

PROJE NO: 105M015

DEPREM SİMÜLATÖRÜ (MASAÜSTÜ)

Yrd.Doç.Dr. GÜRSOY TURAN
Yük.Müh. GÖKÇE KINAY

EKİM 2007
İzmir

Önsöz

Bu çalışma 2004-IYTE-19 numaralı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nün bilimsel araştırma projesinin (BAP) desteği ile faaliyete geçmiştir. Tamamen yerli imalattan oluşması için piyasalar araştırılmış, fakat en önemli parçaların yerli yerli üretimi bulunamamıştır. Ülkemizde henüz daha sürtünmesiz ray, araba, sürtünmesiz vida ile somunları üretilmemektedir. Servo motorlar ise bir Türk şirketi tarafından daha yeni üretilmektedir ve ilk ürünün 2008 yılında piyasaya sürüleceği belirtilmektedir.

Yerli imalatların arayışındayken, projenin kabul edilmiş olduğu mali yıl içerisinde servo motor temin edilememiştir. Bu amaçla, Tübitak'ın 1002 kodlu hızlı destek projesine başvurup hem yurt dışından alınan servo motor için ödenek elde edilmiştir, hem de bu konuda çalışmasını yürüten bir yüksek lisans öğrencisine burs sağlanmıştır.

İçindekiler

1 Özet.....	1
2 Abstract.....	1
3 Giriş.....	1
4 Literatür Özeti.....	2
5 Genel Bilgiler.....	3
6 Gereç ve Yöntem.....	3
6.1 Bilgisayar ile Servo Motorun Haberleşmesi.....	4
6.2 Hareket Aktarımı.....	6
6.3 Deprem Verisinin Okunma Şekli.....	7
6.4 Sarsma Tablasının Zemine Montajı.....	7
7 Bulgular.....	8
8 Üst Kontrol Uygulaması.....	11
9 Tartışma ve Sonuç.....	15
10 Öneriler.....	15
11 Kaynaklar.....	15
EK-1: MODEL BİNA.....	17

Çizelge Listesi

Haberleşme Kartın özellikleri.....	5
Modelin eleman boyutları.....	18
Modelin doğal titreşim modları.....	18

Şekil Listesi

İtme davranışı: ivme, hız ve deplasman sinyali.....	8
Sarsma Tablasının hareketi.....	9
Maket binasının üçüncü kat deplasmanı.....	9
Sarsma tablasının hesap ve ölçülen hızı.....	10
Tek itkili ivme sinyali ve buna ait hız ve deplasman grafiği.....	11
Üst kontrol uygulaması ile tablanın deplasmanı.....	12
Üst kontrol uygulaması ile 3. katın deplasmanı.....	12
1940 El Centro depreminin ivme kaydı ile hesaplanan hızı ve deplasmanı.....	14
El Centro Depremi etkisinin altında tablanın deplasmanı.....	15
Üçüncü katın deprem etkisi altındaki davranışı.....	15
Maket bina modeli.....	17

Resim Listesi

Deprem simülatörünün genel görünüşü.....	1
Sarsma tablasından görüntüler.....	4
Haberleşme kartı - 12 bitlik 4 kanallı DAC ve 8 kanallı ADC.....	5
Deprem sinyalinden servo motoruna olan iletişim ağının şematik gösterilişi.....	6
Vantuzlu ayak.....	7

1 Özet

Taşınabilir boyutta ve servo motoru ile çalışan tek boyutlu bir deprem simülatörü imal edilmiştir. Hareketli tabla 40 cm x 40 cm'lik alana sahip olup, 20 kg'lık bir yükü 2g'lik ivme ($1g=9.81 \text{ m/s}^2$) ile hareket edebilmektedir ve en çok 16 cm yer değiştirme imkanına sahiptir. Herhangi bir depremin ivme-zaman verisini okuyan arayüz programı iki girdiyi dikkate almaktadır. Birincisi, benzetilmek istenen deprem hareketin en büyük hızı motorun üretebileceğinden büyük olmamalıdır (25 cm/s). İkincisi, benzer şekilde, depremin en büyük yer değiştirmesi de tablanın hareket sınırlarını (16 cm) aşmamalıdır. Bu değerler aşıyorsa, istenen hareketin sinyali bir küçültme katsayısı ile çarpılmaktadır.

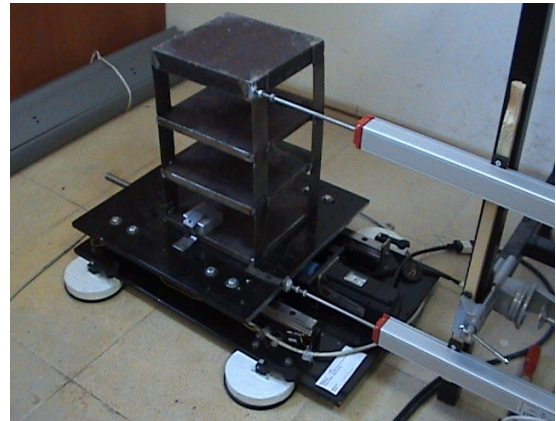
2 Abstract

A portable, servo motor driven, and one-dimensional earthquake simulator is manufactured. The moving table has a dimension of 40 cm x 40 cm. It can carry a load of 20 kg, accelerated to 2g ($1g=9.81 \text{ m/s}^2$), and its maximum displacement range is 16 cm. An earthquake acceleration data is read by the driver program, which assures two items of the input signal. First, the simulated earthquake speed can not be larger than the motors capacity (25 cm/s). Second, the maximum earthquake displacement can not be larger than the moving tables displacement capacity (16 cm). If these limits are exceeded, the input signal is multiplied by a reduction factor.

3 Giriş

Depremlerin insan yapılarına olan etkisini öğrenmek ve buna göre tasarımlarını iyileştirmek için simülatörler üretilmektedir. Araştırmacıların bilgi ve deneyimi arttıkça simülatörlerin yarattığı etkiler gerçek deprem etkilerine daha fazla benzemektedir. İlk simülatör (büyük bir olasılıkla) tek boyutlu iken, günümüzde 6 boyutta benzetme yapabilen cihazlar geliştirilmektedir.

İnşaat Mühendisliği Bölümü'müzün eğitim planı kapsamındaki, yapı dinamiği ile deprem mühendisliği derslerinde ve ilgili küçük araştırmalarda, öğrencilerin kullanabileceği bir deprem simülatörü üretilmiştir. Taşıma yük kapasitesi 20 kg'dır. Bu kütleyi en fazla 2g'lik ivme ile sarsma özelliğine sahiptir. En yüksek hızı motorun dönme hızı ile sonsuz vidanın adım uzunluğuna bağlıdır ($=25 \text{ cm/s}$). Sarsma tablası 16 cm'lik hareket yeteneğine sahiptir. Tabla arabaların üzerinde oturdukları rayın sonuna geldiklerinde servo sürücüsüne bir sinyal gönderilmektedir. Bu da motorun bu yönde dönmesini



Resim 1: Deprem simülatörünün genel görünüşü

engellemektedir. Gönderilen voltajın işareti değiştiğinde simülatörün tablası ters yönde hareket etmeye devam etmektedir. Raydan çıkma tehlikesine karşı önlem alınmasına karşın, normal şartlarda buna gerek duyulmamaktadır, çünkü arayüz programı buna karşı önlem almaktadır.

Arayüz programı ile istenen hız değerleri bilgisayardan servo motorun sürücüsüne iletilmektedir. Sürücü de motora istenen hız doğrultusunda gerekli elektrik akımı göndererek hareket ettirir. Ancak, bu açık kontrollü uygulamada hem hız, hem de deplasman hatasına yol açabilmektedir (bkz. bulgular başlığı altındaki örnek çalışma sonuçlarına). Deplasman hatasının giderilmesi için bir üst kontrol oluşturulmuştur ve uygun davranış sonuçları elde edilmiştir.

4 Literatür Özeti

Dünyadaki en büyük boyutlu servo-sürümlü deprem sarsma tablası T.C İçişleri Bakanlığı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü Ankara Sivil Savunma Arama ve Kurtarma Birliği Deprem Simülasyon Merkezi'ndedir (Aytun,2002). Üç serbestlik dereceli olan simülatörün hareketli tablası 6.90 x 3.90 metrelik boyutlara sahiptir ve ortalama 6000 kg'luk bir yararlı yük kapasitesine sahiptir.

Japonya'daki Hyogo Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde bulunan üç boyutlu sarsma tablası 20 m x 15 m'lik boyutlara sahiptir ve dört katlı betonarme bir yapıyı birebir ölçekte test etmek için kullanılabilmektedir [1.8].

NEES Berkeley-George E.Brown Jr. Deprem Mühendisliği Simülasyon Merkezi'nde bulunan deprem simülatörü Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en büyük üç eksenli tabladır [1.13]. 45 tona kadar olan yapıları 1.5 g'lik maksimum yatay ivme ile sarsabilmektedir.

Dünyadaki önemli sarsma tablası üreticilerinden biri olan Anco firmasına ait 40'dan fazla tabla dünyanın dört bir yanında üniversiteler ve endüstri kuruluşları tarafından deprem titreşimlerinin, şokların, otomobil, tren ve uçak ulaşımlarının simülasyonunda kullanılmaktadır [1.4]. Bunlardan biri de İstanbul Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde bulunmaktadır [1.9].

Başka bir üretici firma olan Quanser'e ait sarsma tablaları dünyada 60'dan fazla eğitim ve araştırma birimlerinde kullanılmaktadır [1.14]. Quanser'in sağladığı kullanma kitapçığı incelendiğinde, deprem verisini tablanın sınır şartlarına göre ayarlama yaptığı belirtilmektedir. Örnek olarak 0,02 saniye zaman aralıklı ve toplam 50 saniye uzunluğunda bir deprem verilmektedir. Bu depremden kaynaklanan yer hareketi de 10 cm olduğu düşünülmektedir. Oranlama işlemin sonunda deprem verisinin en fazla 3 cm'lik deplasman yapması istenmektedir. Çözüm olarak da ivmelerin genlikleri değişmeyecek şekilde zaman aralığı küçültülmektedir. Bu uygulama ile gerçek ivmeler elde edilse bile, titreşim frekansı artırılmış olacaktır ki, simülatörün üzerinde davranışı incelenen yapının doğal salınım frekansı ile olan ilişkisi bozulmaktadır.

Quanser'in üretmiş olduğu sarsma tablasında bir diğer konu da, her değişik işlem için bir fonksiyonun çalıştırılma ihtiyacı oluşudur. Hatta, yeni bir deprem verisi çalıştırılmak istendiğinde, onu derlemek gerekmektedir.

Tayvan'da bulunan Deprem Mühendisliği Ulusal Araştırma Merkezi'ndeki (NCREE) deprem simülatörü deprem yer hareketini altı serbestlik derecesi ile benzetebilmektedir [1.10]. 5 x 5 metrelik boyutlara ve 27 tonluk kütleyle sahip sarsma tablası maksimum 50 tonluk bir model yapıyı taşıyabilir.

Avrupa Deprem Sarsma Tablası Konsorsiyumu'na (ECOEST) dahil olan bazı büyük simülatörler şunlardır: 1) NTU Atina; 2) EERC Bristol; ve 3) SMES Bergamo. Altı serbestlik derecesine sahip olan bu tablalar, sırasıyla, maksimum 10, 15 ve 30 tonluk model yapıları sarsabilirler. Bristol'deki 4.5*g 'lik maksimum ivme uygulayabilmektedir. ECOEST'e dahil olan üç serbestlik dereceli sarsma tablaları Lizbon LNEC'de ve Saclay CEA'dadır. CEA'daki tabla maksimum 100 tonluk örneği 4*g ile sarsabilmektedir [1.7].

Eğitim Amaçlı Sarsma Tablaları için Üniversite Konsorsiyumu'na (University Consortium on Instructional Shake Tables – UCIST) dahil sarsma tablaları kendi bünyelerindeki 23 enstitü ve konsorsiyuma dahil olmayan 80 enstitü tarafından kullanılmaktadır [1.6].

5 Genel Bilgiler

Sarsma tablasının boyutu 40cm x 40cm, ve toplam boyutları 60cm x 40cm olmak üzere, kendi ağırlığı 30 kg'dır. Küçük ebad ve ağırlığından dolayı taşınması kolay bir cihazdır. Deprem simülatörünün genel ve yandan görünüşü Resim 1 ve 2'de verilmiştir.

Servo motoru 400 Watt gücündedir ve daimi olarak 1.274 Nm'lik tork üretebilmektedir. Sonsuz vidanın adım uzunluğu 5 mm/devirdir ve buna göre 1600 N'luk kuvvet oluşturulabilmektedir. Bu kuvvet ile 80 kg'lık bir kütle 2g'lik ivme ile hareket ettirilebilir. Ancak, sarsma tablasının ilk çalışma aşamalarında sınırını zorlamadan, parçaların sorunsuz çalışabilmeleri amaçlanmaktadır. Bu nedenle ilk etapta en fazla 20 kg civarında bir yük için müsaade verilecektir. Buna ilave olarak, anlık tork değeri %300'e çıkartılabilir. Bu durumda, servo motoru 4800 N'luk kuvvet oluşturabilmektedir. Ancak, simülatör için çok büyük bir kuvvet olacağı düşünülmektedir.

Simülatörün aşağıda maddelenen kullanım amaçlarına hizmet vermesi beklenmektedir:

1. Simülatör, deprem ve dinamik derslerin eğitiminde önemli konuların görsel olarak ifade edilmesini sağlayacak, bizzat öğrenci tarafından da kullanılabilir. (Seçkin üniversitelerin dinamik derslerinde benzer bir deprem simülatörü uygulamalı olarak kullanılmaktadır - University Consortium on Instructional Shake Tables (UCIST)).
2. Küçük çapta araştırma için uygun olduğu gibi, ileri aşamalı büyük deprem simülatörü tasarımı için bir ön basamak oluşturmaktadır.
3. Sivil toplum örgütleri ile yapılacak oturumlarda deprem etkisinin gösterilmesi amacı ile kullanılabilir.

6 Gereç ve Yöntem

Projenin yürütülmesi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: İlk aşamada servo motor satın alınmıştır. Motorun boyutlarına göre deprem simülatörünün parça yükseklikleri belirlenip birleştirilmiştir. Kasnaksız birleşimin sağlanması amacıyla parçalar birkaç kez sökülüp ince ayar yapılmıştır. Son olarak da bilgisayar ile olan haberleşmesini sağlayacak yazılım oluşturulmuştur.

Deprem simülatörün imalatı için gerekli olan parçaların bir kısmı 2004-IYTE-19 Nolu İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında sağlanmıştır. Tübitak'ın desteği ile servo motor ve elektronik malzemeler satın alınmıştır. Buna ilave olarak bir öğrenciye de burs verilebilmiştir.



a) Raylar üzerinde hareket eden arabalar



b) Hareketi sınırlandıran şalter

Resim 2: Sarsma tablasından görüntüler

Simülatörün sarsma tablası sürtünmesiz raylar üzerinde oturmaktadır (Resim 2). Servo motor - sonsuz vida – bilyalı somun bağlantısı sayesinde üst tablaya istenen hareket verilmektedir. Servo motorunu harekete geçirmek için birden çok yöntem bulunmaktadır – Deplasman kontrolü, Hız kontrolü, veya Tork kontrolü. Deplasman kontrolü ile arzulanan deplasman sağlanabilmekte, ancak sistem yavaş çalışmaktadır. Tork kontrolü ile belli bir yüke göre akım sağlanmaktadır ve sistem hızlı cevap vermesine rağmen, doğru deplasman ve hız değerleri elde etmek çok zor olur. Bu nedenlerden dolayı deprem sinyalini en doğru oluşturabilmesi için servo motoru “Hız kontrolü” ile çalıştırılmaktadır. Diğer bir ifade ile Servo motora dönmesi istenen hıza karşılık gelen voltaj sinyaller girilecektir. Depremler ise genelde ivme verileri ile belirtilmektedir. Bunların zamana göre integralı alındığında hız zaman verisini elde etmek mümkündür. Herhangi bir deprem verisinin işlenip simülatöre aktarılabilmesi için, gerektirdiği takdirde, veriler küçültülecektir. Küçültme miktarı tablanın hareket miktarı ve motorun sağlayabileceği en büyük hızı ölçüsünde gerçekleşmektedir.

Tablanın en büyük yer değiştirmesini sınırlamak amacıyla hareketi durduran anahtarlar yerleştirilmiştir (Resim 2b). Tabla, (+) veya (-) yönde izin verilen en büyük sınır yer değiştirmeyi yaparsa güvenlik amacıyla o yöndeki hareketi durdurulmaktadır ve sadece ters yöndeki harekete izin verilmektedir. Davranış benzetimi sırasında bu anahtarlara ihtiyaç olmamaktadır. Arayüz programı sınırları göz önüne alarak deprem sinyali küçültmüştür. Anahtarlar sadece davranış

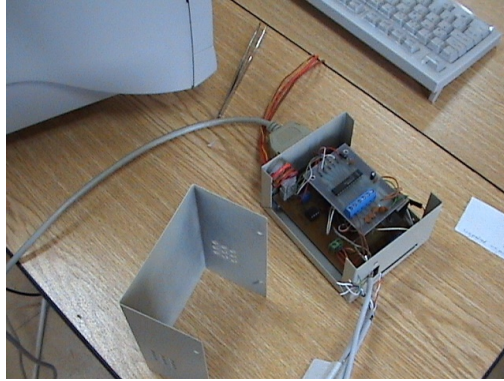
benzetimi başlamadan evvel tablanın ilk konumunu sağlamakta yardımcı olmaktadır.

6.1 Bilgisayar ile Servo Motorun Haberleşmesi

Bu proje kapsamında bilgisayar ile servo sürücüsü arasında iletişimi sağlayacak bir arayüz programı yazılmıştır. Benzetimi yapılacak olan hareketin ivme değerleri bir dosyadan okunmak üzere bu programın girdisini oluşturmaktadır. Hıza karşılık gelen voltaj değerler hesaplanıp bilgisayarın parallel portu vasıtasıyla haberleşme kartına aktarılmaktadır. Laboratuvarımızda imal edilen haberleşme kartı (MAX525 ve MAX1270 çipleri kullanılmıştır), dijital bilgileri 12'şer bit halinde okuyup, hız voltaj sinyalini oluşturur ve servo motoruna gönderir. Bu işleme dijitalden analoğa dönüşüm (ADC) denmektedir.

Haberleşme kartı, simülasyon süresi boyunca dışarıdan herhangi bir voltajı da okuyabilmektedir. Örnek uygulama için iki adet deplasman ölçen potansiyometreler okunmuştur.

Haberleşme kartının özellikleri Tablo 'de belirtilmektedir.



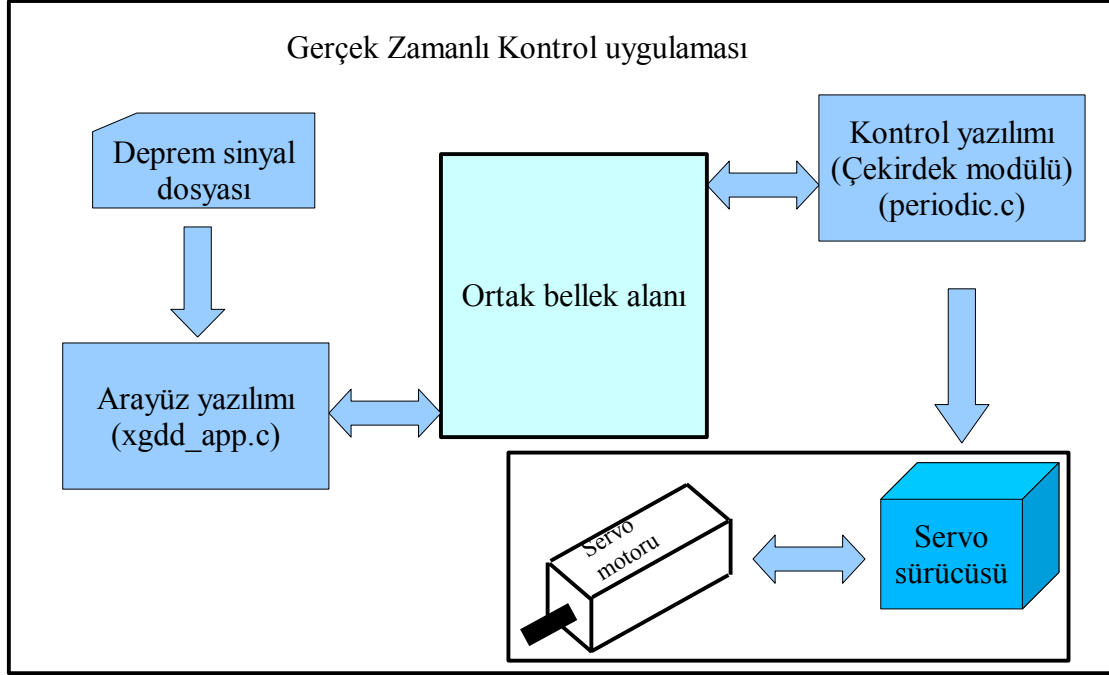
Resim 3: Haberleşme kartı - 12 bitlik 4 kanallı DAC ve 8 kanallı ADC

Çizelge 1: Haberleşme Kartın özellikleri

	<i>Değer</i>	<i>Birim</i>
Analog Giriş Kanalları		
Adet	8	
Voltaj aralığı	0 – 5 0 –10 -5 – 5 -10 –10	Volt
Kararlılık	12	Bit
Analog Çıkış Kanalları (Vref = 3,5 Volt olarak ayarlanmıştır)		
Adet	4	
Voltaj aralığı	-Vref - Vref	Volt
Kararlılık	12	Bit

Kontrol amaçlı pentium 100 Mhz işlemcili bir bilgisayar kullanılmaktadır. Linux bazlı işletim sistemi, “Real Time Application Interface” (RTAI) [1.11] programı ile yamatılmış çekirdeğe sahiptir. Yukarıda bahsedilen arayüz programı çekirdeğin gerçek zaman özelliğinden faydalanıp, deprem sinyallerini sabit zaman aralığında servo sürücüsüne ulaştırmaktadır.

Resim 4'te deprem sinyalinden servo motoruna olan iletişim ağının şeması gösterilmektedir. Gerçek zamanlı programlamada, yazılan program, işletim sistemi çekirdeğinin bir modülü olmalıdır. Ancak, çekirdek sabit diskten veri dosyasını okuyamamaktadır. Bu nedenle, bu uygulamada ön yüz programı ile deprem sinyali okunmakta ve veriler bilgisayar belleğinde ortak alanın oluşturulduğu bölgeye aktarılmaktadır. Çekirdek modül yazılımı da bu ortak alanda gerekli bilgileri okur ve paralel portu üzerinden servo motoru ile iletişime geçer.



Resim 4: Deprem sinyalinden servo motoruna olan iletişim ağının şematik gösterilişi

6.2 Hareket Aktarımı

Hareket aktarımı deprem ivme değerinden başlayıp simülasyon tablasının hareketi ile son bulmakta ve aşağıdaki madde sırasını takip etmektedir.

- i) İvme değeri okunur.
- ii) Hız değeri hesaplanır ve en büyük değeri 25 cm/s'den büyük ise bir küçültme katsayısı hesaplanır, k_h .
- iii) Deplasman değerleri hesaplanır ve en büyük ile en küçüğü arasındaki fark 16 cm'den büyük ise bir küçültme katsayısı hesaplanır, k_d .
- iv) Hız ve deplasman katsayılarının küçük olanı ile hız değerleri çarpılmakta ve haberleşme kartına gönderilmektedir.
- v) Simülasyonun hareketli tablası başlama noktasına gönderilir. Bu nokta, tablanın (-) sınırından d kadar mesafededir. Bu d mesafesi, küçültme katsayısı ile çarpılmış olan deprem deplasmanının (+) yönündeki değeri kadardır.
- vi) Servo sürücüsü $\frac{10000 \text{ devir/dk}}{10 \text{ Volt}}$ oranında hareket sağlaması için programlanmıştır. Ancak, motorun en büyük dönme hızı 3000 devir/dk ile sınırlıdır.
- vii) Elektrik motoru sonsuz vidaya bağlıdır ve vidanın hatvesi 0.5 cm/devir'dir. Diğer bir ifade ile, motorun bir döngüsü, tablanın 0.5 cm hareket etmesiyle eş anlamlıdır.

Yukarıdaki bilgileri seri halinde birleştirecek olursak

$$\frac{10000 \text{ devir/dk}}{10 \text{ Volt}} \frac{0.5 \text{ cm}}{1 \text{ devir}} \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} = 8,333 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \frac{1}{\text{Volt}} \quad (1)$$

besleme voltajına karşılık gelen tablanın hızı elde edilmiş olur. 3 Volt verildiğinde en yüksek hıza ulaşılmış olunur (+25 cm/s), -3 Volt verildiğinde ise ters yöndeki en yüksek hıza ulaşılmaktadır (-25 cm/s).

Haberleşme kartı 12 bitlik çevrim yapmaktadır ve -3,5 ile +3,5 Volt arasında çıkış verebilmesi için ayarlanmıştır. En düşük bitin çıkış voltajı üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{3,5 - (-3,5)}{2^{12}} \text{ Volt} = 0,001709 \text{ Volt} \quad (2)$$

Bu değer aynı zamanda DAC'nin çevrim hatasına eşittir.

6.3 Deprem Verisinin Okunma Şekli

Davranışı benzetilmek istenen ivme sinyal bir dosyada saklanmalıdır. Bir veri, zaman ve ivme değerinden oluşmaktadır ve dosyada bir satır işgal etmektedir. İvme değerleri eşit zaman aralığında olmalıdır. Arayüz yazılımı her bir veriyi okuyup, zaman aralıklarını kontrol edecektir. Zaman aralıkları arasında bir fark varsa, program sonlanacaktır. İvme verileri okunduktan sonra, 0,0025 saniye aralıklı "spline enterpolasyon" uygulanmaktadır. Bu amaçla, ani ivmelenmeleri bir miktar azaltmak mümkündür. Ancak, enterpolasyonun gerçekleşebilmesi için, zaman aralığının en az 0,005 saniye olması gerekmektedir.

6.4 Sarsma Tablasının Zemine Montajı

Sarsma tablasının her köşesinde bulunan vantuzlu ayaklar özel olarak imal edilmiştir (bkz. Resim 2.a) ve 5). Ayaklar içerisindeki (montaj öncesi) lastik vantuzlar hareket edebilmekteler. Bu özelliklerinden dolayı çok düzgün olmayan yüzeylere dahi yerleşebilmektedirler. Vantuz kolu çevrildiğinde lastik vantuzlar ile zemin arasındaki hacim büyütülmektedir ve netice olarak deprem simülatörü, vakumun etkisiyle, yere sıkıca bağlanmış olmaktadır.

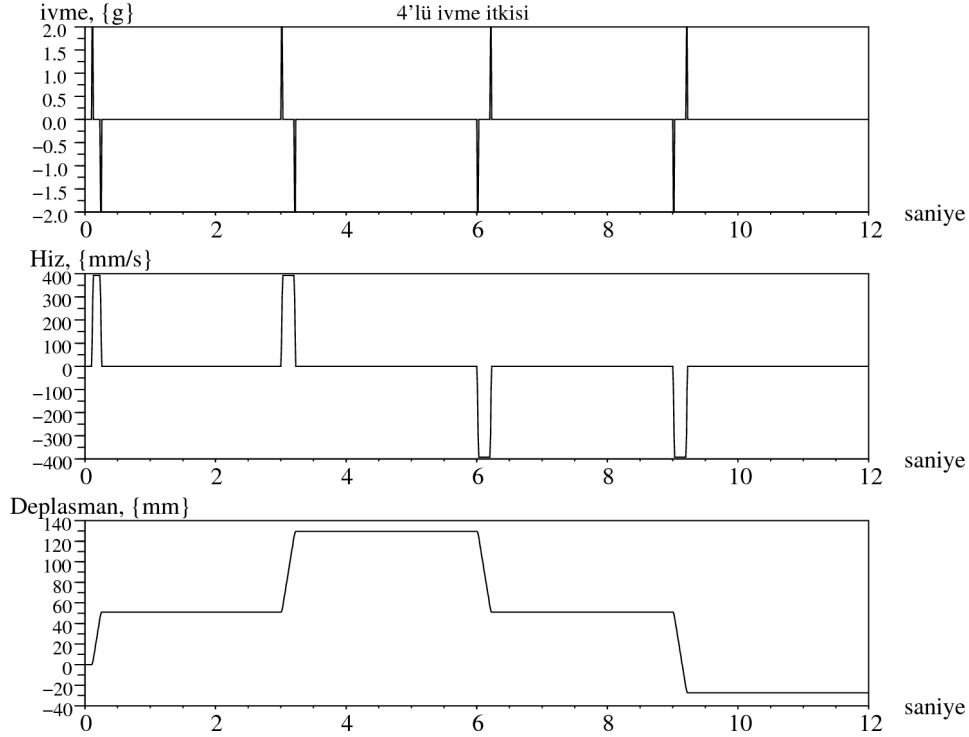


Resim 5: Vantuzlu ayak

7 Bulgular

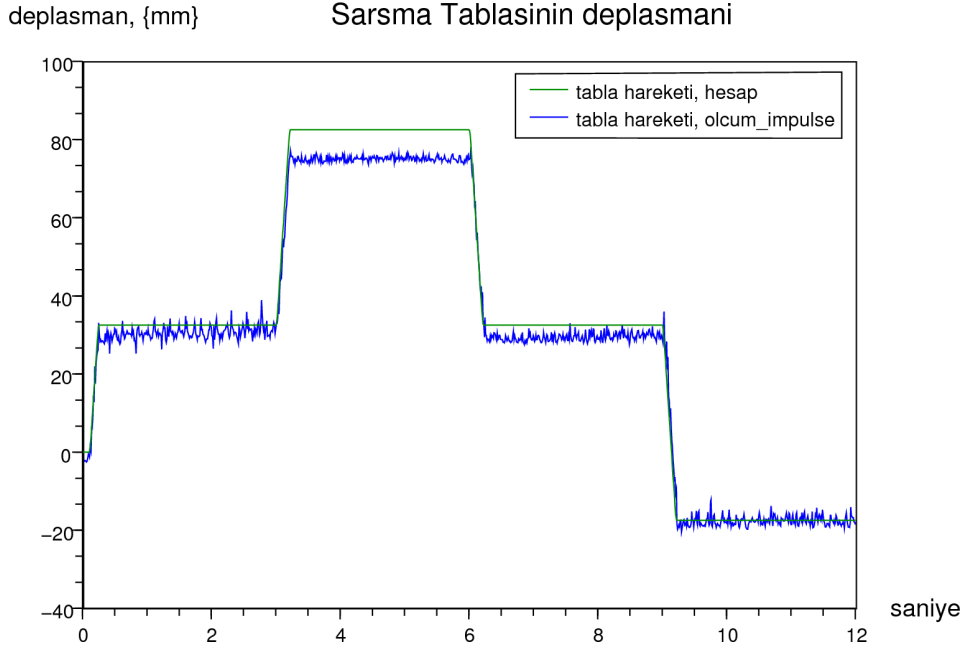
Deprem sarsma tablasının istenen hareketi sağlayıp sağlayamadığını belirlemek amacıyla 3 katlı bir maket binanın davranışı ölçülmüştür. Maketin görüntüsü Resim 1'de gösterilmektedir. Bu amaçla sarsma tablasına 4 itmeden oluşan bir hareket verilmiştir. (Maket bina modeli hakkında daha detaylı bilgi için bkz. sayfa 19).

Dört ayrı itmeden oluşan ivme değerleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Aynı şekilde bu ivme değerlere karşılık gelen hız ve deplasman grafikleri de mevcuttur. İtmeler yaklaşık 3 saniye aralıklarla birbirlerini takip etmekte ve birinci itmenin süresi diğerlerinden daha kısa olduğu için 9'ncu saniyedeki deplasman değeri sıfırın altına inmektedir.

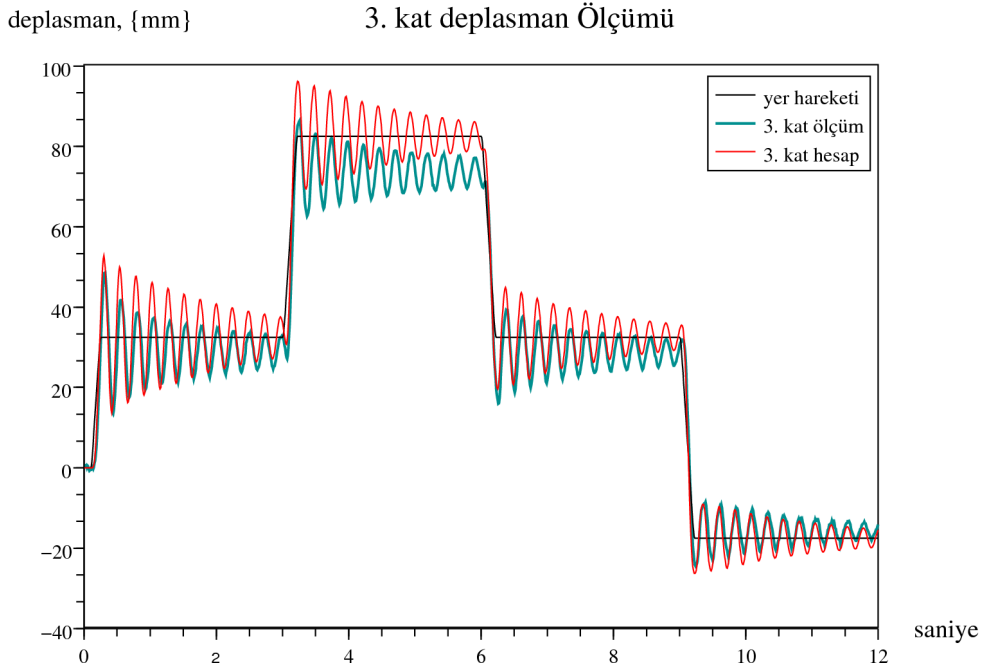


Şekil 1: İtme davranışı: ivme, hız ve deplasman sinyali

Hareket aktarımı hesabına göre bir hız küçültme katsayısı uygulanmalıdır, çünkü en yüksek hız değeri 25 cm/s'den büyük, $k_h = 25/39,7 = 0,637$. Her iki yöndeki deplasmanların toplamı = 129,5mm - (-27,5mm) = 15,7cm dir. Üst sınırı (16 cm) aşmadığı için deplasman katsayısı birdir, $k_d = 1$. Buna göre en küçük küçültme katsayısı 0,637'dir. Hız değerleri bu katsayı ile çarpılıp servo sürücüsüne iletilmekte ve bunun sonucu olarak aşağıdaki davranışlar elde edilmektedir.



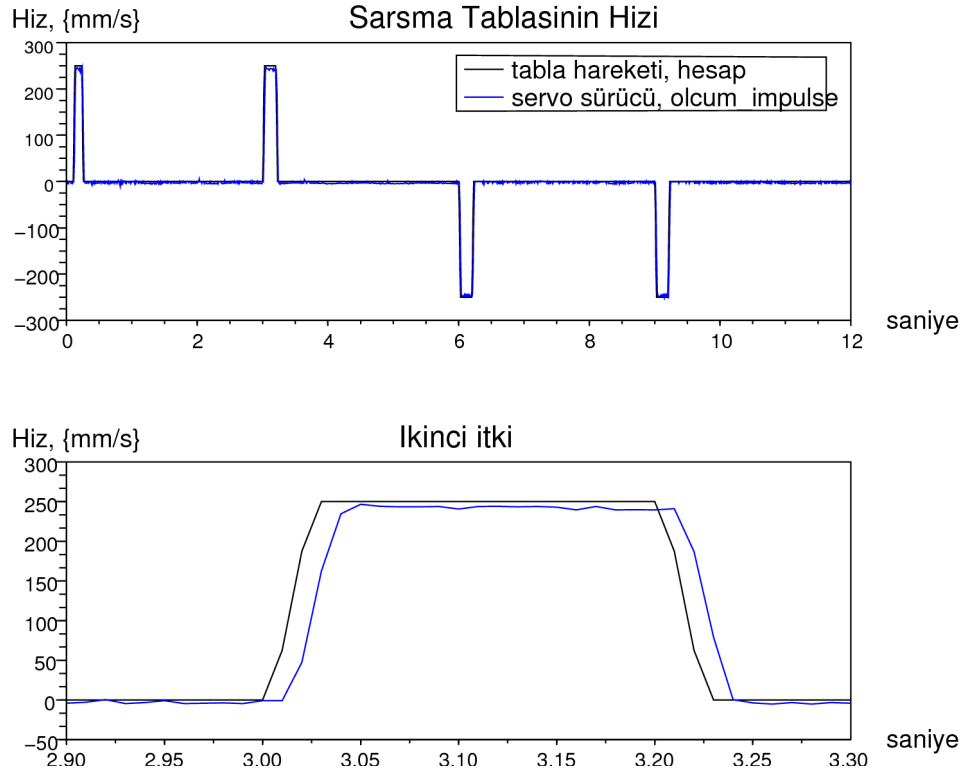
Şekil 2: Sarsma Tablasının hareketi



Şekil 3: Maket binasının üçüncü kat deplasmanı

Şekil 2'de tablanın zamana göre deplasmanı gösterilmektedir. Hesaplanan ile ölçülen değerler arasındaki fark incelendiğinde, ikinci ve sonraki itkilere bir sorun olduğu görülmektedir. 2'nci, 3'ncü ve 4'ncü itkilere neticesinde hesaplanan deplasman

eksik oluşmakta. Şekil 4'deki grafikler zamana göre simülatörün yapması gereken hızı ile Servo sürücüsünden kayıt edilen hızları üst üste göstermektedir. Servo sürücüsünün sağladığı hız değerleri doğrudan ölçülmeyip, gözlenebilirlik denklemi ile hesaplanmışlardır [1.3]. Elektriksel akımdan elde edilen bu hız değerlerinde hata bulunabilmektedir.



Şekil 4: Sarsma tablasının hesap ve ölçülen hızı

Şekil 4'te hesaplanan ve servo sürücüsünün algılamış olduğu hız değerleri sunulmaktadır. Alttaki şekil ikinci itkiyi büyütülmüş olarak göstermektedir. 0,01 saniyelik bir zaman farkının olduğu görülmektedir ki, bu da sinyal zaman aralığı kadardır. Bundan daha önemli olarak, ölçülen hız olması gerekenden yaklaşık 7 mm/s düşüktür. İtkinin zamanı 0,23 saniye alındığında, hızdaki fark $7 \cdot 0,23 = 1,54 \text{ mm}$ yapar. Ancak, Şekil 2'de görülebilen deplasman farkı 7 mm mertebesindedir. Dolayısıyla, Şekil 2 ve 3'deki deplasman farkı Şekil 4 ile açıklanamamaktadır. Bu sorunun giderilmesi için bir üst kontrol uygulamasına gidilmelidir. Diğer bir ifade ile, servo sürücüsünün uyguladığı hız kontrolüne ilave olarak dışardan deplasman kontrolü uygulanmalıdır.

Son olarak, tablanın deplasman ölçümündeki titreşimi göze çarpmaktadır. Bunun kaynağı arabaların raylar üzerindeki hareketi ve sonsuz vida ile rulmanlı somundan kaynaklanan titreşimden ve elektriksel gürültüden ileri geldiği düşünülmektedir. Yüksek frekanslı bu gürültü 100 nF'lık bir kapasitör kullanılarak giderilmiştir.

Üçüncü katın deplasmanı Şekil 3'te gösterilmektedir. Yapının titreşimi yer hareketin deplasmanı etrafında olacağı için bu sinyal da aynı grafik üzerinde gösterilmektedir.

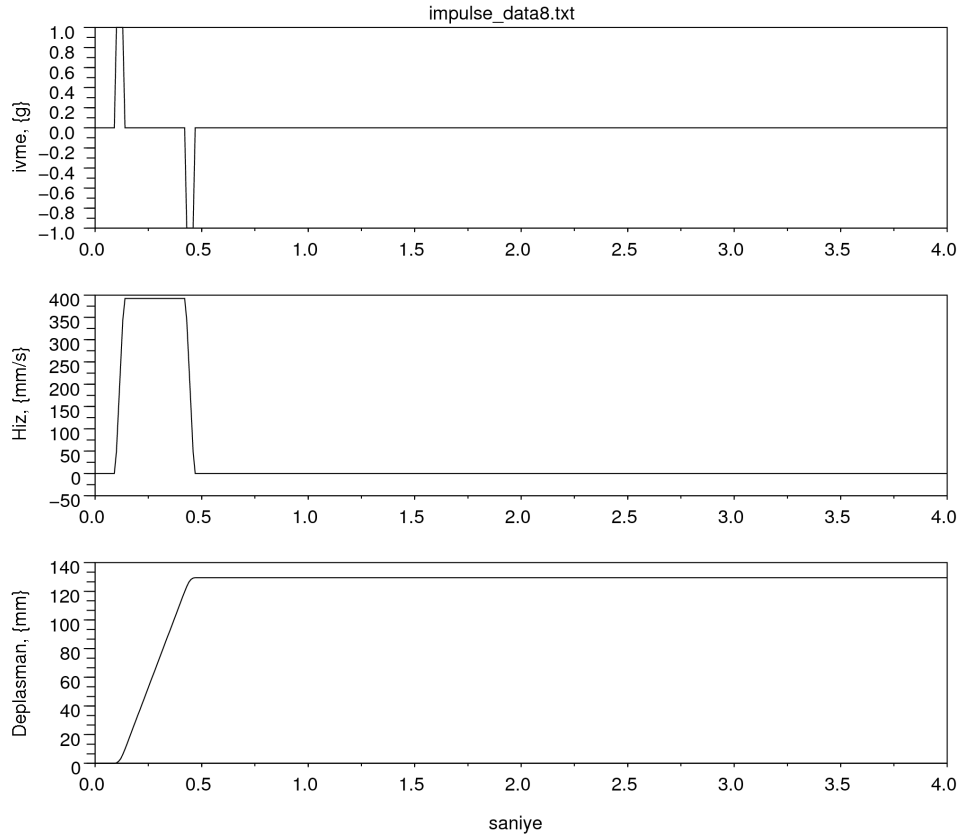
Üçüncü katın hesaplanan davranışı ve ölçülen deplasman değerleri görüldüğü gibi uyum içerisindedirler. Ana bir farkı, Şekil 2'deki sorundan kaynaklanan deplasman hatasıdır. Hesaplanan ile ölçülen sistemin periyodu ve sönümlenmesi birbirine yakındırlar.

8 Üst Kontrol Uygulaması

Şekil 2'de görülen deplasman hatasının düzeltilmesi amacıyla servo sürücüsüne bir üst kontrol yazılımı oluşturulmuştur. Bu iş için simülatörün tabla deplasmanını algılayan gerilim ölçer kullanılmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan deplasmanlar arasındaki fark bir katsayı ile çarpılarak servo sürücüsüne iletilen hareket voltajına eklenmiştir.

$$H = H_{hesap} + 12*(D_{hesap} - D_{ölçüm}) \quad (3)$$

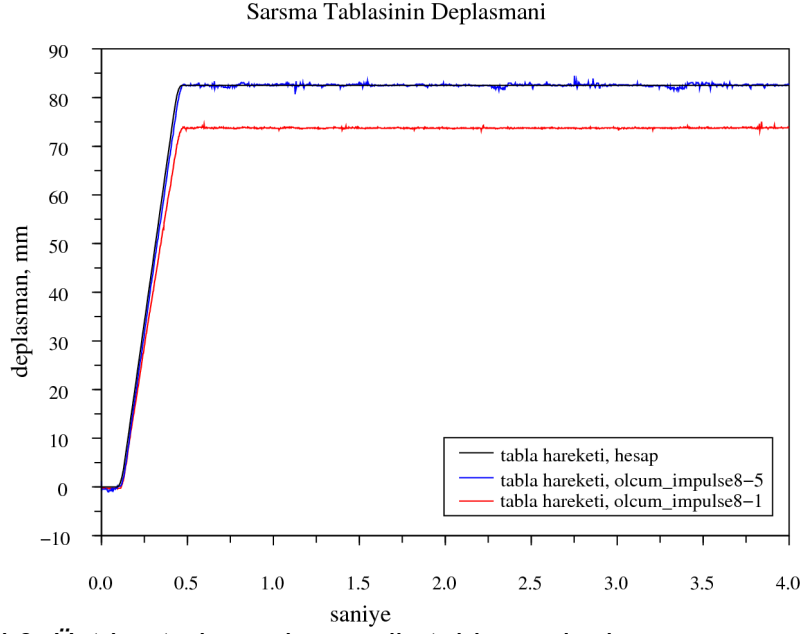
Burada, sürücüye iletilen devir/dk hızı H ile gösterilmektedir. Hesaplanan hız, deplasman ve ölçülen deplasmanlar sırasıyla H_{hesap} , D_{hesap} ve $D_{ölçüm}$ olarak gösterilmektedir. Deplasman farkının çarpanı olan 12 şiddetindeki sayı, deplasman hatasının motor hızına etkisini belirtmektedir (teknik anlamda, zaman sabitinin tersidir = 0,083 s).



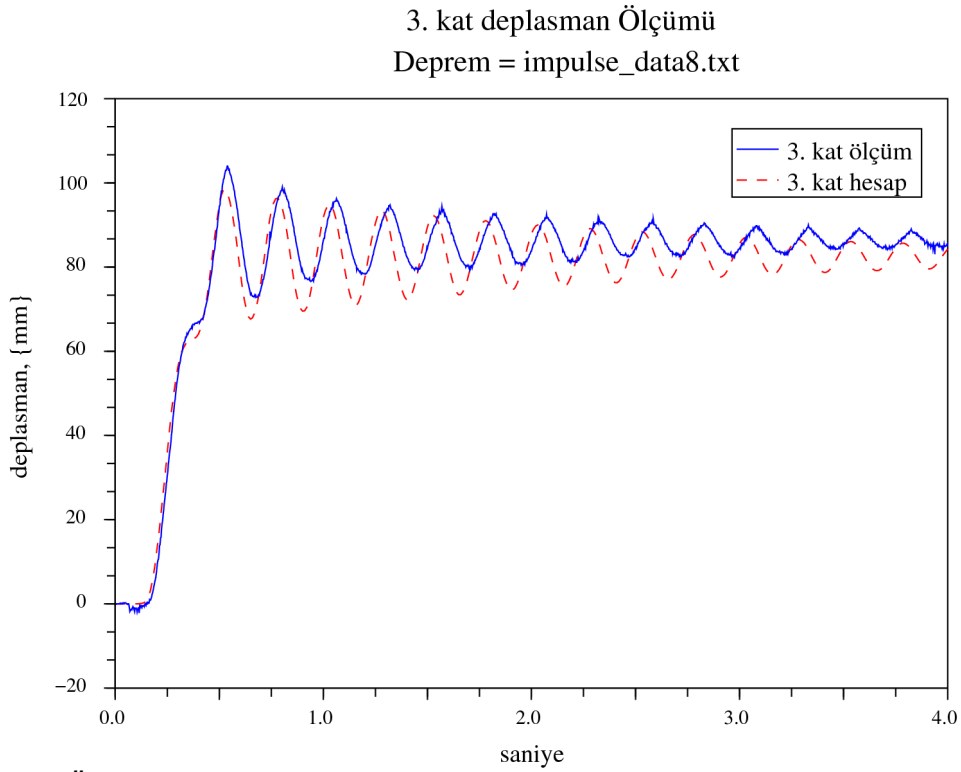
Şekil 5: Tek itkili ivme sinyali ve buna ait hız ve deplasman grafiği

Denklemler 3 ile hesaplanan düzeltilmiş motor hızı ile Şekil 2 ve 3'deki deplasman hataları giderilmektedir. Tek itkili bir sinyal (Şekil 5) karşısında simülatör ve

üzerindeki maket binanın davranışı aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu sinyal karşısında $k=0,637$ 'lik bir küçültme katsayısı kullanılmaktadır.



Şekil 6: Üst kontrol uygulaması ile tablanın deplasmanı



Şekil 7: Üst kontrol uygulaması ile 3. katın deplasmanı

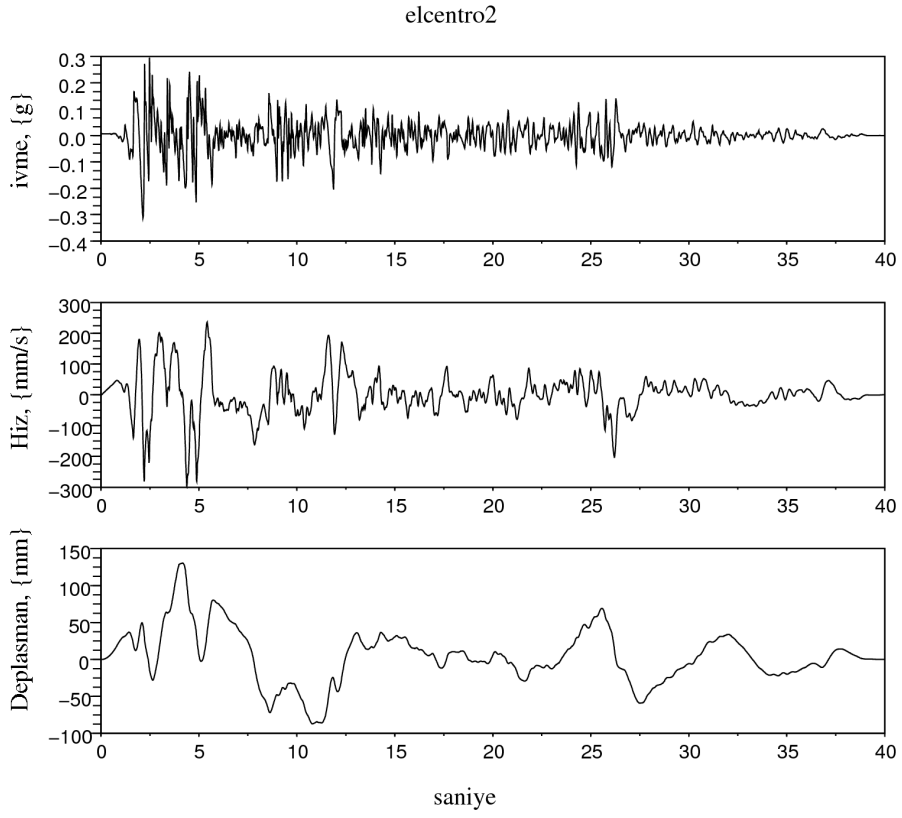
Şekil 6'da üst kontrolsüz (olcum_impulse8-1) ve kontrollü (olcum_impulse8-5) simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Kontrolsüz davranışın kontrollü olana karşın çok daha az gürültülü olduğu görülmektedir. Bu gürültünün nedeni olarak aşağıdaki yorum getirilmiştir;

Maket binanın salınımla tablaya küçük de olsa bir hareket verilmektedir. Bunu algılayan üst kontrol mekanizması ani olarak ters hareket için motora akım gönderir. Tablanın davranışı kontrol altına alınabilene kadar ileri-geri bir salınım oluşmaktadır.

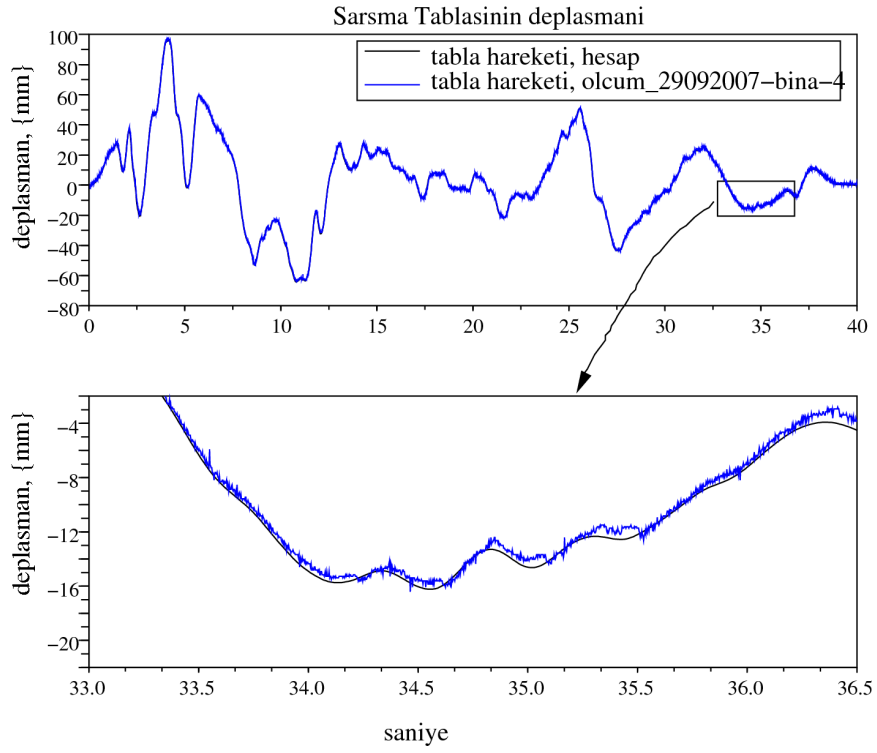
Üst kontrolsüz uygulamada bu salınımlar tabla hızını pek etkilemediğinden sistem duyarsız kalmaktadır. Deplasman kontrolü devreye girince, bina salınımindan kaynaklandığı düşünülen bu gürültü kaçınılmaz olmaktadır.

Üçüncü katın deplasmanı şekil 7'de gösterilmektedir. Bina salınım genliği hesap değeri ile uyuşmasa da, frekansları birbirlerine yakındır. Bu farkın nedeni, maket binanın yorulmuş ve kolon kaynaklarında hafif çatlakların oluşmasından kaynaklanmaktadır. Deplasman hatasının giderilmesi için yürütülen çalışmalarda şekil 1'deki 1,274 g'lik itkiler kullanılmıştı. Bu da maket binada hasara yol açıp, yapıyı zayıflatmıştır. Sonuç olarak da salınım periyodu büyümüştür. Dolayısıyla şekil 7'deki davranış farkının olağan karşılanması gerektiği düşünülmektedir.

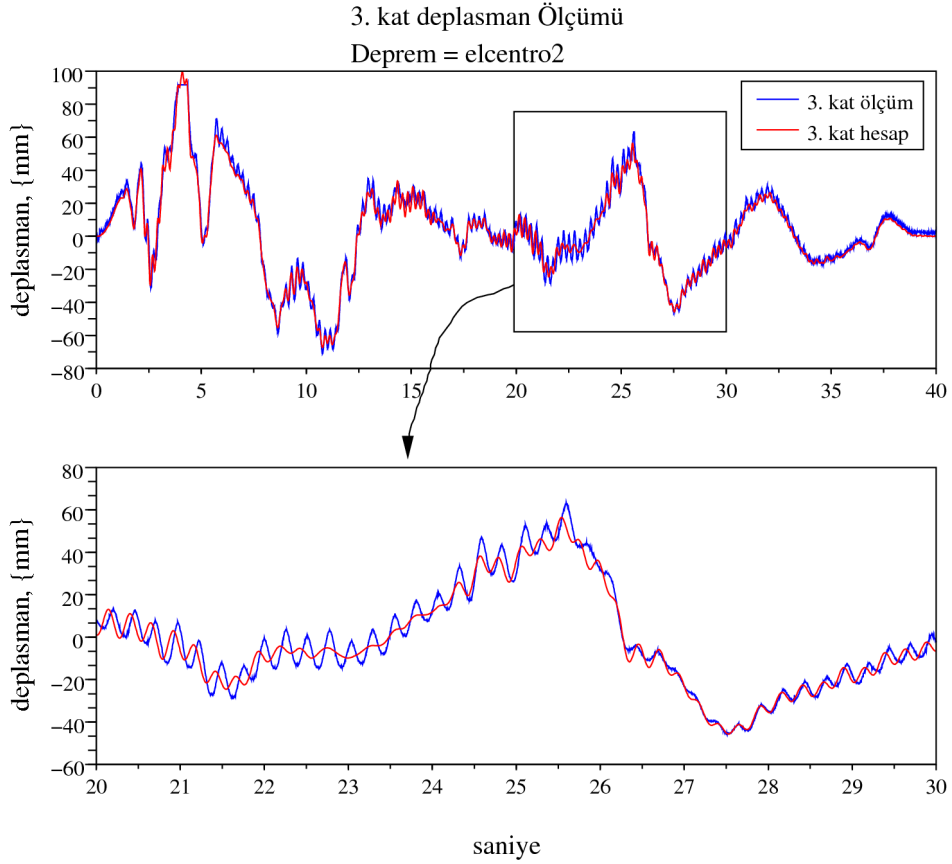
Son olarak da sarsma tablasının asıl yapılış amacı olan bir deprem itkisi ile davranışı gösterilmektedir. Bu amaçla 1940 El Centro depremi seçilmiştir. Hesaba göre deplasmanlar tabla hareket sınırından fazla olduğundan, ivme değerleri program tarafından 0,735 oranında küçültülmüştür. Yukarıdaki örnekte olduğu gibi, burada da tabla hareketi başarılı bir şekilde hesap değeri ile uyum içerisindedir.



Şekil 8: 1940 El Centro depreminin ivme kaydı ile hesaplanan hızı ve deplasmanı



Şekil 9: El Centro Depremi etkisinin altında tablanın deplasmanı



Şekil 10: Üçüncü katın deprem etkisi altındaki davranışı

Maket binanın üçüncü katına ait hesap ve ölçüm deplasmanı şekil 10'da gösterilmektedir. Üstteki görüntü bütün zamanı kapsamaktadır ve alttaki ise sadece 20 ile 30ncu saniyeleri arasını göstermektedir. Daha önce de bahsedilmiş olduğu gibi, maket binanın bozunmuş olmasından dolayı salınım genlikleri arasında büyük farklılıklar vardır.

9 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma ile 25 cm/s hız ve 16 cm deplasman yapabilme özelliğine sahip bir deprem simülatörü imal edilmiştir. Taşıma kapasitesi ilk etapta 20 kg ve 2g'lik ivme ile sınırlı tutulmaktadır, ancak yürüyen aksamların sağlıklı olarak çalışmalarından emin olduğunda bu miktarı artırmak mümkündür.

10 Öneriler

Deprem sarsma tablasının yapabileceği en büyük deplasman 16 cm ile sınırlıdır. Simülatörün rayları 10 cm daha uzun raylar ile değiştirilecek olursa deplaman üst sınırını 26 cm'ye çıkartmak mümkün olur. Buna ilave olarak ray üzerindeki arabalar birbirlerine yaklaştırıldığında birkaç cm daha kazanmak mümkündür.

Tablanın hızını da artırmak mümkündür. Servo motorun tavsiye edilen emniyetli dönme hızı 3000 devir /dk'dır. Yürüyen ve hareketli parçaların bakımları sorunsuz işlemeleri durumunda bu hızı müsaade edilen en yüksek devire (5000 devir/dk) çıkartılabilir. İkinci bir yöntem de kurulu olan sistemde 0,5 cm hatveli sonsuz vidanın yerine, hatvesi 1,0 cm olan bir vida kullanılmasıdır Bu durumda tabla hızı ikiye katlanabilir. Ancak, toplam itki kuvveti de yarıya düşer.

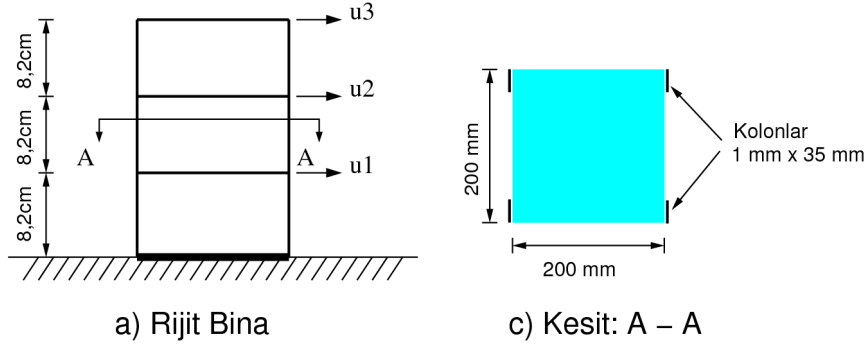
11 Kaynaklar

- 1.1. Aytun, A., A new 3-D Earthquake Simulator for Training and Research Purposes, 13'th World Conf. on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- 1.2. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: theory and applications to earthquake engineering, Prentice Hall, Inc., 1995.
- 1.3. Leephakpreeda, T. Sensorless DC Motor Drive via Optimal Observer-Based Servo Control, Optim.Control Appl. Meth., 23, 289-301, 2002.
- 1.4. Anco Engineers, Inc.. <http://www.ancoengineers.com/shaketable.html>
- 1.5. Ankara Sivil Savunma Deprem Simülasyon Merkezi. <http://www.ssgm.gov.tr/simulasyon.asp>
- 1.6. Dyke, S. & Caicedo, J.M. Washington University in St.Louis. The University Consortium on Instructional Shake Tables. <http://cive.seas.wustl.edu/wusceel/ucist/>
- 1.7. European Commission Earthquake Engineering Project report Research Infrastructures
- 1.8. Hyogo Earthquake Engineering Research Center. <http://www.bosai.go.jp/hyogo/ehyogo/index.html>
- 1.9. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/>

- 1.10. National Center for Research on Earthquake Engineering.
<http://www.ncree.gov.tw/eng/index.htm>
- 1.11. Real Time Linux Tutorial, <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rtlinux>
- 1.12. RTAI the Real Time Application Interface for Linux from DIAPM, <https://www.rtai.org>
- 1.13. The George E. Brown Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation, NEES at Berkeley.
<http://nees.berkeley.edu/Facilities/2.2.C.3.htm>
- 1.14. UCIST Shake Table Manual, Quanser Consulting Inc.

EK-1: MODEL BİNA

Oluşturulan model ve maketin çizimi Şekil 11'de gösterilmektedir. Model üç katlı olup, zemin, 1'nci ve 2'nci katlar 1.5 cm, en üst kat ise 3 cm kalınlığında demir levhadan oluşmaktadır. Her kat 8,2 cm net yüksekliğinde olup, yapı elemanlarının kesin ölçüleri çizelge 2'de gösterilmektedir.



Şekil 11: Maket bina modeli

Bina önce 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Sarsıntı tek yönden yapılacağından ve binanın simetrik özelliğinden faydalanarak, sarsıntıya dik yöndeki serbestlik dereceleri yok edilmiştir. Dikey yöndeki hareketi ihmal edip, bu yöndeki serbestlik dereceleri de sistem matrislerinden kaldırılmıştır. Sönümlen matrisi hesabında kullanılan sönümlen katsayısı maket binanın deneyi sonucu elde edilmiştir (Chopra, sayfa 48).

Binanın doğal titreşim periyotları ve modları çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2: Modelin eleman boyutları

Kat	Boyut	Kolon	Kiriş
Zemin 1, 2	genişlik	35 mm	100 mm
	derinlik	1 mm	15 mm
3	genişlik	35 mm	100 mm
	derinlik	1 mm	30 mm

Çizelge 3: Modelin doğal titreşim modları

Kat	T_1 =0.24s	T_2 =0.071s	T_3 =0.044s
3	1,00	1,00	1,00
2	0,73	-2,04	-6,69
1	0,39	-2,60	6,21
Zemin	0	0	0

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No:	105M015
Proje Başlığı:	Deprem Simülatörü (Masaüstü)
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:	Yrd. Doç.Dr. Gürsoy Turan Yük. Müh. Gökçe Kınay
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü 35430 Urla - İzmir
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü 35430 Urla - İzmir
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01.12.2005 – 01.04.2006 (düzeltme:5.10.2007)
Öz (en çok 70 kelime)	<p>Taşınabilir boyutta ve servo motoru ile çalışan tek boyutlu bir deprem simülatörü imal edilmiştir. Hareketli tabla 40 cm x 40 cm'lik alana sahip olup, 20 kg'lık bir yükü 2g'lik ivme ($1g=9.81 \text{ m/s}^2$) ile hareket edebilmektedir ve en çok 16 cm yer değiştirebilir. Herhangi bir depremin veya yer hareketinin ivme verisi ile çalışmaktadır.</p>
Anahtar Kelimeler:	deprem simülatörü, servo motor kontrolü, sarsma tablası, deprem, gerçek zamanlı işletim sistemi
Projeden Yapılan Yayınlar:	<p>Kınay, G. ve Turan, G., Bir Masaüstü Simülatörün İmalatı ve Kontrolü, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 2006, 80-85.</p> <p>Turan, G., Deprem Etkisinin Binalarda Azaltılması, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale-Denizli, 7-8 Aralık 2006, 75-79.</p>