice ilçesinde yürütülen mikrotremor ölçümleri sırasında kaydedilen deprem kayıtları kullanılarak zemin hâkim frekans ($1/T$) ve büyütme faktörü (A) değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle Sivrice'deki ölçüm noktası için gürültü ve deprem kayıtları kullanılarak elde edilebilen parametreler farklı teknikler ile değerlendirilerek karşılaştırılmıştır.

3.2.1) Ampirik V_{s30} değerleri

Nakamura yöntemi ile belirlenen zemin hakim frekans ve büyütme faktörü kullanılarak ölçüm alınan noktalara ait V_{s30} değerini hesaplamak için Stanko ve Markusic (2020) tarafından geliştirilen ampirik ilişki kullanılmıştır (Denklem 10).

$$V_{s30} = e^{(5.34+0.46*\ln(\frac{1}{T}))} \quad (10)$$

Denklemden, T Nakamura yöntemi ile hesaplanan periyot değerini ifade etmektedir.

3.2.2) Hasar Görebilirlik İndisi (Kg)

Nakamura (1997; 2000) yapmış olduğu çalışmalarda hasar görebilirlik indisi (Kg) ile maksimum genlik-frekans değerleri arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu yöntem kullanılarak deprem meydana gelmeden önce çalışma alanına ait tehlikeli alanların tespitinin yapılabileceği belirtilmiştir. Kg değeri denklem 11'de görüldüğü gibi hesaplanabilmektedir.

$$Kg = A^2 * T \quad (11)$$

Denklemden, Kg hasar görebilirlik indisi, A büyütme faktörü ve T hakim periyot ($1/f$) değerleridir.

3.2.3) Zemin Dinamik Analizleri

Hasar görebilirlik indisi ve anakayada beklenen en büyük ivme değeri kullanılarak kuvvetli yer hareketi sırasında meydana gelebilecek kayma şekil değiştirmeleri hesaplanabilmektedir (Nakamura 1996; 1997; 2000). Nakamura (1997) tarafından önerilen bu yöntem ile kayma şekil değiştirmesi denklem 12'de verildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$\gamma_e = Kg * \frac{e}{(\pi^2 * V_b)} * a_{max} \quad (12)$$

Denklemde, Kg hasar görebilirlik indisini, V_b anakayaya ait kesme dalgası hızını a_{max} ise deprem nedeniyle anakayada oluşabilecek ivme değerini gal cinsinden ifade etmektedir. e ise sabit katsayıdır ve değeri 0.6 (%60)'dır (Nakamura 2000).

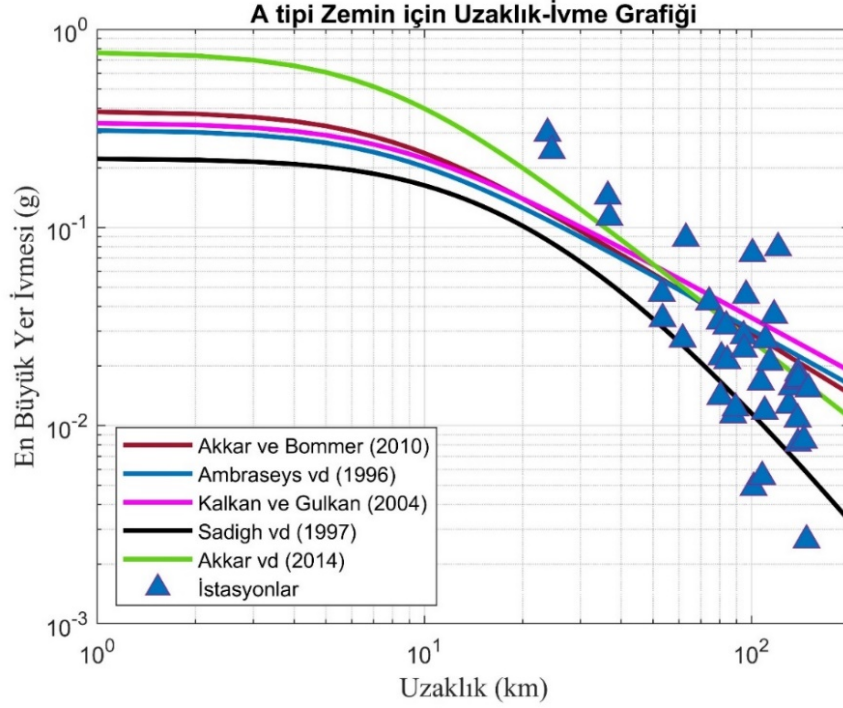
4. BULGULAR

4.1) Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

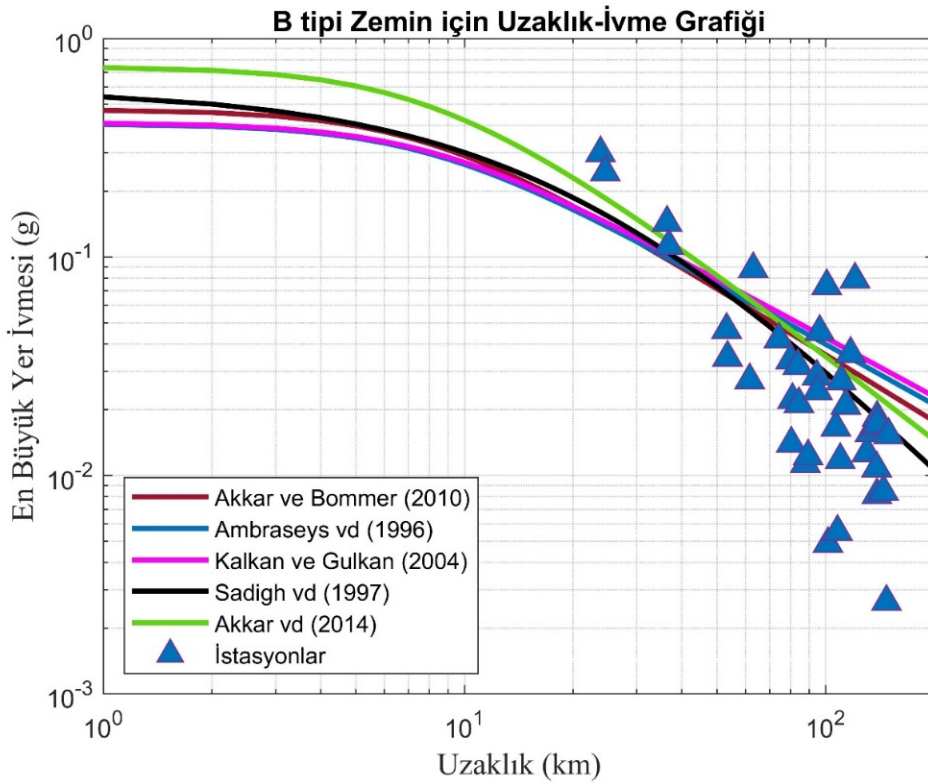
Bu çalışmada 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ ili Sivrice ilçesinde meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depreme ait ivme kayıtları ve literatürde kullanılan yer hareketi tahmin denklemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaç için ilk olarak farklı araştırmacılar tarafından hazırlanan yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak uzaklık-ivme değerleri farklı zemin sınıfları dikkate alınarak hesaplanıp grafikleri çizdirilmiştir. Ayrıca bu grafikler üzerinde Sivrice depreminde istasyonlarda kaydedilen en büyük yer ivmesi değerleri de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında zemin sınıfları oluşturulurken Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'nde belirtilen V_{s30} hızlarına göre üç farklı zemin sınıfına göre tasarlanmıştır.

A tipi zemin grafiği incelendiğinde ($V_{s30}=760$ m/sn), yaklaşık 40 km uzaklığa kadar en büyük ivme değerleri Akkar ve diğ. (2014) ilişkisi ile hesaplanırken en küçük ivme değerleri ise Sadigh ve diğ. (1997) ile hesaplanmıştır. Fakat 40 km uzaklıktan sonra Akkar ve diğ. (2014) değerleri hızlı bir azalış göstererek ölçülen ivme değerlerine daha yakın değerler tespit edilmiştir. A tipi zemin için kullanılan yer hareketi tahmin denklemlerinden Akkar ve diğ. (2014) ilişkisinin daha iyi uyum sağladığı görülmektedir (Şekil 3).

B tipi zemin grafiği incelendiğinde ($V_{s30}=360$ m/sn), 40 km uzaklığa kadar en yüksek değerler Akkar ve diğ. (2014) ile hesaplanırken, diğer dört yer hareketi tahmin denkleminde benzer bir davranış sergilenmiştir. Yaklaşık 60 km uzaklıkta beş denklem de benzer bir karakter göstermektedir. B tipi zemin için hesaplanan ivme değerleri gözlenen ivme değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 4).

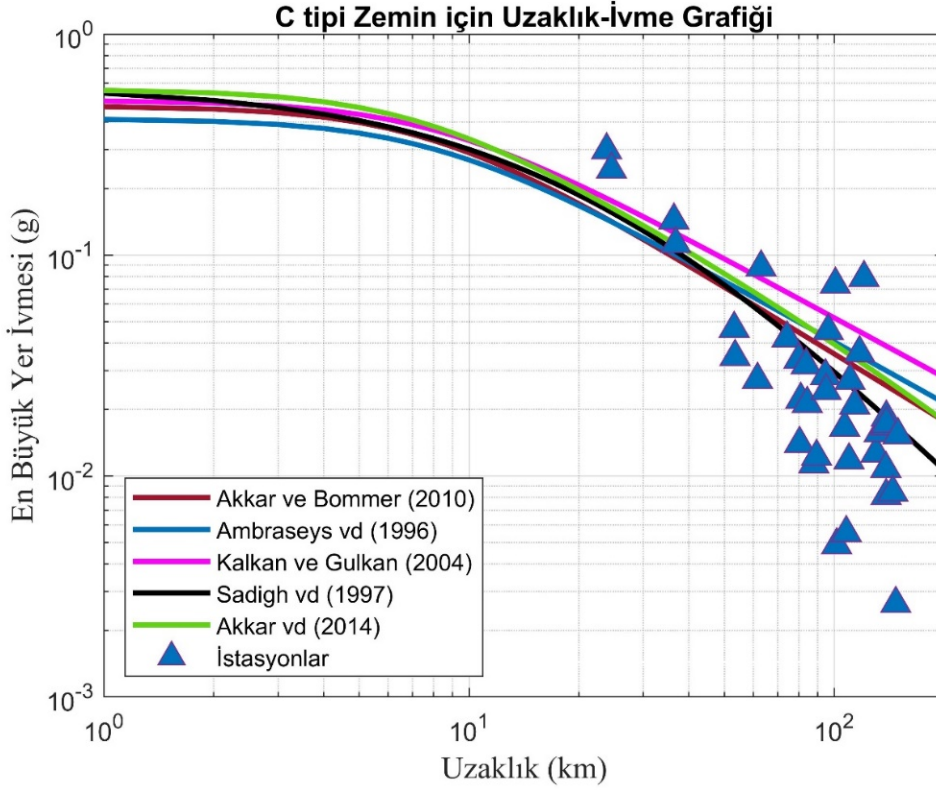


Şekil 3: A tipi zemin için ($V_s30=760$ m/sn) yer hareketi tahmin denklemleri ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen ivme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4: B tipi zemin için ($V_s30=360$ m/sn) yer hareketi tahmin denklemleri ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen ivme değerlerinin karşılaştırılması

C tipi zemin grafiği incelendiğinde ($V_{s30}=180$ m/sn), ~40 km uzaklığa kadar yer hareketi tahmin denklemleri benzer bir trend gösterirken bu uzaklıktan sonra trend değişmektedir. Artan uzaklıklarda en yüksek ivme değerleri Kalkan ve Gulkan (2004) denklemi kullanılarak elde edilirken en düşük ivme değerleri ise Sadigh ve diğ. (1997) ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 5).

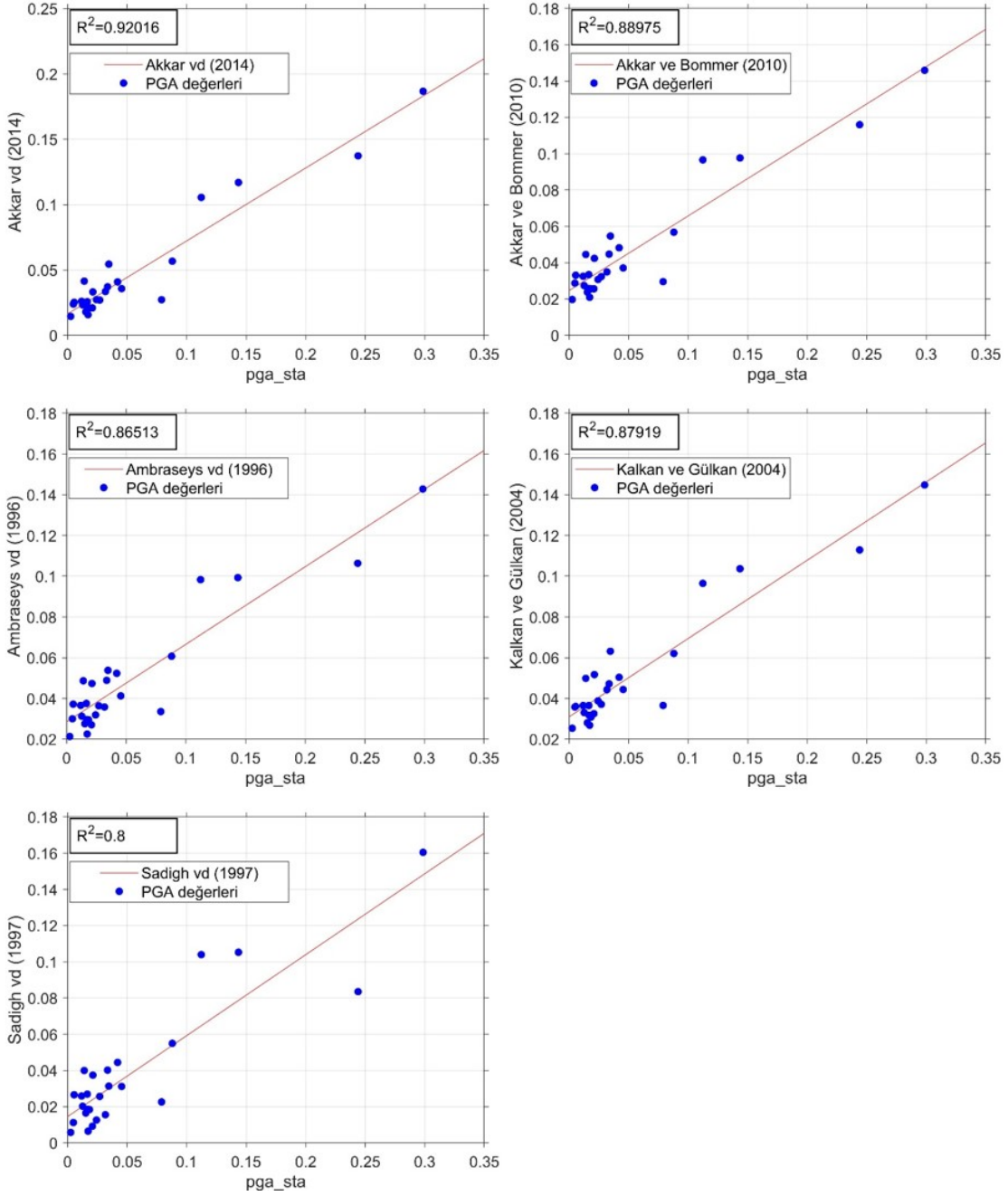


Şekil 5: C tipi zemin için ($V_{s30}=180$ m/sn) yer hareketi tahmin denklemleri ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen ivme değerlerinin karşılaştırılması

Çalışmada 38 ivme istasyonu içerisinde 26 ivme istasyonuna ait V_{s30} hızları bilinmektedir (TADAS, 2020). Bu sismik hızlar ile birlikte her bir yer hareketi tahmin denklemi kullanılarak 26 ivme istasyonuna ait ivme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2). Kalkan ve Gülkan (2004) ilişkisi ile Akkar ve diğ. (2014) denkleminde V_{s30} hızı doğrudan bir girdi verisi olmasına rağmen diğer üç denklemde yerel zemin durumuna göre bir katsayı şeklindedir. Hesaplanan ve ölçülen ivme değerlerinin uyumunu incelemek için en küçük kareler regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda R^2 değerleri 0.80 ile 0.92 arasında elde edilmiştir (Şekil 6). En düşük R^2 değeri Sadigh ve diğ. (1997) ilişkisi için elde edilirken en yüksek R^2 değeri ise Akkar ve diğ. (2014) ilişkisi için hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu durumun Akkar ve diğ. (2014) denkleminde V_{s30} hızının doğrudan kullanılması ile daha doğru bir yaklaşım yapabildiği olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 2: V_s30 hızı bilinen istasyonlara ait bilgiler ve yer hareketi tahmin denklemlerinden hesaplanan ivme değerleri (Kısaltmalar: ZS: Zemin Sınıfı, Amb96: Ambraseys ve diğ. (1996), AB10: Akkar ve Bommer (2010), KG04: Kalkan ve Gulkan (2004), Sdg07: Sadigh ve diğ. (1997), Ak14: Akkar ve diğ. (2014), Zemin sınıfı V_s30 hızlarına göre şu şekilde belirlenmiştir: $V_s30 \leq 360$ m/sn ise ZS=3, $360 \leq V_s30 \leq 760$ ise ZS=2 ve $V_s30 \geq 760$ ise ZS=1 olarak belirlenmiştir.)

No	Kod	PGA	V_s30	ZS	Amb96	AB10	KG04	Sdg97	Ak14
1	2308	0.29	450	2	0.14	0.15	0.14	0.16	0.19
2	4404	0.24	1380	1	0.11	0.12	0.11	0.08	0.14
3	2301	0.14	407	2	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
4	0204	0.11	555	2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
5	2302	0.034	907	1	0.05	0.05	0.06	0.03	0.05
6	4401	0.087	481	2	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06
7	0205	0.042	660	2	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
8	0207	0.033	660	2	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04
9	2304	0.014	489	2	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04
10	4407	0.032	735	1	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03
11	2307	0.021	329	3	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03
12	4406	0.024	815	1	0.03	0.03	0.04	0.01	0.03
13	0201	0.045	391	2	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04
14	2305	0.004	907	1	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02
15	4408	0.016	654	2	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
16	2306	0.005	663	2	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
17	4405	0.012	579	2	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
18	2101	0.027	519	2	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
19	2409	0.021	875	1	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02
20	6304	0.079	376	2	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03
21	2415	0.013	444	2	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
22	2408	0.017	416	2	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
23	0208	0.018	469	2	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
24	6302	0.017	936	1	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
25	2412	0.002	955	1	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01
26	4631	0.015	543	2	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02

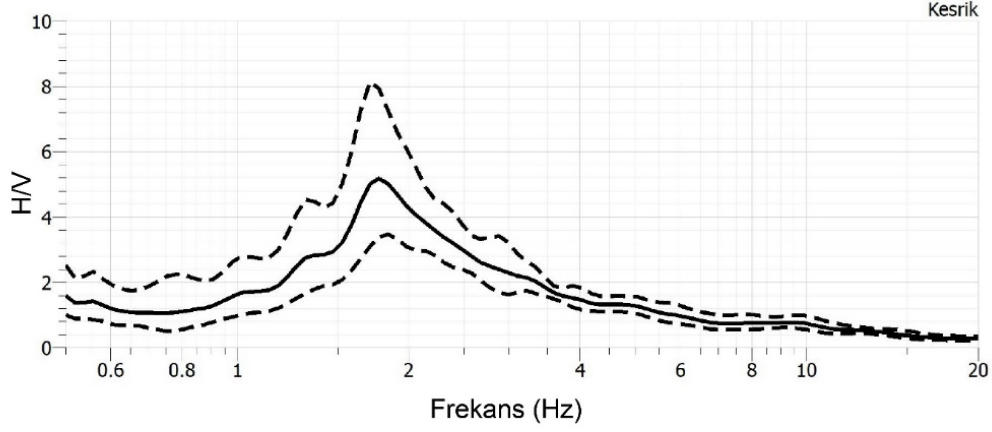


Şekil 6: Yer hareketi tahmin denklemleri ile hesaplanan ve gözlenen ivme değerlerinin karşılaştırılması

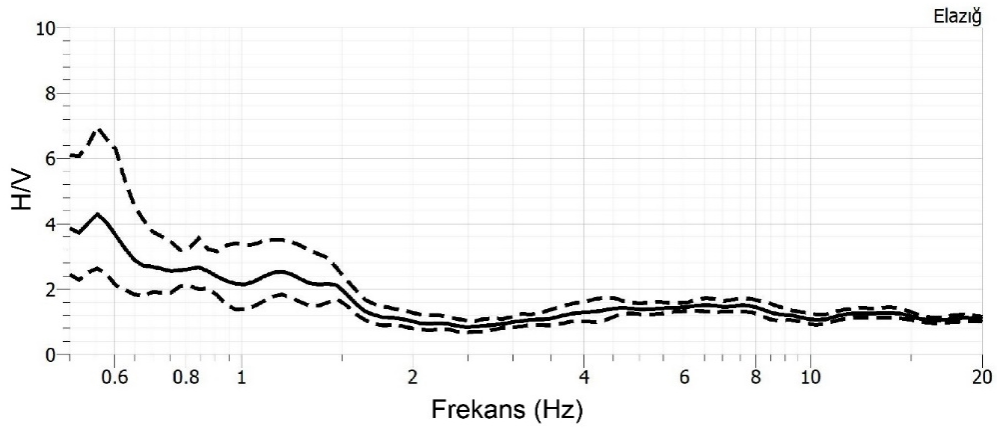
4.2) Tek İstasyon Mikrotremor Çalışmaları

Sivrice depreminden bir gün sonra ana şok civarındaki üç farklı hasarlı bina önünde mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerin alındığı noktaların koordinatları ve ana şoka olan uzaklıkları Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen periyot ve büyütme faktörü değerleri girdi olarak kullanılarak, denklem 10, 11 ve 12 yardımıyla mikrotremor ölçümleri yapılan noktalarda V_{s30} , hasar görülebilirlik indisi (K_g) ve kayma şekil değiştirme (Plastik-Elastoplastik) değerleri elde edilmiştir (Tablo 3). Plastik-Elastoplastik değeri hesaplanırken en iyi uyum sağlayan yer hareketi tahmin denklemi olan Akkar ve diğ. (2014) denklemi ile elde edilen ivme değeri kullanılmıştır.

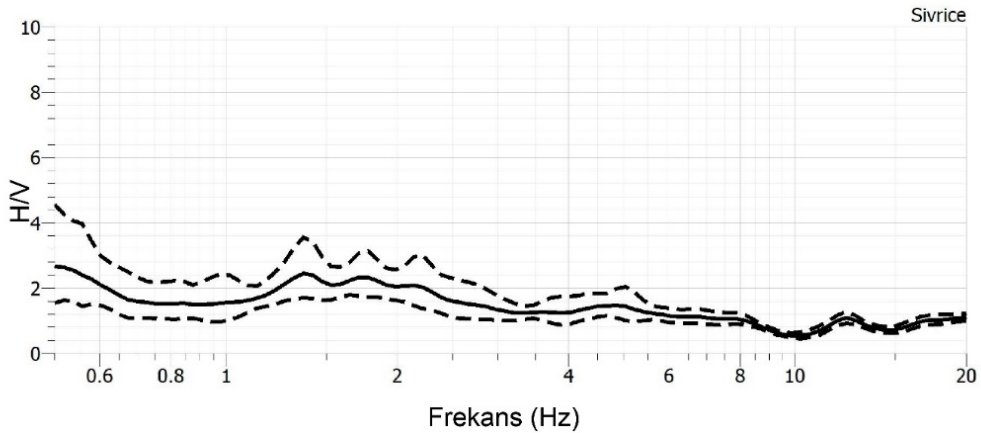
Nakamura yöntemi kullanılarak elde edilen zemin hâkim frekans (f) ve büyütme faktörü değerleri (A) Tablo 3'te verilmiştir. Zemin hâkim frekans değerleri Kesrik, Elazığ ve Sivrice için sırasıyla ~ 1.75 Hz; ~ 0.55 Hz ve ~ 1.4 Hz olarak elde edilirken büyütme faktörü değerleri ise ~ 5.1 , ~ 4.2 ve ~ 2.3 olarak elde edilmiştir (Şekil 7, 8 ve 9).



Şekil 7: Kesrik Köyünde alınan mikrotremor ölçümlerinin Nakamura (1989) yöntemine göre sonuçları



Şekil 8: Elazığ Şehir merkezinde alınan mikrotremor ölçümlerinin Nakamura (1989) yöntemine göre sonuçları



Şekil 9: Sivrice ilçesinde alınan mikrotremor ölçümlerinin Nakamura (1989) yöntemine göre sonuçları

En yüksek ampirik V_{s30} hızı 273 m/sn ile Kesrik ilçesinde hesaplanırken en küçük değer ise 158 m/sn ile Elazığ merkezde hesaplanmıştır. Sivrice için ise 243 m/sn V_{s30} hızı elde edilmiştir.

Dikmen ve diğ. (2016) yapmış oldukları çalışmada K_g değerini dört sınıfa ayırmıştır. Bunlar küçük K_g değerleri (0–5), orta K_g değerleri (6–10), yüksek K_g değerleri (11–20) ve çok yüksek K_g değerleridir (>20). Mikrotremor ölçümü alınan lokasyonlar için en yüksek K_g değeri 32 ile Elazığ merkezde elde edilirken en düşük değer ise 4 ile Sivrice’de elde edilmiştir. Kesrik ilçesinde alınan ölçüde ise K_g değeri 14 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2’de verilen a_{hes} değerleri ise Akkar ve diğ. (2014) ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek ivme değeri 0.18 g ile Sivrice’de elde edilirken en düşük değer ise 0.10 g ile Elazığ Merkez’de elde edilmiştir. Kesrik’de ise 0.12 g hesaplanmıştır (Tablo 3).

Ishihara (1996) kayma şekil değiştirme değerlerine göre zeminlerin davranışını elastik ve plastik durumlarını incelemiştir. Bu değer arttıkça (10^{-1} değerine yaklaştıkça) zeminlerin elastik özellikleri kaybolmakta ve üzerinde bulunan yapılarda hasar görme ihtimali artmaktadır (Tablo 4). Hesaplanan kayma şekil değiştirme değerlerine göre en riskli zemin Elazığ Merkez ölçüsünün alındığı lokasyon iken en risksiz zeminin ise Sivrice’de olduğu görülmektedir.

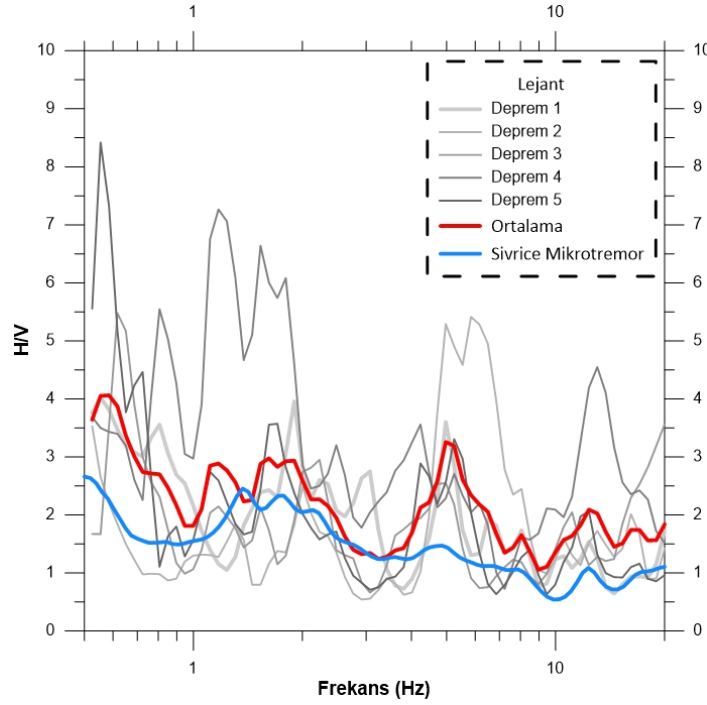
Tablo 3: Tek istasyon mikrotremor ölçülerine ait bilgiler

Lokasyon	Ölçü No	Enlem	Boylam	R (km)	f (Hz)	A	V_{s30} (m/sn)	K_g	Y_e	a_{hes} (g)
Kesrik- Elazığ	1	38.6613 ⁰	39.2483 ⁰	37	1.75	5.1	273	14	0.001430	0.12
Merkez- Elazığ	2	38.6751 ⁰	39.2356 ⁰	38	0.55	4.2	158	32	0.002570	0.10
Sivrice- Elazığ	3	38.4483 ⁰	39.3088 ⁰	24	1.40	2.3	243	4	0.000540	0.18

Tablo 4: Zeminin dinamik özelliklerinin kayma şekil değiştirme ile ilişkisi (Ishihara 1996; Nakamura, 1997).

Kayma-Şekil değiştirme (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Durum	Titreşim		Çatlak, oturma		Heyelan, Zemin Sıkışması, Sıvılaşma	
Dinamik özellikler	Elastik		Elasto-Plastik		Göçme	

Ateş (2021) deprem ve gürültü kayıtları kullanılarak aynı ölçüm noktasına ait zemin dinamik özelliklerini karşılaştırmış ve elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu belirtmiştir. Sivrice ilçesinde mikrotremor ölçümleri devam ederken (Şekil 1d) en büyüğü 4.1 olan yedi deprem kaydedilmiştir (Şekil 1e). Aynı kayıt içinde deprem ve gürültü kayıtlarının bulunması sebebiyle iki farklı teknik kullanılarak (gürültü ve deprem) zemin hâkim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 10). Yedi adet deprem kaydı içinden sinyal/gürültü oranı yüksek olan beş adet deprem kaydı kullanılmıştır. Elde edilen beş depreme ait HVSR değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Aynı noktada gürültü oranı düşük olan kayıtlar kullanılarak tek istasyon mikrotremor yöntemi ile HVSR değerleri hesaplanmıştır (Şekil 9). İki farklı tekniğe göre yapılan değerlendirmelerdeki (Şekil 10 mavi ve kırmızı eğriler), anomali karakteri uyum içerisindedir. Gerçek zemin büyütme değerlerini temsil edebilecek deprem kayıtlarından elde edilen HVSR eğrileri, mikrotremor kayıtlarından elde edilen HVSR eğrilerine göre nispeten bir miktar büyüktür (~ 1).



Şekil 10: Sivrice ilçesinde alınan ölçümlerinin deprem ve gürültü kayıtları kullanılarak elde edilen bulguların karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Elazığ ve çevresinde yapılan saha gözlemleri sonucunda mühendislik hizmeti almamış birçok yapı olduğu gözlemlenmiştir. Hasar gören kerpiç yapıların (birçoğu yaklaşık 70-80 yıllık) büyük bir çoğunluğuna 2010 yılındaki Kovancılar depremi de hafif ya da orta hasara yol açmıştır. 10 yıllık süre zarfında hasar gören taşıyıcı elamanlarda bazı amatör tedbirler alındığı gözlenmiştir. 2020 Sivrice depreminde bu tip yapıların büyük çoğunluğu yeniden farklı derecelerde hasar görmüştür. Yapı stokundaki yetersizliklere rağmen can ve mal kayıplarının beklenenden az olmasının en önemli sebebi zemindir. Yüksek V_{s30} hızlarından da takip edilebileceği üzere özellikle Sivrice depremi merkez üstünde rijit kayalar bulunmaktadır. Depremin episantrına en yakın iki istasyon olan 2308 ve 4404 istasyonlarında ivmeler düşüktür. Çalışma alanı içerisindeki 38 ivmeölçer içinde en düşük V_{s30} hızı 326 m/sn olup tüm V_{s30} hızlarının aritmetik ortalaması 638 m/sn olarak hesaplanmıştır. Bu durum ivme değerlerinin düşük olmasını ve hasarın beklenenden az olmasını açıklamaktadır. İvme istasyonlarında Sivrice depremi sonrasında hesaplanan PGA değerleri ile farklı yer hareketi tahmin denklemleri ile elde edilen ivme değerleri karşılaştırıldığında Akkar ve diğ. (2014) modelinin yakınsadığı görülmektedir. Bu modelde yakın istasyonlar gerçeğe göre çok daha küçük ivmeler hesaplanırken, uzaklık arttıkça gerçek ve yer hareketi tahmin denklemlerinden elde edilen ivmelerin çok büyük ölçüde uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Hasar alan farklı yerleşim yerlerinden Kesrik, Elazığ ve Sivrice seçilerek yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin hâkim frekansı değerleri sırasıyla ~ 1.75 Hz; ~ 0.55 Hz ve ~ 1.4 Hz olarak elde edilirken, büyütme faktörü değerleri ise ~ 5.1 , ~ 4.2 ve ~ 2.3 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ampirik bağıntılar yardımıyla hesaplanan V_{s30} , K_g ve kayma-şekil değiştirme değerleri zeminin dinamik özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Elazığ Merkez'de kırsal yerleşim yerine beton dayanımı daha yüksek olarak nitelendirilebilecek malzemeler kullanılmasına rağmen birçok yapı farklı derecelerde hasar görmüşlerdir. Merkezde hasar alan yapıların çevresindeki zeminin V_{s30} hızı düşüktür ($V_{s30} < 200$ m/sn) ve hasar görülebilirlik indisi 20'nin üzerindedir. Nakamura (1997; 2000)'ya göre hasar indisi 20'nin üzerindeki bölgeler

zemin açısından risklidir. Elazığ şehir merkezindeki hasarların birincil sebebi mühendislik hizmeti almayan yapılar ve yerel zemin koşulları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca episantra en yakın olan 2308 istasyonunda hesaplanan ivme 0.29 g olup, Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki (TDTH 2018) 475 yıllık geri dönüş periyoduna göre PGA değeri 0.6 g'dir. Kesik köyünün yapı stokunun büyük çoğunluğu kerpiç evlerden oluşmaktadır. Bu lokasyonda hasar indisi 14 olarak hesaplanmış olup kritik eşiğe yakındır. Bu alanda hasar gören evlerin çoğunluğu Kerpiç olup, Kovancılar depreminde de hasar görmüş yapılarıdır. Sivrice depreminde 475 yıllık geri dönüş periyoduna göre beklenen ivmenin çok altında ivmeye sahip olmasına rağmen hasar gözlenmiştir. Episantra en yakın konumda bulunan Sivrice'de yapı stoku Kerpiç ve yığmadır. Kerpiç evlerin büyük çoğunluğu farklı derecelerde hasar görmüşlerdir. Bu bölgede en büyük hasar Sivrice Merkez Camide gözlenmiştir. Yol ve kırsal alandaki minör yüzey çatlakları incelendiğinde zayıflık zonu bu yapıya çok yakın bir lokasyonda bulunmaktadır. Sivrice ilçesinde hasar görülebilirlik indisi 4 olarak hesaplanmıştır. Episantra en yakın yerleşim yeri olmasına rağmen hasar çok daha azdır. Bu durum deprem yerleşim yerinin kompakt kayaçların üzerinde dağılması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada deprem bölgesinde yapısal hasarların incelenmesine yönelik 25.01.2020 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmasında ATA-DAM'a lojistik ve destek sağlayan Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü'ne (ATA-DAM, 2020) ve deprem lokasyon bilgilerini ve ivme verileri internet üzerinden sağlayan AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederiz. Fay bilgileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre ve diğ. 2013; 2018). Mikrotremor ölçümleri Geopsy yazılımı (Wathelet ve diğ. 2020) kullanılarak analiz edilmiştir. Atatürk Üniversitesi'nde lisansı bulunan Arcgis ve Matlab programları bazı şekillerin ve hesaplamaların yürütülmesinde kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

Abrahamson N.A., Silva W.J., Kamai R., 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, *Earthquake Spectra* 30 (3), 1025-1055

AFAD, 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) M_w 6.8 Depremi Raporu, Ankara. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1831>

Akkar S., Bommer J.J., 2010. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East, *Seismological Research Letters* 81(2), 195-206

Akkar S., Sandikkaya M.A., Bommer J.J., 2014. Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East, *Bulletin of Earthquake Engineering* 12 (1), 359-387

Aksoy E., Inceoz M., Kocyigit A., 2007. Lake Hazar basin: A negative flower structure on the east anatolian fault system (EAFS), SE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences* 16(3), 319-338

Ambraseys N.N., Simpson K.U., Bommer J.J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 25(4), 371-400

ATA-DAM, 2020. 24 Ocak 2020 (20:55 TS) M_w=6.8 Elazığ-Sivrice Depremi Değerlendirme Raporu, Erişim adresi: <https://atauni.edu.tr/yuklemeler/6e78326bb6db9ebe8d4c82123bfb62c.pdf>

Ateş E., 2021. Mikrotremor, Deprem ve Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analiz Yöntemi Kayıtları Kullanılarak Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi: AFAD Kampüsünden Örnek Bir Uygulama, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 7(2), 240-251

Aydin U., Pamuk E., Ozer C., 2021. Investigation of soil dynamic characteristics at seismic stations using H/V spectral ratio method in Marmara Region, Turkey, *Natural Hazards* 1-20

Bayrak E., Yilmaz Ş., Softa M., Turker T., Bayrak Y., 2015. Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey, *Natural Hazards* 76(2), 1063-1077

Bommer J.J., Douglas J., Strasser F.O., 2003. Style-of-faulting in ground-motion prediction equations, *Bulletin of Earthquake Engineering* 1(2), 171-203

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 the S-wave, coda, and H/V methods, *Bulletin of the Seismological Society of America* 87(3), 710-730

Boore D.M., Atkinson G.M., 2008. Ground-motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV and 5% Damped PSA at Spectral Periods Between 0.01 s and 10 s, *Earthquake Spectra* 24(1), 99-138

Borcherdt R.D., Wentworth C.M., Glassmoyer G., Fumal T., Mork P., Gibbs J., 1991. On the observation and predictive GIS mapping of ground response in the San Francisco Bay region, California. In Fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California Procs., *Earth. Eng. Res. Inst.* 3, 545-552

Burchfiel B.C., Stewart J.H., 1966. "Pull-apart" origin of the central segment of Death Valley, California, *Geological Society of America Bulletin* 77(4), 439-442

Campbell K.W., 1997. Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra, *Seismological Research Letters* 68(1), 154-179

Campbell K.W., 2003. Strong-motion attenuation relations, *International Geophysics Series* 81(B), 1003-1012

Campbell K.W., Bozorgnia Y., 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra, *Earthquake Spectra* 30(3), 1087-1115

Cetin H., Guneyli H., Mayer L., 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey, *Tectonophysics* 374 (3-4), 163-197

Cetin K.O., Cakir E., Ilgac M., Can G., Soylemez B., Elsaid A., Cuceoglu F., Gulerce Z., Askan A., Aydin S., Gör M., 2021. Geotechnical aspects of reconnaissance findings after 2020 January 24th, M6. 8 Sivrice-Elazig-Turkey earthquake, *Bulletin of Earthquake Engineering* 1-45

Cheloni D., Akinci A., 2020. Source modelling and strong ground motion simulations for the 24 January 2020, M w 6.8 Elazig earthquake, Turkey, *Geophysical Journal International* 223 (2), 1054-1068

Coban K.H., Sayil N., 2020. Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones, *Arabian Journal of Geosciences* 13(18), 1-16

Dikmen Ü., Hasançebi N., Arısoy M.Ö., Demirci İ., 2016. Estimation of source, path and site effect from S-waves of local earthquakes in Izmir, western Turkey, *Jeofizik* 18, 14-35

Dogru A., Bulut F., Yaltirak C., Aktug B., 2021. Slip distribution of the 2020 Elazig Earthquake (Mw 6.75) and its influence on earthquake hazard in the Eastern Anatolia, *Geophys. J. Int.* 224:389-400, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa471>

Duman T.Y., Emre O., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, Geological Society London, Special Publications, 372, 495-529

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Elmaci H., Olgun Ş., Saroglu F., 2013. Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text. 1:1,250,000 Scale, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-30, Ankara-Turkey. ISBN: 978-605-5310-56-1

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Saroglu F., Olgun S., Elmaci H., Can T., 2018. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16(8), 3229-3275

Gallovic F., Zahradnik J., Plicka V., Sokos E., Evangelidis C., Fountoulakis I., Turhan F., 2020. Complex rupture dynamics on an immature fault during the 2020 Mw 6.8 Elazig earthquake, Turkey, *Communications Earth & Environment* 1(1), 1-8

Graizer V.M., Kalkan E., 2015. Update of the Graizer-Kalkan ground-motion prediction equations for shallow crustal continental earthquakes (p. 79), US Department of the Interior, US Geological Survey.

Hempton M.R., Dunne L.A., 1984. Sedimentation in pull-apart basins: active examples in eastern Turkey, *The Journal of Geology* 92(5), 513-530

Hubert-Ferrari A., Lamair L., Hage S., Schmidt S., Cagatay M.N., Avsar U., 2020. A 3800 yr paleoseismic record (Lake Hazar sediments, eastern Turkey): Implications for the East Anatolian Fault seismic cycle, *Earth and Planetary Science Letters* 538, 116152

Ishihara K., 1996. Soil behaviour in earthquake geotechnics, Oxford Engineering Science Series.

Jamalreyhani M., Buyukakpinar P., Cesca S., Dahm T., Sudhaus H., Rezapour M., Isken M.P., Asayesh B.M., Heimann S., 2020. Seismicity related to the eastern sector of Anatolian escape tectonic: the example of the 24 January 2020 Mw 6.77 Elazig-Sivrice earthquake, *Solid Earth Discussions* 1-22

Kalkan E., Gulkan P., 2004. Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, *Earthquake Spectra* 20(4), 1111-1138

Konno K., Ohmachi T., 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components, *Bulletin of the Seismological Society of America* 88, 1, 228-241

Lermo J., Chavez-Garcia F.J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bulletin of the seismological society of America* 83(5), 1574-1594

Louie J.N., 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bulletin of the Seismological Society of America* 91(2), 347-364

Moreno D.G., Hubert-Ferrari A., Moernaut J., Fraser J.G., Boes X., Van Daele M., Avsar U., Cagatay N., De Batist M., 2011. Structure and recent evolution of the Hazar basin: A strike-slip basin on the East Anatolian fault, eastern Turkey, *Basin Research* 23(2), 191-207

Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30(1)

Nakamura, Y., 1996. Real-time information systems for seismic hazards mitigation UrEDAS, HERAS and PIC. Quarterly Report-Rtri, 37(3), 112-127

Nakamura Y., 1997. Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor, In World Congress on Railway Research in Florence, Italy

Nakamura Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, In Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering, New Zealand: Auckland, 24, 25-30

Nakamura Y., 2019. What Is the Nakamura Method?, *Seismological Research Letters* 90(4), 1437-1443

Nalbant S.S., McCloskey J., Steacy S., Barka A.A., 2002. Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters* 195(3-4), 291-298

Okada H., 2003. The microseismic survey method: Society of Exploration Geophysicists of Japan, *Geophysical Monograph Series*, 12

Ozer C., 2019. Investigation of the local soil effects of Erzurum and its surroundings using SSR and HVSR methods, *DEU Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering* 21(61), 247-257

Ozer C., 2021. 4-D tomographic change of V_p and V_p/V_s structure before destructive earthquakes: a case study of the Sivrice-Elazig earthquake (mw= 6.8), Eastern Turkey, *Natural Hazards* 108, 1901-1917

Ozer C., Ozyazicioglu M., Gok E., Polat O., 2019. Imaging the crustal structure throughout the East Anatolian fault zone, Turkey, by local earthquake tomography, *Pure and Applied Geophysics*, 176(6), 2235-2261

Pamuk E., Ozdag O.C., Ozyalin S., Akgun M., 2017. Soil characterization of Tinaztepe region (İzmir/Turkey) using surface wave methods and Nakamura (HVSR) technique, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 16(2), 447-458

Pamuk E., Ozer Ç., 2020. The Site Effect Investigation with Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio Method on Earthquake Data, South of Turkey, *Geotectonics* 54(4), 563-576

Park C.B., Miller R.D., Xia J., 1999. Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics* 64(3), 800-808

Parolai S., 2012. Investigation of site response in urban areas by using earthquake data and seismic noise. In New manual of seismological observatory practice 2 (NMSOP-2), 1-38

Pousse-Beltran L., Nissen E., Bergman E.A., Cambaz M.D., Gaudreau E., Karasozen E., Tan F., 2020. The 2020 M w 6.8 Elazig (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian Fault, *Geophysical Research Letters* 47, e2020GL088136

Ragon T., Simons M., Bletery Q., Cavalie O., Fielding E., 2021. A stochastic view of the 2020 Elazig Mw 6.8 earthquake (Turkey), *Geophysical Research Letters* 48, e2020GL090704

Sadigh K., Chang C.Y., Egan J.A., Makdisi F., Youngs R.R., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismological research letters* 68(1), 180-189

Sertçelik F., 2012. Estimation of coda wave attenuation in the east Anatolia fault zone, Turkey, *Pure and applied Geophysics* 169(7), 1189-1204

Stanko D., Markusic S., 2020. An empirical relationship between resonance frequency, bedrock depth and V_{s30} for Croatia based on HVSR forward modelling, *Natural Hazards* 103(3), 3715-3743

Subasi O., Hasal M.E., Ozaslan B., Iyisan R., 2019. Yamanaka, H., Chimoto, K., Bir Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması, *Teknik Dergi* 30(5), 9459-9481

Şahin Ş., Öksüm E., 2021. The Relation of Seismic Velocity and Attenuation Pattern in the East Anatolian Fault Zone with Earthquake Occurrence: Example of January 24, 2020 Sivrice Earthquake, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 164, 1-26

Şaroglu F., Emre O., Kuşçu I., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey, *Annales Tectonicae* 99-125 (Special Issue-Supplement to Volume VI)

TADAS, 2020. Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi, AFAD.

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

Taymaz T., Ganas A., Yolsal-Cevikbilen S., Vera F., Eken T., Erman C., Keles D., Kapetanidis V., Valkaniotis S., Karasante I., Tsironi V., Gaebler P., Melgar D., Ocalan T., 2021. Source Mechanism and Rupture Process of the 24 January 2020 Mw 6.7 Doganyol-Sivrice Earthquake obtained from Seismological Waveform Analysis and Space Geodetic Observations on the East Anatolian Fault Zone (Turkey), *Tectonophysics* 804, 228745

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması.

Erişim adresi: tdth.afad.gov.tr

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

Xu J., Liu C., Xiong X., 2020. Source Process of the 24 January 2020 Mw 6.7 East Anatolian Fault Zone, Turkey, Earthquake, *Seismological Society of America* 91(6), 3120-3128

Yalcinkaya E., Alptekin O., 2005. Site effect and its relationship to the intensity and damage observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan earthquake, *Pure and Applied Geophysics* 162(5), 913-930

Zülfikar A.C., 2020. 24 Ocak 2020. Elazığ Depreminin Kuvvetli Yer Hareketi Verilerinin Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 35(3), 821-834

ARAŞTIRMA VERİSİ

Bu çalışmada deprem lokasyon bilgileri ve verileri Türkiye Deprem Veri Merkezi (TDVM) üzerinden elde edilmiştir. Fay bilgileri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) çizim editöründen sayısallaştırılmıştır. Sahada yapılan mikrotremor ölçümlerinde Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi sismometreleri kullanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI

Katkı Türü	Yazarlar
Çalışmanın tasarlanması	E.B., Ç.Ö., H.Ç., M.E.K.
Literatür araştırma	E.B.
Saha çalışması, veri temini/derleme	Ç.Ö., H.Ç., M.E.K.
Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi	E.B., Ç.Ö.
Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması	E.B., Ç.Ö.
Bulguların yorumlanması	E.B., Ç.Ö.
Makale yazımı, düzenleme, kontrol	E.B., Ç.Ö., H.Ç., M.E.K.