

İSTANBUL DEPREM ACİL MÜDAHALE VE ERKEN UYARI SİSTEMİNDE KULLANILAN GSR KAYITÇI SİSTEMLERİNİN FARKLI KURULUM DÜZENEKLERİNİN SARSMA MASASI TESTLERİ İLE İNCELENMESİ

DETERMINATION OF DIFFERENT INSTALLATION CONFIGURATIONS OF THE GSR RECORDING SYSTEMS USED IN THE ISTANBUL EARTHQUAKE RAPID RESPONSE AND EARLY WARNING SYSTEM USING SHAKING TABLE TESTS

Hakan Alçık^{1*}, Can Zülfiyar¹, Ahmet Korkmaz¹

¹ B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı,
34684, Çengelköy, Üsküdar – İstanbul
Yayına Geliş (Received): 16.09.14, Yayına Kabul (Accepted): 02.12.14, Basılma tarihi (Published):
Kasım/November 2015

*Corresponding author: alcik@boun.edu.tr

Öz

İstanbul deprem acil müdahale ve erken uyarı sistemi 2002 yılında kurulmuştur. Bu sistem için toplamda yüz on adet kuvvetli yer hareketi cihazları şehir nüfusunun yoğun olduğu yerlerdeki az katlı binaların bodrum katına yerleştirilmiştir. Cihazların zemine sabitlenmesinde bir montaj prosedürü izlenmiştir. Son yıllarda şehir genelinde yapılan bina güçlendirme çalışmaları sebebiyle birçok cihazın yeri değiştirilmiştir. Yeniden kurulum çalışmaları sırasında deprem kayıt cihazları bazı yerlerde mevcut kurulum prosedürüne uygun şekilde, bazı yerlerde doğrudan beton döşemeye ve bazı yerlerde ise köpük kullanmadan sadece ahşap plakalarla yere tespit edilmişlerdir. Bu çalışmada, mevcut üç farklı cihaz tesbit düzeneğinin elde edilen kayıtlar üzerinde olabilecek etkisini değerlendirmek amacıyla sarsma masası testleri yapılmış ve üç farklı modelin farklı sismik hareketler altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ahşap plakaların kullanıldığı beton+tahta (BT) düzeneği test düzenekleri içinde en büyük büyüme sergileyen düzenek olarak ortaya çıkarken, en iyi sonucu beton (B) düzeneği vermiştir.

Anahtar Kelimeler: sarsma masası testi, sismik cihaz tespiti, kayıtçı kurulum düzeneği

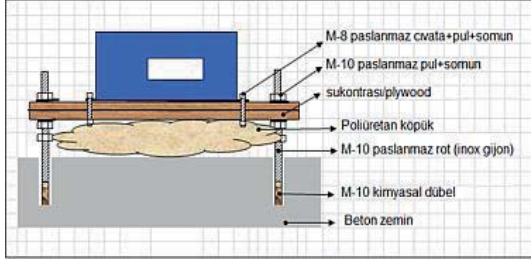
Abstract

Istanbul earthquake rapid response and early warning system has been implemented in 2002. In the network, in total 110 strong motion recorders were installed to the basement floor of low-rise buildings located densely populated regions of the city. A standard setup configuration was initially followed for the installation of seismic instruments. In recent years, many stations have been partially replaced and removed due to comprehensive retrofitting project implementations in public (school, hospital, administrative etc.) buildings. The re-installation works have been completed at the same or new locations. In re-installations, seismic instruments have been fixed to basement floors using either wooden plate or polyurethane foam. To analyze the effect of these fixations on earthquake ground motion recordings, numerous shaking table tests have been performed and their behaviors under different earthquake records have been evaluated. The tests have demonstrated that the mounting procedure using concrete (B) gives the best results.

Key words: shaking table test, seismic instrument mounting, recorder installation configuration

1. GİRİŞ

İstanbul şehrini etkileyecek olası bir büyük depreme karşı hazırlık amacıyla, 2002 yılında bir deprem erken uyarı ve acil müdahale sistemi (kısaca I-NET) İstanbul'da kurulmuştur. Bu sistem için şehrin yoğun yerleşim bölgelerine 100 adet ve ana Marmara Fayına yakın Marmara Denizi'nin kuzey sahil şeridi boyunca 10 adet olmak üzere toplam 110 adet kuvvetli yer hareketi istasyonları özellikle okul, polis merkezi, askeri yapılar vb. az katlı devlet binalarının bodrum katlarına yerleştirilmiştir (Alçık ve diğ., 2009; Erdik ve diğ., 2003). Cihazlandırma çalışmaları sırasında bir kurulum prosedürü izlenmiştir ve kayıtçı montaj şeması Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kayıtçı cihazı kurulum şeması
Figure 1. Schematic drawing of strong motion recorder installation procedure

Cihazların kurulduğu zamandan günümüze bilhassa devlet binalarında yapılan yoğun bina güçlendirme çalışmaları, birçok cihaz ve ekipmanın sökülmesine, istasyonun kaldırılmasına sebep olmuştur. Yeniden kurulum çalışmaları, tadilat ve revizyona bağlı olarak, aynı veya yeni istasyonlarda zaman içinde tamamlanmıştır. Bu çalışmalarda mevcut kurulum düzenine uyulmaya çalışılsa da (Şekil-2a) bazı yerlerde deprem cihazları doğrudan zemine sabitlenerek (Şekil-2b) veya köpük kullanılmadan sadece paslanmaz gijonlar üzerindeki ahşap plakalarla montajları tamamlanmıştır (Şekil-2c).



Şekil 2. (a) Montaj planına göre kurulmuş, (b) zemine sabitlenmiş ve (c) poliüretan köpük kullanılmadan montajı tamamlanmış kayıtçı cihazları

Figure 2. Strong motion recorders (a) installed in accordance with the installation schema, (b) directly fixed to the ground, (c) installed without using polyurethane foam

Birçok izleme ağına olduğu gibi I-NET'in de revizyona ve yeniden yapılandırılmaya ihtiyacı olmuştur. Bu amaçla öncelikle bazı deprem istasyonlarında yer değişikliğine gidilmiştir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak kayıtçı cihazlarında uzun zamandır kullanılan GeoSIG marka (GeoSIG Ltd, 2014) GSR-18 model sayısallaştırıcılar daha güncel teknolojik sayısallaştırıcılarla değiştirilmiştir. Ayrıca, yeni nesil GSM modem ve gerekli aparatların montajlarının yapılmasıyla da izleme ağı veri transferinde yeni imkanlara kavuşmuştur. Revizyon çalışmaları sırasında cihazların kurulum düzeninde bir değişikliğe gidilmemiştir. Yeniden yapılanma öncesinde uzun süreli çalışan bu farklı kurulum düzeneklerinin (Şekil-2a,b,c) deprem kayıtları üzerinde (dalga formu ve frekans içeriğine bakılarak) olabilecek etkisini araştırmak amacıyla sarsma masası testleri yürütülmüş ve üç farklı modelin farklı sismik hareketler altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada üç adet aynı marka ve model cihaz üç farklı kurulum düzeni içinde analiz edilmiştir. Test için kullanılan cihazlar, düzenekler, çalışmada izlenen yol-yöntem ve veri analizi aşağıda sunulmuş, sonuçları tartışılmıştır.

2. SARSMA MASASI DENEYLERİ

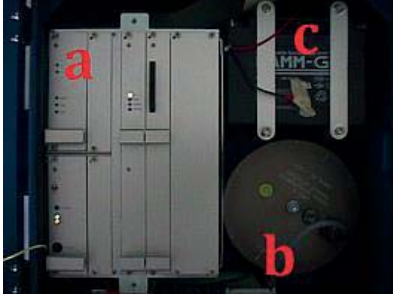
2.1. Kullanılan Malzeme ve Metot

2.1.a. Kuvvetli yer hareketi kayıtçısı ve sensör

GeoSIG kuvvetli yer hareketi kayıtçı sistemi (GSR): Acil müdahale kapsamında kullanılan cihazlar, 18 bit çözünürlüğünde sayısallaştırıcıya ve maksimum 128 Mb kapasiteli hafıza kartına kayıt yapabilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca veri transferinde kullanılmak üzere gömülü GSM modemlere sahiptirler. Buna karşılık erken uyarı kapsamında çalışan cihazlar ise 24 bit çözünürlüğe sahiptirler. Veri iletişimini radyo/uydu modem kullanılarak sürekli data aktarımı yapabilmektedir. Bu sebeple kendi cihazı içinde herhangi bir kayıt ortamı içermezler. Her iki yapıdaki cihazlar 1000 örnek/saniye/kanal'a kadar örnekleme yapabilme özelliğindedir (Şekil-3a) (GeoSIG Ltd, 2014). Kayıtçı sistemlerinde temel güç kaynağı şebeke cırceriyandır (AC) ve olası elektrik kesintilerine karşı sistemin bünyesinde 12 Volt 27 Ah'lik kuru akü mevcuttur (Şekil-3c). Zamanlama modülü olarak minimum 5 mikrosaniye çözünürlüğe sahip 12 kanal algılama özelliğinde Garmin marka GPS (Garmin, 2014) alıcısı kullanılır.

Sensör: Deprem kayıtçılarında dahili üç-eksenli (üç ortogonal eksen), kuvvet-denge (servo) tipinde Guralp marka CMG-5T akselerometre Şekil 3b’de görüldüğü gibi kullanılmıştır. Bu üç eksenli ivme ölçerin çalışma aralığı $\pm 2g$ dir (g =yerçekimi ivmesi). Sensörün frekans duyarlılığı 0-100 Hz band aralığında düz olup, kritik sönümü 0.6-0.7 arasındadır (Guralp Systems Ltd, 2014).

Testler temelde iki grupta yürütülmüştür. Düzeneklerde kullanılacak sensörlerin kalibrasyon çalışmaları küçük sarsma masasında (Şekil-4), kuvvetli yer hareketi cihazlarının kullanıldığı düzenek testleri de büyük sarsma masasında (Şekil-5) yapılmıştır.



Şekil 3. Kuvvetli yer hareketi cihazı: (a) GSR sayısallaştırıcı ve kayıtçısı, (b) CMG-5T akselerometre, (c) akü

Figure 3. Strong ground motion recorder: (a) GSR digitizer and recorder, (b) CMG-5T accelerometer, (c) battery

2.1.b. Sarsma masası laboratuvarı

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği sarsma masası laboratuvarında; tek eksenli elektro-dinamik, üç eksenli servo elektrik ve tek eksenli sarsma masaları bulunmaktadır. Laboratuvarında gerçek deprem kayıtları altında model davranışları değerlendirilmektedir.

Şekil-4’de görülen düzenek 23 kg. kapasiteli elektro-dinamik sarsıcıdan oluşan tek eksenli küçük sarsma masasıdır. Bilgisayara dahili olarak takılmış sayısal-analog çevirici (D/A) ve sinyal düzenleyici üzerinden sayısal hareket verileri sisteme iletilmektedir. MATLAB yazılımıyla istenilen hareket üretilmekte, uygulanmakta ve simülasyon çalışmalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4. Tek eksenli elektro-dinamik sarsıcı ve termik kabin

Figure 4. Uniaxial electrodynamic shaker with its thermal conditioner

Şekil 5’de görülen yatay tek eksenli hareket yeteneğine sahip ANCO R-148 sarsma masası 3m x 3m boyutlarında olup servo-hidrolik itici tarafından kontrol edilmektedir. 10 ton ağırlığına kadar test numunelerine 2g maksimum ivme kapasitesiyle 0-50 Hz frekans aralığında deprem hareketi üretebilen sistem dinamik deneylerde kullanılabilir. Masa hareketi ve veri kaydı için dijital veri toplama ve kontrol sistemi kullanılmaktadır (BÜ-KRDAE, 2014).



Şekil 5. ANCO R-148 sarsma masası

Figure 5. ANCO R-148 shaking table

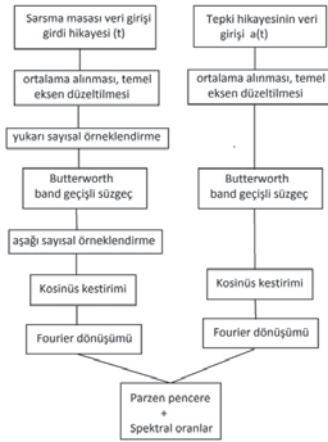
2.1.c. Uygulanan yaklaşım-metot

Deprem dalgasının etkisi altında düzeneklerin davranışı: zaman ve frekans ortamı olmak üzere iki alanda incelenmiştir. Zaman ortamında oldukça basit bir yaklaşım ele alınmıştır. Çıkış ve giriş sinyallerinin en büyük genlik değerlerinin % olarak büyütme oranları hesaplanmıştır. Buna karşılık frekans ortamında ise Spektral Oran yaklaşımıyla (Şa-

fak, 1997) daha detaylı analiz yapılmıştır. Yöntem, basitçe, çıktı sinyalin girdi sinyaline oranı olarak tarif edilir ve belirli bir frekans bandında, iki sismik sinyalin birbirine göre enerjilerindeki kayıp ya da kazancın yorumlanması temeline dayanır (Sertçelik ve Kenar, 2005).

İşlemede amacımız, her bir düzenekten elde edilen kayıtların fourier spektrumlarının, sarsma masası sensörünün kaydettiği aynı sarsıntı kayıtlarının spektrumlarına oranlanması, düzene bazında grafiklenmesi ve dolayısıyla farklı düzene yapısına göre farklı büyütme değerleri elde edilmesidir.

Verilerin analizinde izlenen yol şu şekildedir: Bütün cihazların örnekleme frekansları arazi şartlarında uygulanan standart değer 0.05 sn (=200 örnek/sn) olarak seçilmiştir. Test sonrası alınan sinyaller, ortalama alınıp eğim giderildikten sonra, ileride de herhangi bir örtüşme (aliasing) etkisi ile karşılaşmamak ve yüksek frekansların etkisini gidermek amacıyla verilen input hareketinin frekans özelliğine bağlı (El Centro için 0.1-20Hz, diğerleri için 0.1-10Hz) olarak band-geçişli Butterworth filtreye süzgeçlenmiştir. Sarsma masası üzerindeki sabit sensörden alınan kayıtlar analizde “girdi” olarak kabul edilmiştir. Sarsma masasından alınan kayıtların örnekleme aralıkları 0.01 sn, 0.004 sn ve 0.001 sn olarak değişmektedir. Bu sebeple veri işlem sırasında süzgeçlenen sinyallere yeniden örnekleme yapılarak, GSR örnekleme aralığına denk getirilmiştir. Kosinüs penceresi ile yuvarlatılan bu veriler, Fourier dönüşümüyle frekans ortamında her bir düzene için spektral oranları bulunmuştur (Alçık ve diğ., 1995; Dikmen ve diğ., 2013; Gök ve diğ., 2012; Ohsaki, 1991; Şafak, 1997). Veri işlemini akış diyagramı Şekil-6’da gösterilmiştir



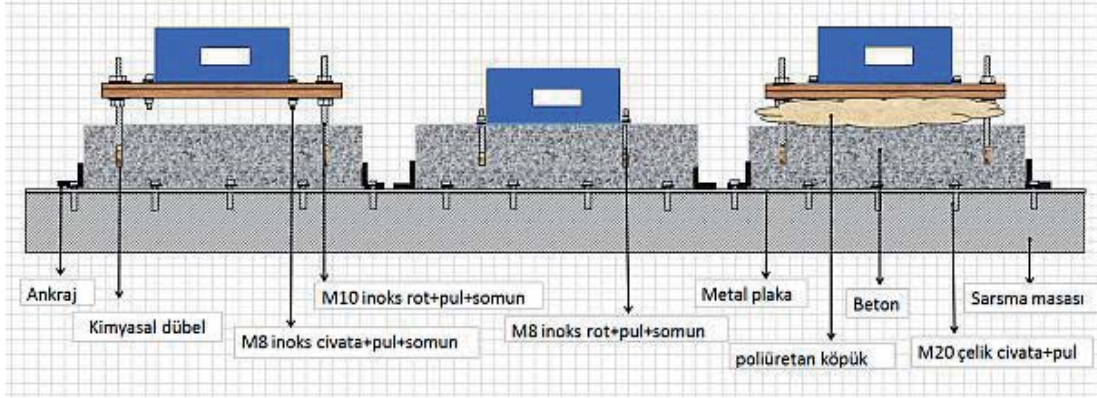
Şekil 6. Veri analizi akış diyagramı
Figure 6. Data processing flow chart

Burada $a(t)$ düzeneğlerden alınan ivme kaydını; girdi hikayesi (t) ise sarsma masası üzerindeki sabit ivme sensöründen alınan ve veri işleme “girdi” olarak dahil edilecek kaydı belirtmektedir. Sarsma masası sensöründen gelen veriler genel olarak daha yüksek örnekleme sayısı içermektedirler. Süzme sonrası bu veriler saniyede 200 örneğe uygun şekilde yeniden örneklendirilmiştir. Yukarı doğru örneklendirme işlemi sadece örnekleme sayısı 100 örnek/sn olan 1 Hz’lik sinüzoidal sinyal verilerine uygulanmıştır. Veri analizi MATLAB yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada ifade kolaylığı açısından kullanılan kısaltmalar: beton düzeneği için **B**; beton+tahta düzeneği için **BT**; beton+köpük+tahta düzeneği için **BKT**; sarsma masası üzerindeki sabit sensör için **SM sensörü**; beton üzerindeki GSR cihazı için **GSR (B)**; beton ve tahta düzeneği üzerindeki GSR cihazı için **GSR (BT)**; poliüretan köpük kullanılarak tamamlanan beton+köpük+tahta düzeneği üzerindeki GSR cihazı için **GSR (BKT)**.

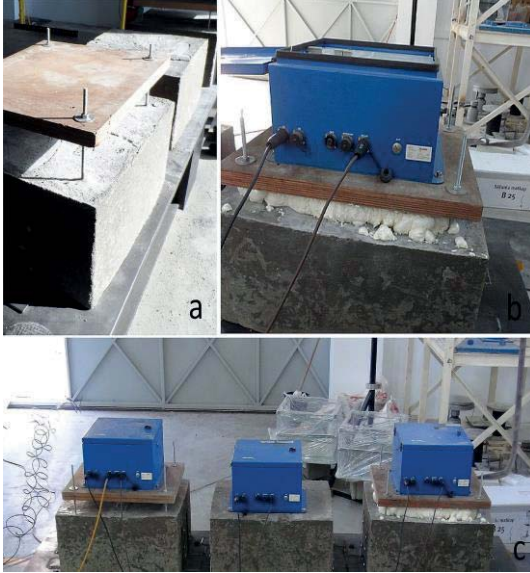
2.2. Test Düzeneğinin Kurulması

Sarsma masasının yüzeyinin korunması ve üzerinde rahat çalışılması amacıyla satıh metal plaka ile desteklenmiştir. Plakalar, civatalar ve pullar yardımıyla sarsma tablasına sabitlenmiştir. Plakalara gerekli sayıda destek ankrajlarının kaynatılmasından sonra dökülen üç adet donatılı beton bloklar metal plakalar üzerindeki ankrajlara sabitlenmesiyle de düzene cihaz montajına hazır hale getirilmiştir. Kayıtlı sistemlerinin betonlar üzerinde Şekil-7’de sunulduğu biçimlerde sabitlenmeleriyle de sarsma masası deneysel düzeneği Şekil-8’de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.

GSR cihazlarının eş zamanlı olarak sarsma masasında farklı deprem ve hareketler altında testlerinin yapılacağı düzeneğlere ait görüntüler Şekil-8’de, veri toplamada oluşturulan kayıt tertibatı bağlantı şeması da Şekil-9’da verilmiştir.

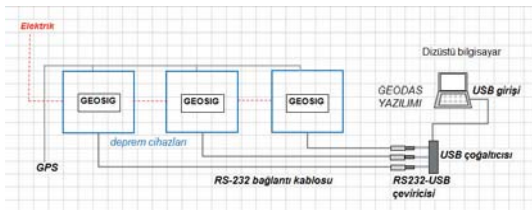


Şekil 7. Üç farklı kurulum modelinin şematik görünümü
Figure 7. Schematic drawing of different installation models



Şekil 8. Test hazırlığı sırasında çekilen fotoğraflar: (a) cihazlandırma öncesi düzenekler, (b) kurulum procedürüne uygun hazırlanmış bir cihaz, (c) teste hazır hale getirilmiş bütün düzenekler

Figure 8. Pictures taken during the testing preparation phases: (a) before the instrumentation, (b) an instrument installed in accordance with the installation schema, (c) three type installation models to be tested



Şekil 9. Kablo bağlantı şeması
Figure 9. Schematic drawing for cable connection

2.3. Testler

2.3.a. Kalibrasyon testleri

Test öncesi cihazların teknik bakımı, gerekli elektronik parçaları ve bataryaları değiştirilerek kontrolleri yapılmıştır. Sarsma Masası Laboratuvarında bulunan, mekanik, tek eksenli elektro-dinamik sarsıcı (Şekil-4) sarsma masası testlerinde kullanılacak CMG-5T ivme sensörlerinin kalibre edilmesinde kullanılmıştır. İşlem, sensörlerin laboratuvar test prosedürüne uygun sarsma zaman hikayeleri uygulanarak verilen ve alınan ivme değerlerinden çarpan katsayılarının hesaplanmasıyla tamamlanmıştır. Kullanılan sensörler ve sayısallaştırıcılara ait bilgiler Tablo-1’de verilmiştir. Sensörler, büyük sarsma masasında kullanılacak ilgili GSR kuvvetli yer hareketi kayıtçılarıyla beraber tek tek kalibrasyonları yapılmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan sensör ve sayısallaştırıcıların seri numaraları

Table 1. Serial numbers of sensors and digitizers used in the shaking table tests

Sıra No.	Sensör Seri no.	Sayısallaştırıcı Seri no.	İlgili Cihaz
1	T5460	103793	GSR-18
2	T5475	103180	GSR-18
3	T5329	103799	GSR-18

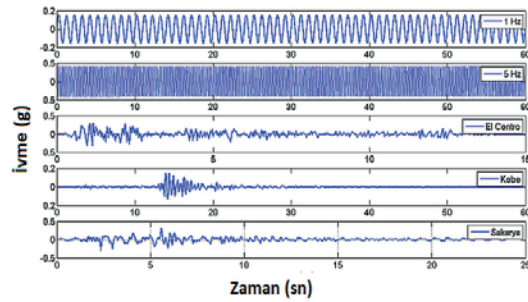
2.3.b. Sarsma masasında kullanılan hareketler ve depremler

Testler sırasında sarsma masasına farklı (itki, frekans ve dalga boylarında harmonik hareket kayıtları 1Hz,5Hz ve yer hareketi kayıtları) hareketler verilmiştir. Bu hareketlere ve depremlere ait bilgiler Tablo-2’de, zaman ortamı dalga formları da Şekil-10’da verilmiştir. Sarsma masasının hareket kabiliyeti, sistem kontrol bilgisayarında koşturulan özel deprem simülasyonu ve analiz programı tarafından sağlanmaktadır.

Tablo 2. Sarsma masasına verilen hareket ve deprem bilgileri

Table 2. Summary of motions applied to shaking table

Hareket/Deprem	En büyük ivme (g)	Süre (sn)	Bileşen
1 Hz sinüsoidal	0.150	60	-
5 Hz sinüsoidal	0.400	60	-
El Centro(1940)	0.340	15	180
Kobe (1995)	0.150	60	Fay-normal
Sakarya (1999)	0.300	25	düşey



Şekil 10. Sarsma masasına verilen sinüzoidal hareket ve depremlerin zaman-genlik dalga formları

Figure 10. Acceleration time histories of motions used in shaking table tests

3. Test Sonuçları

3.1. 1 Hz’lik sinüzoidal hareket testi

Sarsma masasını kontrol eden deprem simülasyonu ve analiz programı tarafından üretilen 1 Hz’lik sinüs dalga hareketinin en büyük ivme değeri 150 mg, süresi 60 sn’dir. Sarsma hareketi sonrasında, masasının mekanik gürültüleriyle beraber,

oldukça yüksek genlikte ve yüksek frekanslarda titreşimler kaydedilmiştir. 350-450 mg arasında değişen maksimum genlikli tepeliklerin 0.1-10 Hz aralığında band-geçişli süzgeçten geçirildikten sonra simülasyon genliğine yaklaştığı Şekil 11’de görülmektedir. Filtre sonucunda SM sensöründen alınan kaydın frekans içeriğinin değişmediği fakat genliklerinin farklılık gösterdiği görülmüştür. En büyük ivme değerlerini; SM sensörü 150-190 mg arasında, GSR (BT), (BKT) ve (B) ise 130-160 mg arasında kaydetmiştir.

0.5-1.5 Hz frekans aralığında grafiklenen spektral oranlar büyütme göstermeden %20’lik bir band aralığında seyir ederler. Birbirlerine nazaran büyük oransal farklılıklar gözükmemektedir (Şekil-12).

3.2. 5 Hz’lik sinüzoidal hareket testi

Sarsma masasına gönderilen 5 Hz’lik sinüs dalga hareketinin en büyük ivme değeri 400 mg, süresi 60 sn’dir. Bir önceki testte olduğu gibi, sarsma işlemi sonrasında oldukça yüksek genlikte ve yüksek frekanslarda titreşimler kaydedilmiştir. 550-600 mg arasında maksimum genlikler veren gürültülü tepelikler 0.1-10 Hz aralığında band-geçişli süzgeçten geçirildikten sonra 220-260 mg arasında gezindiği Şekil-13’de görülmektedir. Filtre sonucunda SM sensör kaydının frekans içeriğinin değişmediği fakat genliklerinin salınım yaparak farklılık gösterdiği görülmüştür. En büyük ivme değeri SM sensörü tarafından 220-260 mg arasında kaydedilirken, GSR (BT), (BKT) ve (B)’de ise 230-260 mg arasında kaydedilmiştir.

4.5-5.5 Hz frekans aralığında grafiklenen spektral oranlar, birbirlerine nazaran oldukça yüksek büyütme değerleri ve oransal farklılıklar göstermektedirler. 5Hz’de en büyük amplifikasyon BKT düzeneğinde karşımıza çıkmaktadır (Şekil-14).

3.3. El Centro deprem testi

Sarsma masasına gönderilen El Centro depreminin en büyük ivme değeri 340 mg, süresi 15 sn’dir. Sarsma hareketi sonrasında 381-456 mg arasında maksimum genlikler veren dalga tepeleri 0.1-20 Hz aralığında band-geçişli süzgeçten geçirildikten sonra 305-342 mg arasında genlik değerlerine düşmüştür (Şekil-15). En büyük ivme değeri 0.92 saniye civarında elde edilmiş olup, SM sensöründe 305 mg, GSR (BT)’de 342 mg, GSR (BKT)’de 341 mg ve GSR (B)’de 336 mg olarak ölçülmüştür. Simüle edilen El Centro depremi, SM sensöründe

daha düşük, düzeneklerdeki cihazlarda daha yüksek kaydedilmiştir. İvme değerleri, SM sensörüyle orantılandığında yaklaşık olarak BT düzeneği %12, BKT düzeneği %12 ve B düzeneği %10 oranında genlik artışına sebep olduğu belirlenmiştir.

20 Hz'lik frekans penceresinde çizilen spektral oranlarda 7 Hz'den sonra yüksek frekanslara doğru artış görülmektedir. Düzeneklerin verdiği tepkiler birbirleriyle uyumludur fakat yüksek frekanslarda BT ve BKT daha yüksek değer üretmektedir. 0.5-7 Hz arasında %5'lik büyütme oranları, 18 Hz'lerde %60 mertebesine ulaşmaktadır (Şekil-16).

3.4. Kobe deprem testi

Sarsma masasına gönderilen Kobe depreminin en büyük ivme değeri 150 mg, süresi 60 sn'dir. Sarsma hareketi sonrasında 340-385 mg arasında maksimum genlik değerleri veren dalga tepelerine 13-16ncı saniyeler arasında rastlanmaktadır. 0.1-10 Hz aralığında band-geçişli süzgeçten geçirildikten sonra en büyük genlik değerleri 218-228 mg arasında değişir. En büyük ivme değeri yaklaşık 13üncü saniye civarında olup, sarsma masası sensöründe 218 mg, GSR (BT)'de 228 mg, GSR (BKT)'de 225 mg ve GSR (B)'de 224 mg olarak kaydedilmiştir (Şekil-17). İvme değerleri SM sensörüne orantılandığında, yaklaşık olarak BT düzeneği %5, BKT düzeneği %3 ve B düzeneği de %3 oranında genlik artışına sebep olmaktadır.

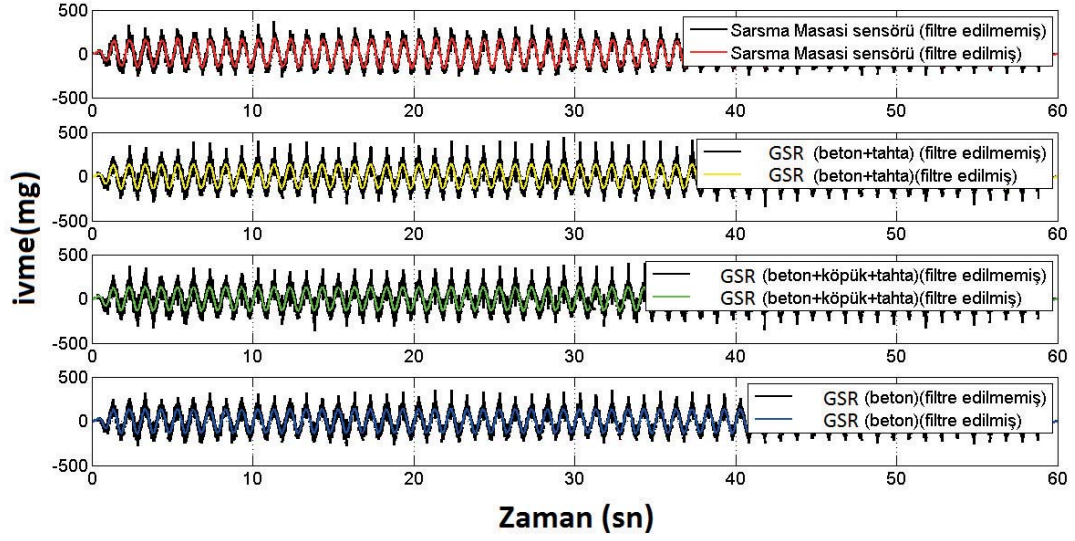
10 Hz'lik frekans penceresinde çizilen spektral oran grafiğinde, 4 Hz'e kadar benzerlik izlenen spektral oranlarda BT düzeneği daha belirgindir. Yaklaşık 4 Hz'den sonra spektral oranlar hemen bütün frekanslarda birbirlerine nazaran istikrarsız davranış sergileyerek farklı frekanslarda farklı oranlarda büyütme gösterirler. 6 Hz'den sonra B düzeneğinin büyütme etkisi göze çarpar (Şekil-18).

3.5. Sakarya deprem testi

Sarsma masasına gönderilen Sakarya depreminin en büyük ivme değeri 300 mg, süresi 25 sn'dir. Sarsma hareketi sonrasında 534-570 mg arasında maksimum genlikler veren dalga tepelerinin, 0.1-10 Hz aralığında band-geçişli süzgeç ile filtrelenmesi sonrasında 348-364 mg arasında değiştiği görülmüştür (Şekil-19). En büyük ivme değeri 5.6 saniye civarında, sarsma masası sensörü tarafından 348 mg, GSR (BT)'de 364 mg, GSR (BKT)'de 360 mg ve GSR (B)'de 362 mg olarak okunmuştur. Düzeneklerdeki cihazlardan alınan kayıtların genlik

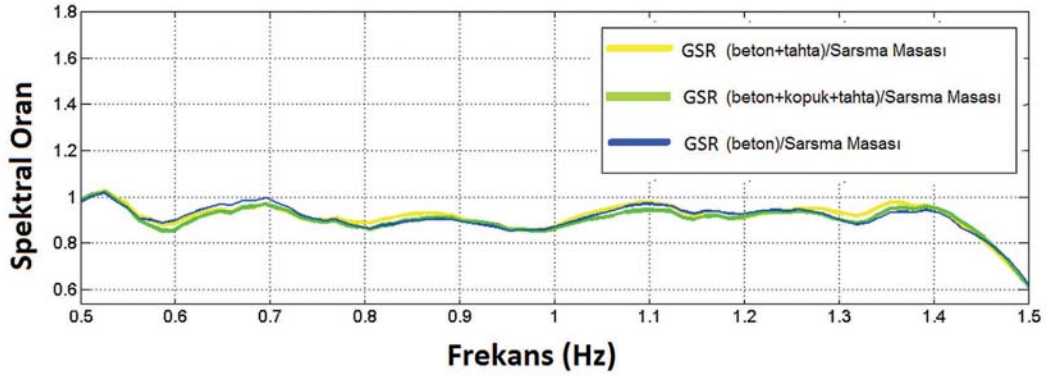
seviyeleri, SM sensöründen alınan değerlerden daha yüksektir. SM sensöründen alınan ivme değeriyle orantılandığında, yaklaşık olarak, BT düzeneği %5, BKT düzeneği %3 ve B düzeneği %4 oranında genlik artışına sebep olmuştur.

10 Hz'lik frekans penceresinde çizilen spektral oranlar 0.7 Hz'e kadar farklılık göstermektedir. 0.7-6 Hz arasında ise uyum sergilemektedirler. Yaklaşık 6 Hz'den sonra %20 civarında büyütme görülmektedir. Yüksek frekanslara doğru ilk önce BT düzeneği, daha sonra da BKT düzeneği büyütme sergilemektedir (Şekil-20).



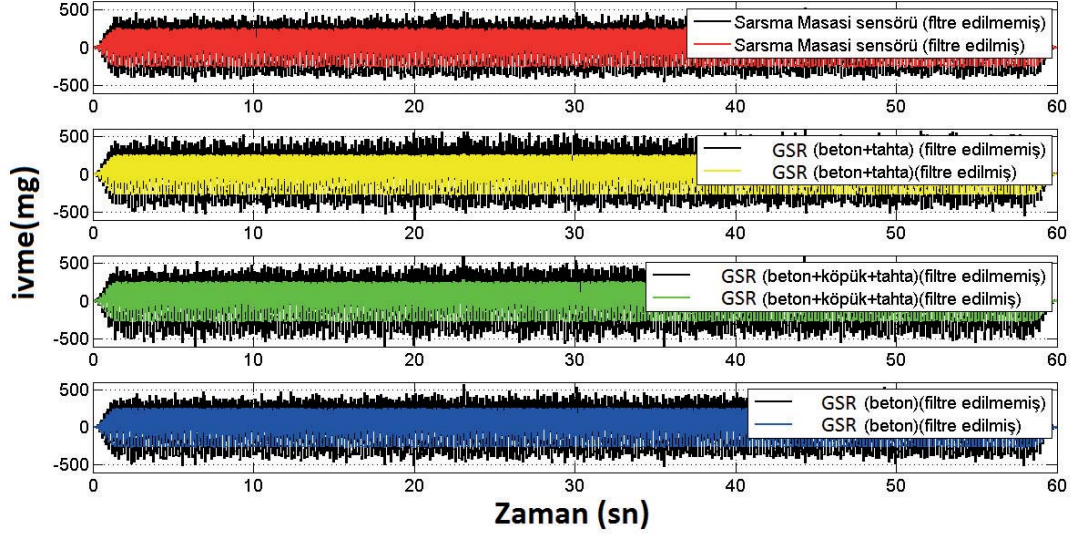
Şekil 11. Farklı düzeneklerde kaydedilen ham ve süzgeçlenmiş verilerin zaman ortamı kayıtları (girdi: 1 Hz sinüs dalgası)

Figure 11. Raw and filtered acceleration time histories recorded by GSRs installed with different configurations (input: 1 Hz sine wave)



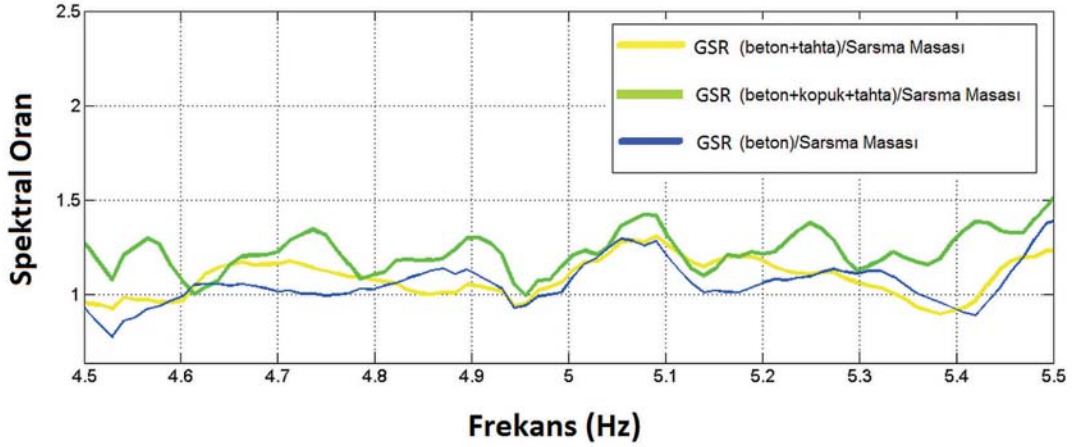
Şekil 12. Farklı düzeneklerden hesaplanan spektral oranların karşılaştırılması (girdi: 1 Hz sinüs dalgası)

Figure 12. Comparison of spectral ratios calculated from different configurations (input: 1 Hz sine wave)



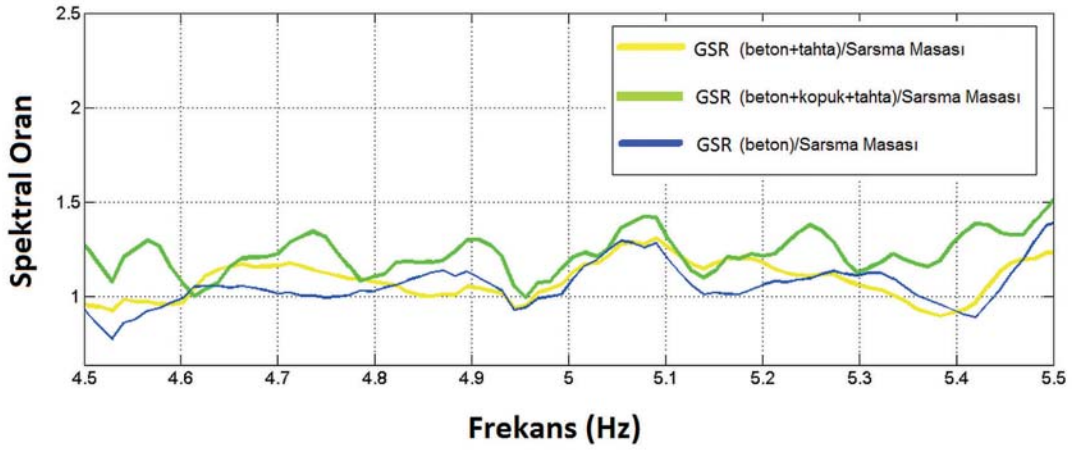
Şekil 13. Farklı düzeneklerde kaydedilen ham ve süzgeçlenmiş verilerin zaman ortamı kayıtları (girdi: 5 Hz sinüs dalgası)

Figure 13. Raw and filtered acceleration time histories recorded by GSRs installed with different configurations (input: 5 Hz sine wave)



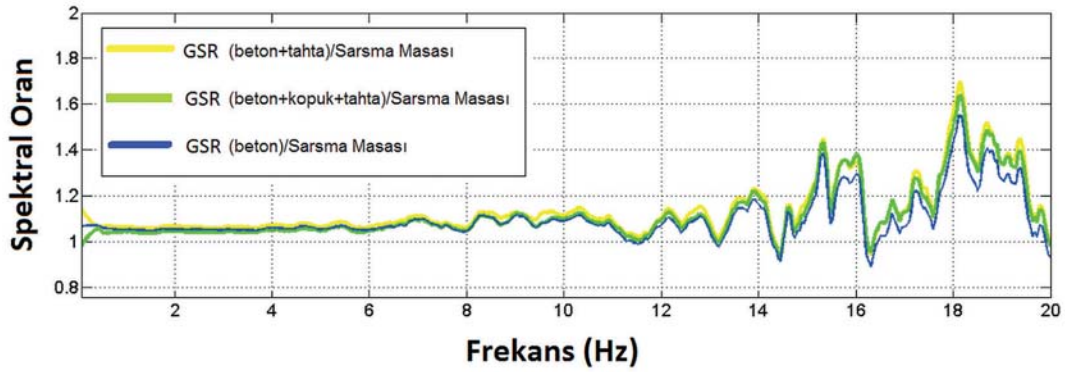
Şekil 14. Farklı düzeneklerden hesaplanan spektral oranların karşılaştırılması (girdi: 5 Hz sinüs dalgası)

Figure 14. Comparison of spectral ratios calculated from different configurations (input: 5 Hz sine wave)



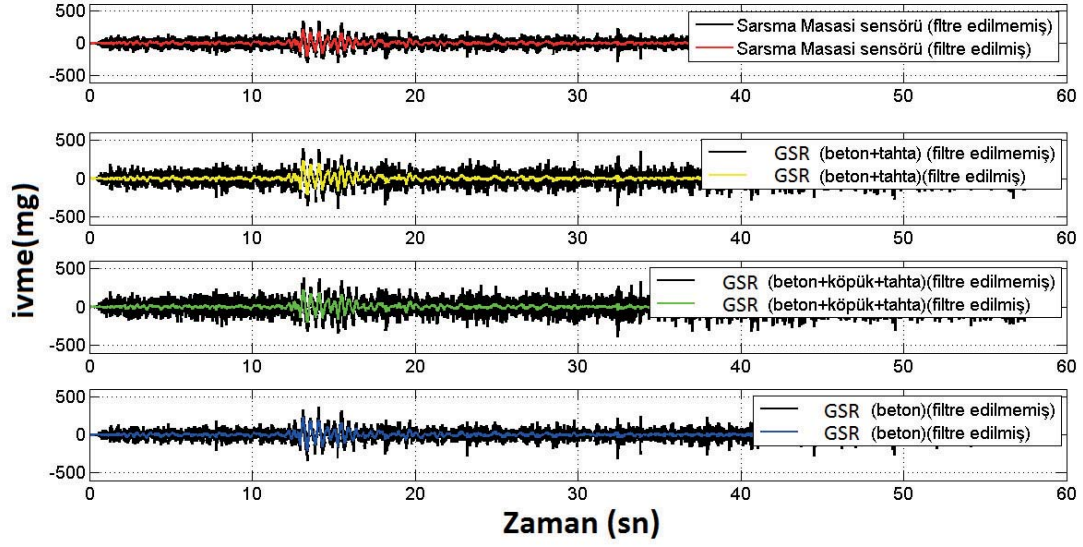
Şekil 15. Farklı düzeneklerde kaydedilen ham ve süzgeçlenmiş verilerin zaman ortama kayıtları (girdi: El Centro deprem kaydı)

Figure 15. Raw and filtered acceleration time histories recorded by GSRs installed with different configurations (input: El Centro earthquake record)



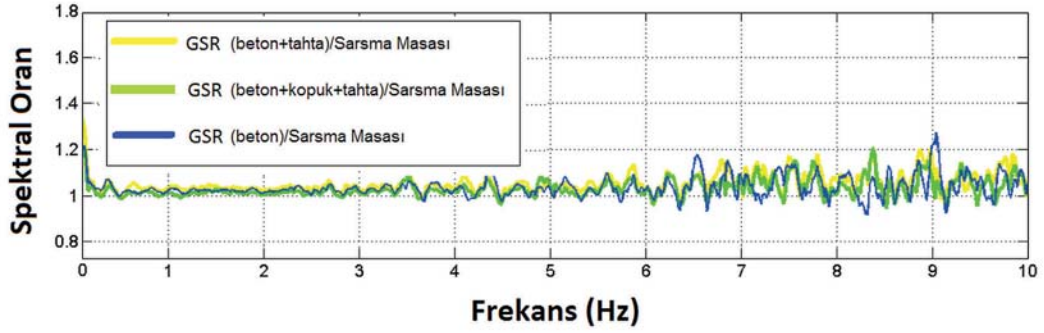
Şekil 16. Farklı düzeneklerden hesaplanan spektral oranların karşılaştırılması (girdi: El Centro deprem kaydı)

Figure 16. Comparison of spectral ratios calculated from different configurations (input: El Centro earthquake record)



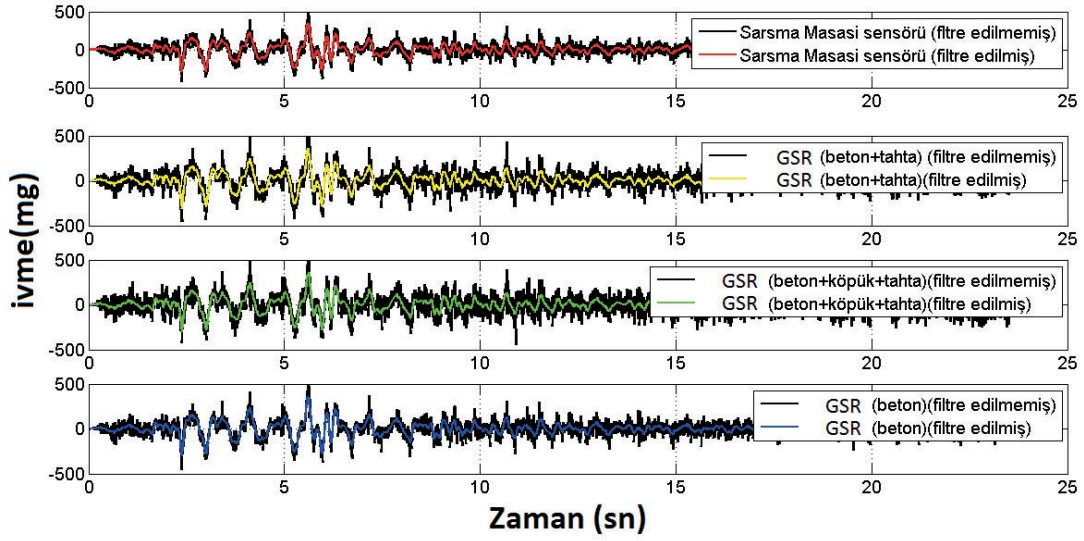
Şekil 17. Farklı düzeneklerde kaydedilen ham ve süzgeçlenmiş verilerin zaman ortamı kayıtları (girdi: Kobe deprem kaydı)

Figure 17. Raw and filtered acceleration time histories recorded by GSRs installed with different configurations (input: Kobe earthquake record)



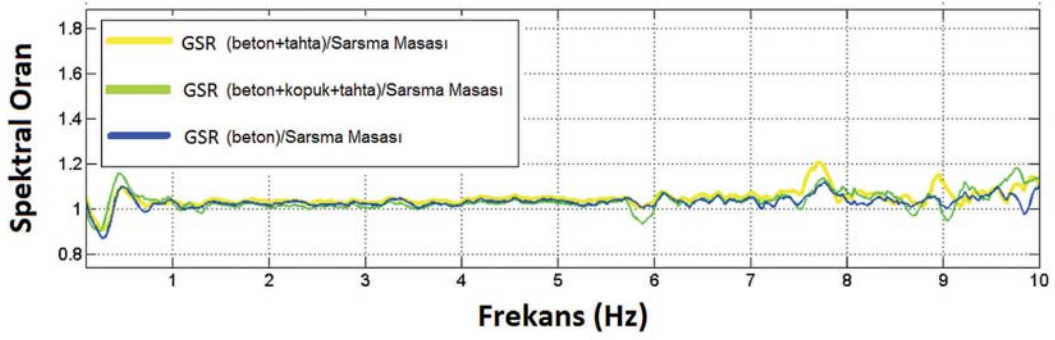
Şekil 18. Farklı düzeneklerden hesaplanan spektral oranların karşılaştırılması (girdi: Kobe deprem kaydı)

Figure 18. Comparison of spectral ratios calculated from different configurations (input: Kobe earthquake record)



Şekil 19. Farklı düzeneklerde kaydedilen ham ve süzgeçlenmiş verilerin zaman ortami kayıtları (girdi: Sakarya deprem kaydı)

Figure 19. Raw and filtered acceleration time histories recorded by GSRs installed with different configurations (input: Sakarya earthquake record)



Şekil 20. Farklı düzeneklerden hesaplanan spektral oranların karşılaştırılması (girdi: Sakarya deprem kaydı)

Figure 20. Comparison of spectral ratios calculated from different configurations (input: Sakarya earthquake record)

4. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi-Tartışma

Beton zemin (B), ahşap platform (beton+tahta=BT) ve ahşap platform ile poliüretan köpük (beton+köpük+tahta=BKT) den oluşan üç farklı montaj düzeneğinin deprem kayıtları üzerinde etkisini değerlendirmek amacıyla sarsma masası testleri yapılmıştır. Test sırasında kullanılan aynı marka cihazlardan elde edilen kayıtlar, kendi düzenek grubu içinde analiz edilerek incelenmiş ve önemli farklar tespit edilmiştir.

Düzeneklerin deprem dalgası ve sinüs hareketi etkisi altındaki davranışları: zaman ve frekans tanım alanında iki yolla incelenmiştir. Zaman ortamında, çıkış ve giriş sinyallerinin en büyük genlik değerlerinin yüzde oranı (%) olarak büyütme değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo-3’de özetlenmiştir. Frekans ortamında ise sinyallerin spektrumlarının oranlanmasıyla büyütme değerleri elde edilmiş ve Tablo-4’de özetlenmiştir.

Sinüzoidal hareketlerde büyük genlik değişimleri görülmesi sebebiyle, GSR (B, BT, BKT) için genlik büyütme oranlarına değer yazılamamıştır (Tablo-3 ve Tablo-4). 1Hz ve 5Hz’lik harmonik hareketlerin spektral oran sonuçlarına sadece kendi frekans değerlerinde ürettikleri oran değerleri alınmıştır (Tablo-4). Analizler daha çok deprem testleri üzerinde yoğunlaşmıştır. El Centro deprem deneyinde en büyük genlik büyütme oranını %12 değeriyle beton+tahta (BT) ve beton+köpük+tahta (BKT) düzenekleri üretmiştir. Kobe depremde ise en büyük orana %5 değeriyle beton+tahta (BT)

düzeneğinde karşılaşmıştır. Buna karşılık en düşük değerler beton (B) ve beton+köpük+tahta (BKT) düzeneğinden alınmıştır. Sakarya deprem testinde ise %5’lik en büyük büyütme oranı beton+tahta (BT) düzeneğinden, en düşük büyütme oranı da %3 değeriyle beton+köpük+tahta (BKT) düzeneğinden elde edilmiştir (Tablo-3).

Şekil 12, 14, 16, 18 ve 20’de verilen frekans-spektral oran grafiklerinden ikişer Hz’lik frekans band aralıklarında hesaplanan spektral oran büyütme yüzdeleri, en büyük büyütme değerini veren düzenek koduyla birlikte Tablo-4’de sunulmuştur. El Centro depremde beton+tahta (BT) düzeneği bütün frekans aralıklarında en yüksek spektral oranları vermektedir (Tablo-4). Beton+tahta (BT) ve beton+köpük+tahta (BKT) düzenekleri, beton (B) düzeneğine nazaran düşük frekanslarda %5, yüksek frekanslarda %15 civarında daha fazla büyütme sergilemektedir. En düşük büyütme oranına beton (B) düzeneğinde karşılaşmıştır (Şekil-16). Kobe deprem deneyinde 6 Hz’e kadar beton+tahta (BT) düzeneği hakimiyet sergilemektedir fakat 6-10 Hz aralığında ise beton (B) düzeneği etkin olmaktadır (Tablo-4). Spektral oranlar hemen hemen bütün frekanslarda birbirlerine nazaran istikrarsız davranış ve farklı oranlarda büyütme göstermektedir (Şekil-18). Sakarya deprem testinde ise en büyük büyütme beton+tahta (BT) düzeneğinden gelmektedir (Şekil-20). 1 Hz altında beton+köpük+tahta (BKT) düzeneği, 0.7-8 Hz arasında beton+tahta (BT) düzeneği, 8 Hz üzerinde ise beton+köpük+tahta (BKT) düzeneği büyütme göstermektedir (Tablo-4).

Tablo 3. Farklı düzeneklerdeki büyütme oranları (%) (B: beton; BT: beton+tahta; BKT: beton+köpük+tahta düzeneklerini temsil eder)

Table 3. Amplification ratios (%) at different type of installations (B, BT and BKT represent concrete, concrete+wood, concrete+foam+wood respectively)

Hareket-Deprem	Sarsma masası üstü	GSR (B) (beton)	GSR (BT) (beton+tahta)	GSR (BKT) (beton+köpük+tahta)	Genlik	Büyütme (%)	Oranı
	PGA (mg)	PGA (mg)	PGA (mg)	PGA (mg)			
1 Hz	150-190	130-160	130-160	130-160	-	-	-
5 Hz	220-260	230-260	230-260	230-260	-	-	-
El Centro	305	336	342	341	10	12	12
Kobe	218	224	228	225	3	5	3
Sakarya	348	362	364	360	4	5	3

Tablo 4.GSR/SM spektral oranları (%) ve büyütme yaratan düzenekler (B: beton; BT: beton+tahta; BKT: beton+köpük+tahta düzeneklerini temsil eder)

Table 4. GSR/SM spectral ratios (%) and the installations that produce amplification (B, BT and BKT represent concrete, concrete+wood, concrete+foam+wood respectively)

Hareket- Deprem	Frekans Aralığı (Hz)									
	< 2	2--4	4--6	6--8	8--10	10--12	12--14	14--16	16--18	18--20
1 Hz	-13 BT, B									
5 Hz			18 BKT							
El Centro	6.5 BT	7.4 BT	8.8 BT	11.5 BT	13.1 BT	16.7 BT	23.2 BT	44.8 BT	57.2 BT	69.2 BT
Kobe	5.5 BT	10.1 BT	13.5 BT	17.6 B	27.2 B					
Sakarya	13.4 / 4.5 BKT / BT	4.9 BT	5.8 BT	20.5 BT	17.9 BKT					

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sarsma masasıyla uygulanan kayıtlar için elde edilmiştir. Genlik artış oranlarındaki en düşük büyütme sonuçlarını beton (B) düzeneği vermektedir. Bu özelliğiyle kayıtlarda mesnetlenme etkisi en az görülen düzenektir. Beton+köpük+tahta (BKT) düzeneği büyütme faktörünün izlendiği ikinci kurulumdur. En çok genlik büyütmesi beton+tahta (BT) düzeneğinde görülmektedir. Benzer şekilde, spektral oranlarda da hemen hemen bütün frekanslarda büyütme beton+tahta (BT) düzeneğinde izlenmiştir. Çalışılan modellerin içinde zaman tanım alanında ve frekans tanım alanındaki performansları beraber değerlendirecek olunursa en iyi sonuç beton (B) düzeneğinden elde edilmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu araştırma, Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No. 7141-13T01P1) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı başta Prof. Dr. Mustafa Erdik, Prof. Dr. Erdal Şafak ve Doç. Dr. Ayşe Edinçliler olmak üzere tüm laboratuvar çalışanlarına, Sn. Oktay Çırağ'a, Sn. Emre Özdemir'e, GRM İletişim ve Bilişim Sanayi Ticaret Ltd. Şti.'nden Sn. Çağatay Kariptaş ve ekibine teşekkür ederiz. Makalenin metninin geliştirilmesine büyük oranda katkı yapan ve yapıcı eleştiriler sunan değerli hakemlere teşekkürü bir borç biliriz.

SUMMARY

As a part of the risk for the future potential earthquake in Istanbul, an earthquake rapid response and an early warning system in the metropolitan area has been implemented in 2002. In the network, totally 110 strong motion recorders were installed to the basement floor of low-rise buildings in the dense area of the Istanbul Metropolitan and along the northern shoreline of the Marmara Sea. A standard setup configuration was initially followed for the installation of seismic instruments. Firstly, after drilling required four holes on basement floor, 35 cm. stainless steel rods are attached to concrete floor using chemical anchors. Then, wooden plate is fixed to these steel rods with seismic instrument. Finally, the space between the wooden plate and the concrete slab is filled with polyurethane foam. In recent years, many stations have been partially replaced and removed due to comprehensive retrofitting project implementations, especially in public buildings. The re-installation works have been completed at the same or new locations. In re-installations, seismic instruments have been fixed to basement floor using either wooden plate or polyurethane foam. To analyze the effect of these fixations on earthquake records, shaking table tests have been performed. The tests have demonstrated that the mounting procedure using concrete (B) gives the best results.

DEĞİNİLEN BELGELER

Alçık, H., Gürbüz, C., Üçer, Balamir, 1995. Kadıköy ve Üsküdar bölgelerinde yapılan mikro-tremör ölçüleri ile mikrobölgelendirme, Jeofizik, 9-10, 235-245.

Alçık, H., Özel, O., Apaydın, N., Erdik, M., 2009. A study on warning algorithms for Istanbul earthquake early warning system, Geophysical Research Letters, 36, L00B05, doi 10.1029/2008GL036659.

BÜ-KRDAE, 2014.

http://www.koeri.boun.edu.tr/ArastIrma/Sarsma%20Masasi%20LaboratuvarI_3_67.depmuh

Dikmen, Ü., Arısoy, M.Ö., Akkaya, İ, Demirci, İ., Hasançebi, N., 2013. Yer tepkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin ivme kaydı üzerinde değerlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, M.K.Ü, Hatay, 25-27 Eylül.

Erdik, M., Fahjan, Y., Özel, O., Alçık, H., Mert, A., Gül, M., 2003. Istanbul earthquake rapid response and the early warning system, Bulletin of Earthquake Engineering, 1, 157-163.

Garmin, 2014,

<https://buy.garmin.com/en-US/US/oem/discontinued/gps-35-series/prod62.html>

GeoSIG Ltd., 2014.

<http://www.geosig.com/Istanbul-Metropolitan-Area-pg53.html>

Gök, E., Keçecioğlu, M., Çeken U., Polat, O., 2012. İZMİRNET istasyonlarında standart spektral oran yöntemi kullanılarak zemin transfer fonksiyonlarının hesaplanması, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14 (41), 1-11.

Guralp Systems Ltd., 2014. <http://www.guralp.com/support/product-manuals>

Ohsaki, Y., 1991. Deprem dalgasının spektral analizine giriş, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 201-208.

Şafak, E., 1997. Models and methods to characterize site amplification from a pair of records, Earthquake Spectra, 13 (1), 97-129.

Sertçelik, F., Özer, K., 2005. Spektral oran ile Q faktörünün belirlenmesi, Kocaeli Deprem Sempozyumu Kocaeli Üniversitesi, İzmit, 23-25 Mart.

