



Comparison of Broadband and Accelerometer Records Using Earthquake Data

Ates Erkan¹, Recai Feyiz Kartal¹ and Turgay Kuru¹

¹ Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Earthquake Department, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0003-2093-6669, 0000-0002-6105-3849

Keywords

Earthquake, Saturation, Accelerometer, Broadband

Highlights

- * Positioning of broadband and accelerometer devices in the same place
- * Clipping of the broadband device
- * Comparison of broadband and accelerometer devices

Aim

Comparing accelerometer and broadband seismometers with earthquake records

Location

Four different regions in Turkey

Methods

Comparison of broadband and accelerometer records in the same station by bringing them into the same format

Results

When earthquakes with different epicenters and sources are examined, it is seen that broadband cannot measure high amplitude movements due to their structure and accelerometer, which reach saturation, measure the movement exactly. On the other hand, it has been observed that accelerometer devices cannot measure motion in distant and small magnitude earthquakes

Supporting Institutions

--

Financial Disclosure

The author declares 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: 17.06.2022

Revised: 16.08.2022

Accepted: 22.09.2022

Printed: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1132404



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

Corresponding Author

Erkan Ates

Email: erkan.ates@afad.gov.tr

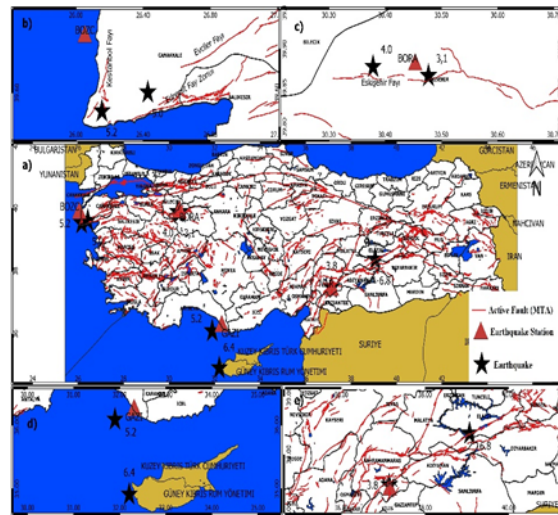


Figure
Earthquakes used in the study

How to cite:

Ates E., Kartal R.F., Kuru T., 2022. Comparison of Broadband and Accelerometer Records Using Earthquake Data, Turk Deprem Arastirma Dergisi 4(2), 174-190, <https://doi.org/10.46464/tdad.1132404>



Deprem Verileri Kullanılarak Hızölçer ve İvmeölçer Kayıtlarının Karşılaştırılması

Erkan Ateş¹, Recai Feyiz Kartal¹ ve Turgay Kuru¹

¹ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0003-2093-6669, 0000-0002-6105-3849

ÖZET

Ülkemizdeki deprem etkinliğinin yakından izlenmesi, değerlendirilmesi ve arşivlenmesi önemlidir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, hızölçer, ivmeölçer ve sabit Küresel Konumlama Uydu Sistemleri (KKUS) cihazlarından oluşan toplam 1.169 kayıt cihazı ile Avrupa'nın en büyük 2'nci deprem gözlem ağına sahiptir. Büyük depremlerde hızölçerler belli bir genlik değerinin üzerindeki hareketi ölçmemekte ve doyuma (clip) ulaşmaktadır. Bu çalışmada, farklı istasyonlardaki hızölçer ve ivmeölçerlerin farklı büyüklükteki depremler için kaydettiği kayıtlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde 7 deprem için hızölçerlerin doyuma ulaştığı, ivmeölçerlerin ise deprem genliğini tam olarak ölçtüğü görülmüştür. Hızölçer ve ivmeölçerlerin aynı konumda kullanılması durumunda, uzak ve yakın kaynaklı yer hareketinin bütün genliği ve frekans içerikleri kaydedilebilmektedir. Bu nedenle, depremselliği yüksek bölgelerde bulunan bazı istasyonlarda, hızölçer ve ivmeölçer kayıtçılarının aynı yerde yerleştirilmesi ile sismoloji çalışmalarına önemli katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Deprem, Doyum, İvmeölçer, Hızölçer

Öne Çıkanlar

- * Hızölçer ve ivmeölçer cihazlarının aynı yerde konumlandırılması.
- * Hızölçer cihazının doyuma ulaşması.
- * Hızölçer ve ivmeölçer cihazlarının karşılaştırılması.

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.06.2022

Düzeltilme: 16.08.2022

Kabul: 22.09.2022

Basım: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1132404

Sorumlu yazar

Erkan Ateş

Eposta:

erkan.ates@afad.gov.tr

Comparison of Broadband and Accelerometer Records Using Earthquake Data

Erkan Ates¹, Recai Feyiz Kartal¹ ve Turgay Kuru¹

¹ Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Earthquake Department, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0003-2093-6669, 0000-0002-6105-3849

ABSTRACT

Monitoring, analyzing, and archiving the seismic activity in our country are crucial. The AFAD Earthquake Department, with 1.169 recording equipment consisting of broadband, accelerometer, and fixed Global Positioning Satellite Systems (GNSS) units, has the second-largest earthquake observation network in Europe. Broadband becomes saturated and unable to detect movement in large earthquakes beyond a particular amplitude value (clip). The recordings kept by the broadband and accelerometers at several sites during earthquakes of various magnitudes were compared in this study. The broadband attained clipped for 7 earthquakes, and the accelerometer precisely assessed the earthquake amplitude, according to the analysis of the findings. All amplitude and frequency contents of distant and near-source ground motion may be captured if the broadband and accelerometer are deployed in the same place. Hence, it is thought that placing broadband and accelerometer in the same place at some stations located in regions with high seismicity will make a significant contribution to seismology studies.

Keywords

Earthquake, Saturation, Accelerometer, Broadband

Highlights

- * Positioning of broadband and accelerometer devices in the same place.
- * Clipping of the broadband device.
- * Comparison of broadband and accelerometer devices.

Manuscript

Research Article

Received: 17.06.2022

Revised: 16.08.2022

Accepted: 22.09.2022

Printed: 30.12.2022

DOI

10.46464/tdad.1132404

Corresponding Author

Erkan Ates

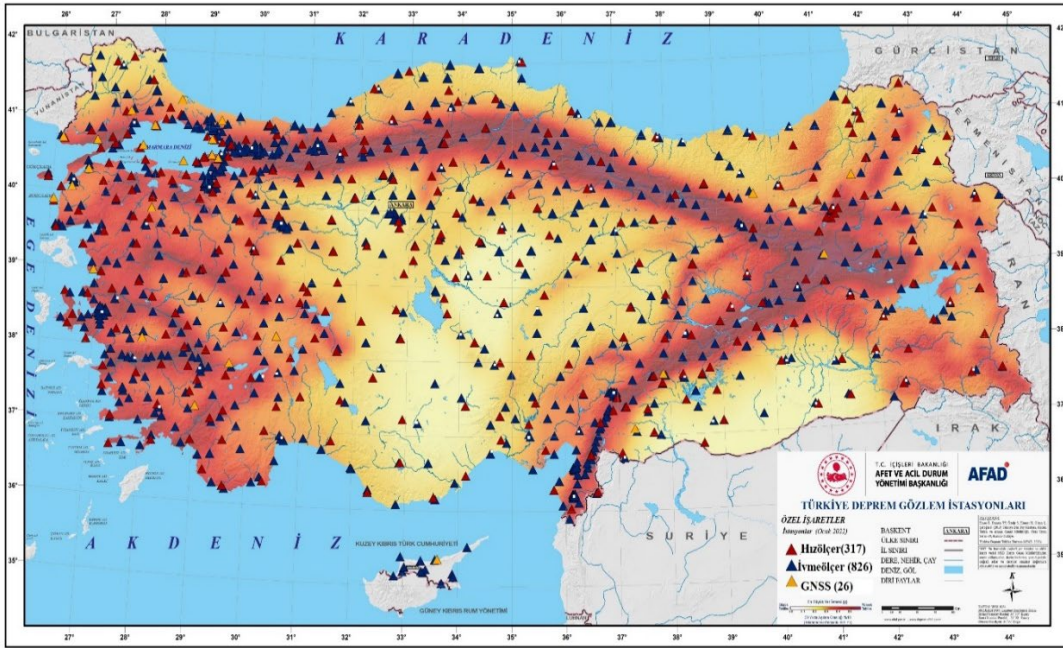
Email:

erkan.ates@afad.gov.tr

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere ülkemiz, yakın geçmişi de dâhil olmak üzere, büyük can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olan yıkıcı depremlerin meydana geldiği dünyanın en aktif deprem kuşaklarından (Alp-Himalaya) birinin üzerinde yer almaktadır. Deprem önlenemeyen bir doğa olayıdır, bu nedenle toplumca depremle yaşamayı öğrenmek gerekmektedir. Bu amaçla, risk azaltma hedefli imar planları çerçevesinde depreme dayanıklı bina yapımı ile ilgili tekniklerin geliştirilmesine altlık oluşturacak deprem tehlike haritalarının hazırlanması önemli bir işlev olacaktır. Deprem tehlike haritalarının elde edilmesinde başvuru en önemli kaynaklardan birisi de meydana gelen depremlerin kayıtlarından elde edilen bilgilerdir. Bu kayıtlar, ancak gelişmiş bir sismolojik gözlem ağı alt yapısı ile oluşturulabilir.

İstanbul'da 2004 yılında düzenlenen Deprem Şurası'nda; "Ülke çapında depremlerin izlenmesi, kaydedilmesi, değerlendirilmesi, arşivlenmesi ve duyurulması işleri gelişmiş bir Ulusal Deprem İzleme Ağı Sistemi altında ele alınmalıdır" kararı alınmıştır. Bu kapsamda; 1989 yılında Türkiye genelinde 12 istasyonla başlanan Telemetrik Deprem Gözlem Ağı; 2004 yılından itibaren Ulusal Sismik Ağın Geliştirilmesi (USAG) projesi ile dünya standartlarında, gerçek zamanlı, yüksek kaliteli kayıt alan geniş bant istasyonlarla Türkiye Ulusal Ağı'na (Şekil 1) dönüştürülmüş ve ülke çapına yayılarak geliştirilmiştir (Kılıç ve diğ. 2011).



Şekil 1: Türkiye ulusal sismolojik gözlem ağı (2022)
Figure 1: National seismic monitoring network of Türkiye (2022)

Hızölçer, depremin herhangi bir uzaklıktaki noktada oluşturduğu parçacık hızını ölçer ve birimi m/s dir. Bu kayıtlardan yola çıkarak; meydana gelen bir depremin büyüklüğü, konumu (enlem ve boylam), derinliği ve oluş zamanı gibi temel veriler hızlı bir şekilde değerlendirilip toplum ve ilgili kişi, kurum ve kuruluşlar bilgilendirilmektedir. Hızölçer cihazların genel anlamda yerel zemin etkilerinin etkisinde kalmaması ve dolayısıyla kayıtlarda zemin büyütmesinin en az olması için anakaya niteliğindeki sağlam zeminlerde ve gürültülü ortamlardan uzakta kurulması gerekmektedir. Bu doğrultuda kurulmuş olan ulusal sismolojik gözlem ağı ile Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen deprem aktivitesi 7/24 gerçek zamanlı izlenmekte, değerlendirilmekte, arşivlenmekte ve web sayfası aracılığıyla kamuoyu hizmetine sunulmaktadır.

Ülkemizde ivmeölçer istasyonlarının kurulumuna 1973 yılında başlanmış ve ilk kayıt 1976 yılında Denizli'de kaydedilmiştir. Deprem sırasında ölçülen ivme değerleri, deprem anında zeminin ne miktarda ve ne hızla sarsıldığının anlaşılması açısından önemlidir. İvme kaydı bir deprem sırasında kaydedilen yer ivmesidir ve bu kayıt ivmeölçerler tarafından alınmaktadır. İvmeölçerin ölçtüğü değer birimi cm/sn^2 (gal)'dir. Yer ivmesi, zemine gömülü veya zemin üzerindeki yapılara depremle etki eden yıkıcı kuvveti temsil eder. Deprem anında yapısal hasarların gelişmesi genel olarak 3 temel başlıkta toplanabilir. Bunlar; ilk olarak zemin-yapı arasındaki özelliklere bağlı ilişki, ikincisi yapısal unsurlardaki eksiklik ve üçüncü adımda ise en büyük yatay yer ivmesinin (PGA) doğru olarak hesaba alınmamış olmasıdır. Zemine gömülü veya üstündeki mühendislik yapılarının kendi yüklerine ilave olarak, deprem anında zeminde oluşacak dinamik yükler de yapısal unsurlara ilave bir yük ve etki yapacaktır. Dolayısıyla yapısal hasarlarda zeminin durağan yani statik bir yapıda olmadığı, deprem dalgaları ile harekete geçen zemindeki dinamik etkilerin dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır. Yapılar zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet kuvvetleri oluşmaktadır. İvmeölçer cihazlarının kaydettiği veriler, depreme dayanıklı binaların tasarımını geliştirmek, sivilaşma ve heyelan gibi deprem kaynaklı jeolojik tehlikeleri anlamak için kullanılır (Perk ve Ozer 2019).

İvmeölçer ve hızölçerler cihazlarının bazı özellikleri benzer olmasına rağmen farklı tasarlanmışlardır. İkisi de üç yönlüdür (kuzey-güney, doğu-batı, düşey). İvmeölçerler büyük depremlere ait yüksek genlikli ve frekanslı sismik dalgaları ölçmek için tasarlanmıştır. Hızölçerler ise güçlü veya yakında meydana gelen depremlerin neden olduğu büyük yer hareketlerini iyi ölçemezler. Güçlü sarsıntılar, hızölçer cihazlarının doyuma girmesine neden olabilir.

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı 1.143 deprem (826 ivmeölçer, 317 hızölçer) ve 26 Sabit KKUS (Küresel Konumlama Uydu Sistemleri) istasyonu ile Avrupa'nın en büyük ikinci deprem gözlem ağına sahiptir. Ülkemizde yine Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından kurulan ulusal düzeyde deprem istasyonları ile Bursa ve Eskişehir'de Anadolu Üniversitesi tarafından işletilen deprem istasyon ağı bulunmaktadır (Tun ve diğ. 2020). Hızölçerler deprem parametrelerinin hesaplanmasında etkili bir şekilde kullanıldığından zemin büyütmesinden etkilenmemesi için anakaya üzerine konumlandırılırken; ivmeölçerler deprem yüklerinin belirlenmesi ve büyütme etkilerinin ölçülebilmesi için yapılaşmanın yoğun olduğu il ve ilçe merkezlerinde konumlandırılmıştır. Amasya ilinde kurulu bulunan ivmeölçerlerin deprem kayıtları ile hızölçer cihazlarının gürültü kayıtları kullanılarak büyütme karşılaştırılmıştır (Ateş 2020). Ülkemizde deprem gözlemi genel olarak hızölçer ve ivmeölçerler ile yüksek örnekleme aralıklı (100-200 Hz) dalga formları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak hızölçer kayıtçıları yakın ve güçlü depremlerde doyuma ulaştıklarından deprem genliğini tam ölçememektedir.

Ülkemizde meydana gelen 23.10.2011 Van Depremi'nde ($M_w=7.4$) 500 km, 20.07.2017 Muğla Bodrum Depremi'nde ise ($M_w=6.5$) 200 km'ye kadar olan hızölçer cihazları doyuma ulaşmıştır. İvmeölçer cihazları ise uzak ve düşük magnitüdü depremleri ölçemeyecektir. Bir depremin genlik ve frekansların tam olarak ölçülmesi araştırmacılar için önemlidir. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından işletilen Güney Kaliforniya Sismik Ağı'ndaki istasyonlara hızölçer, ivmeölçer ve Küresel Konumlama Sistemi (KKS) cihazı konumlandırılmış ve farklar karşılaştırmışlardır (Allen ve Ziv 2011). Sarsma tablası yardımıyla bazı depremler simule edilerek ivmeölçer ve KKUS ölçümleri sonuçları karşılaştırılmıştır (Senturk ve Aktug 2019). Yine araştırmacılar yüksek sismisiteye sahip bölgelerde, tüm dalga genliklerinin kaydedilmesini ivmeölçer ve KKUS'larının beraber kullanılmasını önermektedirler (Michel ve diğ. 2017).

Deprem Dairesi Başkanlığı 11 adet istasyona hızölçer ve ivmeölçer cihazları yerleştirmiş ve deprem kayıtlarındaki farklılıkların incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada 4 farklı istasyonda bulunan ivme ve hızölçer tarafından algılanan 8 adet deprem kaydı kullanılmış ve

sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Depremlerin istasyonlara olan uzaklığı 02-199 km, büyüklükleri ise 3.1-6.8 arasında değişmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, hızölçer cihazlarının doyuma ulaştığı anlarda ivmeölçerlerin deprem genliğini tam olarak ölçtüğü gözlenmiştir. Hızölçerin doyuma ulaşmadığı zamanlarda ise ivmeölçerin ölçümleri benzerdir. Uzak ve magnitüdü kk depremlerde ise ivmeölçerler hareketi lememektedir. Aynı istasyona hem hızölçer ve ivmeölçer kurulduğunda depremin tüm genlik ve frekansları ölçülmüş olacaktır. Ancak her istasyona 2 farklı cihaz konulması maliyet açısından bir yük oluşturacağından deprem aktivitesi yüksek bölgelerdeki istasyonlara konulması önerilmektedir. Bu Şekilde uzak ve düşük magnitdl depremler hızölçerler, güçlü ve yakın depremler de ivmeölçerler yardımıyla kayıt edeceğinden tüm genlikler kaydedilmiş olacaktır.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan hızölçer ve ivmeölçerler tarafından kaydedilen depremler.
Table 1: Earthquakes recorded by the broadband and accelerometers used in the study.

İstasyon Kodu	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük	R _{epi} (km)
GAZI	05.12.2020	12:44	36.0878	31.8998	77.22	5.2 (M _w)	40.7
GAZI	11.01.2022	01:07	34.9190	32.1663	5.06	6.4 (M _w)	147.0
BOZC	20.02.2019	18:23	39.6011	26.4261	5.20	5.0 (M _w)	41.7
BOZC	07.02.2017	02:24	39.5205	26.1510	6.24	5.2 (M _w)	36.7
BORA	11.06.2018	09:11	39.8658	30.4770	6.99	3.1 (M _L)	2.6
BORA	17.01.2015	00:42	39.8775	30.3785	5.08	4.0 (M _w)	6.4
NAR	02.02.2020	23:44	37.4658	37.1430	7.06	3.8 (M _w)	8.3
NAR	24.01.2020	17:55	38.3593	39.0630	8.06	6.8 (M _w)	198.8

2. İVMEÖLÇER VE HIZÖLÇER KAYITÇILAR

Sismik sensörlerin frekans tepkileri, kendi gürültüleri ve dinamik aralıkları ile ifade edilebilirler. Buna karşın sensörün dinamik aralığı ise, lceği st ve en alt sınır oranıyla ifade edilir.

Dinamik aralık (DA) kaydedecek en büyük (A_{max}) ve en kk (A_{min}) genliklerin oranıdır. Dinamik aralık logaritmik olarak ölçülür ve decibel (dB) olarak ifade edilir (Denklem 1).

$$DA = 20 \log_{10} (A_{max} / A_{min}) \quad (1)$$

Modern bir hızölçer sensörün genlik oranı 100 milyondur. Bu yukarıda 1 numaralı formülde yerine konursa DA=160 dB olacaktır. Bu aralık oldukça geniş olsa da büyük depremlerde yeterli olmayacaktır.

Hızlerlerde dinamik aralığın alt sınırı, sensörün kendi iç gürültüsü ile sınırlandırılmıştır. Bu seviyenin altında kalan hareket sensör tarafından algılanmayacaktır. Dinamik aralığın st sınırı sensörün duyarlılığı ve çıkış voltajı ile sınırlıdır. Bir sensör st sınırı olan duyarlılığı aştığı zaman doyuma (clip) ulaşacaktır. Bu durumda deprem hareketini lemeyecektir.

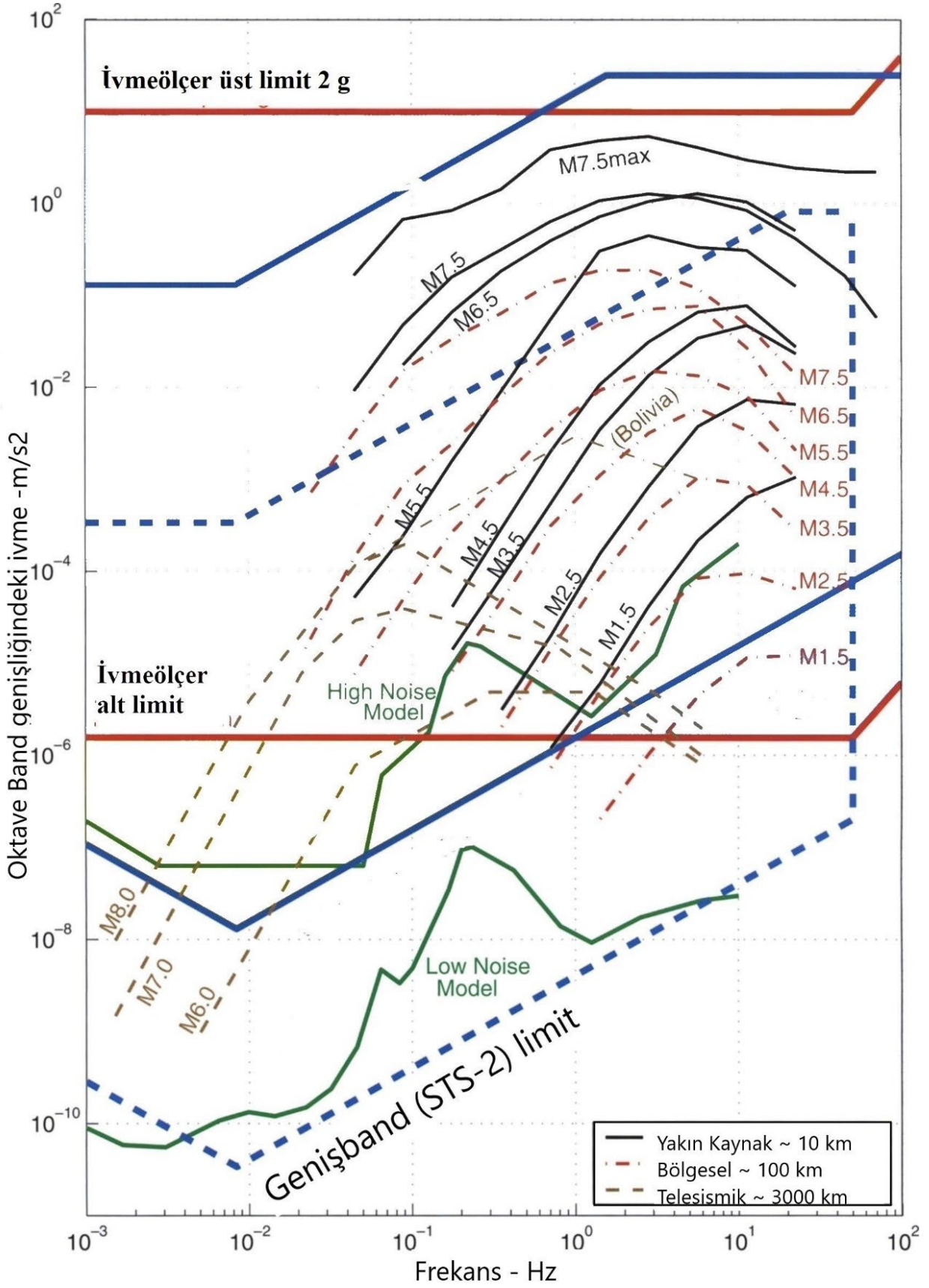
Örneğin bir hızölçer 1500 V/m/s duyarlığa ve ± 20 V maksimum çıkış voltajına sahipse, kaydedilebilecek en büyük genlik 1.33 cm/s'dir. Aynı zamanda duyarlılığı 750 V/m/sn, ıkışı ± 10 V sensörde de kaydedilebilecek en büyük genlik bu seviyelerdedir. Çalışmada kullanılan Güralp CMG-3T hızölçer cihazının ıkışı 10 V, duyarlılığı 3000 V/m/s olduğundan doyum seviyesi 0.33 cm/s'dir (Tunç ve diğ. 2015) Bazı hızölçer duyarlık ve doyum seviyeleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Farklı kayıtçıların doyum seviyeleri (Hauksson ve diğ. 2001).
Table 2: Clip levels of different recorders Hauksson et al. 2001).

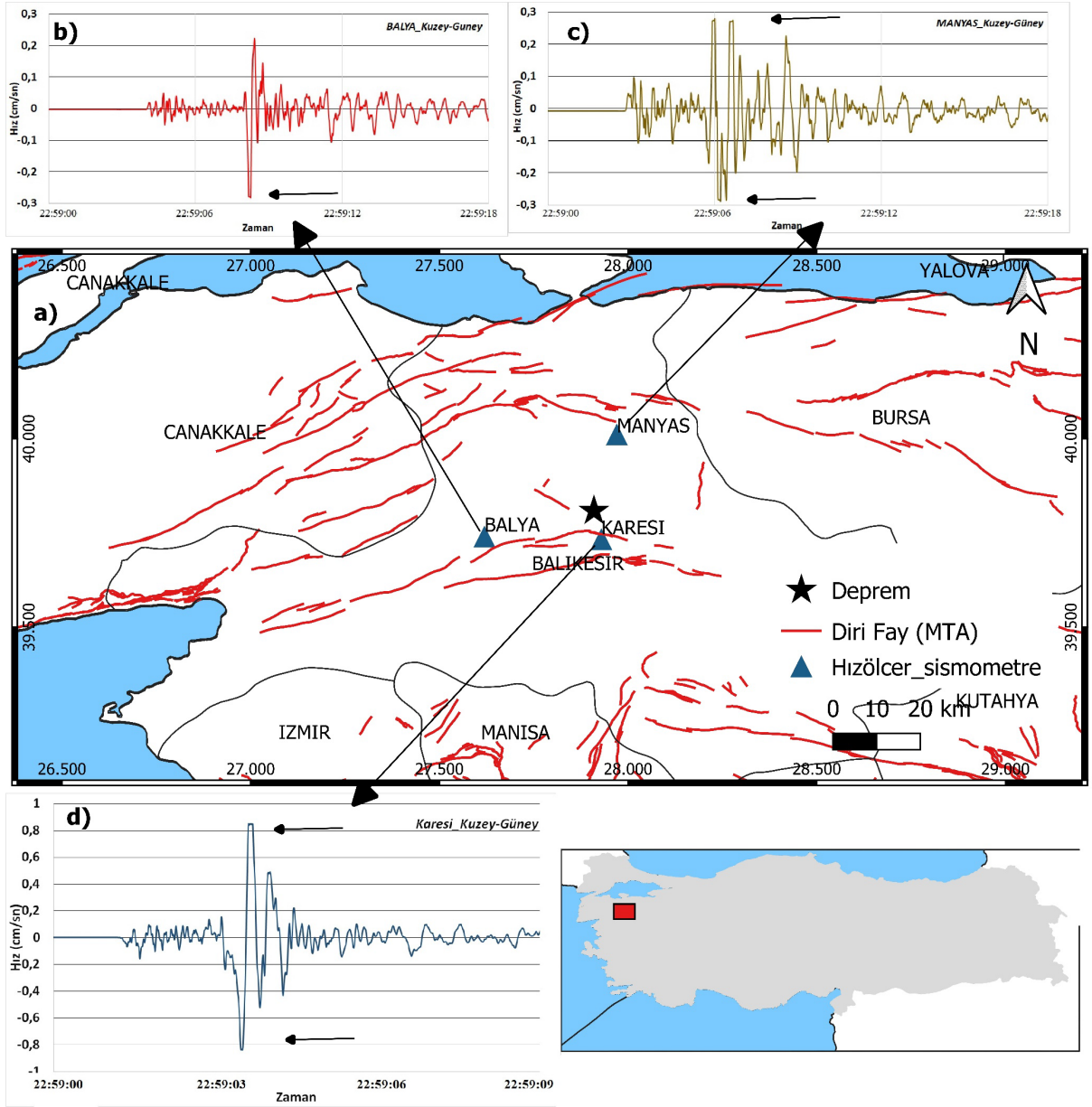
Marka	Model	Duyarlık (V/m/s)	Doyum (cm/s)
Geotech	KS-2000	2000	1.0
Güralp	CMG-3ESP	400	2.5
Nanometrics	Trillium Compact	750	2.6
Reftek	151B-120	2000	1.0
Streckeisen	STS-1 Vertical	2500	0.8
Streckeisen	STS-1 Horiz.	2300	0.9
Streckeisen	STS-2	1500	1.3

Hızölçerin büyük depremlerde doyuma ulaşmamasını sağlamak için farklı duyarlılıklı cihazlar tercih edilebilir. Ancak bu halde düşük genlikli hareketler kaydedemeyeceğinden genişband özelliklerini kaybedeceklerdir. Şekil 2'de STS marka genişband ile bir ivmeölçer cihazı karşılaştırılmıştır. İvmeölçer cihazı tarafından kaydedilebilen veriler kırmızı çizgiler arasında yer alacaktır. Hızölçerler tarafından kaydedilecek olayları ise mavi kesikli çizgileri göstermektedir. Yeşil çizgiler, USGS'in yüksek ve düşük gürültü seviyesi modelleridir. Siyah çizgiler yakın kaynaktan gelen depremleri, kırmızı çizgiler 100 km çapındaki bölgesel depremleri, kahverengi kesikli çizgiler telesismik olayları göstermektedir. Mavi kesikli çizgiler ile belirlenen alanın üstündeki herhangi bir genlikte, hızölçer doyuma ulaşacaktır.

03.06.2022 tarihinde Balıkesir'in Karesi ilçesinde meydana gelen büyüklüğü 4.7 olan depremin merkez üssüne yakın bulunan 3 adet hızölçerin (Karesi, Balya, Manyas) konumu Şekil 3'te gösterilmiştir. Depremin merkez üssüne en yakın konumda bulunan Karesi istasyonu 9 km, Balya ve Manyas istasyonlarının dışmerkeze mesafesi ise sırasıyla 23 ve 26 km'dir. Depremin merkez üssü çevresinde bulunan bu hızölçerlerin her 3'ü de doyuma ulaşmıştır. Hızölçerlerin doyuma ulaştıkları noktalar oklarla gösterilmiştir. Balya, Manyas ilçelerinde bulunan hızölçerlerin duyarlılığı 3000 V/m/s olduğundan doyum seviyesine daha erken ulaşmışken, duyarlılığı 1000 V/m/s olan Karesi ilçesinde bulunan hızölçer sismometrenin doyum seviyesi daha yüksektir. Buradan farklı duyarlılıklı hızölçerlerin doyum seviyeleri daha iyi anlaşılabilir.



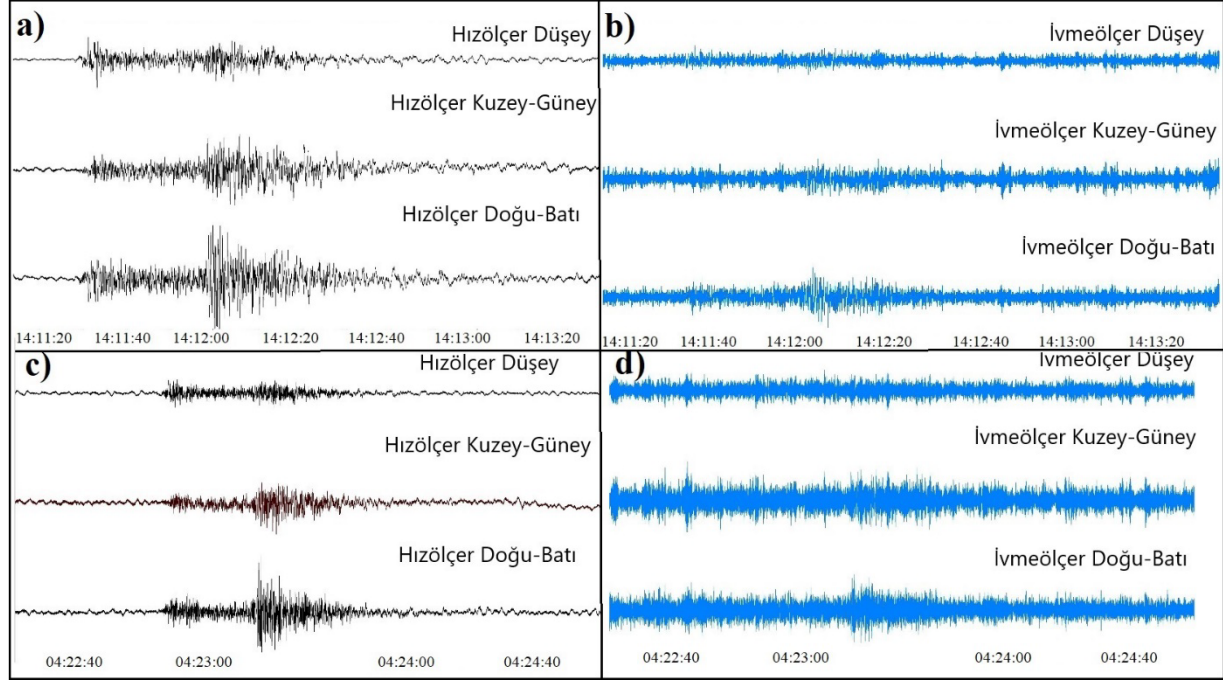
Şekil 2: Farklı tür kayıtçıların karşılaştırması (Clinton ve Heaton 2002).
Figure 2: Comparison of different type of recorders (Clinton and Heaton 2002).



Şekil 3: a) Balıkesir Karesi depremini kaydeden en yakın hızölçer kayıtçı konumları ve kuzey-güney bileşen sismogram kayıtları, b) Balya, c) Manyas ve d) Karesi istasyonları
 Figure 3: a) Locations of closest broadband seismometers that record Balıkesir Karesi earthquake and seismograms of North-South component, b) Balya, c) Manyas and d) Karesi stations

İvmeölçerlerde üst sınır duyarlılığı aşıldığında onlar da doyuma ulaşacaktır. Ancak bu aralık oldukça yüksektir. Bu sınır cihazın çıkış voltajı ve duyarlılığı ile alakalıdır. Örneğin 20 V çıkış voltajına, 1.02 V/m/s² duyarlılığa sahip bir Güralp 5TD cihazı 2g yani yaklaşık olarak 1962 cm/s² ivmeye sahiptir. Ülkemizde, ivmeölçerlerle kuvvetli yer hareketi ölçümlerinin başladığı 1976 yılından günümüze, bu ivme değerinde bir deprem meydana gelmemiştir.

İvmeölçerler düşük büyüklükte uzak depremleri kaydetmede hızölçerler kadar başarılı değildir. 22.03.2022 tarihinde Bursa Mustafakemalpaşa ilçe sınırlarında büyüklükleri 4.3 ve 3.8 olan depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerin merkez üssü, Bozcaada istasyonuna 220 km mesafededir. Bozcaada istasyonunda bulunan ivmeölçer ve hızölçerler tarafından kaydedilen deprem kayıtları Şekil 4'te gösterilmiştir. Hızölçer tarafından deprem kaydının P ve S dalgaları her 3-bileşende net gözlenebilirken ivmeölçerler bu deprem hareketini ölçememiştir.



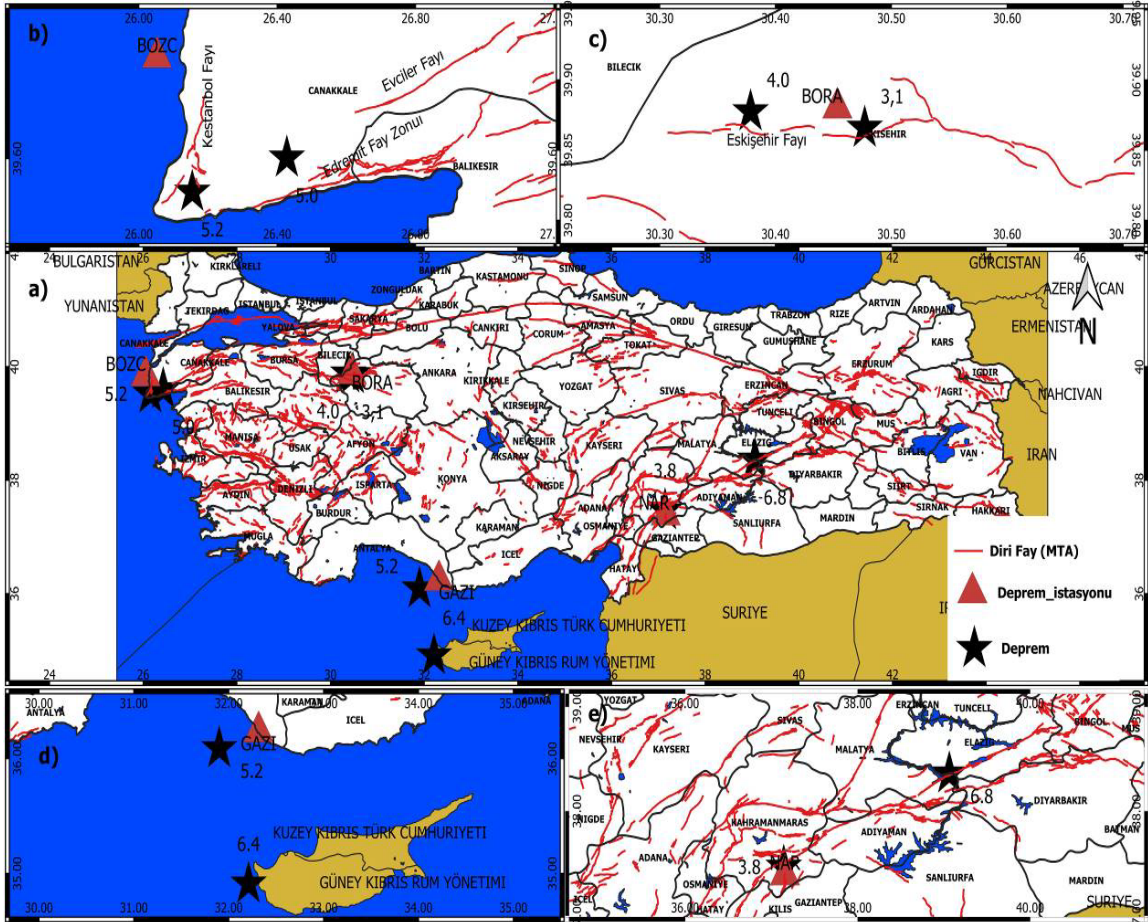
Şekil 4: 22.03.2022 (Mw 4.3) Mustafakemalpaşa depremi Bozcaada istasyon kayıtları; a) Hızölçer, b) İvmeölçer. 22.03.2022 (Mw 3.8) Mustafakemalpaşa depremi kayıtları; c) Hızölçer, d) İvmeölçer.
Figure 4: 22.03.2022 (Mw 4.3) Mustafakemalpaşa earthquake recorded by Bozcaada station ; a) Broadband, b) Accelerometer. 22.03.2022 (Mw 3.8) Mustafakemalpaşa earthquake recorded by c) Broadband, d) Accelerometer.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

İstasyondan sayısal olarak alınan hızölçer kayıtlarının alet, yönseme (trend) etkisi giderilmiş ve kayıtlara 0.1-25 Hz band geçişli süzgeç uygulanmış, kayıt birimleri m/s'den cm/s'ye dönüştürülmüştür. İstasyondan sayısal olarak alınan ivmeölçer kayıtları cm/s²'ye çevrilmiş, aynı şekilde yönseme etkisi giderilmiş ve 0.1-25 Hz frekans aralığında süzgeç uygulanmıştır. Kaydedilen cm/s² birimindeki ivme verileri sayısal integrasyon yöntemlerinden birisi olan yamuk (trapez) kuralıyla kümülatif olarak integralinin alınması ile birimi cm/s olacak şekilde hız verisine dönüştürülmüştür. Hız birimine (cm/s) dönüştürülen ivmeölçer ve hızölçer kayıtları birbiriyle karşılaştırılmıştır.

3.1) İncelenen Depremler

Depremlerin kaydedildiği istasyonların tamamı zemin büyümesinden etkilenmemesi için anakayaya kurulmuştur. MTA yer bilimleri haritasından alınan verilere göre; Eskişehir İli Merkez İlçe'de bulunan BORA istasyonu üst Paleozoyik-Triyas yaşlı, şistlerden oluşmaktadır. Çanakkale İli Bozcaada İlçesinde bulunan BOZC istasyonu Orta Miyosen yaşlı andezit birimleri üzerinde kuruludur. Antalya İli Gazipaşa İlçesi'nde bulunan GAZİ istasyonu Kambro-Ordovisiyen yaşlı şist, Kahramanmaraş İli Narlı İlçesi'nde bulunan NAR istasyonu ise Eosen yaşlı kireçtaşı üzerinde konumlandırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: a) Çalışmada kullanılan ve b) BOZC, c) BORA, d) GAZİ ve e) NAR istasyonu tarafından kaydedilen depremler.

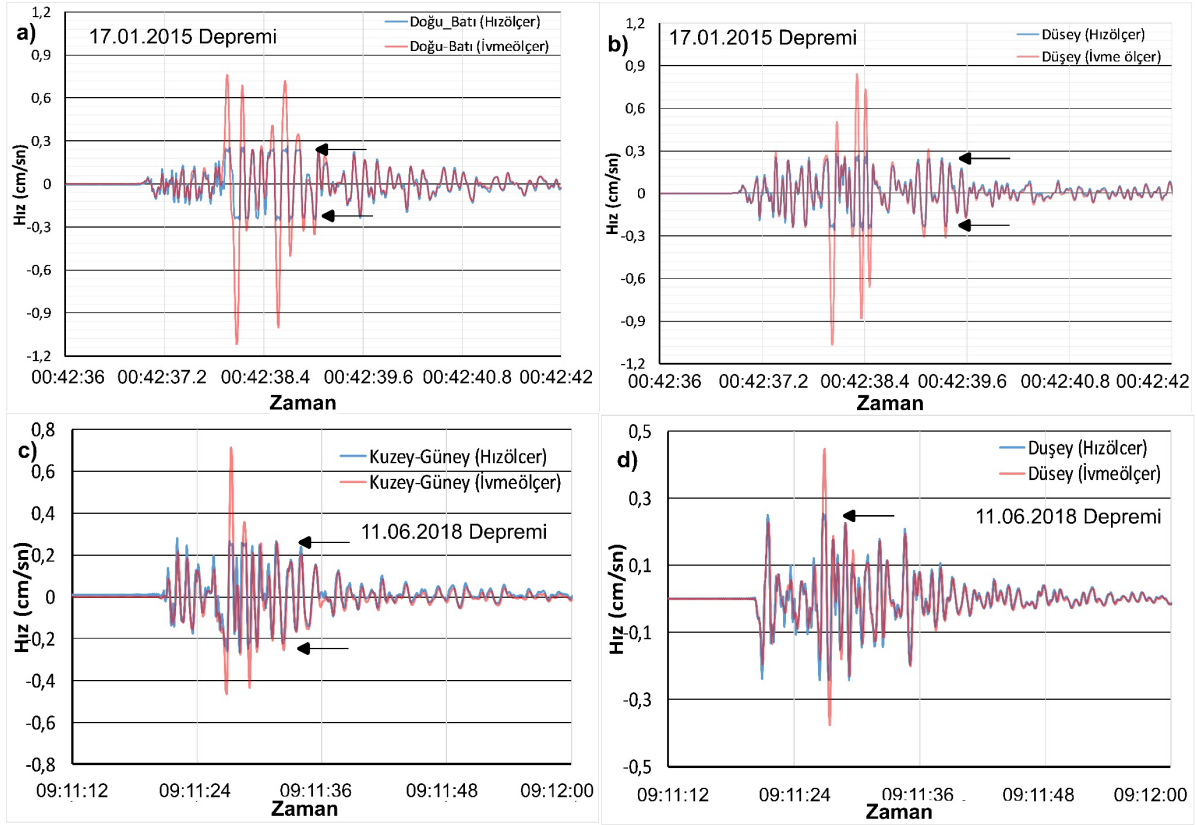
Figure 5: a) Earthquakes that are used in this study and are recorded by; b) BOZC, c) BORA, d) GAZİ and e) NAR stations.

4. BULGULAR

Bozcaada, Eskişehir, Gazipaşa (Antalya) ve Pazarcık (Kahramanmaraş)'da kurulu bulunan ivmeölçer ve hızölçer kayıtçıları tarafından kaydedilen depremlerin konumları, ivmeölçer ve hızölçer sismogram görüntüleri, farklı bileşenlerde farklı sensörler tarafından büyük depremlerde doyuma ulaşmış-ulaşmadığı ya da küçük depremleri kaydedip-kaydedemedikleri ile ilgili bulgular aşağıda özetlenmiştir.

4.1) Bora (BORA) İstasyonu Kayıtları

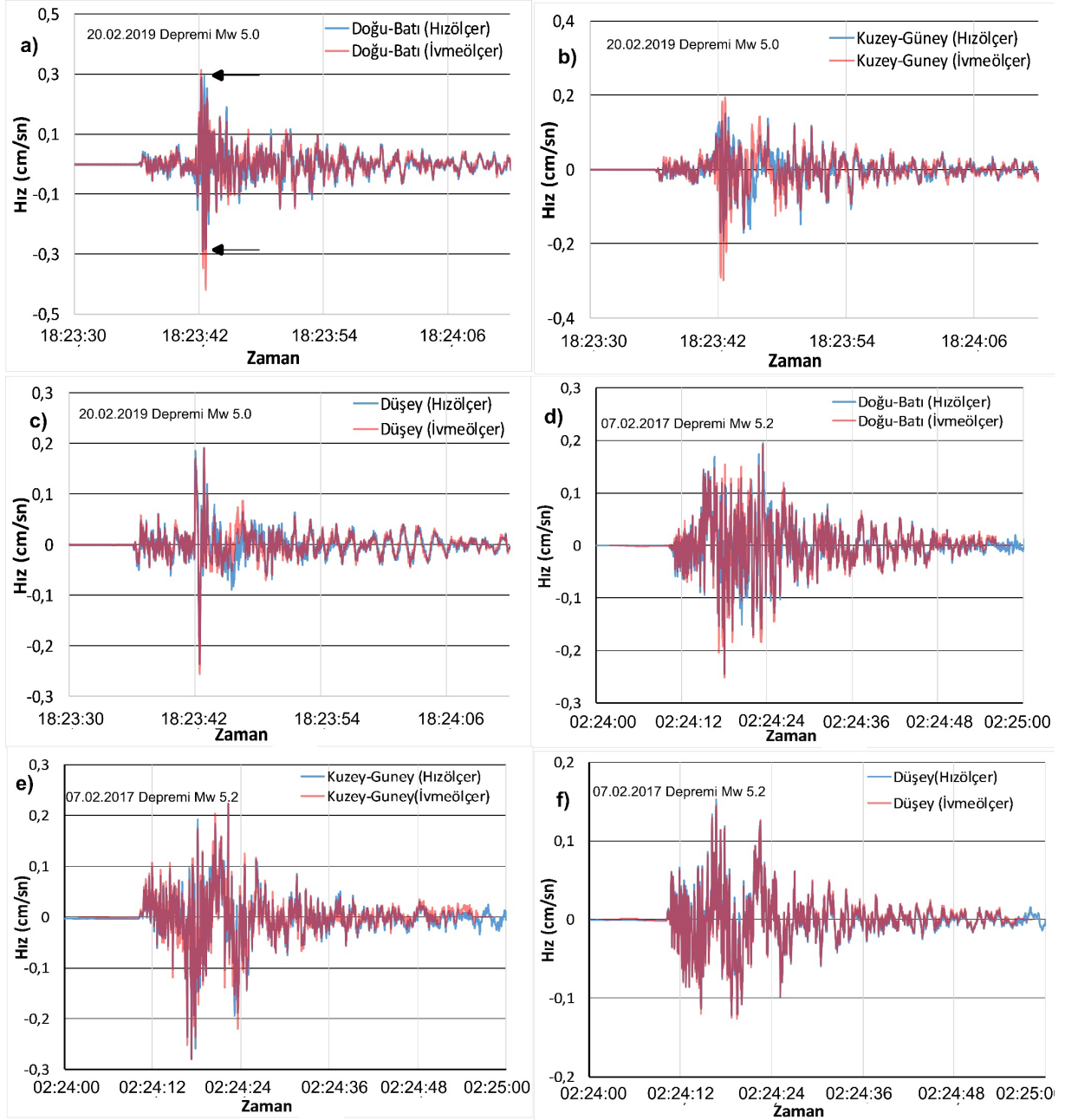
Eskişehir Merkez'de bulunan BORA istasyonunda kaydedilen 2 depremin konumu ve sismogram görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu istasyonda bulunan hızölçer cihazında 17.01.2015 tarihindeki depremde kuzey-güney bileşeni, 11.06.2018 tarihindeki depremde ise doğu-batı bileşeni kayıt alamadığından ivmeölçer kayıtları ile karşılaştırma imkânı bulunamamıştır. Bu iki depremde de hızölçer 0.3 cm/s hıza ulaşmadan doyuma ulaşmıştır ki ivmeölçer cihazının genlikleri oldukça yüksektir. İki depremin de merkez üssü istasyona yakındır ancak doğu-batı ve düşey bileşenlerde de görüleceği üzere yakın mesafedeki depremlerde hızölçerler doyuma ulaşmıştır. 17.01.2015 tarihinde meydana gelen depremin maksimum ivmesi 82 cm/s^2 , 11.06.2018 tarihinde meydana gelen depremin maksimum ivmesi 76 cm/s^2 'dir ve Güralp CMG 5TD cihazın doyum limitinin oldukça altındadır.



Şekil 6: BORA istasyonu (hızölçer ve ivmeölçer) tarafından kaydedilen deprem kayıtları
 Figure 6: Earthquakes recorded by the BORA station (broadband and accelerometer seismometers)

4.2) Bozcaada (BOZC) İstasyonu Kayıtları

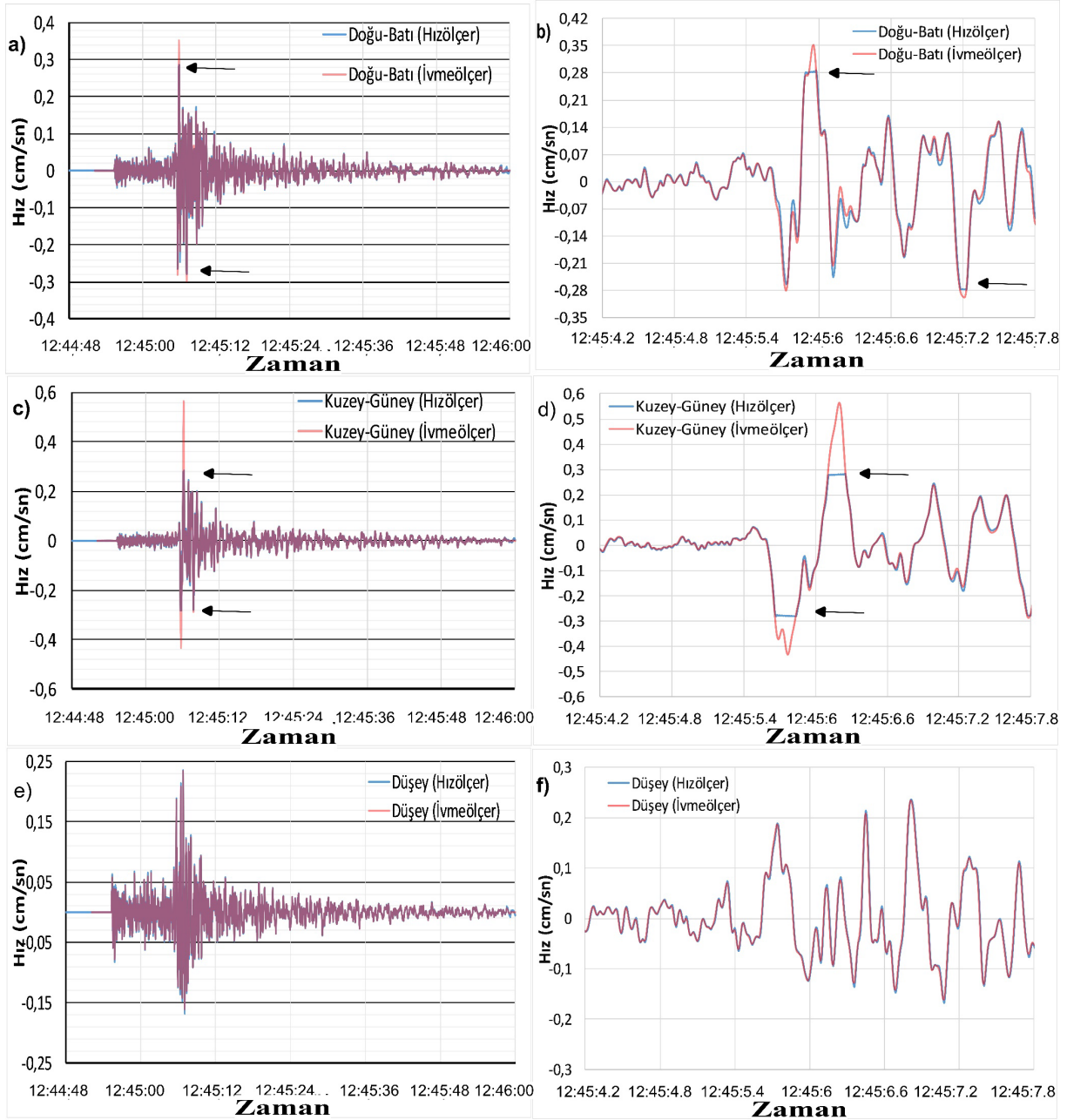
BOZC istasyonu tarafından kaydedilen 2 depremin konumu ve sismogram görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. 20.02.2019 tarihinde meydana gelen 5.0 büyüklüğündeki depremde Şekil 7.a da gösterilen doğu-batı bileşeninde hızölçer cihazı yaklaşık 0.3 cm/s'de doyuma ulaşmıştır. İvmeölçerin aynı bileşende ölçtüğü genlik değeri ise 0.42 cm/s dir. Bu istasyon yalnızca bu bileşende doyuma ulaşmış olup diğer bileşenlerdeki genlik değerleri hızölçerin duyarlık seviyesi içerisinde olduğundan ivmeölçer ile uyumludur. Şekil 7 b.c.d.e ve f'de gösterilen kayıtlarda ise ivmeölçer ve hızölçer kayıtları uyumludur.



Şekil 7: BOZC istasyonu (hızölçer ve ivmeölçer) tarafından kaydedilen deprem kayıtları
 Figure 7: Earthquakes recorded by (broadband and accelerometer located at) BOZC station

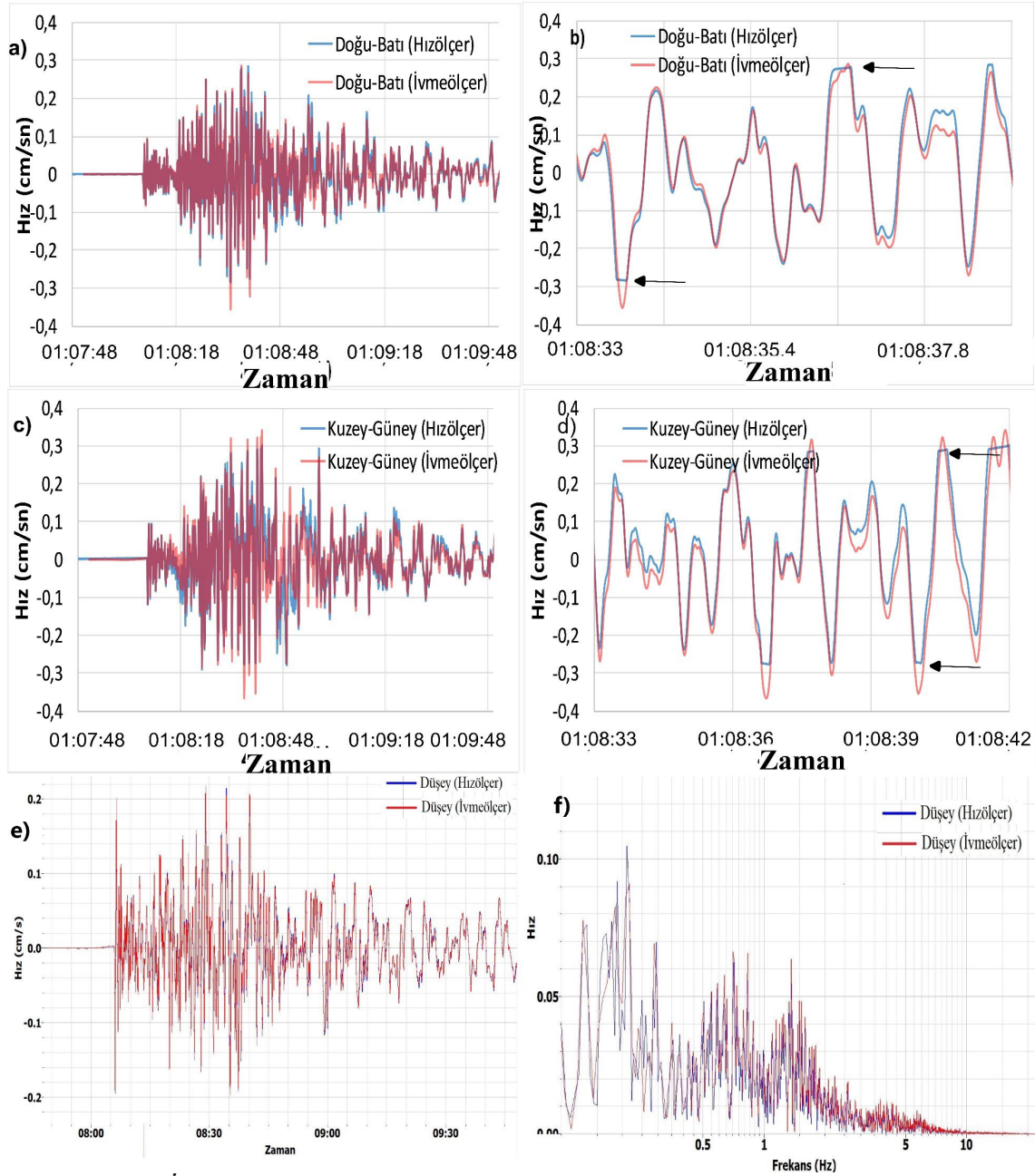
4.3) Gazipaşa (GAZİ) İstasyonu Kayıtları

Antalya Gazipaşa'da bulunan GAZİ istasyonu tarafından kaydedilen 2 depremin konumu ve sismogram görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. 05.12.2020'de meydana gelen 5.1 büyüklüğünde ve merkez üssü istasyona 40 km mesafede hızölçer doğu-batı ve kuzey-güney bileşen S-dalga fazında (0.3 cm/s hıza ulaşmadan) doyuma ulaşmıştır (Şekil 8 a,c). S-dalgasının başlangıcı yaklaştırılmış olarak Şekil 8 b,d'de gösterilmiştir. Hızölçer cihazının düşey bileşeni, duyarlılığın altında kaldığı için doyuma ulaşmamıştır (Şekil 8e,f). İvmeölçerin ölçtüğü genlik değeri kapasitesinin çok altındadır. İvmeölçer cihazının 05.12.2020 depreminde ölçtüğü en büyük ivme değeri doğu-batı bileşende 10 cm/s^2 'dir. Hızölçer sismometrenin doyuma ulaştığı noktalar dışında iki sensördeki sismogram görüntüsü benzerdir.



Şekil 8: GAZİ istasyonu (hızölçer ve ivmeölçer) tarafından kaydedilen 05.12.2020 deprem kayıtları
 Figure 8: Earthquakes recorded by (broadband and accelerometer located at) GAZI station for 05.12.2020 earthquake

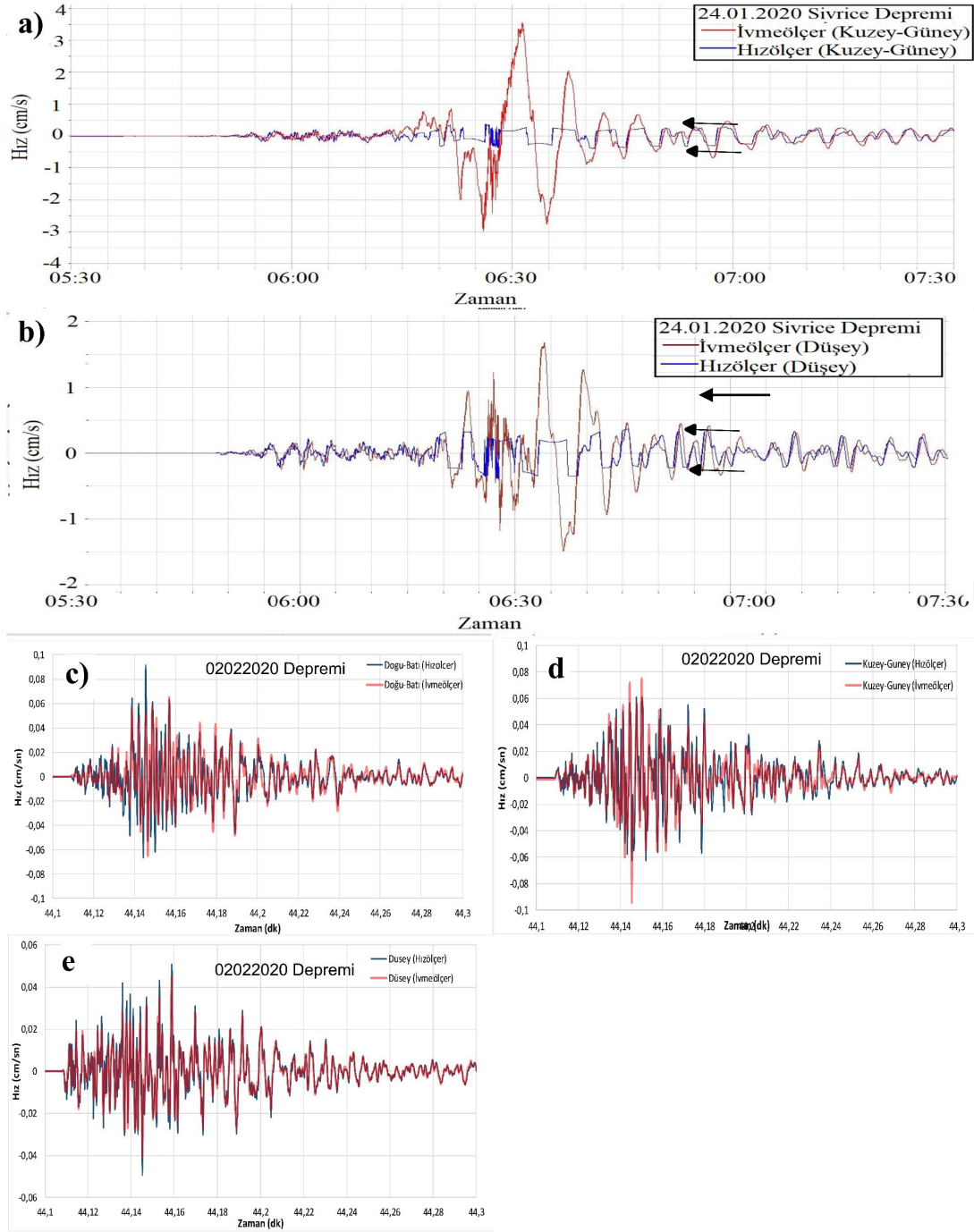
10.01.2022 tarihinde Kıbrıs Adasının batısında 6.4 büyüklüğünde meydana gelen deprem merkez üssü GAZİ istasyonuna uzaklığı 147 km'dir. İstasyonda bulunan hızölçer cihazı yatay bileşenlerde (Şekil 9 a,b,c,d) yalnızca birkaç noktada 10-20 ms gibi çok kısa süreli doyuma ulaşmıştır. Hızölçer cihazı doyuma ulaşmadığı diğer zamanlarda ve ivmeölçer düşey bileşen kayıtları ile uyumludur. Ancak düşey bileşende hızölçer ve ivmeölçerin düşük frekanslarında farklılıklar mevcuttur (Şekil 9 e f).



Şekil 9: GAZİ istasyonu (hızölçer ve ivmeölçer) tarafından kaydedilen 10.01.2022 deprem kayıtları
 Figure 9: Earthquakes recorded by (broadband and accelerometer located at) GAZI station for 10.01.2022 earthquake

4.4) Narlı (NAR) İstasyonu Kayıtları

Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinde kurulan NAR istasyonu tarafından kaydedilen 2 depremin konumu ve sismogram görüntüleri Şekil 10'da verilmektedir. 24.01.2020 tarihinde 6.8 büyüklüğünde meydana gelen Elazığ, Sivrice depremi kuzey-güney ve düşey bileşenlere ait hız ve ivmeölçer kayıtlar Şekil 10 a-b'de görülmektedir. İstasyon depremin merkez üssüne 198 km uzaklıktadır. Şekil 10 c,d ve e'de ise 02.02.2020 tarihli depremin hız ve ivmeölçerlere ait yatay ve düşey bileşen kayıtları verilmiştir. Hızölçer, doğu-batı bileşende kayıt alamadığından ivmeölçer ile karşılaştırılamamıştır.



Şekil 10: NAR istasyonu (hızölçer ve ivmeölçer) tarafından kaydedilen 24.01.2020 deprem kayıtları
 Figure 10: Earthquakes recorded by (broadband and accelerometer located at) NAR station for 24.01.2020 earthquake

Şekil 10 a,b'de hızölçerin ~ 0.3 cm/s değerinde doyuma ulaştığı gözlenmiştir. Kuzey-güney bileşende ivme değeri 54 cm/sn², düşey bileşende 42 cm/s²'dir ve sensor üst sınırı olan ~ 2 g'nin altındadır. Hızölçer, depremin merkez üssüne uzak olmasına rağmen doyuma ulaşmıştır ve en büyük genliği ölçmemiştir. Şekil 10 c,d,e'de, 3.8 büyüklüğünde istasyona 8 km mesafede meydana gelen bir depremin hız ve ivme kaydı verilmiştir. Bu depremde ivmeölçer ve hızölçer kayıtlarında, frekans içeriği değişiminden dolayı pik değerlerde bazı farklılıklar bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı amaçlar için tasarlanmış ivmeölçer ve hızölçer cihazlarının kaydettiği deprem kayıtları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, 4 farklı bölgede meydana gelen 8 deprem kaydı kullanılmıştır. Merkez üsleri ve odak mekanizmaları farklı olan depremlere bakıldığında, yapısı gereği hızölçer cihazlarının yüksek genlikli hareketleri ölçemediği ve doyuma ulaştığı, ivmeölçerlerin ise deprem dalgalarına ait genlikleri tam olarak ölçtüğü gözlenmiştir. Buna karşın ivmeölçer cihazların, uzak ve küçük büyüklüklü depremlerde deprem dalgasına ait fazları tam olarak ölçemediği gözlenmiştir. Hızölçerin doyuma ulaşmadığı zamanlarda ise ivmeölçerin ölçümleri ile benzerdir.

Bu nedenle Türkiye gibi sismik etkinliği yüksek bazı bölgelerde aynı istasyonun içerisine, farklı nesil ve teknolojiye sahip hem ivmeölçer, hem de hızölçer cihazlarının kurulması halinde küçükten büyüğe bütün genlikler kapsanmış olacak, böylece yakın ve kuvvetli depremler ölçülebilir hale gelecektir. Ancak, her istasyona 2 farklı yapıda cihaz konulması maliyet açısından bir yük oluşturacağından deprem aktivitesi yüksek bölgelerdeki istasyonlara kurulması önerilmektedir. Bu şekilde, hem uzak ve düşük büyüklükteki depremler hızölçerler yardımıyla, hem de güçlü ve yakın depremler ivmeölçer ile kaydedileceğinden tüm genlikler elde edilmiş olacaktır. Öngörülen sayıdaki istasyonlara burada önerilen ve tamamlayıcı nitelikte ek kayıtçıların kurulması, sonrasında gerekli testlerin yapılması, avantaj ve dezavantajların daha net analiz edilmesini sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan deprem verilerinin kaydedilmesi ve arşivlenmesini sağlayan AFAD Deprem Dairesi personeline, faydalı eleştirileri nedeniyle çalışmaya katkı koyan hakemlere, Türk Deprem Arastirma Dergisi sekreteri Cenk Erkmen'e ve dergi editörü Orhan Polat'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Allen R.M., Ziv A., 2011. Application of real-time GPS to earthquake early warning, *Geophys. Res. Lett.* 38, L16310.

Ates E., 2020. Comparison of Horizontal / Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya, *Turk Deprem Arastirma Dergisi* 2(2), 160-175.

Clinton J.F., Heaton T.H., 2002. The Potential Advantages of a Strong-motion Velocity Meter Over a Strong-motion Accelerometer, *Seismological Research Letters* 73, 332-342.

Kılıç T., Kartal R.F., Zünbül S., Kadirioğlu F.T., Kaplan M., Yanık K., Türkoğlu M., Demir M., İde A., Karaağaç D., 2011. Deprem Tehlike ve Risk Çalışmalarında Sismolojik Gözlem Ağlarının Önemi: Türkiye Ulusal Gözlem Ağındaki Son Gelişmeler, 1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, Erişim adresi: http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/11.Oturum/1.TDMSK_049.pdf.

Hauksson E., Small P., Hafner K., Busby R., Clayton R., Goltz J., Heaton T., Hutton K., Kanamori H., Polet J., Given D., Jones L.M., Wald D. 2001. Southern California Seismic Network: Caltech/USGS Element of Trinet 1997-2001, *Seismological Research Letters* 72(6), 690-704.

Michel C., Kelevitz K., Houlie N., Edwards B., Psimoulis P., Su Z., Clinton J., Giardini D., 2017. "the potential of high-rate gps 123 for strong ground motion assessment." *Seismological Society of America*, 107, 1849- 1859.

Perk S., Ozer C., 2019. Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey, *Turk Deprem Arastirma Dergisi* 1(2), 167-179.

Senturk M.D., Aktug B., 2019. Precision of Global Navigation Satellite Systems Based Earthquake Observations, *Turk Deprem Arastirma Dergisi* 1(1), 48-62.

Tun M., Mutlu S., Pekkan E., 2020. EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey, *Turk Deprem Arastirma Dergisi* 2(2), 193-208.

Tunç S., Tunç B., Çaka D., 2015. Genişband Sismometreler Neden Clip Olurlar?, 3.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015, Erişim adresi: http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/pdf2015/TDMSK_138.pdf.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında kullanılan deprem kayıtları AFAD Deprem Dairesi Başkanlığından, Fay verileri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

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

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

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