

GENİ BANT SİSMOMETRELER NEDEN CLİP OLURLAR?

Süleyman TUNÇ¹, Berna TUNÇ², ve Deniz ÇAKA²

¹ Elektronik ve Hab. Yük. Müh. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Ar. Ens. Bozaziçi Üniversitesi, İstanbul

² Dr. Jeofizik Müh. Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Email: suleyman.tunc@boun.edu.tr

ÖZET:

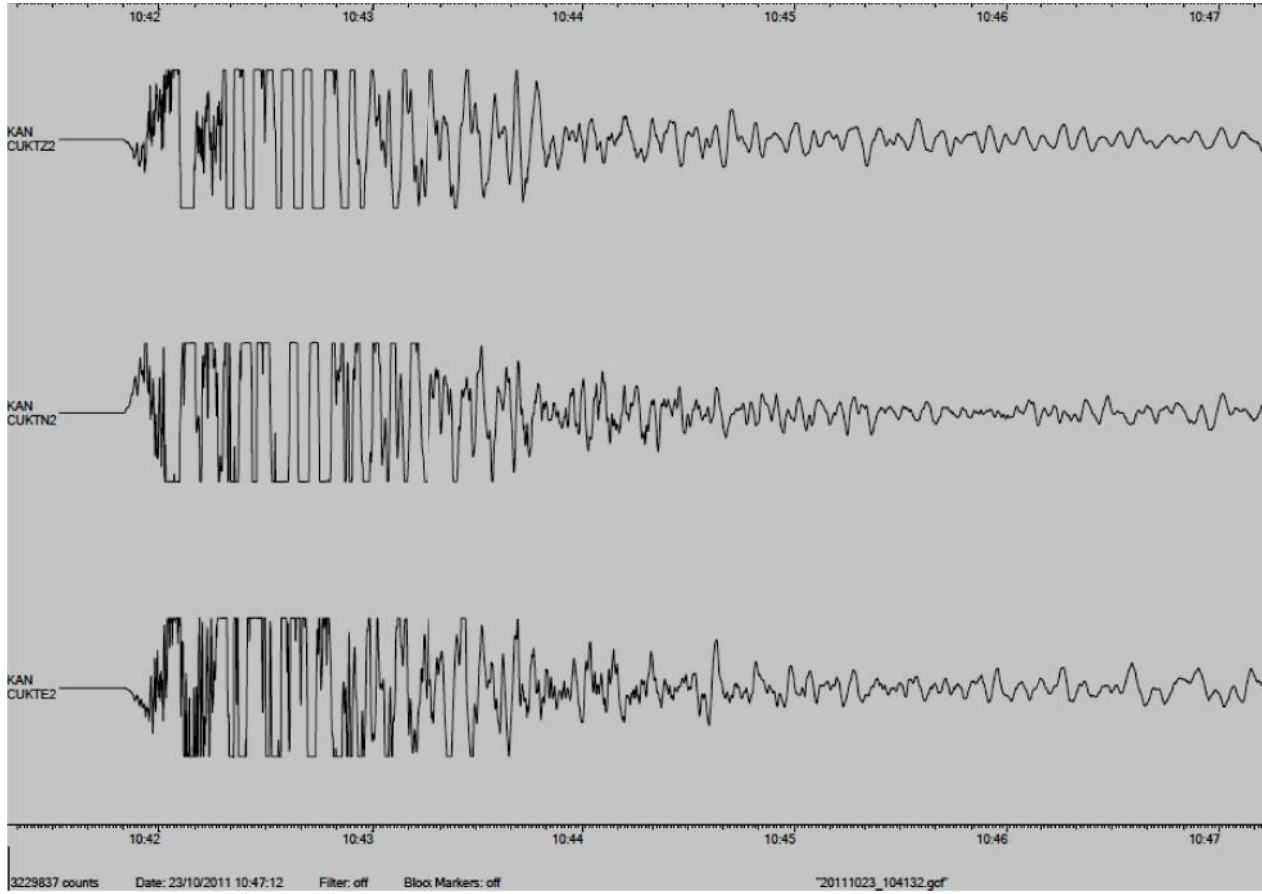
Geni bant, geri beslemeli sismik sismometrelere ait analog sensörlerin dinamik aralıkları 160 dB olmasına rağmen, sensörler ile birlikte kullanılan 24 bit sayısallaştırıcılar nedeniyle bu değer 144 dB'e düşmektedir. Dünya üzerine meydana gelmiş en büyük depremin (M=9.5 Chile 1960 May 22 19:11:14 UTC) olduğu yer hızının 220 dB civarında olduğu görülmüştür. Bu da göstermiştir ki sismik dalgaların yer hareketleri hızı yeterince güçlü olduklarında, bu cihazları clip (doyuma) yapabilirler.

Ülkemizde birçok kurum ve kuruluş tarafından geni bant sismometre kullanılmaktadır. 23 Ekim 2011 tarihinde olan Van Depremi'nden sonra geni bant sismometrelerin clip olması sonucu depremin büyüklüğünün belirlenmesi konusunda gecikmeler olmuştur. Bu çalışmanın amacı ülkemizde genel olarak, yanlış bir şekilde yaygınlaşmış olan "geni bant sismometreler clip olmazlar" bilgisine ışık tutmak ve geni bant sismometrelerin neden clip olduklarına dair bilgi vermektir.

ANAHTAR KELİMELER: Clip, doyum, geni bant sismometreler, dinamik aralık, hız sensörleri, sayısallaştırıcı, deprem.

1. GİRİŞ

Geni bant, geri beslemeli sismik sensörlerin dinamik aralıkları 160 dB olmasına rağmen, sismik dalgaların sebep olduğu yer hızı yeterince güçlü olduklarında 220 dB civarına ulaşırlarından, bu cihazlar Clip olurlar (doyuma giderler). 23 Ekim 2011 tarihinde Van Depreminde clip olan CUKT (Hakkari Çukurca - CMG-3ESPD 30s-50Hz) istasyonuna ait üç bileşenli kaydedilmiş deprem kaydı 1 de gösterilmiştir.



ekil 1. 23 Ekim 2011 Van Depreminde clip CUKT (Hakkari Çukurca - CMG-3ESPD 30s-50Hz) istasyonuna ait üç bileşenli kayıt. (KOERI)

2. DİNAMİK ARALIK

Herhangi bir ölçüm sisteminin dinamik aralığı desibel cinsinden (RD), sistem tarafından ölçülebilen en yüksek ve en düşük (A_{max} and A_{min}) genliklerin oranıdır.

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

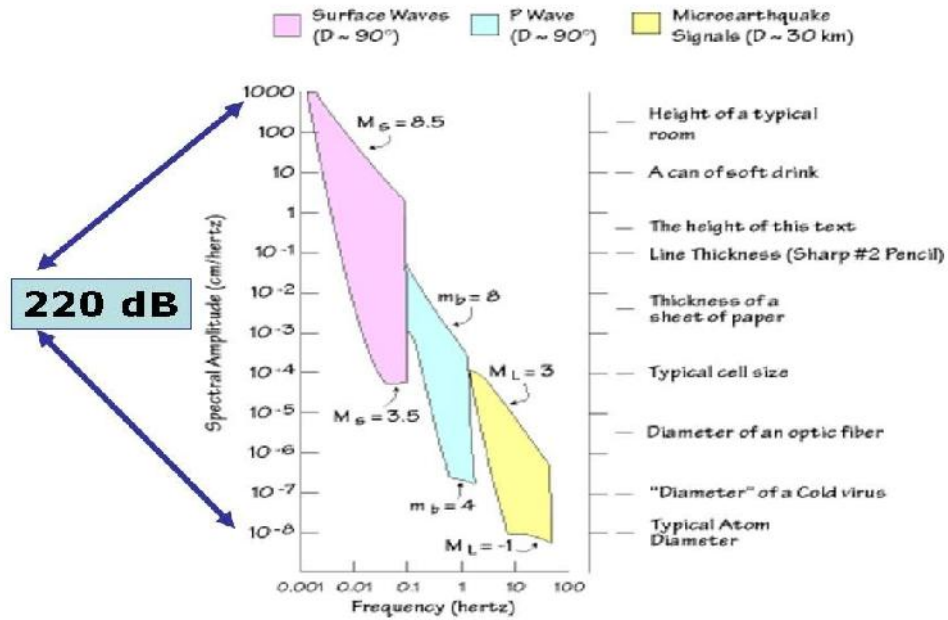
Modern geniş bant sensörler, genlik oranı 100 milyondur. Bunu Formül (1)'de yerine koyarsak;

$$RD \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (A_{max} / A_{min}) = 20 \log_{10} 10^8 = 160 \text{ dB olduğunu görürüz.}$$

Geniş bant sismometrelerin dinamik aralığı, 160 dB olmasına rağmen, çeşitli büyüklükteki depremlerin oluştuğu, zemin hareketlerinin tam aralığını karşılayacak büyüklükte değildir. Rüzgar ve doğal kaynakların oluştuğu arka plan gürültüsü, en sessiz sismik istasyonlarda; 1 Hz civarında birkaç nm/sn'dir. Bu gürültü sismik sensör tarafından temiz bir şekilde kayıt edilebilmelidir. Bu nedenle sensörün kendi

gürültüsü (geri besleme elektroniklerinden kaynaklanan gürültü, ısı transferi ve elektrik ve mekanik gürültüden oluşan titreşimler) en düşük doğal sismik gürültüden en az bir kademe daha aşağıda olmalıdır.

Şekil 2, depremler sonucu meydana gelen yer hareketinin oluşturdugu genlik aralıklarının göstermektedir. Şekildeki sarı bölgeye; sismik arka plan gürültüsünü amaçlayan küçük sismik dalgalar ve $M_L = -1$ veya daha küçük olan mikro depremlerden oluşmaktadır. Deprem odağından bir kaç kilometre uzaklıkta ölçülmüş ve genlikleri 10^{-9} m seviyesindedir. Sarı bölgedeki en büyük mikro deprem ise; $M_L = 3$ 'tür. Deprem odağından aynı uzaklıkta ölçüldüğünde genlikleri 10.000 kere daha büyüktür. Bu yüzden, formül (1)'den mikro deprem dinamik aralığı yalnızca 80 dB veya modern sismometrelerin dinamik aralığının yaklaşık olarak yarısıdır.



Şekil 2. Depremler sonucu meydana gelen, yer hareketinin oluşturduğu genlikler.

Tipik telesismik cisim dalgaları Şekil 2'de mavi bölgede gösterilmiştir. Genlikleri, deprem odağından bir kaç bin kilometre uzaklıkta, en küçüğü yaklaşık $10^{-6.5}$ m ile en büyüğü 1 cm arasında olup maksimum $M_b = 8$ 'dir.

Yüzey dalgaları ise pembe bölgede gösterilmiştir. En kuvvetli cisim dalgalarının genliğinden, her ne kadar daha uzun periyotlarda olsalar da, 10.000 kere daha büyüktürler. Bu nedenle $M_L = -1$ veya daha düşük olan mikro depremlerle karşılaştırıldığında yerkürenin, 11 ölçekte veya 220 dB sismik titreşim ürettiği görülebilir. Yakın tarihli yıkıcı depremlere baktığımızda, 2004'deki ($M_w = 9.2$) Hint Okyanusu ve 27 Ocak 2010 yılı sahilinde ($M_w = 8.8$), Şekil 2'dekilerden daha büyük genlikte yüzey dalgaları oluşturmuşlardır. Dolayısıyla bu olaylar, genliğin olası dinamik aralığını 230 dB'den fazla olacak bir şekilde arttırmıştır.

3. SİSMİK ÇEŞİTLERİN DİNAMİK ARALIĞI

3.1. Sismik sensör

Daha öncede bahsedildiği gibi, geri beslemeli modern sismik sensörlerin dinamik aralığı yaklaşık olarak 160 dB'dir. Bu aralığa karşılık gelen frekans bandı şekil 3'de taralı olarak gösterilmiştir. Bu taralı alan, frekans bandını ve sensörün flat bölgedeki lineer transfer fonksiyonuna ait genlik aralığını göstermektedir. Şekil 3'de CMG-6T'ye ait, 1 Hz'deki dinamik aralığının 165 dB olduğu görülmektedir.

Dinamik aralığının alt sınırı, sismik sensörün kendi gürültüsü ile sınırlandırılmıştır. Her üretici bu kendiliğinden oluşan gürültüyü sınırlandırmaya çalışsa da, bu gürültü kaçınılmazdır ve sensörün çözümleyebileceği en küçük yer hareketinin genliğini belirlemektedir. Bu gürültünün altında kalan hiçbir yer hareketi sensör tarafından algılanamaz.

Dinamik aralığının üst sınırı ise, sensörün duyarlılığı (sensitivity) ile sınırlandırılmıştır. Duyarlılık hız ölçer sensörlerinde (G) V/m/s, ivme ölçer sensörlerinde (G) V/m/s² olarak verilir. Hız ölçer sismometreler için doyum seviyesi "clip level" CL;

$$CL_{Vel} = V_{max} / G \quad \text{m/sec} \quad (2)$$

olarak tanımlanır. V_{max} sismometrenin çıkışı voltajının en üst sınır noktasıdır. Bütün modern geni bant sismometreler için G de eri, sismometreye ait transfer fonksiyonunun flat bölgede olduğu yerde sabit de erdedir.

GÜRALP CMG-3T için clip seviyesi;

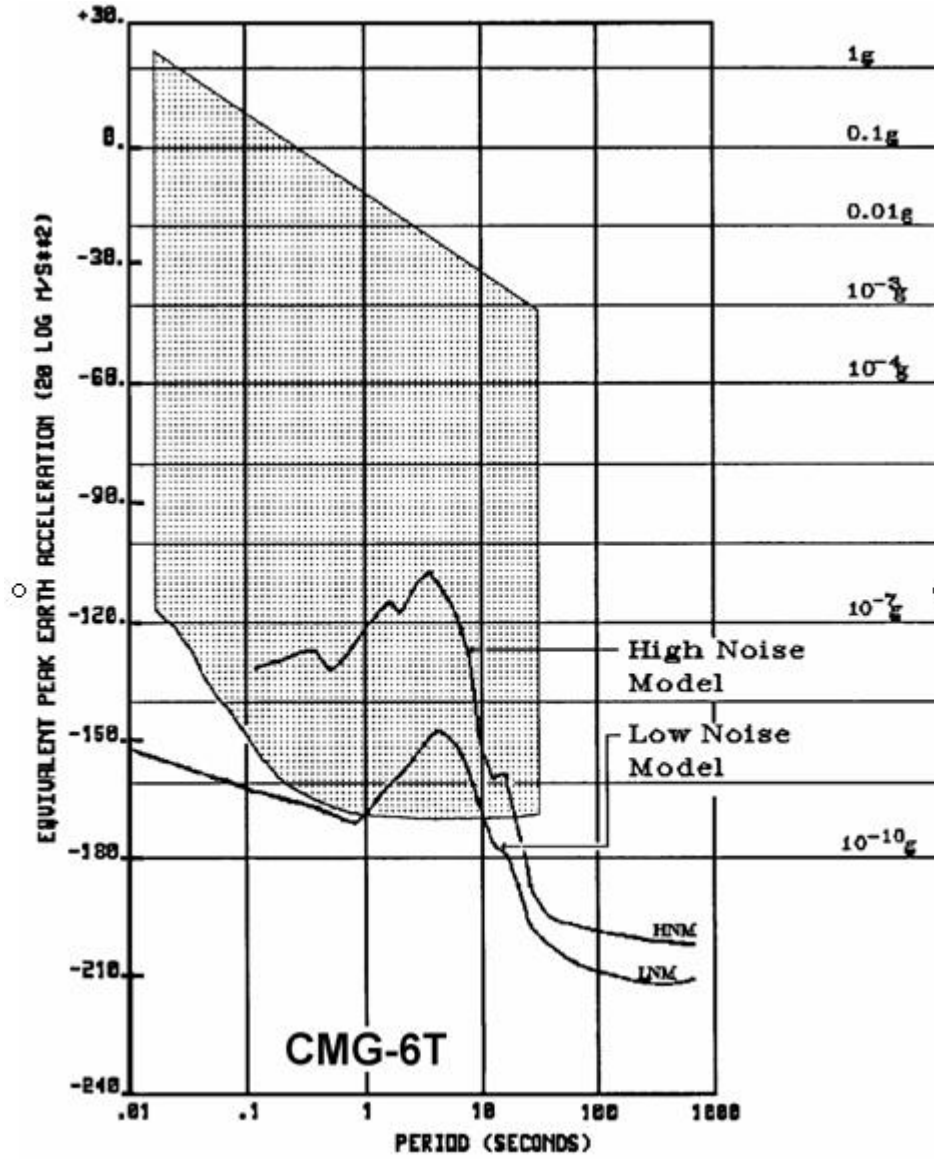
$$V_{max} = 10V \text{ ve } G = 3000 \text{ V/m/s}$$

$$CL_{Vel} = 10 \text{ V} / 3000 \text{ V/m/s} = 0.0033 \text{ m/s. bulunur.}$$

Bu yüzden e er yerin hızı, sismometrenin transfer fonksiyonundan hesaplanan flat bölgedeki herhangi bir frekansta 0.33 cm/s'ye a arsa, CMG-3T kaçınılmaz olarak clip yapar. E er sismometrenin hassasiyetini 800 V/m/s'ye indirirsek, cihaz 1.25 cm/s olan daha büyük yer hızlarında clip yapar. E er hassasiyeti 400 V/m/s'ye düşürürsek bu durumda da clip seviyesi yer hızı 2.5 cm/s olacaktır. Fakat bu durumda da sensörün çözümleyebileceği en küçük yer hareketi daha büyük olacak ve küçük depremler için olan hassasiyet kaybolacaktır. Çünkü duyarlılığı da i tirerek sadece dinamik aralığı gösteren grafiği yukarıya doğru kaydırmış oluruz. Tablo 1 de iki firmaya ait clip seviyeleri verilmiştir.

Tablo 1. Streckeisen ve Güralp firmalara ait bazı sismometre modelleri ve clip seviyeleri, Hauksson et al.,2001

Firma	Model	Frekans Aralığı	Sensitivite	Clip Seviyesi
Streckeisen	STS-1 Vertical	0.027-10 Hz	2500 V/m/s	0.8 cm/s
Streckeisen	STS-1 Horiz.	0.027-10 Hz	2300 V/m/s	~0.9 cm/s
Streckeisen	STS-2	0.0083-50 Hz	1500 V/m/s	1.3 cm/s
Guralp	CMG-3T	0.083-50 Hz	3000 V/m/s	~0.3 cm/s
Guralp	CMG-3ESP	0.033-50 Hz	400 V/m/s	2.5 cm/s



ekil 3. GURALP CMG-6T'ye ait dinamik aralık.

3.2 Sayısallaştırıcı

Her modern sismik ölçüm sistemi, sensöre ek olarak ADC veya sayısallaştırıcı olarak da bilinen Analog'dan Dijital'e dönüştürücüye sahiptir. Geni bant sismometreler güvenilir olarak yaklaşık 160 dB'lik genlik oranlarını kaydederken, sismik uygulamalar için kullanılan en gelişmiş sayısallaştırıcıların, dinamik aralığı bu değerden azdır. Bu da, sismik sistemin dinamik aralığını daha da düşürmektedir.

Örnek olarak, analog voltajı 8-bitlik sayısal sinyale dönüştüren bir sayısal tırıcı için; ikilik sistemdeki 8 bit, onluk sistemde $2^8 - 1 = 255$ olur. Bu sayısal tırıcı en yüksek voltajdaki sayısal değeri A_{max} ve en düşük voltajdaki sayısal değeri A_{min} , olduğu kabul edilirse; (1) nolu denkleme göre:

$$20 \log_{10}(255/1) = 48 \text{ dB olur.}$$

Aşağıdaki Tablo 2’de, tipik bir sismik ölçüm sisteminde kullanılan sayısal tırıcılara ait dinamik aralığı göstermektedir.

Tablo 2. Sayısal tırıcılara ait bit seviyesi ve dinamik aralık

Bit seviyesi	Genlik oranı (A_{max} / A_{min})	Dinamik Aralık (dB)
8	255	48
12	4095	72
16	65535	96
24	16777215	144.5

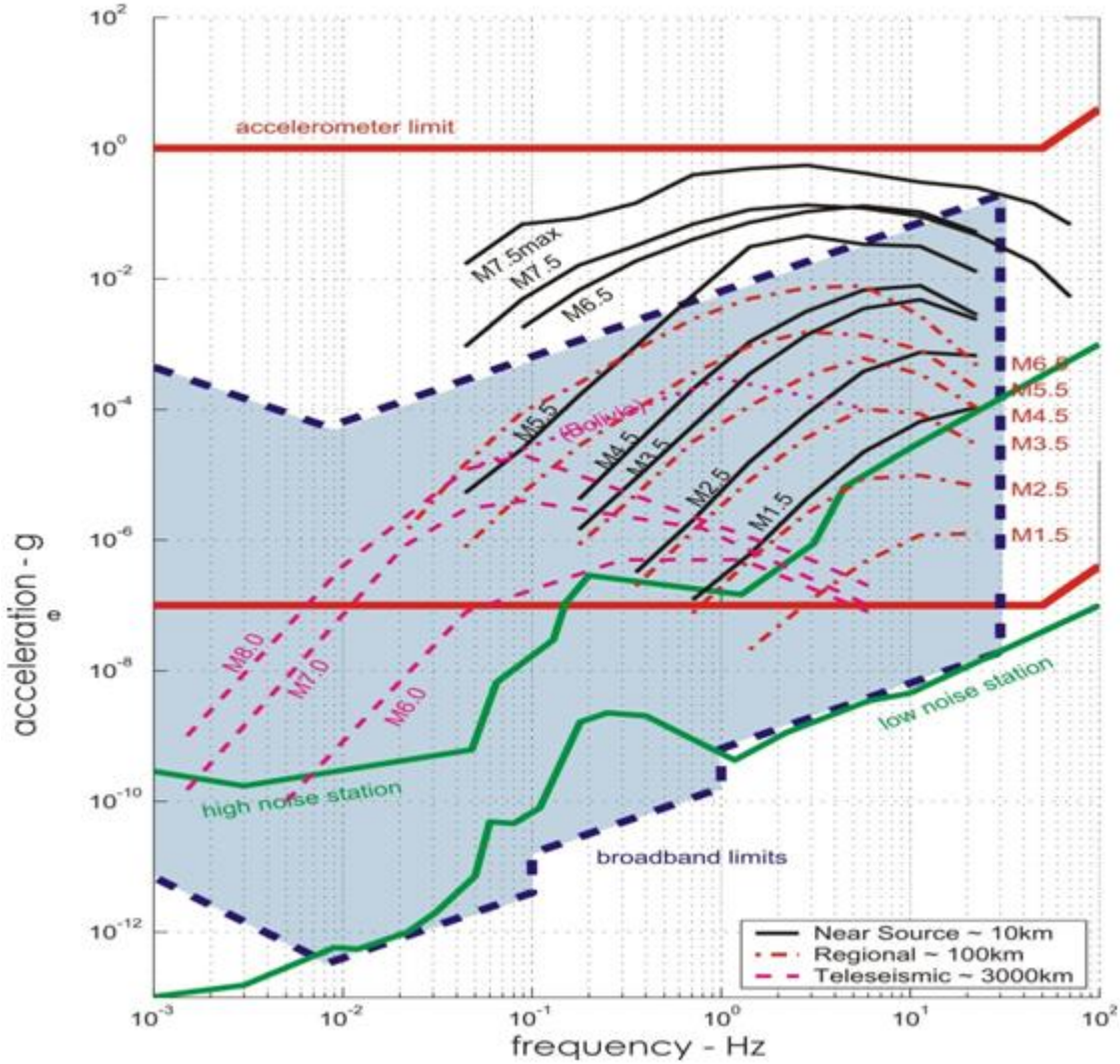
Bugün kullanılan çoğu sismik sistem 24-bit’lidir. Bu demek oluyor ki, sismik sistemlerin dinamik aralığı 144.5 dB’i aşılamaz. Tablo 1’in sol sütunundaki değerler sadece teoriktir. Pratikte 24-bit sayısal tırıcının 24 bit’i, analog voltajın genliğini sayısal değere dönüştürmek için kullanılmaz. Çünkü 1 bit de analog sinyalin genliği için kullanılır (+/-). Bundan dolayı, en iyi şartlarda 24-bit sayısal tırıcı 23 bitin altında bir çözünürlük sunmaktadır. Bu durum, en gelişmiş sismik ölçüm sistemlerinde dinamik aralığı 138 dB’ye azaltır.

4. SİSMİK DALGALAR ÜÇÜN SONUÇLAR

Önceki bölümde; sismik ölçüm sistemlerinin, dinamik aralık sınırlarını ve yer ivmelerinin değerini tartıştı, clip yapacağı görülmüştür. Şekil 4, deprem ölçekleriyle sismik sistemlerin clip seviyeleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Şekil 4’deki mavi taraflı alanın üstündeki herhangi bir yer ivmesinde, sismometre clip yapacaktır. Buna ilave olarak;

- Yeşil; istasyonları için düşük ve yüksek gürültü seviyesine ait spektrumu,
- Siyah; $M_L=1.5$ ile $M_L=7.5$ arasında olan yerel depremlerin ivme spektrumu,
- Kesikli kırmızı, 1.5 ile 6.5 ölçeği arasında olan bölgesel ivme spektrumu,
- Kesikli pembeler ise 5.0 ile 8.0 ölçeği arasındaki tele sismik olayları gösterir.



ekil 4 Deprem ölçekleri ve sismik sistemlerin clip seviyeleri, (Clinton and Heaton, 2002).

ekilde görüldü ü gibi, ölçe i 5.5 üzerinde olan yerel depremler, sensorü clip yapmaktadır. Daha yüksek bir duyarlılı a sahip sensör kullanıldı nda; üst sınır mavi bölgenin daha da içine girece inden bu durumda daha küçük yer hareketlerinde bile sismometre clip olacaktır. Bunun için bir sismik sistemi tanımlayan parametreler, yani sayısalla tırıcının bit sayısı ile sismik sensörün duyarlılı ı istasyon kurulumundan önce dikkatlice seçilmelidir.

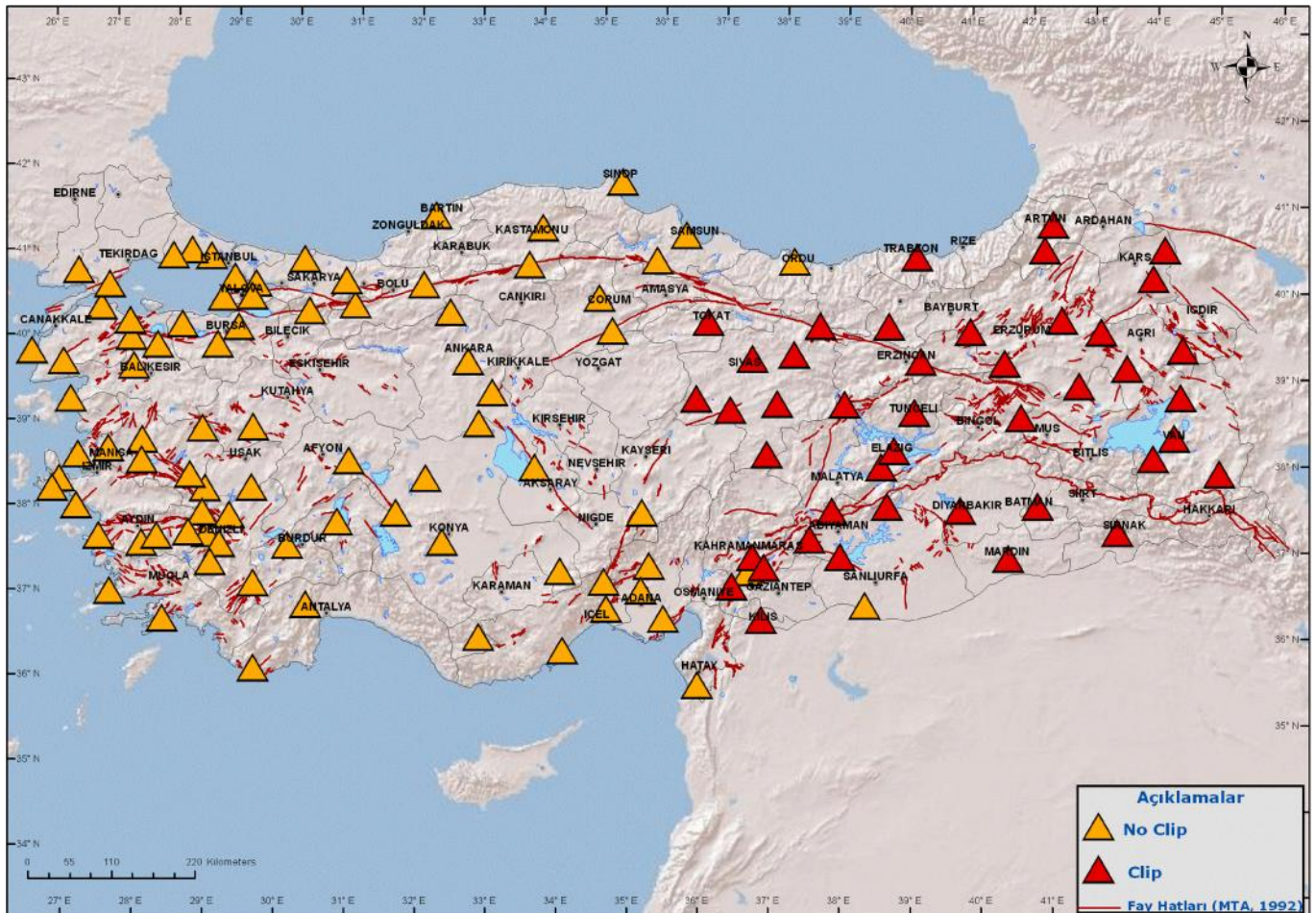
E er amacımız en küçük depremi bile kaydetmekse; daha yüksek duyarlılı a sahip sensör kullanılmalıdır. Fakat bu durumda da dü ük ivme seviyelerinde sismometrenin clip yapaca ı durumunu göz önüne alınmalıdır. E er amaç telesismik olayları ölçmek ise; daha dü ük duyarlılı a sahip sensör kullanılmalıdır. Fakat bu durumda da küçük depremleri kaçırma durumu göz önüne alınmalıdır.

5. ÖNERİLER

ekil 4 sadece sınırlamaları değil, aynı zamanda da sismik ölçüm cihazlarının dinamik aralığını artırma yolunu da göstermektedir. ekilde paralel kırmızı çizgi ile ayrılmış alan Guralp Systems'e ait CMG-5T ivme ölçerine ait dinamik aralık gösterilmektedir. Aynı istasyona hem sismometre hem de ivmeölçer kurulduğunda, yer titreşimlerinin küçükten büyüğe bütün genlikleri kapsanmış olur. Böylelikle küçük yer hareketlerinde hız ölçerler kullanılırken, yer hareketinin büyümesi ve hız sismometresinin clip olması durumunda ivmeölçerin verisi kullanılarak depremlerin büyüklüğü ve yerleri sorunsuz bir şekilde hesaplanmaktadır. Guralp Systems'e ait CMG-5T de iki duyarlılığa sahiptir, özellikle 4g'lik duyarlılığa karşı ölçümü henüz bir sismik sinyal yoktur.

stasyonların kuruldukları zeminin etkisinden dolayı bir büyütmenin de zemin etkisinden geldiği unutulmamalıdır. Aynı duyarlılığa sahip iki sismometreden kötü zemine konulmuş olan sismometre diğerine göre daha erken clip olacaktır. Bundan dolayı istasyon yerleri seçilirken özellikle mümkünse, sismometrenin ana kaya üzerine konulması gerektiği asla unutulmamalıdır.

ekil 5'de 23 Ekim 2011 tarihinde Van Depreminde, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na ait clip olan geniş band sismometreler kırmızı, clip olmayan geniş band sismometreler ise turuncu ile gösterilmiştir.



ekil 5. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na ait geniş band sismometrelerin clip durumu.

6. KAYNAKLAR

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

Guralp systems'e ait CMG-6T manual

Guralp systems'e ait CMG-3T manual