



## Hızölçer Genişband Sismometrelerde, Sismik Sinyal Neden Doyuma Ulaşır?

### Why Does The Seismic Signal Clip In Velocity Broad-Band Seismic Sensor?

Süleyman TUNÇ<sup>1,\*</sup>, Berna TUNÇ<sup>2</sup>, Deniz ÇAKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7336-425X

<sup>2</sup> Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0746-8701

<sup>3</sup> Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2125-6489

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 13/05/2022

Kabul Tarihi : 15/06/2022

#### Anahtar Kelimeler

Deprem  
Doyum  
Duyarlılık  
Genişband Sismometre

#### Research Paper

Received Date : 13/05/2022

Accepted Date : 15/06/2022

#### Keywords

Earthquake  
Saturation  
Sensitivity  
Broadband Seismometer

#### Özet

Deprem izlemede kullanılan hız algılayıcılarının dinamik aralıkları 165dB civarında olmasına rağmen, şiddetli deprem dalgalarının oluşturduğu yer hareketi hızı aşırı güçlü olduğundan, bu cihazların ürettiği veriler, kırılmakta ve kullanılamaz hale gelmektedir.

Ulusal ölçekte, depremleri gözlemleyen Türkiye'deki en önemli kurumlar, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) genişband sismometre kullanmaktadır. Van yakınlarında, 23.10.2011 tarihinde meydana gelen depremde (Mw=7,2) genişband sismometrelerin kaydettiği dalga şekli verilerinin çoğu doyuma ulaşması sonucu, sinyalin üstten ve/veya alttan kırılmasıyla depremin büyüklüğü ve yerinin belirlenmesi konusunda bazı sıkıntılar yaşanmıştır. Ülkemizde, genişband sismometreler doyuma ulaşmaz inancını değerlendirmek amacı ile algılayıcıların neden doyuma ulaştıkları hakkında bulgular verilecektir.

#### Abstract

Although broadband, feedback seismic sensors have a dynamic range of 165 dB, they can saturate when the velocity ground motion caused by seismic waves is strong enough.

National seismic networks operated by Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) and Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) use broadband seismometers in Türkiye. During the Van Earthquake on October 23, 2011, there were difficulties in determining the location and magnitude of the earthquake as the signals recorded by the broadband seismometers were saturated and clipped from the top and/or bottom. In order to shed light on the widely accepted idea that the broadband seismometers do not saturate in this article we provide an assessment on why broadband seismometers reach saturation.

## 1. Giriş

Depremleri gözlenmesinde kullanılan hız algılayıcılarının dinamik aralıkları (en büyük genliğin en düşük genliğe oranı) 165 dB civarında olmasına rağmen, bazen deprem dalgalarının meydana getirdiği yer hareketi hızı güçlü olduklarında, bu cihazların verisi doyuma giderek kırılacağından, bu veri kullanılamaz hale gelir, Şekil 1.

## 2. Dinamik Aralık

Heaton (2003)'e göre bir sisteminin dinamik aralığı (DR); sistemin ölçülebileceği en yüksek genliğin, sistemin

ölçülebileceği en düşük genliğe oranıdır ve desibel cinsinden tanımlanır.

$$D_R = 20 \log_{10} (G_{max}/G_{min}) \quad (1)$$

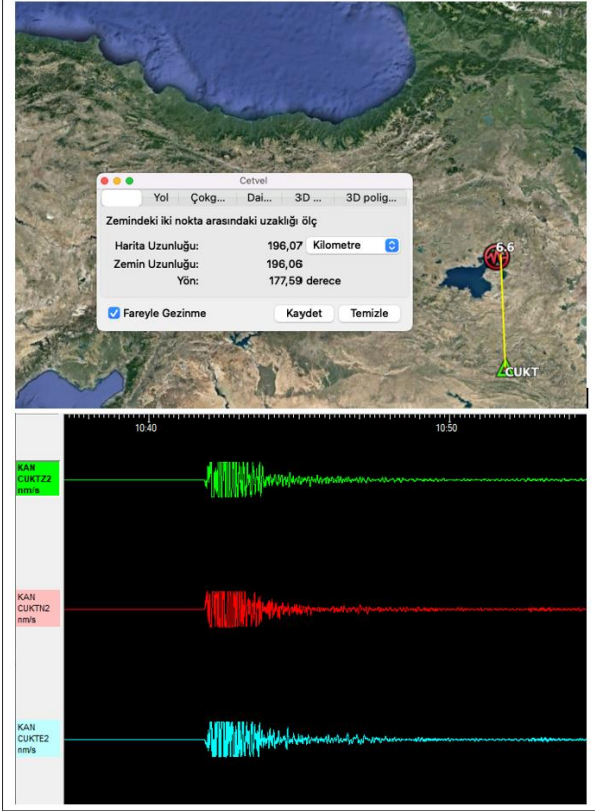
Son yıllarda üretilen sismometrelerin en büyük genlik oranı yaklaşık  $1.8 \cdot 10^8$  civarındadır. Bu değeri (1) numaralı formülde yerine yazarsak;

$$D_R (dB) = 20 \log_{10}(G_{max}/G_{min}) = 20 \cdot \log 1.8 \cdot 10^8 = 165 \text{ dB}$$

Sismometrelerin dinamik aralığı, 165 dB'den büyük olmasına karşın, farklı büyüklükteki sismik sinyallerin

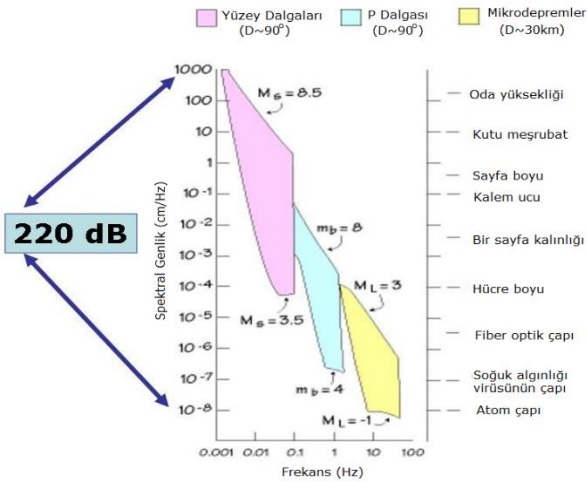
\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): [stunc@syy.com.tr](mailto:stunc@syy.com.tr)





Şekil 1. KRDAE, CUKT istasyonu (Güralp Systems 3ESPD 0.033Hz-50Hz), 23 Ekim 2011, Van Depremi.

oluşturduğu yer hareketlerinin tüm aralığını kapsayacak aralığa sahip değildirler. Doğal kaynakların meydana getirdiği (meltem rüzgarları gibi) geri plan gürültüsü, düşük gürültü seviyesine sahip sismik istasyonlarda 1 saniye civarında  $1-2 \cdot 10^{-9} \text{m/sn}$ 'dir. Bu büyüklükteki bir sinyal sismometreler tarafından algılanabilir bir biçimde ölçülebilmektedir. Dolayısı ile sismometrenin kendisinden kaynaklanan elektronik gürültüsü, ölçebileceği en küçük sismik sinyalden biraz daha düşük olmalıdır.



Şekil 2. Dünyada meydana gelen sismik hareketler sonucu, sismometreler tarafından ölçülen genlikler. (Clinton, 2004)

Şekil 2, Dünyada meydana gelen sismik hareketler sonucu sismometreler tarafından ölçülen genlikleri ve bu genliklerin doğrudan sinyalin frekans içeriği ile ilişkisini göstermektedir. Şekildeki sarı bölge; geri plan gürültüsünün üzerine çıkmış küçük sismik dalgaları göstermektedir, ( $M_L < -1$ ). Bu bölge depremin merkezinden 1-2 kilometre uzaklığa konulmuş sismometreler elde edilen ve genlikleri  $10^{-9} \text{m}$  civarında olan sismik sinyallerden oluşmaktadır. Bu bölgedeki en büyük sismik büyüklük;  $M_L = 3$  civarındadır.

Şekildeki mavi bölge; uzak alan cisim dalgalarından oluşmaktadır. Bu bölge depremin merkezinden 1000-2000 kilometre uzaklığa konulmuş sismometreler elde edilen ve genlikleri  $10^{-6.5} \text{m}$  ile 1 cm aralığında olan sismik sinyallerden oluşmaktadır. Bu bölgedeki en büyük sismik aktivite;  $M_b = 8$  civarındadır. Şekildeki pembe bölge; Yüzeysel dalgalarından oluşmaktadır. Cisim dalgalarından daha büyük periyotlara sahiptirler. Bu bölgedeki en büyük sismik aktivite;  $M_s = 8.5$  civarındadır.

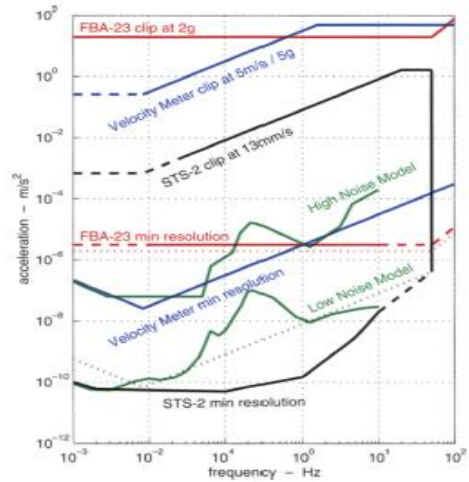
$M_L < -1$  ve  $M_s = 8.5$  aralığında, yeryüzünden meydana gelmiş sismik titreşimlerin dinamik aralığı 220 dB civarında olduğu görülmektedir.

Aletsel dönemlere baktığımızda, Hint Okyanusu (2004,  $M_w = 9.2$ ) ve Şili sahilinde (2010,  $M_w = 8.8$ ) meydana gelen depremler, şekil 2 gösterilen yüzeysel dalgalarından daha büyük genliklerde sismik dalga oluşturmuşlardır. Bu yüzeysel dalgalarına ait dinamik aralık, 220 dB'den daha yüksektir.

## 2.1. Sismik Cihazların Dinamik Aralığı

### 2.1.1. Sismometre

Son yıllarda üretilen sismometrelerin dinamik aralığı kabaca 165 dB'den daha büyüktür. Şekil 3'de siyah olarak çizilmiş alan Streckesien STS-2 sismometresine ait dinamik aralıkları göstermektedir.



Şekil 3. Sismometrelere ait dinamik aralık grafiği (Clinton and Heaton, 2002)

Dinamik aralığın en küçük değeri, sismometrenin elektronik gürültüsü ile sınırlandırılmıştır. Bu elektronik gürültü sistemin kendi çalışmasından kaynaklandığı için bu gürültüyü yok etmek imkansızdır. Sismometrelerin kaydedebileceği en küçük yer sarsıntısını belirlemektedir. Bu gürültü seviyesinin altında kalan hiçbir sismik hareket sismometreler tarafından ölçülemez.

Dinamik aralığın üst büyük değeri, sismometrelerin G değeri (hassasiyet-duyarlık) ile sınırlandırılmıştır. Eğer kullanılan sismometreler zayıf hareket hız ölçer ise (Gain) V/m/s, kuvvetli hareket ivme ölçer ise, (Gain) V/m/s<sup>2</sup> dir. Sismometreler için kırılma seviyesi "saturation level" aşağıdaki formülde tanımlanmıştır.

$$V_{\text{sat}}=V_{\text{max}}/G \text{ ( m/s)} \quad (2)$$

$V_{\text{max}}$ : sismik sinyalin çıkış genliğinin en üst sınır noktasıdır ve birimi voltur. Sismometrelerdeki G değeri, sismometreye ait birim tepki fonksiyonunun lineer olduğu yerdeki sabit değerdir.

Sismometreler doyuma gidecek ilk şey op-amp'lardır. Op-amp'ların iç tasarımı tarafından dayatılan bir sınır olan dahili güç kaynağı yaklaşık 0,8V'a ulaştığında doyum gerçekleşir. 2007 yılından önce üretilen sismometrelerde dahili güç  $\pm 9,6V$  civarındaydı, bu nedenle kırılma yaklaşık 8,8V'ta gerçekleşecektir.

Güralp Systems 3T sismometresinin kırılma seviyesi (2007 öncesi)

$$V_{\text{max}} = 8.8V \quad G=3000 \text{ V/m/s}$$

$V_{\text{sat}} = 8.8/3000 = 0.00293\text{m/s} = 0.293\text{cm/s}$  olarak bulunur.

2007 yılından sonra üretilen cihazlarda, dahili güç  $\pm 10,8V$ 'a yükseltilebildi. Böylece çıkışlar artık gerçekten  $\pm 10V$  arasında salınabilir hale geldi.

Güralp Systems 3T sismometresinin kırılma seviyesi (2007 sonrası)

$$V_{\text{max}} = 10V \quad G=3000 \text{ V/m/s}$$

$$V_{\text{sat}} = 10/3000 = 0.0033\text{m/s} = 0.33\text{cm/s}$$
 olarak bulunur.

Güralp Systems 3ESP sismometresinin kırılma seviyesi;

$$V_{\text{max}} = 10V \quad G=1500 \text{ V/m/s}$$

$$V_{\text{sat}} = 10/1500 = 0.0066\text{m/s} = 0.66\text{cm/s}$$
 olarak bulunur

Dolayısı ile doyum seviyesi tamamen G değeri ile ilişkilidir. Bu nedenle, eğer yer hızı, sismometrenin birim tepki fonksiyonundan hesaplanan lineer alandaki bir periyotta 0.33 cm/s'yi aşarsa, Güralp Systems 3T sismometresi doyuma gider ve sinyal kırılır. Eğer sismometrenin duyarlığını 500 V/m/s'ye indirirsek, bu durumda sismometrenin kırılma seviyesi 2.0 cm/s olacak ve ancak bu değer aşılması durumunda sismometre doyuma gidecektir. Tablo 1'de bazı firmalara ait sismometrelerin doyum değerleri verilmiştir.

Duyarlık değerinin düşürülmesi; sismometrenin daha yüksek hızları kaydedebilecek seviyeye gelmesini sağlar. Bu durumda da sismometrenin ölçebileceği en düşük sarsıntı seviyesi daha yukarılara çıkacak ve küçük sarsıntılar için olan duyarlılık yok olacaktır.

**Tablo 1.** Streckeisen ve Güralp Systems firmalarına ait bazı sismometrelerin doyum değerleri

Üretici	Model	Band genişliği	Hassasiyet	Doyum seviyesi (CL)
Streckeisen GmbH	STS1.	360sec-10Hz	2300V/m/s	~0.90c m/s
Streckeisen GmbH	STS2	120sec-50Hz	1500V/m/s	~1.33c m/s
GSL	3T	120sec-50Hz	3000V/m/s	~0.33c m/s
GSL	6T	60sec-50Hz	1500V/m/s	~1.33c m/s

### 2.1.2. Sayısallaştırıcı-ADC (Digitizer)

Sismometreler, analog algılayıcının yanısıra, ADC veya sayısallaştırıcı olarak da bilinen analogdan sayısal dönüştürücü bir birime sahiptir. Sismometreler yaklaşık 165 dB'lik olayları kaydederken, bu sismometrelerde kullanılan en son model ADC'lerin dinamik aralığı 165 dB'den daha azdır. Bu sebeple sayısallaştırıcılar, algılayıcıların var olan dinamik aralığını daha da düşürmektedirler.

Örnek olarak, analog sinyali 16-bitlik sayılara dönüştüren bir ADC için; 16 bit, onluk sistemde  $2^{16}-1 = 65535$  olur. Bu değer ADC'nin en büyük genlikteki değeri  $G_{\text{max}}$  ve en düşük genlikteki değeri  $G_{\text{min}}$ , olduğu kabul edilirse; denklem (1) 'den;

$$D_R = 20 \cdot \log_{10}(65535/1) = 96\text{dB}$$
 olur.

Tablo 2'de, sismometrelerde kullanılan sayısallaştırıcılara ait bit sayıları ve dinamik aralıkları gösterilmektedir.

**Tablo 2.** ADC'lere ait dinamik aralık

Bit	Genlik Oranı ( $A_{\text{max}}/A_{\text{min}}$ )	Dinamik Aralık (dB)
16	65535	96
24	16777215	144.5

Son yıllarda kullanılan çoğu sismometreler 24 bit ADC ye sahip sayısal sistemlerdir. Dolayısı ile Tablo 2'den görüleceği gibi sayısal sismometrelerin dinamik aralığı 144 dB'i aşamaz. Eğer sinyalin pozitif ve negatif tarafları

mevcut ise bu durumda; sayısallaştırıcının 1 biti de analog sinyalin işareti için kullanılır (+/-). ADC için geriye 23 bit kalacaktır ve buda sistemin dinamik aralığını 138dB'e düşürecektir.

## 2.2. Sismik Dalgalar için Doyum Seviyeleri

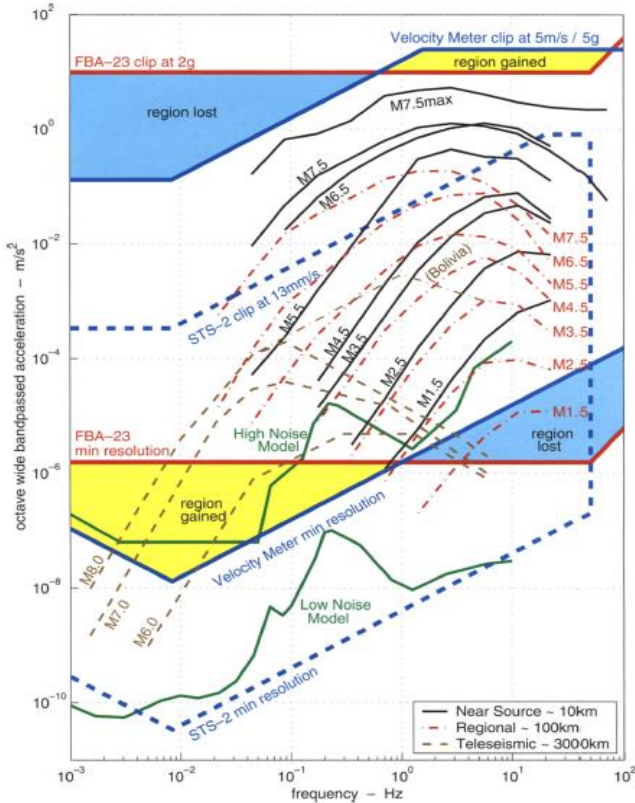
Önceki bölümde; sismometrelerin dinamik aralık sınırlarının ne olduğundan bahsedilmiştir. Şekil 3'deki siyah çizgilerin sınırlandırdığı bölgenin üzerindeki bir olayda, sismometre doyuma gidecektir. Şekil 4, depremin büyüklüğü ile sismometrelerin kırılma seviyeleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

-Yeşil grafik; sismik istasyonları için modellenmiş en düşük ve en yüksek gürültü seviyesini (NLNM, NHNM) göstermektedir.

-Siyah grafik; M=1.5-7.5 arasında meydana gelmiş olan yerel depremlerin spektrumu,

-Çizgili kırmızı grafik; M=1.5 ile M=6.5 büyüklüğü arasında olan bölgesel depremlere ait spektrumu,

-Çizgili kahverengi grafik; M=6.0 ile M=8.0 büyüklüğü arasında olan uzak alan depremleri gösterir.



**Şekil 4.** Depremin büyüklüğü ile sismometrelerin kırılma seviyeleri arasındaki ilişki (Clinton and Heaton, 2002)

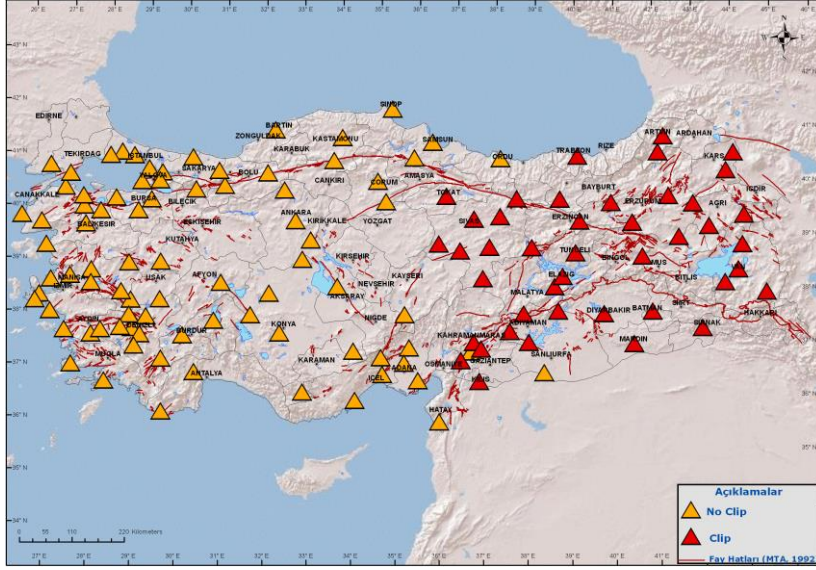
Şekil 4'de görüldüğü gibi, M=5.5 büyüklüğü üzerinde olan depremler için sismometreler doyuma gitmektedir. Daha büyük bir hassasiyete sahip sismometreler kullanıldığında; üst sınır kesikli mavi bölgenin daha da içine doğru kayacağından, orta büyüklükteki depremlerde sismometrelerin sinyalleri doyuma gidecektir. Bir deprem istasyonunu kurulumundan önce, kullanılacak sismometreyi seçmek için ADC'nin kaç bit olacağı ile algılayıcının hassasiyetine karar verilmelidir.

Örneğin, istasyonu kurmaktaki amacımız çok küçük depremleri algılamaksa; daha yüksek hassasiyetli sismometre kullanılmalıdır. Ancak bunun sonucu olarak orta depremlerde sismometrelerin doyuma gideceği göz önünde tutulmalıdır. İstasyonu kurmaktaki amacımız çok büyük depremleri algılamaksa; daha küçük hassasiyetli sismometre kullanılmalıdır. Ancak bunun sonucu olarak da küçük depremlerde sismometrelerin hassasiyetini kaybedeceğini göz önünde bulundurulmalıdır.

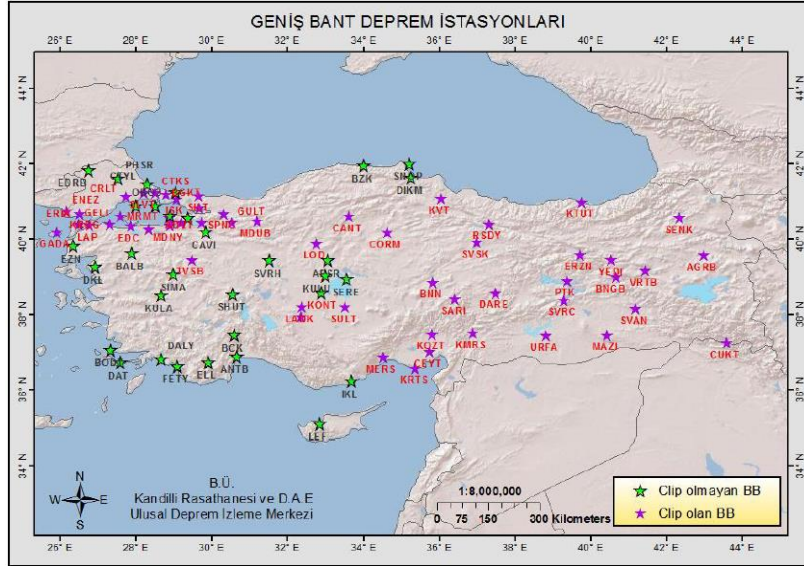
## 3. Öneriler

Şekil 4, hız ve ivme algılayıcılarının dinamik aralığına ait sınırları göstermesinin yanı sıra, aynı zamanda kurulacak istasyonların dinamik aralığını yükseltme yolunu da göstermektedir. Şekilde ivme ölçere ait kırmızı çizgiler; ivme ölçere ait dinamik aralığa ait sınırlardır. Dolayısı ile bir istasyona hız algılayıcılarının yanı sıra bir ivmeölçer konulduğunda, yer hareketlerinin en küçükten en büyüğe tüm salınımları kapsanmış olur. Zayıf yer sarsıntılarında genişband hız algılayıcılar kullanılırken, yer sarsıntısının artması ve hız algılayıcısının doyuma ulaşması sonucunda kuvvetli yer hareketi ölçer olan ivmeölçerin verisi kullanılarak depremlerin yerleri ve büyüklüğü uzak istasyonları beklemeksizin hesaplanabilmektedir. Kuvvetli yer hareketi sismometreleri farklı hassasiyete sahiptir, Yer yüzünde meydana gelmiş 4x1g'lik bir hassasiyete karşı gözlemlenmiş ya da algılanmış bir sismik olay mevcut değildir.

Sismometrelerin konuldukları zeminin özelliklerinden dolayı bir yükseltmenin oluşabileceği unutulmamalıdır. Benzer duyarlılığa sahip iki sismometreden zayıf zemine konulmuş olan sismometre, sert zemine konulmuş sismometreye göre daha erken doyuma gidecektir. Bu sebepten dolayı sismometrelerin konacakları yerin seçiminde, sismometrenin ana kaya üzerine yerleştirilmesi gerektiği önem arz etmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6 özellikle bu durumu göz önüne sermektedir. Benzer sismometrelere sahip iki kurumun, aynı depremde zemin özelliklerinden dolayı doyuma ulaşan istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 5. Doyuma ulaşan AFAD istasyonları, 23 Ekim 2011, Van Depremi.



Şekil 6. Doyuma ulaşan KRDAE istasyonları, 23 Ekim 2011, Van Depremi.

### Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

### Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

### Kaynaklar

[1] Aki K., Richards P. G., 1980. Quantative Seismology: Theory and Methods, Volume 1, Freeman, San Francisco, 477–524.

[2] 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.

[3] Clinton J., 2004. Modern Digital Seismology-Instrumentation, and Small Amplitude Studies in the Engineering World, Doctoral Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California.

[4] 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., and Wald D., 2001. Southern California Seismic Network: Caltech/USGS Element of TriNet 1997-2001. Seismological Research Letters 72(6), 690–74.

- [5] Heaton T. H., 2003. CE/GE181 Engineering Seismology. California Institute of Technology.
- [6] Iwan W. D., 1998. CE 151 Dynamics and Vibrations. California Institute of Technology.
- [7] Iwan W. D., Moser M. A., Peng C. Y., 1985. Some Observations on Strong-Motion Earthquake Measurement Using a Digital Accelerograph. Bulletin of the Seismological Society of America 75(5), 1225–1246.
- [8] Kanamori H. K., 2002. GE 264 Physics of Earthquakes. California Institute of Technology.
- [9] Peterson J., 1993. Observations and Modeling of Background Seismic Noise. Open File, Report 92-302, U. S. Geological Survey, Albuquerque, NM.
- [10] Scherbaum F., 2001. Of Poles and Zeros. Kluwer Academic Publishers.
- [11] Tunç S., Tunç B., Çaka D., 2015. Genişband sismometreler neden Clip olurlar? 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, DEÜ-İzmir, 14-16.