

İki Eksende Salınım Yapan Sarsma Tablası Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Alper Torun^a ve Mehmet Çunkaş^b

^aSelçuk Üniversitesi Konya Ereğli Kemal Akman MYO, 42320, Ereğli, Konya

^bSelçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, 42003, Konya
e-posta: atorun@selcuk.edu.tr, mcunkas@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 21/04/2010; Kabul Tarihi: 13/07/2010

Özet

Bu çalışmanın amacı, deprem sırasında dünyanın içyapısında oluşan dalgaların yeryüzüne yansımaları olarak oluşan, yapıların yıkılmasında önemli bir etken olarak görülen, yeryüzü dalgası L(Love) dalgalarının deneysel olarak elde edilmesidir. Sistem mekanik, elektronik ve yazılımsal olarak tasarlanmıştır. Deprem dalgaları 2 adet 3 faz asenkron motorun milinden alınan dairesel hareketin doğrusallaştırılması ile simüle edilmiştir. İndüksiyon motorları vektör kontrol tekniği ile çalışan değişken hızlı AC sürücüler ile kontrol edilmiştir. Sürücüde bulunan RS-485 ara yüzündeki Modbus RTU protokolü motor sürücülerini bilgisayar arasındaki seri haberleşmeyi sağlamada kullanılmıştır. Sistemde ölçülen ivme değerleri, bulanık kontrole aktarılmış ve gerekli kontrol sinyalleri üretilerek motor sürücülerine gönderilmiştir. Simülasyon için görsel bir programlama dili Visual Basic'de bir arayüz geliştirilmiş ve veritabanına erişim için standart SQL kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sarsma Tablası, Deprem dalgaları, Bulanık Kontrol

Implementation and Design of a Shaking Table Oscillating in Two-Axis

Abstract

The aim of this study is to experimentally obtain the waves on the outer surface called L(Love) waves which occur on the crust of the earth as reflections of waves forming in the inner structure of the earth during an earthquake and which are regarded as important factors in collapse of buildings. The system has been designed mechanically, electronically and on a software simulation. The earthquake waves are formed by making linearization of the circular motions obtained from shafts of two 3-Phase asynchronous motors. The induction motors are controlled by variable speed AC drivers using vector control technique. Modbus RTU on the interface of these drivers' RS-485 is used on the network of serial communication between the motors' drivers and the computer. The acceleration values measured in the system are transferred to the fuzzy controller and the required control signals are sent to AC motor drives. To simulate, an interface is developed with Visual Basic which is visual programming language and standard SQL language is used for accessing database.

Keywords: Shaking Table, Earthquake Waves, Fuzzy Logic

1. Giriş

Deprem anında dört önemli dalga meydana gelmektedir. Bunlar; yeryüzünün içinde oluşan cisim dalgaları P (Primer) ve S (Secondary), bu dalgaların yüzeye etkisi olan yüzey dalgaları R (Rayleigh) ve L (Love) dalgalarıdır. Bu dört dalgadan L dalgasının yayılımı yapıların taşıyıcı

sistemlerine dik yönde etki gösterdiğinden zarar veren, can ve mal kaybı oluşturan dalgalar olarak ifade edilir (Kramer vd., 2003).

Sarsma tablaları deprem yükünün yapılara etkisinin araştırılmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Sınır koşulları doğru olarak uyarlandığı zaman yapıların deprem esnasındaki davranışı

hakkında çok önemli bilgiler verebilmektedirler. Tabla üzerinde tam ölçekli yapıların testi yapılabilmeyle birlikte, tam ölçekli yapının yapılması hız, deplasman veya bütçe ölçülerini karşılamayacaksa benzerlik/ölçek yasaları olarak bilinen yasalar kullanılarak daha kısıtlı imkana sahip yapılar sarsma tablaları üzerinde test edilebilir (Baran vd., 2007).

Tahrik mekanizmaları açısından sarsma tablaları, elektrik motorlu ve hidrolik sistemler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Her iki sistemde avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Elektrik motorlu sistemlerin işletme ve imalat maliyetleri düşüktür. Ancak kısıtlı deplasman yetenekleri ve sarsabildiği modeller görece olarak küçüktür. Elektrik motorlu sistemlerin önemli bir avantajı, hidrolik sistemlerin tahrik donanımındaki sıvı hareketinden kaynaklı karmaşık transfer fonksiyonlarına ve deney sonrası bazı düzeltme işlemlerine ihtiyaç duymamasıdır (Baran vd., 2007).

Yapılarda kullanılan yeni malzemelerin testi ve taşıyıcı sistemlere yapılan güçlendirmelerin deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi bakımından da sarsma tablalarından faydalanılmaktadır. Yapıların deprem yükü altındaki davranışlarının araştırılması ile ilgili yapılan çalışmalarda gerçek yüklerin yapıya aktarılamaması problemleri ile karşılaşmıştır. Buna neden olan bazı durumlar; tahrik elemanlarındaki sürtünmeler, malzeme özellikleri, hareketli olan sistemden kaynaklanan etkiler veya tahrik elemanlarının modellemesinde kullanılan karmaşık transfer fonksiyonlarındaki geri beslemelerin dikkate alınmaması gibi sayılabilir (Torun vd., 2009).

Deprem dalgalarının simülasyonu amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır. Balık (Balık vd., 2003) deprem yükü altındaki çatı kalkan duvarlarının davranışını, tek yönlü salınım yapan ve neopren takozlar üzerinde bulunan bir sarsma tablası ile incelemiştir. Baran ve arkd. (Baran vd., 2007) tek eksende gelişigüzel bir hareketi yapıya uygulayabilen, bilgisayar kontrollü bir sarsma

tablası gerçekleştirmişlerdir. Sistem, laboratuvar zeminine sabitlenmiş bir taşıyıcı çelik çerçeve üzerindeki rijit çelik bir plakadan oluşmaktadır. Dozono ve arkd. (Dozono vd., 2004) yaptıkları çalışmada, sarsma tablasına gönderilen sinyalin geri besleme ile girişe alınıp çeşitli filtreleme işlemlerinden sonra sisteme düzeltme sinyali olarak verilmesi ile adaptif kontrol gerçekleştirmişlerdir. Korkmaz ve arkd. (Korkmaz vd., 2005) gerçekleştirdikleri sarsma tablası, yatayda bir yönde hareket edebilen bir platform ve buna hareketi veren basit bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Kutanis (Kutanis, 2007) eğitim amaçlı tek eksenli sinüzoidal deprem simülatörünün tasarımını ve imalatını gerçekleştirmektedir. Lee ve arkd. (Lee vd., 2007) yaptıkları çalışmada, sarsma tablası üzerinde deprem etkisini azaltılması amacıyla kullanılan sıvı sönümleme düzeneğini kullanmışlardır. Bu yöntemle sarsma tablaları üzerinde bulunan ivmeölçer ve yük ölçerler ile sistem üzerinden geri besleme sinyalleri alınarak kazanç değerlerinin artırılması sağlanmıştır. Tabla üzerinde bulunan yapıya 2 servo motor ile 2 boyutta hareket kazandırılmış ve böylece üst üste 2 tablaya hareket sağlanmıştır. Seki ve arka. (Seki vd., 2008) iki serbestlik derecesine sahip kontrol stratejisi ile gerçekleştirdikleri sarsma tablasında numune tarafından üretilen reaksiyon kuvvetini gidermeye çalışmışlardır. Amaçlanan kompanze algoritması bir prototip üzerinde deneysel olarak test edilmiştir. Xu ve arka. (Xu vd., 2008) aktif yapısal kontrol sistemlerinde kullanılan, küçük ölçekli sarsma tablasının özelliklerini iyileştirmek için bir metot geliştirmiştir. Sarsma tablasında hidrolik düzenleyici sistem ile üç katlı test yapısını birleştiren bir dinamik sistem modeli kurulmuştur. Düşük doğal frekans ve düşük sönümle nedeniyle küçük ölçekli sarsma tablaları deneysel gereksinimleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle kutup-ayırma (poleassignment) prensibine dayandırılan üç durumlu kontrol algoritması, hızlandırma bant genişliğini ve sistem sönümleyici geliştirmek için uygulanmıştır.

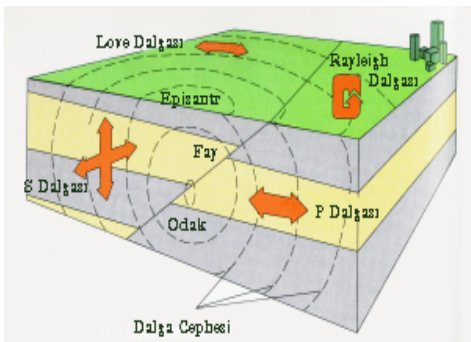
Bu çalışmada; L dalga hareketini oluşturmak üzere yapıya yatay ve düşey yönde hareket sağlayan tablanın tasarımı yapılmış ve mekanik, elektronik ve yazılımsal olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılara gerçek deprem etkisinin verilmesi amaçlanmıştır. Sarsma tablasından uygun ivme değerlerinin elde edilmesini sağlamak için motor sürücü frekanslarının ayarlanması bulanık kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Bu sarsma tablası, araştırmalarda bahsedilen hidrolik sistemlere göre düşük maliyetli, tek eksenli salınım yapan motorlu sistemlere göre ikinci bir eksenin olması ve ivme değerlerinin bulanık kontrolle uygulanabilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

2. Deprem

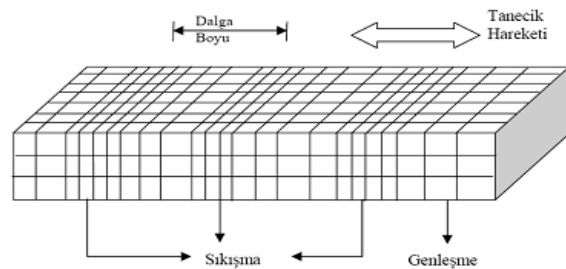
Deprem; yerkabuğunun derin tabakalarının kırılıp yer değiştirmesi ya da yanar dağların püskürmesi sırasında olan sarsıntıdır, zelzele olarak da adlandırılır. Deprem olduğu yerde zemin titreşim yapar ve sallanır. Deprem bir doğa olayıdır ve yapay olarak oluşturulan sarsıntılara deprem denmez. Yapay olarak oluşturulan sarsıntılara “yerin salınışı” adı verilir Depremi ani başlaması ve bitmesi, titreşim süresince bazı fayların oluşması olarak da açıklayabiliriz.

Depremler yerkabuğunun kıvrım oluşturduğu yerlerde, engebeli arazilerde, vadi başlangıçlarında ve dağ yamaçlarının denizin derinliklerinde birleştiği noktalarda meydana gelir (Balık, 2003-Kılıç, 2006).

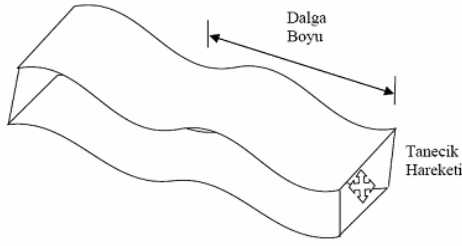
Deprem sırasında açığa çıkan enerji, sismik dalgalar adı verilen dalgalar ile yayılır (Şekil 1.a). Bu dalgalar boyuna, enine ve yüzey dalgaları olmak üzere üç gruba ayrılır. Boyuna dalgalar "P Dalgası" (primer) olarak adlandırılır. P dalgaları yayılma doğrultusu ile aynı yönde parçacık hareketi oluştururlar, geçtikleri ortamda sıkıştırma ve genişleme yaparlar. P dalgası bir ortam içinde en hızlı yayılan dalgadır. Bu nedenle normal şartlarda deprem sismograflarında ilk kayıt edilen dalgalardır (Şekil 1.b). Enine dalgalar ise "S Dalgası"(secunder) olarak adlandırılır ve yayılma doğrultusuna dik yönde parçacık hareketine neden olurlar (Şekil 1.c). Sıvı ortamda yayılmayan S dalgalarının hızı P dalgalarından yavaştır. Yapılarda hasara S dalgaları neden olur. Boyuna ve Enine Dalgalara "Cisim Dalgaları" da denir. S dalgalarının yer yüzeyinde yansımaları sonucu yüzey dalgaları (Love ve Rayleigh dalgaları) oluşur (Şekil 1.d) (Balkan, 2007-Kadioğlu, 2004).



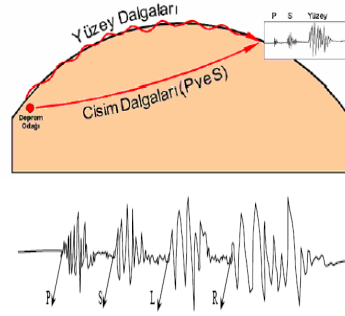
(a) Deprem dalgaları



(b) Basınç dalgası



(c) Kayma dalgası (Slide waves)



(d) Deprem dalgaları

Şekil 1. Deprem dalgaları (Ercan, 2001)

3. Materyal ve Metot

Yapılar deprem etkisiyle buldukları zeminden atalet kuvvetlerinin altında kalarak hasar görürler. Depremin doğada meydana gelmesi onun yapay olarak oluşturulamayacağına dair bir göstergedir. Ancak bilimsel çalışmalarda, deprem etkisinin benzetiminde Sarsma Tablası (Shaking Table) adı verilen sistemlerden faydalanılmaktadır. Sarsma tablaları genellikle yapıların depreme karşı dayanım testlerinin yapılması için kullanılmaktadır. Yapıların deprem yüklerinde davranışlarının incelenmesi amacıyla sarsma tablaları ilk olarak 1960 yıllarında Amerika'da denenmiştir. Şimdiye kadar yapılan sarsma tablaları; tek yönde salınımdan 6 serbest dereceli salınımlara kadar salınım yapabilmektedir (Baran vd., 2007).

Bu çalışmada tasarlanan sarsma tablasının blok diyagramı Şekil 2'de görülmektedir. Tabla üzerinde bulunan devreler ile salınım değeri ölçülerek mikrokontrolör aracılığı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Gelen ivme bilgileri olması gereken değerlerle karşılaştırılıp düzeltme sinyallerinin oluşturulması için bulanık kontrolde işlenmektedir. Bilgisayardan alınan frekans değerleri motor sürücüleri aracılığı ile motorların hız kontrolünde kullanılmaktadır. Tasarlanan sistemde vektör kontrol tekniğine göre çalışan iki adet Hyundai N50 sürücü, 2 adet 0.75kW üç fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Hyundai

sürücülerin kontrolü RS-485 MODBUS RTU haberleşme protokolü ile sağlanmaktadır. Konum bilgileri CNY70 sensörü ile elde edilmiştir. Sistem 2 ekseninde birden çalışması durumunda, maksimum 2g ivmede, 408,6 Kg lık bir yüke hareket yaptırabilecek kapasiteye sahiptir.

4. Sarsma Tablası Tasarımı

4.1 Bulanık Kontrol

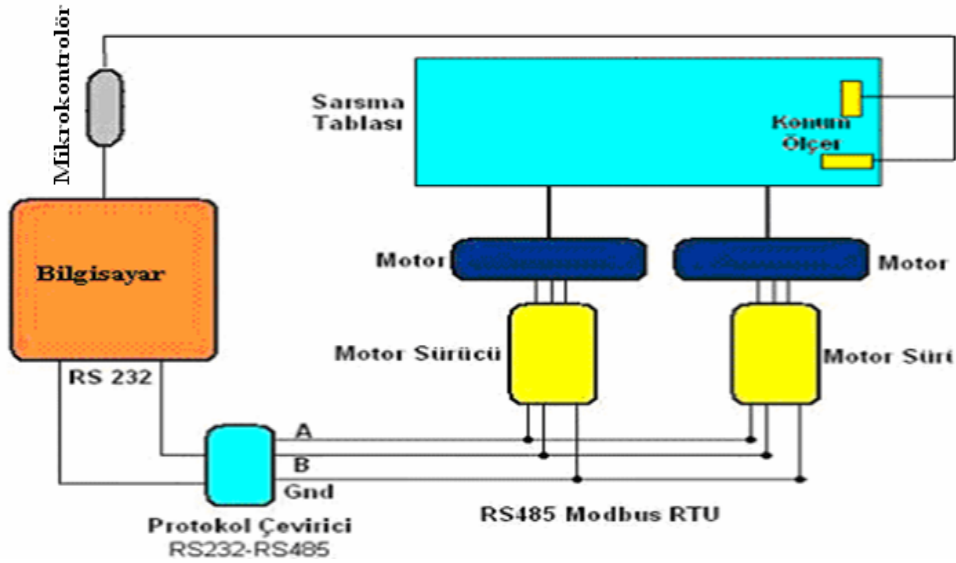
Bulanık denetleyicinin temel çalışma prensibi Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre sistem; Hata, Hata Farkı giriş değişkenleri olmak üzere iki girişli bir çıkışlı bir yapıdadır. Sistemden alınan ivme hatası ve bir önceki hata ile şu anki hatanın farkı bulanık kontrole iki giriş (e_1, e_2) olarak alınır.

$$e_1[n] = a^*[n] - a[n] \quad (1)$$

Burada $e_1[n]$; o anki hata değerini, $a^*[n]$; referans ivme, $a[n]$; ise o anki gerçek ivme değerini göstermektedir. Gerçek ivme değeri sarsma tablasından ölçülen değerdir. Diğer giriş hata değişimi (hata farkı) ise (e_2) ise;

$$e_2[n] = e_1[n] - e_1[n-1] \quad (2)$$

ile bulunmaktadır. Bu denklemde görülen $e_1[n-1]$ ifadesi, bir önceki hata değerini göstermektedir. Çıkış aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Sarsma tablası blok diyagramı

$$u[n]=u[n-1]+u^*[n] \quad (3)$$

Burada $u[n]$ o anki denetleyici çıkış değerini, $u[n-1]$ bir önceki hesaplanan çıkış değerini, $u^*[n]$ ise o anki denetleyici çıkış değerini yani durulaştırıcı çıkış değerini göstermektedir.

Üyelik fonksiyonları bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemlerinde kullanılan ilişkiler kümesidir. Üyelik fonksiyonları aracılığıyla, keskin giriş değerleri bulanık değerlere ve bulanık değerlerde keskin çıkış değerlerine dönüştürülür. Bulanıklaştırma işleminde giriş ve çıkış değerlerinin kaç adet bulanık küme ile ifade edileceği belirlenmelidir. Bu işlemde dikkate edilecek nokta giriş ve çıkış uzayını tanımlanacak bulanık kümeler kapsmalıdır. Kontrol sistemlerinde genellikle yedi adet bulanık küme kullanılmaktadır (Lee vd., 1994). Bu çalışmada kullanılan ve yedi adet bulanık kümeden oluşan ivme değerlerinin dilsel ifadeleri Çizelge 1'de verilmiştir. Dilsel ifadelerin, üçgen bulanık küme fonksiyonları grafiksel olarak Şekil 4'de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları denklem (4) deki gibi tanımlanmıştır. Çoğu uygulamalarda, üyelik fonksiyonu şekillerinin problemin çözümünde önemli değişiklikler meydana getirmediği söylenebilir. Yapılan bir çalışmada

(Chen, 2001), Lineer, tanjant ve üssel gibi değişik üyelik fonksiyonları kullanıldı. Çözüm sonuçlarının üzerindeki etkileri incelendi. Ancak bu fonksiyonların farklı olmasının sonuçlar üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı görüldü (Çunkaş vd., 2008).

$$\mu_{NegatifBüyük}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq -2,01 \\ -1,493x-2 & -2,01 < x \leq -1,34 \end{cases}$$

$$\mu_{NegatifOrta}(x) = \begin{cases} 1,493x+3 & -2 < x \leq -1,34 \\ -1,493x-1 & -1,34 < x \leq -0,67 \end{cases}$$

$$\mu_{NegatifKüçük}(x) = \begin{cases} 1,493x+2 & -1,34 < x \leq -0,67 \\ -1,493x & -0,67 < x \leq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{Sıfır}(x) = \begin{cases} 4x+1 & -0,25 \leq x \leq 0 \\ -4x+1 & 0 < x \leq -1,34 \end{cases}$$

$$\mu_{PozitifKüçük}(x) = \begin{cases} 1,493x & 0 < x \leq 0,67 \\ -1,493x+2 & 0,67 < x \leq 1,34 \end{cases}$$

$$\mu_{PozitifOrta}(x) = \begin{cases} 1,493x-1 & 0,67 < x \leq 1,34 \\ -1,493x+3 & 1,34 < x \leq 2,01 \end{cases}$$

$$\mu_{PozitifBüyük}(x) = \begin{cases} 1,493x-2 & 1,34 < x \leq 2,01 \\ 1 & x > 2,01 \end{cases}$$

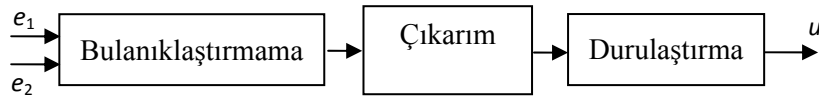
Çizelge 1. Bulanık kümelere ait dilsel ifadeler

Dilsel ifade	Alt sınır	Üst sınır
Negatif büyük(NB)	-2,68	-1,34
Negatif orta(NO)	-2,01	-0,67
Negatif küçük(NK)	-1,34	0
Sıfır(S)	-0,25	0,25
Pozitif küçük(PK)	0	1,34
Pozitif orta(PO)	0,67	2,01
Pozitif büyük(PB)	1,34	2,68

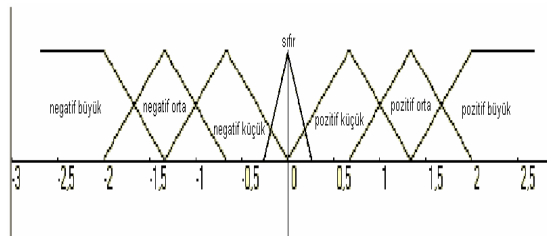
Bulanıklaştırma işleminden sonra elde edilen bulanık girişler çıkarım mekanizmasına tabii tutulur. Gerçekleştirilen sistemde mantıksal çıkarım mekanizmasının çıkışı bulanık bir değer olduğu için durulaştırma işlemine ihtiyaç vardır. Literatürde durulaştırma işlemi için değişik

yöntemler vardır. Bu çalışmada en sık kullanılan yöntem olan “Ağırlık Merkezi” metodu tercih edilmiştir. Sistemde bulanık kontrol uygulamaları için geliştirilen (Aydoğdu, 2006) bir yapıdan faydalanılarak Çizelge 2’deki kural tablosu oluşturulmuştur. Kural tablosunda 49 kural mevcuttur ve dilsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

- Eğer $e_1=NB$ ve $e_2=NB$ ise o halde $uN=PB$
- Eğer $e_1=NO$ ve $e_2=NB$ ise o halde $uN=PB$
- Eğer $e_1=NK$ ve $e_2=NB$ ise o halde $uN=PO$
-



Şekil 3. Bulanık Denetleyici



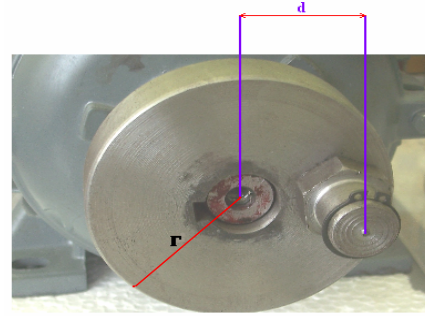
Şekil 4. İvme bulanık kümesi

Çizelge 2. Kural tablosu

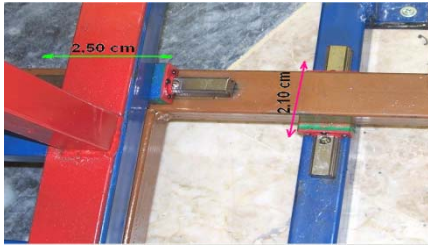
		HATA(e_1)						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
HATA FARKI(e_2)	NB	PB	PB	PO	PO	PK	PK	S
	NO	PB	PO	PO	PK	PK	S	NK
	NK	PO	PO	PK	PK	S	NK	NK
	S	PO	PK	PK	S	NK	NK	NO
	PK	PK	PK	S	NK	NK	NO	NO
	PO	PK	S	NK	NK	NO	NO	NB
	PB	S	NK	NK	NO	NO	NB	NB



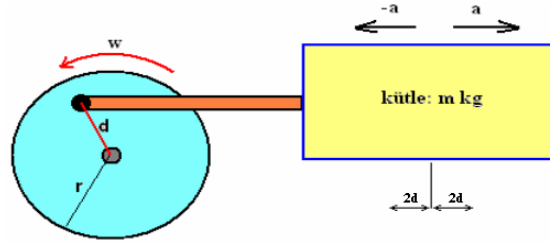
(a) Genel görünüm



(b) Diskler



(c) Yatak ve kızakların konumları



(d) Motora bağlanan yük

Şekil 5. Sarsma Tablası Bileşenleri

4.2 Sistemin Yapısı

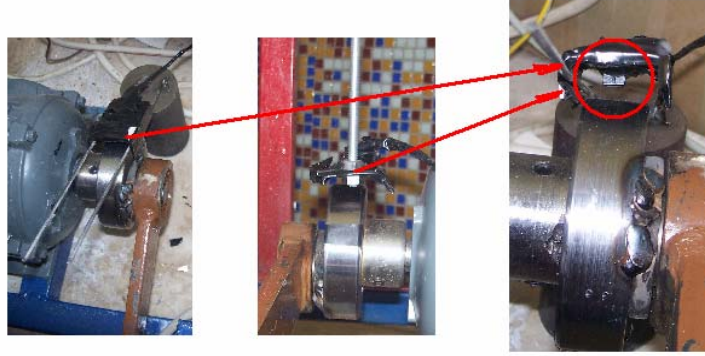
Tasarlanan sistemin tabla ve motor bağlantılarının görünümü Şekil 5.a'daki gibidir. Sarsma Tablasının iskeletini oluşturmada 3x2mm, 3x3mm, 4x3mm ve 1mm et kalınlığında profiller kullanılmıştır. Alt ve üst motorlara monte edilen disk ve hareket mesafesini belirleyen aparatların takılması Şekil 5.b'de gösterildiği gibidir.

Motorlara takılan diskler ile sistemde sağlanan hareketin meydana geldiği kızak ve yatakların durumu Şekil 5.c'de gösterilmiştir. Kızak yolları ve yataklar tezgâhın hareketli elemanlarını desteklemekle beraber, bunların belirli bir doğrultuda hareket etmelerini sağlarlar. Kızak yolları, destekledikleri kızakların bir tek doğrusal yönde hareket etmelerini sağlarlar. Kızaklar, doğrusal hareketin bir parçasıdır. Yatakların üzerinde hareket ettikleri için çelik malzemeden

yapılmış, sürtünme katsayısı çok küçük elemanlardır. Harekete yüksek hassasiyet ve hız kazandırırılar. Yataklar, içyapısındaki çelik bilyeler sayesinde hareketin sürtünme katsayısı düşüktür.

Dairesel hareketin doğrusal harekete dönüşümü Şekil 5.d'de gösterildiği gibidir. Motorun diski üzerinde oluşan dairesel hareketin doğrusallaştırılmasında 10 mm lama demir kullanılmıştır. Şekil 5.d'deki "d" mesafesi, üst motor için 1.25cm alt motor için 1.05cm dir.

Motor diskleri üzerine Şekil 6'da görüldüğü gibi monte edilen CNY70 ler ile sistemin hareketlerinin periyotları belirlenmektedir. Şekil 7'de verilen resimde ise mikrokontrolere gelen verinin ve mikrokontrolörden bilgisayara gönderilecek verinin düzenlendiği devre görülmektedir.



Şekil 6. Sistem üzerinde konum bilgilerinin okunması



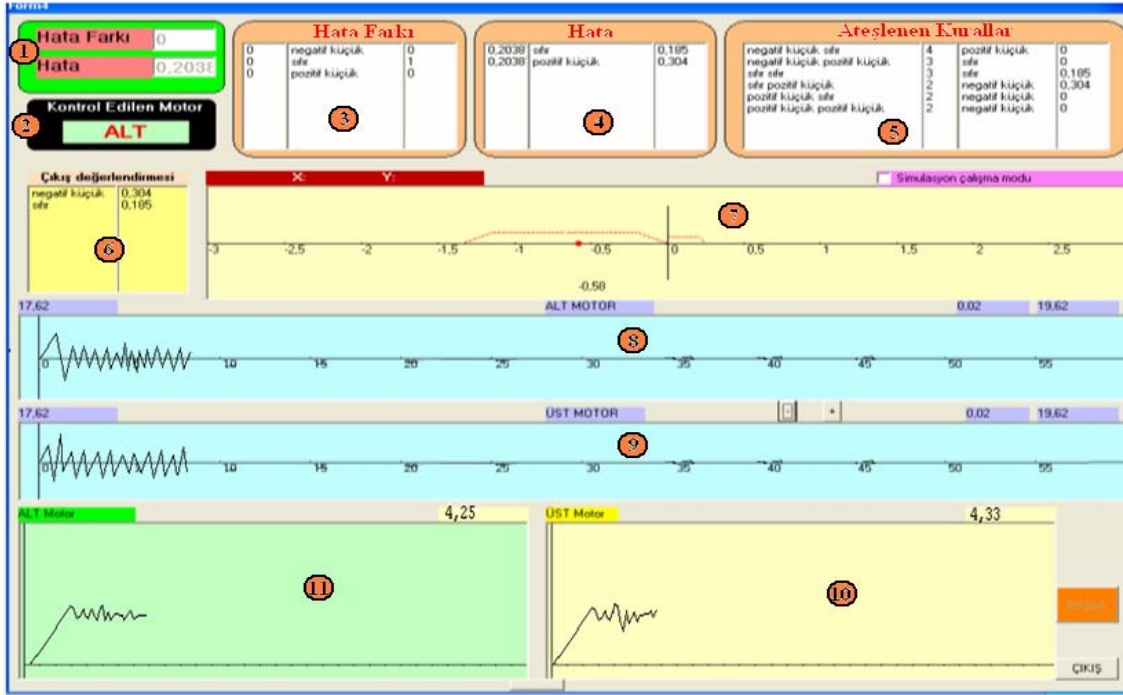
Şekil 7. Mikrokontrolör ve bilgisayar ile haberleşme

5. Kullanıcı Arayüzü

Hata farkı ve hata girişlerine ait çıkış frekansın hesaplanmasında kullanılan kullanıcı arayüzü Şekil 8’de gösterilmiştir. Program iki motor için başlangıçta aldığı ivme değerlerini referans kabul ederek motorların istenen ivme değerine ulaşması ve o değerde kalması için bulanık kontrol uygulamaktadır. Şekilde görülen arayüzdeki bölümler numaralandırılmış ve aşağıda görevleri açıklanmıştır.

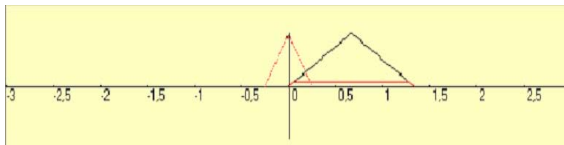
- (1) Bulanık kontrole gönderilecek olan “hata” ve “hata farkı” değerleri
- (2) Bulanık kontrolü yapılan motor
- (3) Hata bilgisinin bulanıklaştırılması

- (4) Hata farkı bilgisinin bulanıklaştırılması
- (5) Bulanık kontrol için tetiklenen kurallar
- (6) Seçilen kurallar
- (7) Bulanık kontrolün ağırlık merkezi yöntemini kullanarak çıkış frekansının hesaplanması.
- (8) Alt motor ivme-zaman grafiği
- (9) Üst motor ivme-zaman grafiği
- (10) Alt motorun referans değere yaklaşım grafiği
- (11) Üst motorun referans değere yaklaşım grafiği

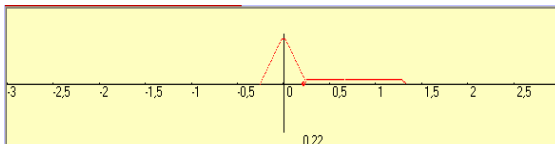


Şekil 8. Arayüzün genel görünümü

Şekil 8'de verilen program ara yüzünde bulunan 7 numaralı modül ağırlık merkezi hesaplamaktadır. Örnek olarak verilen ateşlenen kurallar (Şekil 9), veri tabanı tabloları ile bulanık denetleyiciden geçirildikten sonra Şekil 10 da görülen çıkış elde edilmiştir. SQL grafik çiziminde en yüksek noktaların ve dönüm noktalarının bulunmasında kullanılmıştır. SQL komutları Visual Basic programlama dilinde yazılmış program içinde kullanılmıştır.



Şekil 9. Ateşlenen kurallar



Şekil 10. Çıkış Bulanık kümelerinin toplanması

6. Sonuçlar ve Tartışma

Bulanık kontrol, matematik modele ihtiyaç duyulmaması ve doğrusal olmayan sistemler için iyi sonuçlar vermesi nedeniyle son yıllarda birçok uygulamada kullanılmaktadır. Lineer olmayan bir fonksiyon bulanık mantık yöntemiyle yeterince doğruluk derecesine sahip bir fonksiyona grafiksel olarak yaklaştırılmaya çalışılır. Klasik sistemlerde lineer olmayan bir sistemin kontrolü için lineer olmayan bir denetleyici tasarımı gerekir. Ancak lineer olmayan denetleyicilerin tasarımı oldukça zor ve karmaşıktır. Bu nedenle bulanık mantık denetleyicileri lineer olmayan sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, sarsma tablasından uygun ivme değerlerinin elde edilmesini sağlamak için motor sürücü frekanslarının ayarlanması bulanık kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Klasik sistemlerde sistemin lineer olmayan yapısı nedeniyle hassas bir kontrol gerçekleştirmek oldukça zordur. Bulanık kontrol yöntemi kullanılarak tasarlanan bu sistemde daha hassas ve güvenilir kontrol gerçekleştirilebilmektedir.

Sistemde iki adet 0,75kW gücünde asenkron motor kullanılmıştır. Motorların hız kontrolü vektör kontrol tekniği kullanan değişken hızlı AC sürücüler ile gerçekleştirilmiştir. Mikrokontrolör ve bilgisayardan oluşan sistemde seri haberleşme kullanılmıştır. Sistem bilgisayar seri portundan gelecek verilere göre 2 ayrı eksende salınım yapabilmektedir. Bu işlem için RS485 Modbus protokolü uygulanmıştır. Sistemin çalışması sırasında alınan verilerden ivme değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçümler ile referans değerler karşılaştırılmış ve sarsma tablasından uygun ivme değerlerinin elde edilmesini sağlamak için motor sürücü frekansları bulanık denetleyici ile ayarlanarak kontrol gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. Bulanık Denetleyici için MATLAB ve geliştirilen programdan alınan ivme değerleri (birim:cm/s²)

Bulanık Giriş		Bulanık Çıkış(ivmeler)	
Hata	Hata Farkı	Program	Matlab
2,68	2,68	-2,16	-2,17
1,98	2,68	-2,15	-2,17
1,98	1,38	-2,12	-2,13
0,98	0,00	-0,67	-0,67
0,00	0,00	0	-1,47E-17
0,40	0,40	0,67	-0,67
0,40	-1,10	0,55	0,548
-2,00	-1,10	1,87	1,88
-2,68	-2,30	2,16	2,17
1,21	-1,19	-0,03	-0,0314
0,72	-0,62	-0,24	-0,189
1,02	-0,36	-0,55	-0,513

Tasarlanan programın doğru sonuçlar üretip üretmediğinin test edilmesi gerekir. Bu amaçla yazılımdan elde edilen bulanık kontrol çıkış ivme

değerleri ile MATLAB programının bulduğu ivme değerleri Çizelge 3’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi gerçekleştirilen yazılım ile MATLAB ivme sonuçları birbirine yakındır. Şekil 11’de tasarlanan sistemden alınan ivme değerleri alt ve üst motor için görülmektedir. Şekilden sistemin uygun ivme sinyalleri üreterek iyi bir performans sergilediği yapı dinamiği deneylerinde kullanılabileceği görülmektedir. Tasarlanan sarsma tablasının video görüntüleri <http://www.eregli.selcuk.edu.tr/sarsma.swf> adresinden izlenebilir.

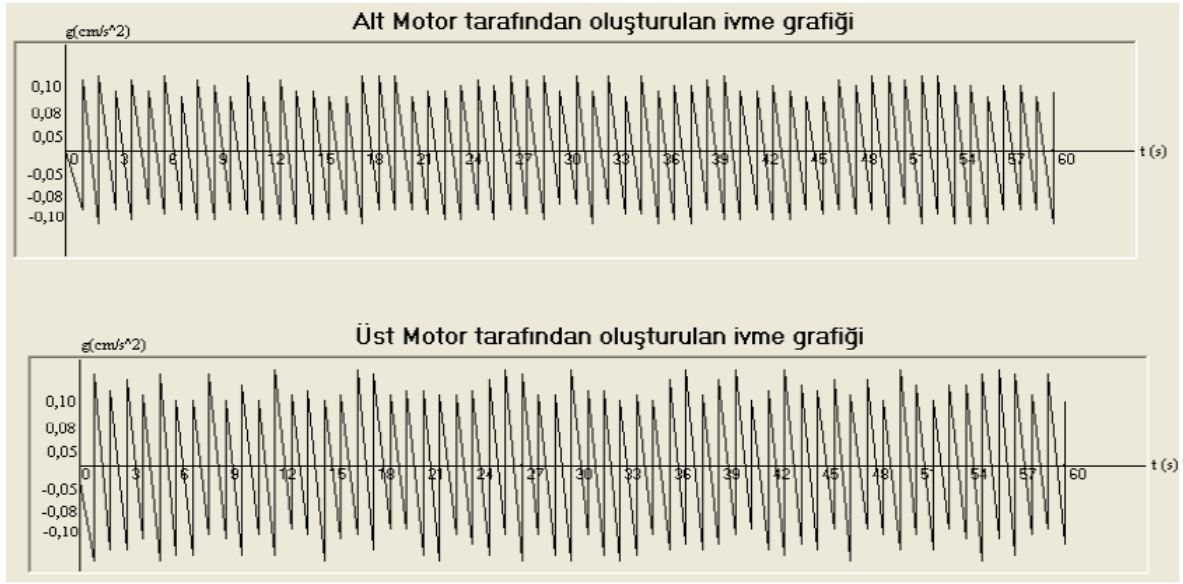
7. Sonuçlar

Bu çalışmada iki eksende salınım yapan ve mekanik olarak yüksüz ±6g şiddetinde ve tam yüklü ±2g bir ivme verebilecek şekilde sarsma tablası tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sistemde;

- Deprem L dalgası salım hareketi görsel olarak üretilmektedir.
- Bulanık kontrol gerçekleştirilmektedir.
- Seri haberleşme ve motor kontrolü gerçekleştirilmektedir.

Bu sistem, eğitim amaçlı yapı dinamiği deneylerinde kullanılabilir. Sonraki çalışmada; metal aksamın daha hafif ve daha sağlam bir malzemeden seçilmesi, daha güçlü motorların seçimi ve ivmeölçerlerin kullanımı sağlanırsa daha büyük boyutlarda yapıların deneylerinin hassas bir şekilde yapılması mümkün olacaktır.



Şekil 11. Sistemden alınan ivme verileri

Kaynaklar

- Kramer, S. L., "Geoteknik deprem mühendisliği", Fersa Matbaacılık, Ankara, (2003).
- Baran T., Tanrikulu A. K., Dündar C., Tanrikulu A. H. "Deney ve Eğitim Amaçlı Mekanik, Tek Eksenli Bir Sarsma Tablasının İmalatı ve Performansının Araştırılması", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, (2007).
- Torun A., "İki eksenli Salınım Yapan Sarsma Tablası Tasarımı ve Performansının iyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, (2009).
- Balık, F.,S., "Deprem Yüğü Etkisi Altında Kalan Çatı Kalkan Duvarlarının Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2003).
- Dozono Y., Horiuchi T., Konno T., "Adaptive Control Apparatus And Shaking Table", United States Patent, Patent No: US 6,697,682 B2, Sheet 1-5, (2004).
- Korkmaz S., Z., Korkmaz H.,H., Türer A., "Elastik Art-Germe Şeritleriyle, Yığma Yapıların Güçlendirilmesi", Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, (2005).
- Kutanis M. "Deprem Simülatorü Tasarımı Ve Yapımı Projesi", Sakarya Üniversitesi-Tübitak-MAG-HD-11(105M082), Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, (2007).
- Lee S-K, Park E. C., Min K-W, Lee S H., Chung L., Park J-H, "Real-Time Hybrid Shaking Table Testing Method For The Performance Evalation Of A Tuned Liquid Damper Controlling Seismic Response Of Building Structures", Journal Of Sound And Vibration, Vol.302,pp.596-612, (2007).
- Seki, K. Iwasaki, M. Kawafuku, M. Hirai, H. Yasuda, K., "Practical Compensation For Reaction Force With Specific Frequency In Shaking Tables", Advanced Motion Control, 2008. AMC '08. 10th IEEE International Workshop on,pp.677-682, (2008).
- Xu Y., Hua H., Han J., "Modeling And Controller Design Of Shaking Table In An Active Structural Control System", Mechanical Systems And Signal Processing, Vol.22, pp.1917-1923, (2008).
- Kılıç, N., "Depremle ilgili jeolojik verileri uzak mesafelere aktarma ve değerlendirme sistem tasarımı", Yüksek lisans Tezi, Pamukkale

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Denizli, (2006).
- Balkan, Ü., “Harmonik Cisim Dalgalarının Zemin Ortamında Sönümlenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, (2007).
- Ercan, A., Yer araştırma yöntemleri, YEM Yayınevi, İstanbul, (2001).
- Kadioğlu, S., Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları, Ankara Ün. Müh. Fak. Ankara, (2004).
- Aydoğdu Ö., “Fırçasız Doğru akım Motorlarının Genetik Tabanlı Bulanık Denetleyici ile Sensörsüz Kontrolü”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, (2006).
- Lee C.K., Pang W.H., “ A brushless dc motor speed control system using fuzzy rules, The 5th. IEE Int. Conf. On Power electronics and variable speed drives, (1994).
- Chen L., “Multiobjective design optimization based on satisfaction metrics”, Engineering Optimization, Vol.33, pp. 601-617, (2001).
- Çunkaş M., Ürkmez A., “Çok Kriterli Bulanık Genetik Algoritma ile Dalgıç Asenkron Motorların Tasarım Optimizasyonu”. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., Vol.23, No.3, pp.645-653, (2008).