



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2 EKSENLİ (YATAY VE DÜŞEY) BİR DEPREM
SİMÜLATÖRÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

03552004 Ayhan Tevfik ÖZDEMİR

**FBE MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI MAKİNA TEORİSİ VE KONTROL
PROGRAMIDA HAZIRLANAN**

YÜKSEK LİSANS BİTİRME TEZİ

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Vasfi Emre Ömürlü

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
ÇİZELGE LİSTESİ.....	V
ÖNSÖZ.....	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT.....	IX
1 GİRİŞ.....	1
1.1 DEPREM NEDİR ?.....	1
1.2 DEPREM NERELERDE OLUŞUR?	2
1.3 DEPREMLER.....	3
2 DEPREM SİMÜLATÖRLERİ.....	5
2.1 TİTREŞİM TABLALARI VE DEPREM SİMÜLATÖRLERİ	5
2.2 DEPREM TÜRLERİ.....	6
2.3 DEPREM PARAMETRELERİ.....	7
2.3.1 Odak Noktası(Hiposantr).....	7
2.3.2 Dış Merkez (Episantr)	7
2.3.3 Odak Derinliği.....	8
2.3.4 Eşşiddet (izoseit) Eğrileri.....	8
2.3.5 Şiddet.....	8
2.3.6 Genlik.....	9
2.3.6.1 Genlik Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	10
2.4 DEPREM ŞİDDET CETVELİ.....	11
2.5 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN KULLANIM AMAÇLARI.....	12
2.6 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN KULLANIM ALANLARI.....	13
2.7 ARAŞTIRMANIN AMAÇLARI VE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	14
2.8 DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN PARÇALARININ DİZAYNI.....	15
2.9 DEPREM SİMÜLATÖRLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	16
2.10 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	18
2.11 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNDE MODEL TESTLERİ	19
BU DÖRT YILLIK ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA BAKACAK OLURSAK;.....	19
2.12 SALLAMA TABLASI SİSTEMLERİNİN TASARIM PARAMETRELERİ.....	20
2.12.1 Simülatör Platformu	20
2.12.2 Destekleyici Sistem	21
2.12.3 Simülasyon Şartları.....	22
2.13 TİREŞİM TABLALARININ DİNAMIĞI	22
2.14 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN UYGULAMA ALANLARI.....	23
2.15 DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN DÜNYADAKİ MEVCUT UYGULAMALARI	26
2.16 TÜRKİYE’DE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR.....	27
3 DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN TASARIMI	29
3.1 SİSTEMİN GENEL AÇIKLAMASI.....	29
3.2 MAKAS SİSTEMİNİ TASARIMI	31
3.2.1 Makas Sisteminin Seçimi	31
3.2.2 Tasarımın Boyutlandırılması.....	32
3.2.2.1 Seçilen Motorun Anma Moment Hesabı	32
3.3 MAKAS SİSTEMİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	35
3.3.1 Kaplin.....	35
3.3.2 Rulman	36
3.3.3 Bilyalı Kızak.....	39

3.3.4	<i>Bilyali Vidalı Mil</i>	40
3.4	KONTROL SİSTEMİNİN TASARIMI	41
3.4.1	<i>Kontrol Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar</i>	41
3.4.1.1	Motor	41
3.4.1.2	Motor Sürücü	42
3.4.1.3	Limit Switchler	43
3.4.1.4	DAQ Kart.....	44
3.4.1.5	Pozisyon Dönüştürücü	46
3.5	KONTROL SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI	46
3.6	ELEKTRİKSEL DEVRENİN OLUŞTURULMASI	47
4	SİSTEMİN ÇALIŞTIRILMASI	49
4.1	ANALOG ÇIKIŞLA İLE MOTORUN SÜRÜLMESİ	50
4.2	SİSTEME SİNÜS DALGALARININ VERİLMESİ	51
5	SONUÇLAR	53
	KAYNAKLAR	54
	ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 1.1 YER KABUĞU HAREKETİNİN ŞEMATİK ANLATIMI.....	2
ŞEKİL 1.2 TÜRKİYE DEPREM BÖLGELERİ HARİTASI	2
ŞEKİL 2.1 DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN KONTROL ŞEMASI	5
ŞEKİL 2.2 BİR DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN GENEL GÖRÜNÜMÜ	6
ŞEKİL 2.3 ODAK NOKTASI, DIŞ MERKEZ VE SİSMİK DEPREM DALGALARININ YAYILIŞI.....	7
ŞEKİL 2.4 SERBESLİK DERECELİ BİR DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN GÖRÜNTÜSÜ	18
ŞEKİL 2.5 JAPONYA-KYOTO ÜNİVERSİTESİ DEPREM ARAŞTIRMA LABORATUVARI	24
ŞEKİL 2.6 PASİF SÖNÜM SİSTEMİ	24
ŞEKİL 2.7 AKTİF SÖNÜM SİSTEMİ.....	25
ŞEKİL 2.8 JAPONYA-KYOTO ÜNİVERSİTESİ DEPREM ARAŞTIRMA LABORATUVARI TSUNAMİ SİSTEMİ	26
ŞEKİL 2.9 NEES LABORATUVARLARINDA TASARLANMIŞ BÜYÜK ÖLÇEKLİ SİMÜLATÖRLER	27
ŞEKİL 2.10 BOĞAZIÇI ÜNİVERSİTESİNDE BULUNAN DEPREM SİMÜLATÖRÜ	27
ŞEKİL 2.11 YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ'NİN TASARLADIĞI DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN EKSEN	28
ŞEKİL 3.1 DEPREM SİMÜLATÖRÜ.....	29
ŞEKİL 3.2 DEPREM SİMÜLATÖRÜNÜN ÇALIŞMA DİYAGRAMI	30
ŞEKİL 3.3 MODÜLER DÜŞEY EKSENİN SİSTEME BAĞLANTI ŞEKLİ	31
ŞEKİL 3.4 MAKAS SİSTEMİ	33
ŞEKİL 3.5 MAKAS SİSTEMİNİN AÇI-KUVVET GRAFİĞİ	33
ŞEKİL 3.6 MAKAS SİSTEMİNİN AÇI-HIZ GRAFİĞİ.....	34
ŞEKİL 3.7 DİZAYN TABLOSU 2 VE AÇI-HIZ, KUVVET-HIZ GRAFİKLERİ	35
ŞEKİL 3.8 SİSTEMDE KULLANILAN BAĞLANTI ELAMANI KAPLIN	36
ŞEKİL 3.9 RULMAN	37
ŞEKİL 3.10 RULMANIN YAN KESİTİ	38
ŞEKİL 3.11 KIZAK TİPİ RULMAN	39
ŞEKİL 3.12 KIZAK TİPİ RULMANIN DEFORMASYON KUVVET DEĞERLERİ	40
ŞEKİL 3.13 BİLYALI VİDALI MİL.	40
ŞEKİL 3.14 WAT AC ASENKRON MOTOR.....	42
ŞEKİL 3.15 KULLANILAN TELEMECANIQUE SÜRÜCÜ	43
ŞEKİL 3.16 SİSTEMDEKİ LİMİT SWITCHLER	44
ŞEKİL 3.17 DAQ KART.....	44
ŞEKİL 3.18 DAQ KART ÜZERİNDEKİ GİRİŞLER	45
ŞEKİL 3.19 OPKON TRANSDUCER	46
ŞEKİL 3.20 KONTROL ŞEMASI	47
ŞEKİL 3.21 BAĞLANTI ÇİZELGESİ.....	47
ŞEKİL 3.22 DEVRE ŞEMASI	48
ŞEKİL 4.1 SİSMİK VERİ	49
ŞEKİL 4.2 SİSTEMİN KONTROL ŞEMASI	50
ŞEKİL 4.3 LABVIEW ARAYÜZÜ (TEST)	50
ŞEKİL 4.4 LABVIEW ARAYÜZÜ (SİNÜZOİDAL DALGA)	51
ŞEKİL 4.5 LABVIEW ARAYÜZÜDE DEVRE KURULUMU	51

ÇİZELGE LİSTESİ

ÇİZELGE 1.1 1980-1999 YILLARI ARASINDA DÜNYADA YAŞANAN BÜYÜK DEPREMLER	3
ÇİZELGE 2.1ŞİDDET VE RİCHTER ÖLÇEĞİ EŞLEMESİ.....	10
ÇİZELGE 2.2ŞİDDET, ZEMİN İVMESİ, HIZ VE YAPI TİPLERİNDEKİ HASARLAR ARASINDAKİ İLİŞKİLER	12
ÇİZELGE 2.3DÜNYADAKİ ÜNİVERSİTELERDE BULUNAN DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	16
ÇİZELGE 2.4DAHA ÖNCEDEN YAPILMIŞ DEPREM SİMÜLATÖRLERİNİN YATAKLAMA TÜRLERİ VE BÜYÜKLÜKLERİ	21
ÇİZELGE 3.1DİZAYN TABLOSU 1	34
ÇİZELGE 3.2 KAPLIN'IN KATALOG BİLGİLERİ	36
ÇİZELGE 3.3 RULMAN KATALOG DEĞERLERİ	37
ÇİZELGE 3.4ÖZEL TİP RULLMANIN KATALOG BİLGİLERİ	38
ÇİZELGE 3.5 KIZAK TİPİ RULMANIN KATELOG DEĞERLERİ	39
ÇİZELGE 3.6BİLYALI VİDALI MİLİN KATALOG BİLGİLERİ.....	41
ÇİZELGE 3.7 MOTORUN KATALOG DEĞERELERİ.....	41
ÇİZELGE 3.8 SÜRÜCÜNÜN KATALOG BİLGİLERİ	43
ÇİZELGE 3.9 TRANSDUCERİN KATALOG BİLGİLERİ	46

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi'nde yapılmış olan, yatay ekseninde çalışan deprem simülatörünün düşey ekseninde çalıştırılarak gerçeğe daha yakın deprem titreşimleri oluşturma ihtiyacı gündeme gelmiştir, bunun ışığında tez konumuz şekillenmiş ve mekanik sistem dizaynı, imalatı ve sisteme entegrasyonu tez kapsamına alınmıştır.

Tez çalışmalarım boyunca, bilgi tecrübe ve sabrını eksik etmeyen değerli hocalarım Prof.Dr. İsmail YÜKSEK, Y.Doç.Dr. V. Emre ÖMÜRLÜ, kardeşim Gamze ÖZDEMİR'e ve imalat konusunda yardımlarını esirgemeyen FactorH Automation çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Ülkemizde, özellikle kırsal alanlarda yığma yapıların kullanımı yaygın olduğundan depreme dayanıklı olması gerekmektedir. Yapıların deprem davranışını tespit edebilmek için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de deprem simülatörleri ile mevcut yapı tekniklerinin güvenilirliklerinin test edilmesidir. Deprem simülatörü, depremlerde olduğu gibi yapılara veya küçük ölçekli yapı modellerine dinamik yatay ve düşey yükler uygulamaktadır.

Yıldız Teknik Üniversitesi için dizayn edilen yön kontrollü elektromekanik deprem simülatörü yakın zamanda laboratuardaki yeni yerini alacaktır. Sarsma tablası olarak da adlandırılan simülatör gerçeğine uygun olarak bina modellerinin deprem sırasında davranışlarını incelemek amacıyla tasarlanmıştır. Simülatör; yatay hareket tablası , düşey hareket için makas mekanizması, motor ve motoru kontrol etmek için kullanılan elektronik devreler, sürücüler ve kontrol bilgisayarından oluşmaktadır. Ölçekli ve gerçeğine uygun olarak yapılan bina modelleri simülatörün tablasına yerleştirilir ve simülatöre bilgisayar ile yüklenen geçmişte yaşanmış veya tasarlanan deprem titreşimleri modele uygulanır ve sensörler aracılığı ile bina üzerindeki etkileri kayıt edilir. Bu şekilde deprem esnasındaki titreşimlerin bina üzerindeki etkisini gözlemlemiş oluruz ve çeşitli parametreler elde ederiz. Elde ettiğimiz parametreler ile binanın deprem esnasındaki davranışını analiz etmiş oluruz. Buda bizim binaları depreme dayanıklı hale getirmemiz için sistemler dizayn etmemizi ve çözümler bulmamızı sağlar.

Bu çalışmada ise modern yöntemlerle tasarlanmış iki eksen de hareket edebilen bir deprem simülatörünün uygulaması bulunmaktadır. Bu uygulama bir deprem simülatörünün mekanik , tasarımı ve kontrolünü içermektedir.

Anahtar kelimeler:Deprem simlatrleri, deprem, sallama tablaları, sismik

ABSTRACT

The constructions in our country must be resistant to earthquakes as there are yigma constructions being used much more. There are different methods to determine the earthquake behaviour of constructions. . One of these methods is testing the current construction technic's accuracy with earthquake simulators. As on earthquakes, simulator applies dynamic horizontal and vertical loads to small scaled construction models.

The directon controlled electromechanic simulator, which is designed for Yıldız Technical University, will take its place in the laboratory soon. Simulator, also called shocking table, is designed for examining the behaviours of construction models' behaviours during the earthquakes just as the riginal ones. Simulator is made up of horizontal movement platform, scissors mechanism for the vertical movement, engine and electronical circuits to control the engine, drivers and control computer. The construction models which are scaled and convenient with the original sizes are being positioned on the table of the simulator and earthquake vibrations which happened before or being planned are loaded to the simulator with computer placed in and earthquake vibrations are being applied to the model and the affects on the construction are being recorded by the sensors..By this we observe the affect of the vibrations on costructions and obtain various parameters.. With these parameters we analyze the behaviour of the construction during the earthquakes. . This allows us to design systems and find solutions to make constructions more resistant.

In this study, there is an application of earthquake simulator which has been designed with modern methods that can move on two axis. This application includes the mechanical design and control of an earthquake simulator.

Keywords:Earthquake, earthquake simulator, shaking table, sismik

1 Giriş

Günümüzde deprem verilerinin incelenmesinde, depremin hangi büyüklükte, ne zaman ve nerede meydana geleceğini tam olarak bilmenin mümkün olmadığı kabul edilen bir gerçektir. Fakat istatistik bilimi tarafından ortaya atılan yöntemlerle, verilere yapılabilecek uygun analizler ile bu belirsizlik probleminin çözümünde bazı adımların atılabileceği söylenebilir. Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışık olarak oluştuğu ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir.

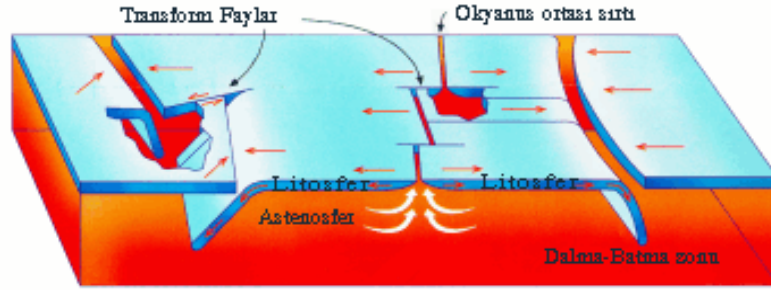
Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 kişi ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır.

1.1 Deprem Nedir ?

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır.

Depremin nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryuvarı içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına "SİSMOLOJİ" denir.



Şekil 1.1 Yer Kabuğu Hareketinin Şematik Anlatımı

1.2 Deprem Nerelerde Oluşur?

Deprem herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda oluşabilir. Genel olarak depremlerin kabuğu oluşturan levhaların sınırlarında oluştuğu söylenebilir. Dünyanın çeşitli yerlerinde benzer nitelikte depremlerin tekrarlandığı gözlenmiştir ve buraları hep levha sınırındadır. Depremlerin yoğun olarak gözlemlendiği bölgeler yeryüzünde üç ana kuşak oluşturur: Pasifik Deprem Kuşağı: Şili'den kuzeye doğru Güney Amerika kıyıları ve Alaskanın güneyinden Aleutlan Adaları, Japonya, Filipinler, Yeni Gine, Güney Pasifik Adaları ve Yeni Zelanda'yı içine alan en büyük deprem kuşağıdır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %81'i bu Kuşak üzerinde gerçekleşir. Alpine Deprem Kuşağı: Endonezya'dan başlayıp Himalayalar ve Akdeniz üzerinden Atlantik Okyanusu'na ulaşan kuşaktır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %17'si bu kuşakta oluşur. Atlantik Deprem Kuşağı: Bu kuşak, Atlantik Okyanusu ortasında yer alan levha sınırı boyunca uzanır.

Türkiye'deki deprem bölgelerine bakacak olursak daha çok dağlık kesimlerde 1. dereceden etkinin olduğunu görebiliriz. Karadeniz Bölgesi ve Ege Bölgesi'nde depremlere sıklıkla rastlanmaktadır.



Şekil 1.2 Türkiye deprem bölgeleri haritası

1.3 Depremler

Depremler çok büyük can ve mal kaybına neden olan afetlerdir. Çizelge 1.1’ de 1980 ile 1999 yılları arasında yaşanan dünyanın en büyük depremlerinin açtığı zararlar değerlendirilmiştir. Bu yıkıcı depremler Richter ölçeğine göre 6.4 ile 7.7 büyüklüğünde olup binlerce can kaybına ve milyonlarca dolarlık zarara neden olmuştur. Kocaeli ve İstanbul yüksek sismik faaliyetleri olan Marmara fay hattı üzerinde yer almaktadır. Türkiye nüfusunun büyük bir bölümünün yaşadığı bu bölgede olan depremler maalesef dramatik can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Buda depremlerle ilgili yapılan bilimsel çalışmaların ülkemiz için ne kadar hayati önem taşıdığını göstermektedir.

Çizelge 1.1 1980-1999 yılları arasında dünyada yaşanan büyük depremler

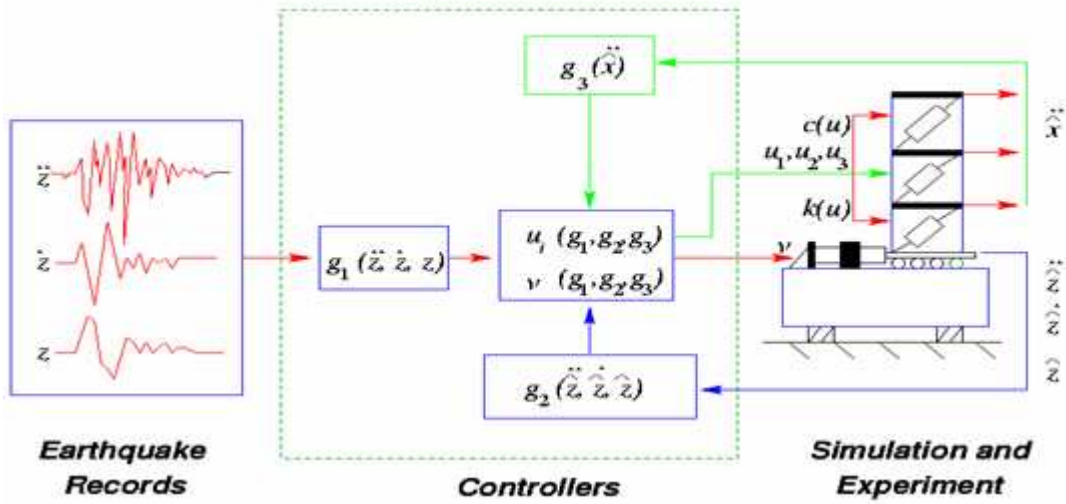
Tarih	Yer	Depremin Büyüklüğü (Richter)	Hasar
17 Ağustos 1999	Türkiye'nin Marmara bölgesini etkileyen merkez üssü Kocaeli olan deprem	7.4	Kocaeli, Sakarya, Yalova, Gölçük, Düzce ile İstanbul Avcılar'da büyük hasar meydana geldi. 5 Eylül 1999 tarihi itibarıyla ölü sayısı 15 bini geçti.
4 Şubat 1998	Merkez üssü Afganistan sınırına 150 kilometre mesafede İran'da meydana gelen deprem	7.1	En az 2 bin kişi öldü, binlerce kişi yaralandı, 11 köy yok oldu, Kaen ve Birjand kentlerinde büyük hasar meydana geldi.
17 Ocak 1995	Japonya'da merkez üssü liman kenti Kobe kenti olan deprem	7.2	Depremde 6 bin 500 kişi öldü.
30 Eylül 1993	Hindistan'da merkez üssünün Maharashtra, Andhra Pradeş ve Karnataka olan deprem	6.4	Ülkenin batısı ve güneyinde 36 köyün yıkılmasına 22 bin insanın ölmesine yol açtı.
16 Temmuz 1990	Filipinlerde, merkez üssü Cabanatuan kenti olan deprem	7.7	En az 2 bin kişi öldü, 3 bin 500 kişi yaralandı. Deprem sonucu 148 bin kişi evsiz kaldı.
21 Haziran 1990	İran'da Gilan ve Zanzan bölgelerini olan deprem	7.7	35 bin kişi yaşamını yitirdi ve 100 bin kişi yaralandı. Deprem 500 bin kişiyi de evsiz bıraktı.
30 Ekim 1983	Türkiye'de Erzurum civarında olan deprem	6.8	1155 kişi öldü ve 500 dolayında kişi yaralandı. Deprem 35 bin kişiyi evsiz bıraktı.
23 Kasım 1980	İtalya'da merkez üssü Eboli'de olan deprem en çok Napoli'de geniş bir alanı etkiledi.	7.2	2 bin 735 kişi öldü, 7 bin 500'den fazla insan yaralandı Deprem sonucu 1500'ün üzerinde kişi kayboldu.

Bilimsel alışmalar sismik verilerin incelenerek depremlerin önceden tahmin edilmeye çalışılması ve depreme dayanıklı inşaa teknikleri geliştirilerek depremin yol açtığı zararların en aza indirilmesi olarak sınıflandırılabilir. Yani inşaat teknikleri geliştirilmesi için depremin oluşturduğu sismik sarsıntuların laboratuvar ortamında oluşturulması zorunlu olmuştur. Böylece yeni geliştirilmiş inşaat sistemlerinin küçük ölçekli veya birebir ölçekli olarak depremlere nasıl cevap verdikleri incelenebilmektedir.

2 Deprem simülatörleri

2.1 Titreşim Tablaları ve Deprem Simülatörleri

Deprem simülatörlerinde yapıların küçük ölçekli modelleri deprem titreşimlerine maruz bırakıldığı gibi eğer mümkünse birebir modeller de incelenmektedir. Bunun için çok büyük projeler hayata geçirilmiştir. Böylece hatalar minimuma indirilmiştir. Her deprem birbirinden farklı karaktere sahip olduğundan, deprem karakterlerini birebir uygulamak ve test ortamında sonuçlarını görebilmek için donanımlı bilgisayar kontrolleri kullanmamız gerekmektedir.



Şekil 2.1 Deprem simülatörünün kontrol şeması

Büyük boyutlu uygulamalarda genel olarak hidrolik sistemler ve servomotor kullanılır. Küçük boyutlu uygulamalarda lineer servomotor, hidrolik ve pnömatik sistemler kullanılır. Deprem simülatörleri aynı ölçekli modellerin testleri için kullanılabilir gibi genellikle küçük ölçekli yapı modellerinin testlerinde kullanılır. Şekil 1.1 de küçük boyuttaki bir deprem simülatöründe küçük ölçekli bir yapının dinamik testinin yapıldığı görülmektedir. Resimde tek eksenli bir deprem simülatörü ve bu simülatörün kontrol cihazı, kontrol paneli, tahrik elemanı görülmektedir.



Şekil 2.2 Bir deprem simülatörünün genel görünümü

2.2 Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Yukarıda şematik olarak anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "TEKTONİK" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "VOLKANİK" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

Bir başka tip depremler de "ÇÖKÜNTÜ" depremlerdir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

Odağı deniz dibinde olan Derin Deniz Depremlerinden sonra, denizlerde kıyılarına kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara (Tsunami) denir.

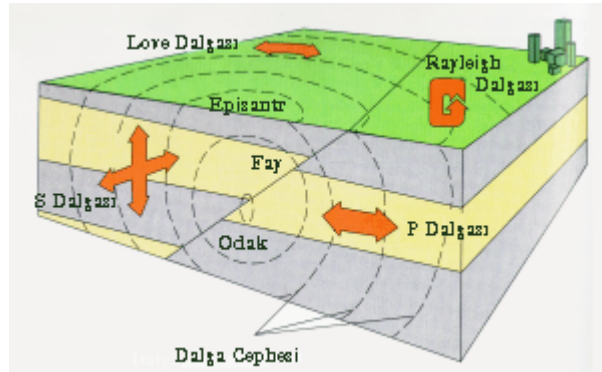
Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür. 1998'de Papua Yeni Gine'de 10 dakika aralıkla iki kez gerçekleşen 7'den büyük depremden sonra bir tsunami oluşmuş ve Sissano köyünde 3000 kişinin ölümüne neden olmuştur.

2.3 Deprem Parametreleri

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tarif edilmesi ve anlaşılabilmesi için "**DEPREM PARAMETRELERİ**" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilebilir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

2.3.1 Odak Noktası(Hiposantr)

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekte , enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır , fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.3 Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı

2.3.2 Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu , bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "**Episantr Bölgesi**" ya da "**Episantr Alanı**" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

2.3.3 Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km. den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir , buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

2.3.4 Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bunun tamamlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

2.3.5 Şiddet

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğu, odak derinliği, uzaklığı yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğu hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız herşeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu

ceveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımına uygunsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin; depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem Şiddet Cetvellerinde, şiddetler romen rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarıлма, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

2.3.6 Genlik

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof.C.Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. Prof .Richter, episantrdan 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük magnitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Colombiya-Ekvator ve 2Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri). Genlik , aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Aletsel magnitüd, yukarıda da belirtildiği üzere, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyod değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanılmaktadır. Genel olarak,

hacim dalgalarından hesaplanan magnitüdü (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan magnitüdü (M) ile gösterilmektedir. Her iki magnitüdü değerini birbirine dönüştürecek bazı bağıntılar mevcuttur.

Gözlemsel magnitüdü değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, magnitüdü-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değıştiği de gözönünde tutulmalıdır. Gözlemevleri tarafından bildirilen bu depremin magnitüdü depremin enerjisi hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (magnitüdü) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır.

Depremlerin şiddet ve magnitüdüleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve magnitüdü değerleri arasındaki dönüşümleri aşağıdaki gibi verilebilir.

Çizelge 2.1 Şiddet ve Richter ölçeği eşlemesi

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter genliği	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

2.3.6.1 Genlik Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi

Genlik (M), θ alt sınırlı ve kuramsal olarak üst sınırı olmayan sürekli bir rastgele değişken olarak tanımlanmaktadır. Burada, θ kabul edilen en küçük deprem genliğidir. \bar{M} , çok sayıda deprem verisinden elde edilen ortalama magnitüdüdür.

Buna göre,

$$\lambda = (\bar{M} - \theta)^{-1} \quad (1)$$

olmak üzere, magnitüdü rastgele değişkeninin yoğunluk fonksiyonu,

$$f(M) = \lambda e^{-\lambda(M-\theta)} \theta \leq M < \infty \quad (2)$$

biçiminde bir üstel fonksiyondur (Ramachandran, 1980). Burada üst sınır, teorik olarak ifade edilmistir. Uygulamada, bu çalışmanın çözümlerinde de olduğu gibi gözlemlere dayanarak, üst sınır degerleri koyulabilmektedir.

Yoğunluk fonksiyonu kullanılarak M rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonu da,

$$F(M) = \int_{R_M} \lambda e^{-\lambda(M-\theta)} dM = -e^{-\lambda(M-\theta)} \quad (3)$$

olarak bulunur. Burada beklenen degerler (2) bağıntısından elde edilecektir. Bu ise, dağılım fonksiyonunun θ alt sınır değeri ile her sınıfın üst değeri arasında integralenmesinden elde edilmektedir.

2.4 Deprem Şiddet Cetveli

Şiddet cetvellerinin açıklamasına geçmeden önce, burada kullanılacak terimlerin belirtilmesine çalışılacaktır. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.

B Tipi : Tuğla yapılar, yarım kagir yapılar, kesme taş yapılar, beton biriket ve hafif prefabrike yapılar.

C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar. Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pekçok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir. Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır :

Hafif Hasar : İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

Orta Hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

Ağır Hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

Yıkıntı : Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

Fazla Yıkıntı : Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Çizelge 2.2 Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasarlar arasındaki ilişkiler

Şiddet	Zemin İvmesi (gal) (0.1-0.5 sn periyod aralığı için)	Yer Titresiminin (0.5-2 sn periyod hızı cm/sn aralığı için)	YAPI TIPLERİ		
			Ax	Bx	Cx
V	12-15	1.0-2.0	%5 Hafif hasar	-	-
VI	25-50	2.1-4.0	% 5 Orta Hasar % 50 Hafif Hasar	%5 Hafif hasar	-
VII	50-100	4.1-8.0	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	%5 Orta hasar	% 5 Hafif hasar
VIII	100-200	8.1-16.0	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı	%5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	% 5 Ağır hasar % 50 Orta Hasar
IX	200-400	16.1-32.0	% 50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı %50 Yıkıntı	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar
X	400-800	32.1-64.0	% 75 Fazla Yıkıntı	%50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla Yıkıntı % 50 Yıkıntı

2.5 Deprem Simülasyonlarının Kullanım Amaçları

Çizelge 1.1'den de gözlemlediğimiz gibi, dünyada yaşanan depremlerdeki maddi kayıplar milyon dolarların üzerindedir. Bilinen inşaat sistemleriyle inşaa edilmiş binalar, köprüler ve barajlar yıkıcı etkisi büyük olan depremlerden çok fazla etkilenmiş ve büyük tahribatlar yaşamışlardır. Bu yaşanan depremlerin gerçekleştirdiği tahripler depreme karşı dirençli binaların dizayn edilmesi için çözümlerin bulunması gerektiğini ortaya koymuştur ve şimdiye kadar kullanılan inşaat tekniklerinin dışında yeni inşaat teknikleri ve yeni bina modelleri bulunmaya çalışılması gerektiği anlaşılmıştır.

Çözüm modelleri geliştirmek için ilk çalışmalar tahmini elastikiyet dinamikleriyle binaların deprem esnasındaki sarsıntılara vereceği cevapları araştırmışlardır. Fakat bu çözüm modelleri

idealize edilmiş ve tahmin edilen bina davranışlarına dayalı güncel teorik bilgilerle gerçekleştirilmiştir. Deneysel araştırmalar alternatif analiz imkanı ve kısıtlı olan teorik bilgiyi geliştirme imkanı sağlamıştır. Ek olarak bu geliştirilen çözüm modellerinin davranışlarının doğruluğu ve depreme karşı dayanıklılığı deneysel çalışmalarla denetlenebilmiştir.

Deneysel araştırmalar doğrultusunda uygun dinamik testler yapılabilmesi için uygun düzenekler kurulması olanağı sağlanmıştır. İlerleyen deneysel çalışmalarda anlaşıldığı gibi uygun test olanakları çok önemli ve gereklidir. Bu testler malzemelerin ,kullanılan elemanların ve binaların test edilmesi olarak sınıflandırılabilir. Bunların depreme karşı dayanıklılıklarının test edilmesi deprem simülatörleriyle gerçekleştirilmiştir.

Deprem simülatörleri sismik titreşimleri birebir veya ölçekli olarak taklit eden laboratuvar ekipmanlarıdır. Her ne kadar depremin oluşturduğu yer hareketlerini fiziksel olarak tamamen aynı şekilde gerçekleştirmek mümkün olmasa da deprem simülatörleri depreme yakın hareketler üretebilme kapasitesine sahiptir. Böylelikle deprem simülatörleri yer hareketlerine benzer şekildeki yer titreşim kuvvetlerini test yapısına aktarabilmekte ve böylece uygulanan kuvvetle deprem esnasında binaların gerçek hareketlerini gözlemleyebiliriz.

Sonuç olarak deprem simülatörleri deprem esnasında göremeyeceğimiz yapı davranışlarını görüp analiz etmemizi ve yapıların deprem dinamiğini anlamamızı sağlar. Böylelikle depreme dayanıklı binaların oluşturulmasına olanak sağlar.

2.6 Deprem Simülatörlerinin Kullanım Alanları

Yapı araştırma laboratuvarlarındaki dinamik test olanaklarına ek olarak deprem simülatörleri sistemlerin farklılıklarını test etmek için de kullanılır.Bu testlerde komple yapıyı test edebileceğimiz gibi yapı elemanlarını veya elaman gruplarını da test edebiliriz.Küçük ölçekli model testi analitik araştırmada tamamlayıcı ve alternatif olarak kullanılabilir. Buna ek olarak, küçük ölçekli model karşılaştırmalı çalışmalar veya değişkenlik parametrelerinin kontrolü için de kullanılır. Yenilenmiş model testleri meydana gelebilecek depremle ilgili olayların araştırılmasını mümkün kılmaktadır. Örneğin;

- Yüklenme hızının sonuçları

- Gerçekçi sismik harekette dinamik tepki karakteristikleri (düşük genlikteki vibrasyonlar, harekete geçmede elastikiyetsizlik cevabı ve bozuklukları)
- Mekanizmaların bozuklukları
- Kütle ve katılık düzensizliklerinin sonuçları
- Bükülme ve devrilme sonuçları
- Dinamik dayanıksızlık
- İdeal arazi-yapı etkileşimlerinin sonuçları

Bu elde edilen sonuçların doğrultusunda deprem etkenlerinin çeşitli seviyelerin altında olduğu ispatlanmış ve güvenli şekilde dizayn edilmiş yapıların inşaa edilmesini mümkün kılmıştır.

Geçerli şartları içeren depremlerin birleşenlerini içeren tam ölçekli test örnekleri aşağıdaki gibidir;

- Bina iskeletinde farklı geometrik kombinasyonlar ,kirişler ,kolonlar ,eklem yerleri.
- Makaslanmış duvarlarla doldurulmuş bina iskeletleri
- Bina iskeletine yanal destek sistemi
- Kaldırıcı şaft ve kademeli duvar gibi dolgu elemanları
- Duvar ve çatı diyagramları
- Mimari elemanlar

Buna ek olarak deprem simülatör sistemi ,yüksek performanslı mekanik ve elektrik ekipmanlar gerektirmektedir. Bir deprem simülatörünün dizayn edilmesi için bir çok disiplinin birlikte çalışıp yaratıcılıklarını kullanmaları gerekir. Bunlar inşaat ,makine ve elektrik mühendislikleri olarak söylenebilir. Deprem simülatörlerinin özelliklerini bu alanda çalışmalar yapan mühendislerin geliştirmesi ve yapı dinamiğinde örnek teşkil edebilecek çalışmalar yapması çok önemlidir.

2.7 Araştırmanın Amaçları ve Kullanılan Yöntemler

Bu araştırmanın iki ana amacı vardır;

1. Dünyada ve Türkiye’de var olan deprem simülatörlerini ve gerçekleştirilmiş simülasyon verilerini incelemek. Görevi depremin yer hareketlerinin simülasyonunu gerçekleştirmek olan deprem simülatörünün üzerine tam bir yapının küçük ölçekli modeli yerleştirildiğinde o

modelin davranışını gözlemleyip analiz etmektir. Bu çalışmada ise küçük boyutlu çok eksenli elektronik AC motorlu deprem simülatörlerinin çalışması hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, deprem simülatörlerin komutlandırılmış dinamik sinyallerinin (hedeflenen yer hareketleri) yeniden oluşturulması üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2. Bu araştırmanın ikinci amacı ise, deprem simülatörünü mekanik ve elektronik olarak gerçeklemek, dinamik davranışı analiz etmek için testler yapmak ve deprem simülatörünün yapıların dinamik testlerinin yapılmasında etkili olarak kullanılabilceğini göstermektir. Bu amacı gerçekleştirmek için deprem simülatörü ve kalibrasyon parametreleri deneysel olarak belirlenecektir. Kalibrasyon parametrelerini, tablanın çalışması sırasında verdiği uygun cevabın kontrol parametrelerinin değerlerini oluşturacaktır. Bir deprem simülatörü'nün cevabı, geri besleme boşluğuna sahiptir. Bu uzaklık hedeflenen komut boşluğundan ve bir stabil cevaptan farklı değildir. Bu nedenle geri beslemedeki bu boşluk sistemin çalışmasında herhangi bir son teşkil etmemektedir.

Araştırmanın geliştirilmesinde kullanılan yöntemleri iki bölümde inceleyebiliriz;

1. Deprem simülatörünün gelişimi ve yapısı
2. Deprem simülatörünü performansının deneysel ölçümleri ve deprem simülatörü kurulması için kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi.

Bu tez çalışmasında deprem simülatörlerinin geliştirilmesi metodu küçük boyutlu çok eksenli AC motorlu elektronik deprem simülatörü üzerinde yoğunlaşmıştır. Mekanik aksamında makas sistemi kullanılan bu deprem simülatöründe AC motorla sistem hareketlendirilmekte ve bir AC motor sürücüsü ile hareket ve bir potansiyometre ile de tablanın konumunun geri beslemesi ve kontrolü sağlanmaktadır.

2.8 Deprem Simülatörünün Parçalarının Dizaynı

İleriki bölümlerde deprem simülatörünün parçalarının dizaynı kriteri tartışılacaktır. Bu kriter var olan deprem simülatörlerinin literatürlerinin gözden geçirilmesine dayanarak yeni tasarlanan deprem simülatörünün tekrar oluşturulan parçalarının dizaynından oluşur. Parçaların dizaynı için solidworks programı kullanılmıştır. İmalat aşaması için

tasarlanan makas sistemli deprem simülörünün mekanik parçalarının tek tek teknik resimleri çizilmiş ve simülör oluşturulmuştur.

Deprem simülörünün yapım aşamasında Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında var olan deprem simülörü incelenip analiz edilmiştir ve yeni bir eksen eklenerek yeniden dizayn edilmiştir. Deprem simülöründe AC motor güç sistemleri ve elektronik kontrol ekipmanları kullanılmıştır.

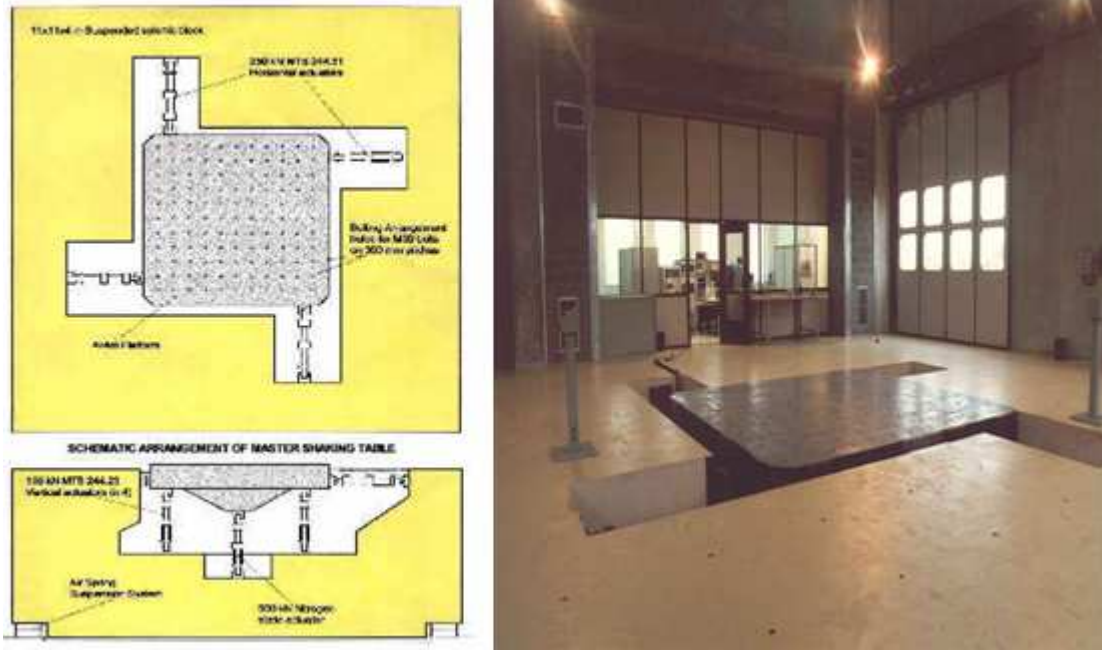
2.9 Deprem Simülörleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

19. yy'ın sonlarında deprem simülörlerinin laboratuvar ortamında yapısal denemelerine başlanmıştır. 1960 yılının sonlarına doğru deneylerde elektro hidrolik servo kontrol , analog-dijital yazılım ve donanımın,dinamik ekipmanların kullanılması sonucu deprem simülörleri yeni bir boyut kazanmıştır. 1960 ve 1970 yılları arasında Amerika'da ilk defa deprem simülörü kurulmuştur. Çizelge 2.1 de deprem simülörlerinin, 1960 ve 1970 yılları arasında yapılan testler ve denemelerin verileri ve bu elde edilen verilere göre sınıflandırmaları görülmektedir.Amerika'daki deprem simülörlerinin büyük bir çoğunluğunu küçük tablalar oluşturmaktadır.3.05m ×3.05m yada daha küçüğü ,ayrıca 3.05m'den 9.14 m'ye kadar kare şekilde tablalar mevcuttur.[3]

Çizelge 2.3Dünyadaki üniversitelerde bulunan deprem simülörlerinin sınıflandırılması

Sallama tablası örnekleri	Boyut (m)	Yüklenme kapasitesi (kN)	$A_{max} \cdot g^2$		D_{max} (cm)		F_{max} (Hz)
			yatay	dikey	yatay	dikey	
Küçük boyutlu							
Stanford University	1.5 x 1.5	22.2	5.0	-----	6.35	-----	50.0
Rice University	1.5 x 1.5	6.67	6.0	-----	7.62	-----	70.0
University of Calgary	1.4 x 1.4	8.9	20.0	-----	7.62	-----	-----
Orta boyutlu							
University of California at Berkeley	6.1 x 6.1	444.8	1.5	1.0	12.7	5.08	15.0
University of Illinois	3.65 x 3.65	44.48	7.0	-----	10.16	-----	100
Us Corps of Engineers	3.65 x 3.65	53.38	34	60	5.59	4.57	200
State University of NewYork at Buffalo	3.65 x 3.65	195.7	4.2	8.7	15.24	7.62	60.0
Büyük boyutlu							
National Research Center,Japan	15.24x15.24	4,448.2	0.6	1.0	3.048	-----	16.0
Berkeley - Proposed	30.5 x 30.5	7,792.9	0.6	0.2	15.24	7.6	-----

Sallama tablalarının analizi, dizaynı ve performansı hakkında dünyada yapılan araştırmalar son yıllarda deprem mühendisliği adı altında bir disiplin haline gelmiştir.Türkiye’ de bulunan niversitelerimizde de bu disiplin yüksek lisans programı olarak okutulmaktadır.Bu şekilde depremle ilgili olayların daha iyi anlaşılması ve gerçeklik kazandırarak bazı testlerin uygulanması hedeflenmiştir. Bu alanda uzmanlaşılarak daha başarılı ve hergeçen gün bir adım daha ileri giderek yeni teknolojiler üreten bir mühendislik dalı oluşturulmuştur.Deprem simülatörleriyle ilgili son yıllarda yapılan araştırmalara bakacak olursak;1992 yılında Clark [3] adlı çalışmacı 6m-6m boyutunda 50 ton yükleme kapasiteli büyük bir sallama tablası üzerinde teorik bir çalışma yapmış ,verileri değerlendirerek önemli sonuçlar elde etmiştir. Carydis [1] ise 1992 yılında 3m-3m ve 4m-4m boyutlarında 15 ton yükleme kapasiteli iki adet altı serbestlik dereceli servo-hidrolik sallama tablasının performanslarının karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Crewe ve Sevem [7] isimli araştırmacılar ise 2001 yılında Avrupa’nın büyük sallama tablalarının performansının gelişimini tamamlamışlardır.Gomez ve Stoten [8] 2000 yılında sallama tablaları üzerinde adaptive kontrol bilgisini kullanarak kontrol sistem algoritması ve işleyişi hakkında yeni sonuçlar elde etmişlerdir. Muhlenkamp [13] 1997 yılında Rice niversitesi’nde orta büyüklükte tek eksenli sallama tablalarının dizaynını,analizini ve gerçeklenmesini yapmıştır. Conte ve Trombetti [18] Muhlenkamp tarafından 2000 yılında sallama tablasının lineer ve dinamik modelini geliştirmiş ve yeni analitik çalışmalar yapmışlardır,2002 yılına kadar çalışmalarını sürdürmüşlerdir.Kim ve Tsao isimli araştırmacılar da [10] 2000 yılında, Nikiforuk 1969 ve Wang 1995 yıllarında servo ve valflerle iki basamaklı kontrol modeli oluşturmak için farklı denemeler yapmışlardır. Williams ve Blakebrough 2001 yılında servo valf hareketlendiricili bir nonlinear modelin detaylandırılmasını içeren yeni bir laboratuvar test yapısı geliştirmişlerdir.



Şekil 2.4 Serbeslik dereceli bir deprem simülörünün görüntüsü

2.10 Deprem Simülörlerinin Sınıflandırılması

Deprem simülörlerinin tam boyutlu prototiplerde veya geniş modellerde yapılan testlerin sonucunda, bize yapısal davranış hakkında gerçeğe yakın bilgiler verir. Örnek olarak gösterilen prototip çelik yapıları, profil materyallerini (destek demiri ve beton) ve beton yapı sistemlerini modellemek için daha önceden değerleri belirlenip tasarlanabilecek bir uygulamadır. Büyük deprem simülörleri ölçek olarak büyük yapıların testleri için uygun olmasına rağmen uygulama esnasında yüksek maliyet gibi bazı dezavantajları da içermektedir. Daha büyük boyuttaki tablalar, uygun olduğu bazı değerlerde ivme, frekans ve uzaklık değerleri girilerek verdiği tepkinin görülmesinde diğerlerine göre daha net sonuçlar oluşturur. Ayrıca küçük boyuttaki modellerin analizlerinde de kullanılabilmişlerdir.

Gerçek depremlerde zeminin hareket yönünde herhangi bir kısıtlama yoktur. Bu hareketi simülörle tamamen aynı şekilde uygulamaya geçirmek istiyorsak 3 boyutlu deprem simülörleri kullanmalıyız. 2 yatay 1 dikey olmak üzere. Yapının türdeş olduğunu düşünürsek zeminde yapının dönme modunu ihmal edebiliriz. Çok elemanlı deprem simülörleri ileri teknoloji, operasyon maliyeti, üzerinde özel bir çalışma, bu konudaki çalışmaların sonucunda kazanılan deneyimlerine ve bilgi birikimine ihtiyaç duyar. Çok boyutlu deprem simülörlerinin başlangıcında yapılan çalışmalara baktığımızda, tek boyutlu deprem simülörlerinin ilk adımını oluşturduğunu görürüz.

2.11 Deprem Simülatörlerinde Model Testleri

Kullanılan ekipman ve tasarım açısından , modelin boyutlarının genel olarak küçük boyutlarda sınırlandırıldığını görürüz.Bu sınırlandırılmalar sonucunda yakın zamanda yapılan deprem simülatörlerinin amacı ispat, niteleyici çalışmalar ve parça testleri yapmaktır.Mevcut değer ve bilgilerin yetersizliği ve boyutların limitli olmasından dolayı küçük ölçekli deprem simülatörleri gerçek yapıların yerine kullanılamazlar. Bu konudaki araştırma çalışmalarına Stanford Üniversitesi'nde başlanmıştır. 4 yıl süren bu çalışmaların ilk kısmı Mills [11] tarafından yürütülmüştür. Mills daha çok küçük boyutlu deprem simülatörlerinin performansı üzerinde yoğunlaşmıştır.Çalışmanın ikinci kısmı Moncarz [12] tarafında yürütülmüştür. Moncarz [12] genel görünümüyle dinamik model teorisini oluşturup modellerin davranışlarını araştırmış ve prototipteki ekipmanların beklenen davranışlarını incelemiştir.[4]

Bu dört yıllık çalışmaların sonuçlarına bakacak olursak;

- Binaların olası bir deprem karşısında gösterecekleri dinamik cevabını model boyutlarında görme imkanı bulunmuş olur.
- Tepki niteliği hakkında yapılabilecek tahminlerin doğruluğu şunlara bağlıdır
 1. Ekipmanların ve bütün olarak sistemin simülasyonuna
 2. Deprem simülatörlerinin değer üretebilirliği ve sistemin verdiği dinamik cevaba.

Bu yapılan testlere bakacak olursak büyük bir çoğunluğunun California Üniversitesi'nde dinamik test imkanları çerçevesinde yürütüldüğünü görürüz.Denemeler sonucunda ilk önemli yapı 1975 yılında deprem simülatörü üzerinde üç katlı çelik çerçeveli yapı olmuştur. Bu çalışmanın ana amaçlarından bir tanesi deprem simülatörü araçlarında tecrübe kazanmak ve deprem tipinin hareketi doğrultusunda yapının lineer ve lineer olmayan davranışlarını gözlemlemek olmuştur. Ayrıca,matematiksel model de bu testlerin sonucunda oluşturulmuştur. Matematiksel model yapının sismik davranışlarını yeterli bir şekilde tahmin etmemizi sağlar.Bundan sonra birçok yapı test edilmiş ve bu yapıların içerisindeki beton yapılar desteklenmiştir.

Deprem simülatörü üzerinde geniş kapsamlı araştırmalar ABD’de Newyork State Üniversitesi’nde yürütülmüştür.Buradaki çalışmalara baktığımızda ilk yapılan testte kullanılan yapının boyutları dikkatimizi çekmektedir.Araştırmacılar 5 katlı tam boyutlu çelik prototip yapının dinamik karakteriştiği ile ve 2/5’i boyuttaki laboratuvar modelini karşılaştırmışlar ve elde ettikleri verilere göre aralarında bir ilişki kurmuşlardır.Bu karşılaştırmayla birlikte farklı bağlantı şekilleri ve konfigürasyon sistemleri incelenmiştir.

Diğer bir uygulama alanı olarak köprü ve baraj modellerini görebiliriz.Buna ek olarak iskelet tipi yapılar ve kulelerin mekanik ve elektriksel araçların üzerinde testler yapılmıştır. Mills ve Moncarz [11,12] bu testlerin sonuçlarını geniş kapsamlı olarak değerlendirmişlerdir.

2.12 Sallama Tablası Sistemlerinin Tasarım Parametreleri

Tasarım için mevcut sismik simülatörlerin dizayn kriteri açıklamaları bize yardımcı olacaktır. Ayrıca eskiden yapılmış sismik simülatörlerin yapısı ve veri parametreleri değerleri de sistemin biçimlendirilmesine katkı sağlayacaktır.Bu kriterlerin açıklamaları ileriki kısımlarda detaylı olarak anlatılacaktır.

2.12.1 Simülatör Platformu

Sistemde kullanacağımız model yapı simülatör platformu üzerine sabitlenir ve bu platform hareket eden bir taban görevi görür ve platform hareket düzeneğiyle kontrol edilir.Bu platform yüzey üzerinde ve dışında önemli ölçüde sertliğe ve dayanıklılığa sahip olmalıdır.Simülatör platformu tabla üzerindeki titreşimleri modelin geri besleme arayüz etkilerini en aza indirecek uygun araçlara sahip olmalıdır. Simülatör platformu aşağdaki üç şartı sağlamalıdır.

- Platformun doğal frekansı maksimum çalışma frekansının en az 3 veya 4 katında test edilmelidir.
- Platform parçaları durgun kuvveti küçültmek için mümkün olduğuunca hafif olmalıdır. Böylece daha küçük kuvvetlere ihtiyaç duyarak platformu sürebiliriz. Buna ek olarak,

simülâtörün maksimum ivmelenme kapasitesinin bu şekilde yapılmış platformlarda arttığını görebiliriz.

- Kayan mil yataklarının aşırı döngüsünü önlemek için platform yeterince sert ve dayanıklı olmalıdır.

2.12.2 Destekleyici Sistem

Kayan yüzeyi simülâtör platformu için hazırlar. Uygun şekilde dizayn edilmiş tablalar aşağıdaki şekilde karakterize edilmiş destekleyici sistemlere sahiptir;

- Az sürtünme : İstenilen tabla cevabının düzgün olması ve deformasyonunun en aza indirgenmesi için gereklidir
- Sertlik : Tablanın hareket döngüsündeki ters hareketin oluşmasını önler.
- Büyük güç kapasitesi : Büyük boyutlardaki model çalışmaları için gereklidir.

Destek sistemimini oluşturan ekipmanları hava basıncı ve dikey düzenek , yağ tabakası,bükülgenlik desteği ve silindir yatakları olarak belirtecek olursak .Bu değerlerin mevcut deprem sistemlerinde seçilmesiyle ilgili açıklamalara. Çizelge 2.2.'de.Buna ek olarak küçük boyutta sallama tablaları için en önemli destekleme sistemi metodu silindir yatakları kullanılmasıdır.

Çizelge 2.4Daha önceden yapılmış deprem simülâtörlerinin yataklama türleri ve büyüklükleri

Örnek deprem simülâtörlerinin yapıldığı yerler	Destek methodu	Taşıma kapasitesi (kN)	Büyüklük (m)
U.C.Berkeley	Hava basıncı ve dikey aktivatör	444,8	6,1x6,1
ISMES	Yağ tabakası	1,33	3,05x1,98
University of Illinois	Bükülgenlik desteği	44,82	3,65x3,65
Stanford University	Bilyalı yataklar	22,24	1,5x1,5
Rice University	bilyalı yataklar	6,67	1,5x1,5
State of New York at Buffalo	dikey ve yatay aktivatörler	195,7	3,65x3,65
Washington State University	bilyalı yataklar	32,02	2,28x1,52

2.12.3 Simülasyon Şartları

Deprem simülatörünün performans yeteneği simülasyonun şartlarından olan uzunluk skalası, ivme ve zaman gibi büyüklükler küçük boyutlu dinamik modelin dizaynında istenen sonuca ulaşmak için gereklidir.

- Aktivatör uzunluk hassasiyeti: Modeldeki uzaklıklar protatip uzunlukların skalasına göre küçültülmüştür. Küçük boyutların uzunlukları gözden geçirilip oluşturularak simülatör sisteminin ihtiyaç duyduğu uzunluk tam bir şekilde elde edilmiş olur.
- Aktivatörün kuvveti: Aktivatörün kuvvet değeri simülasyonunu gerçekleştireceğimiz depremlerin ivme değerini sağlayacak yeterli değerde veya daha büyük olmalıdır.
- Yüksek frekans kabiliyeti: Zaman küçüldükçe frekans artacağından yüksek frekans kabiliyetine ihtiyaç vardır. Zaman skalasının tersine göre belirlenir.
- Test yapısı en az gerçek yapının $\frac{1}{4}$ skalasında olmalıdır.

2.13 Titreşim Tablalarının Dinamiği

Rea [14], Rinavi [15] ve Trombetti [16] küçük boyutlu çok yönlü deprem simülatörlerinin dinamik davranışı hakkında araştırmalar yapmıştır.

Rea ; 8.9 kN ve 444.82 kN 'lık deprem simülatörlerinin frekans cevabını deneylere dayanarak saptamıştır. Hafif tablalarda yapı titreşimlerinin etkisini, ağır tablalarda ise taban uyumluluğunun etkisi üzerinde çalışmışlardır. Bu iki şart için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Simülatör platformu ve test yapının içerdiği valf veya aktivatörün dinamiği, simülatörün detaylı analizini oluşturur.

Rivani, [15] 6.1m × 6.1m boyutundaki Deprem simülatörü'nün karşılıklı etkileşim açısından test etmiştir. Bu test üç tane yükleme şartı içeriyordu: düz bir tabla ,ters bir taban ve esnek yapı. Tabla –yapı sisteminin analizinden matematiksel model oluşturmuştur.

Trombetti [17] ,yapıların dinamik uygulamaları için deneysel-analitik şekilde deprem simülatörlerini modellemesi üzerinde çalışmalar yaptı ve elde ettiği veriler yardımıyla da ayarlarını yapmıştır.Bu çalışma Rice Üniversitesi'ndeki deprem simülatörünün özelliklerinin geliştirilmesi ve daha ileri seviyelere getirilmesinde faydalı olmuştur.Buna ek olarak temel aktivatörlü model sisteminin dinamiğini lineer kontrol teorisi ve lineer yapı dinamiğinin kombinasyonu ile modelledi ve analizini yaptı.Bu matematik modelinin uygulanmasında;aktivatörün yağının sıkıştırılabilirliği ,aktivatörün içindeki yağın sızıntı miktarı, zaman gecikmesi, temel esneklik ve örnek simülatörün dinamik karakteristiği verilerinden yararlanılmıştır.

Aynı zamanda deprem simülatörünün gerçek dinamik davranışında çalışması için hedeflenen durum ve gerçek tabla ivmeleri arasındaki transfer fonksiyon; deneysel sonuçlar ve özel hesaplama teknikleri kullanılarak özelleştirilmiştir.

2.14 Deprem simülatörlerinin uygulama alanları

Günümüzde deprem simülatörleri sadece depremlerin simülasyonunu gerçekleştirmek için kullanılmamaktadır. İnşaat tekniklerinde ve yüksek yapıların depreme dayanıklılıkları konusunda deprem simülatörlerine ihtiyaç duyulmaktadır.Bu gelişmelerin çerçevesinde;daha yüksek binaların inşaatlarının önünü açmıştır.Artık depreme dayanıklı ve oldukça yüksek binalar birçok zemin şartında yapılabilmektedir.

Deprem simülatörlerinin kullanım alanları;

- Mevcut inşaat tekniklerinin güvenilirliklerinin test edilmesi ve sınıflandırılması
- Yeni kolon kiriş sistemlerinin, aktif ve pasif deprem sönüm sistemlerinin geliştirilmesi ve performanslarının ölçülmesi
- Deprem ile oluşan tsunami gibi feleketlerin oluşum mekanizması ve etkilerinin incelenmesi

olarak üç genel kullanım amacı yazabiliriz.Örnek bir çalışma olarak Japonya-Kyoto Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvar'ında yapılan mevcut inşaat tekniklerinin güvenilirliğini, gerçek ölçekli geleneksel bir yapının deprem simülatöründe deprem dayanımının incelenmesini gösterebiliriz



Şekil 2.5 Japonya-Kyoto Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı

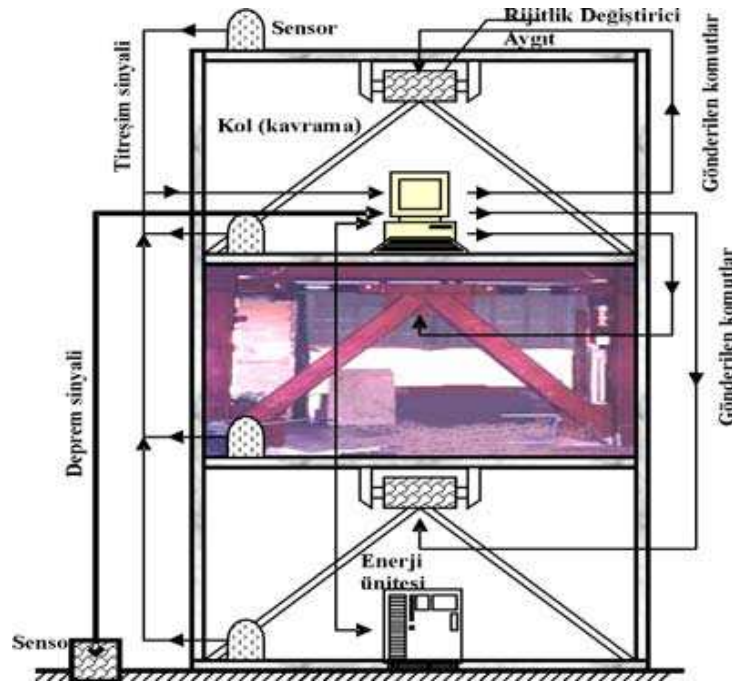
Kolon kiriş sistemlerinde depreme karşı dayanıklılığı artırmak için aktif ve pasif sönüm sistemleri kullanılmaktadır. Pasif kontrol yöntemleri, deprem etkileri dışında herhangi bir ilave enerjiye gerek duymadan çalışmaktadırlar. Çalışma prensibi ile yapıların yatay etkilere karşı kontrolü için sürtünme esasına ve hidrolik prensiplere göre çalışan enerji sönümleyen sistemlerden başka ;ayarlı kütle sönümleyiciler ve ayarlı sıvı sönümleyiciler özellikle yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak bu sistemler yapıların yer değiştirmelerinin maksimum olduğu en üst kat seviyesine yerleştirilen katı ya da sıvı kütlelerden oluşmaktadır. Yapılar tehlikeli salınımlar yaptığı zaman sistemler kendiliğinden devreye girmekte ve yapının periyodundan farklı bir periyotta salınım yaparak oluşabilecek yer değiştirmeler azaltmaktadır.



Şekil 2.6 Pasif sönüm sistemi

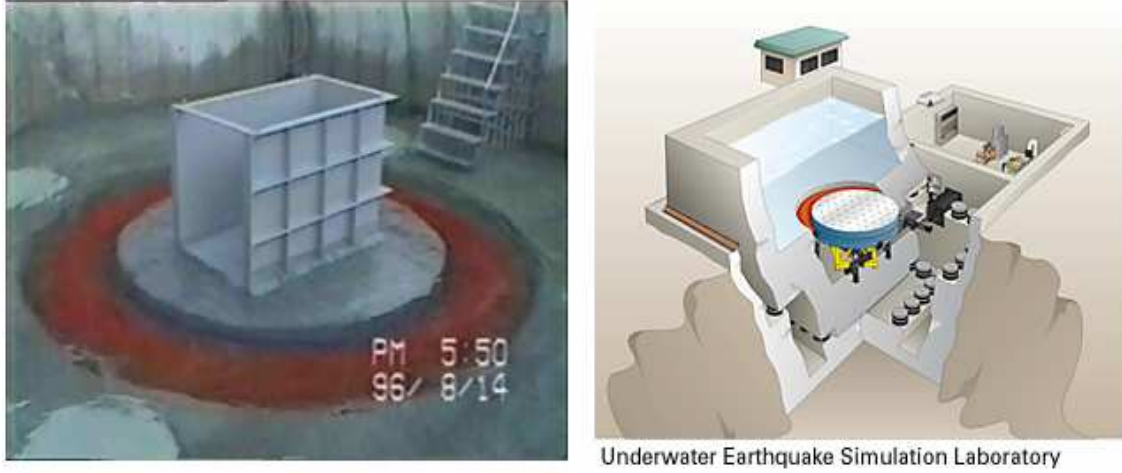
Sistemin düşey ve yatay olarak hareketlerindeki rijitlik yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu için deprem sırasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sıçramalar yapabilmektedir. Sonuç olarak mesnetleri tabakalandırmak suretiyle düşey rijitlik büyük oranda artırılmış ve söz konusu sıçrama problemi ortadan kaldırılmıştır. Tabakalandırma işlemi ise , birkaç milimetre kalınlığında rulo biçiminde üretilen kauçuğun daire biçiminde kesilerek ve aralarına birkaç milimetre kalınlığında çelik levhalar konularak yapılmaktadır [3].

Aktif kontrol sistemlerini , kontrol kuvvetini üreten ekipmanlar tarafından bilgisayar sistemi aracılığı ile verilen sinyallere uygun olarak kontrol sisteminin harekete geçirilmesi olarak açıklayabiliriz. Son yıllarda özellikle 1990'larda Japonya'da geliştirilen ve akıllı binalar olarak bilinen yeni bir kontrol metodu olan aktif kontrol sistemleri, pasif yapı kontrol sistemlerine alternatif bir sistem olarak sunulmuştur. Aktif yapı kontrolünde temel amaç yapıda meydana gelen ivmeleri azaltarak yer değiştirmeleri sınırlamak ve yapının güvenliğini sağlamaktır. Bunun için bu kontrol sisteminde, pasif kontrolden farklı olarak, yapıdaki sismik harekete karşı koyabilecek kontrol kuvvetlerini üretebilmek için yedekte sürekli bir enerji hazır bulundurulmaktadır.Şekil 1.1 de aktif sönüm sisteminin kontrol şeması görülmektedir.



Şekil 2.7Aktif sönüm sistemi

Deprem nedeniyle oluşan bir doğal afet olan tsunaminin oluşum mekanizmasını ve etkilerinin incelenmesi için ise büyük havuzlarda deprem dalgası yaratılarak incelenmiştir. Japonya-Kyoto Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda tsunami oluşumunun incelenmesi için tasarlanmış bir kontrol sistemi şu anda mevcut olarak bulunmaktadır. Şekil 1.1 de bu sistemi görebiliriz.



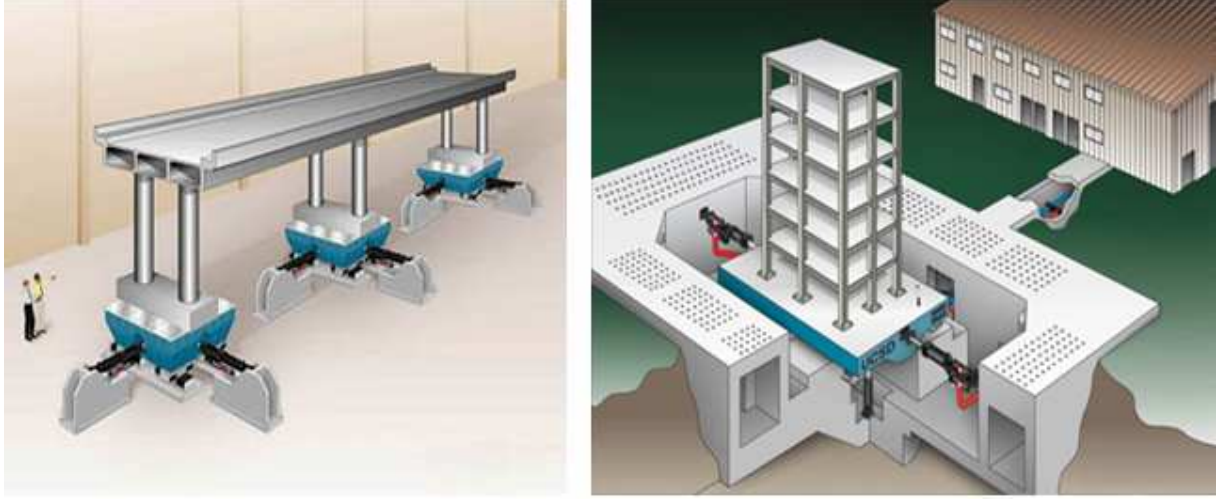
Şekil 2.8 Japonya-Kyoto Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı tsunami sistemi

2.15 Deprem Simülatörlerinin Dünyadaki Mevcut Uygulamaları

Deprem simülatörleriyle ilgili en büyük çalışma günümüzde Network of Earthquake Engineering Simulation (NEES) organizasyonu tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde birçok akademik kuruluşla beraber yürütülmektedir. NEES laboratuvarları aşağıda ismi yazılan üniversitelerde yer almaktadır;

- University of Buffalo, SUNY
- University of California at San Diego
- University of Nevada at Reno

Bunun dışında Japonya'daki Kyoto Üniversitesi bu konu hakkında çalışmalar yürütmektedir. Bu üniversitelerdeki araştırmalarda birebir ölçekli yapıların deprem davranışları büyük ölçekli deprem simülatörleriyle sağlanmaktadır. Bir çok yapı destek sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi bu laboratuvarlarda gerçekleştirilmektedir. NEES laboratuvarları bu konuda en gelişmiş teknolojiye ve birçok imkana sahip ve depremle ilgili bir çok testin yapılabilirdiği önemli bir tesistir. Şekil 1.1. de laboratuvarda bulunan mevcut sistemleri görebiliriz.



Şekil 2.9NEES laboratuvarlarında tasarlanmış büyük ölçekli simülatörler

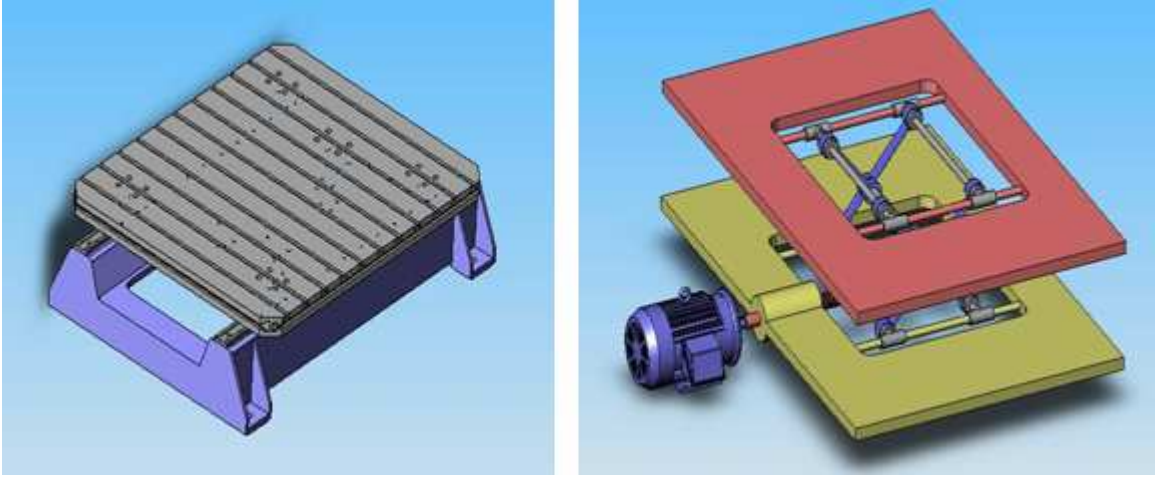
2.16 Türkiye’de yürütülen çalışmalar

Ülkemizde ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü bünyesinde bir deprem simülasyon abaratuarı bulunmaktadır.Burada bulunan sistem her geçen gün geliştirilmektedir.Okulumuz Yıldız Teknik Üniversitesi de bu konudaki çalışmalarına devam etmektedir şu anda iki serbestlik dereceli AC motor tahrikli bir deprem simülatörü üzerinde uygulamalara ve testlere devam edilmektedir.Şekil 1.1 de Boğaziçi Üniversitesi’nde mevcut olarak bulunan simülatörlerin resimleri görülmektedir



Şekil 2.10Boğaziçi Üniversitesinde bulunan deprem simülatörü

Şekil 2.11’de Yıldız Teknik Üniversitesi’nde bulunan deprem simülatörünün makas sistemi ve sallama tablasının eksen çizimlerini görebiliriz.İleriki kısımlarda kontrol sistemiyle birlikte bütün olarak resmi mevcuttur.



Şekil 2.11Yıldız Teknik Üniversitesi’nin tasarladığı deprem simülatörlerinin eksen

3 Deprem Simülatörünün Tasarımı

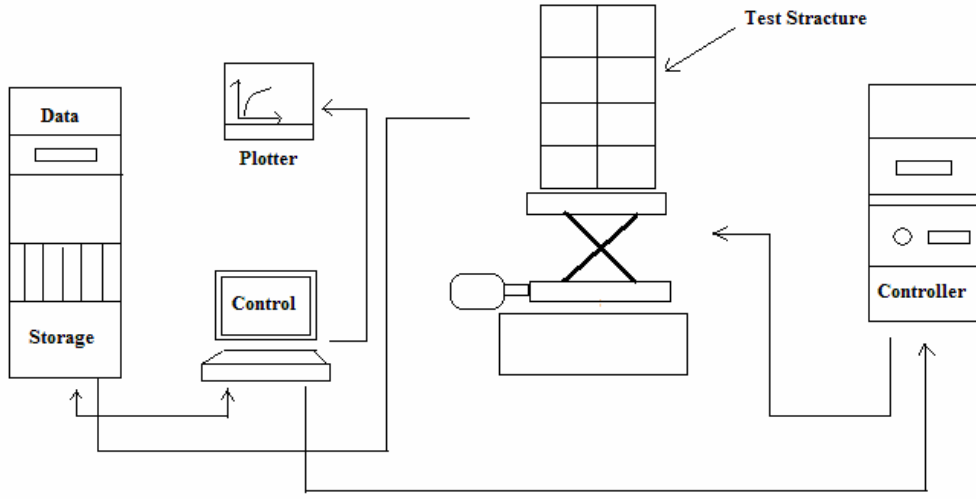
3.1 Sistemin Genel Açıklaması

Şekil 3.1’de gördüğümüz tek eksenli ,konum kontrollü deprem simülatörü kontrol sisteminde makas sistemi,AC motor bulunmaktadır. Sistemin kontrolünü yaptığımız National Instruments gerçek zamanlı kartını çalıştıran bir bilgisayar, bir sürücü ve bağlantı kabloları görülmektedir.



Şekil 3.1Deprem simülatörü

Sistemin genel içeriği şekil 3.2’de gösterilmiştir. Burada sistemin elemanlarını ve aralarında ki bağlantıları görebiliriz.Ana hatlarıyla sistem elemanları; (1) kontrol bilgisayarı ve bilgi yöneticisi kart (2) sisteme girilen ve sistemden alınan grafiklerin çizicisi (3) sallama tablası ve ona bağlı test ünitesi (4) sistemi hareketlendiren kısım (5) sistemin kontrol edildiği ara birimidir.



Şekil 3.2 Deprem simülatörünün çalışma diyagramı

Şekil 3.2’de görmüş olduğumuz bağlantı şemasına bakacak olursak testler sonucunda elde ettiğimiz verileri depoladığımız bir bellek, aynı şekilde bilgisayar üzerinden takip edebildiğimiz giriş ve çıkış dalga şekillerini görebiliriz. Kullandığımız kontrol programı yardımıyla sistemin frekansını ve genliğini ayarlayarak değişik değerlerde sistemin buna nasıl cevap verdiğini çıkış verilerinden elde edebiliriz

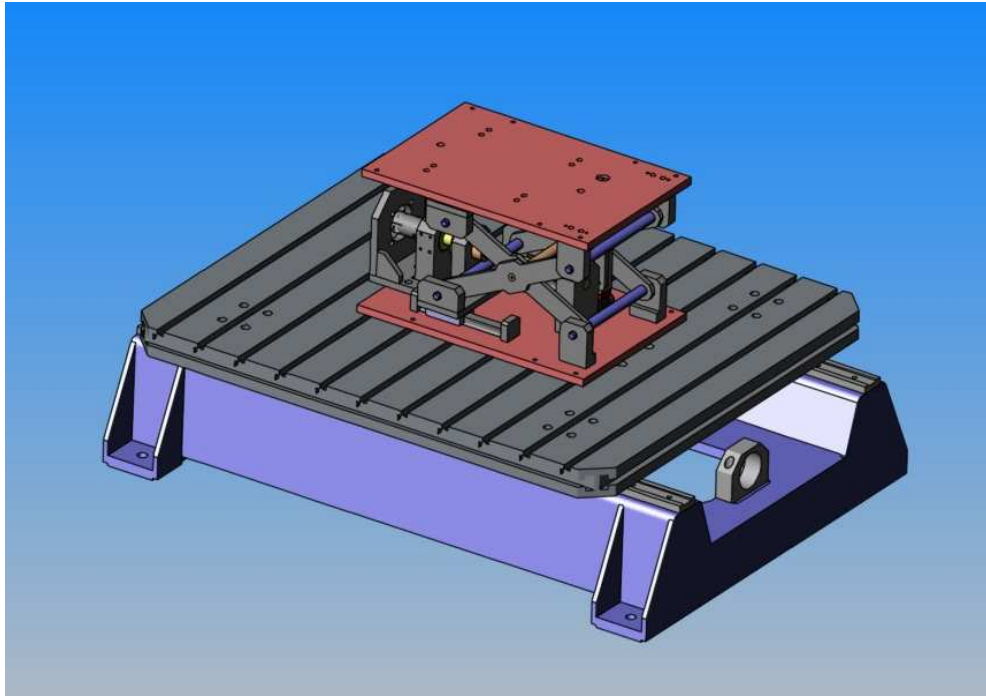
Kontrol bilgisayarı ve bilgi yönetici kartı hedeflenen dalga şekli kayıtlarını belleğinde içerir. Sallama tablası tarafından bu dalga şekli üretilir. Sallama tablasının hareketi esnasında mekanik kısmının ve program kısmının performansı ve data yönetimi önemlidir. Öncelikle sistemin kontrol algoritması bilgisayarda voltaj sinyaline dönüştürülür ve daq kartındaki gerçek zaman kartının input /outputları ile kullandığımız motorun sürücüsüne gönderilir. Motorun sürücüsündeki voltaj sürücü tarafından akım haline getirilir ve motor sürülür. Motorun geri beslemesi için bir konum bilgisi alınması gerekmektedir. Bunu içinde sistemde bir potansiyometre bulunmaktadır. Bu elemanla konum geri beslemesi alınır ve sistemin konum bilgisi daq kart üzerinden bilgisayara gönderilerek sistem çalışırken sistemin belli konum aralığında kalması sağlanır.

3.2 Makas Sistemini Tasarımı

3.2.1 Makas Sisteminin Seçimi

Daha önceden üniversitemizde yapılmış olan sadece yatay eksende çalışan deprem simülatörüne modüler olarak bağlanabilen ve düşey eksendeki hareketi sisteme ekleyen bir cihaza ihtiyaç duyulmuştur, böylece sistem iki serbestlik derecesine çıkacak ve deprem titreşimleri gerçeğe daha yakın olarak simüle edilebilecektir. Tasarım aşamasında motor, diğer sistemin konstrüksiyonuna zarar vermemek adına yatay konumda durmalı tabla hareketi ise düşey konumda olmalıdır, böylece tablaya bağlanabilen modüler bir sistem elde etmiştir.

Makas sisteminin kullanılmasının bize sağlamış olduğu diğer bir avantajı ise tasarım ve imalatının kolay oluşudur. Makas sistemi bir vidalı mil tarafından tahrik edildiği zaman kontrolü kolay ve kararlı bir sistem oluşturulabilmektedir. Bu karaktere uygun olarak, motorun tahrik ettiği vidalı mil tarafından tahrik edilen bir makas sistemi uygun görülerek, sistem konstrüksiyonun tasarımı bu yönde sürülmüştür



Şekil 3.3 Modüler düşey eksenin sisteme bağlantı şekli

Sistemimiz deprem titreşimlerini doğrulukla verebilmesi için boşluksuz ve kararlı bir yapıya sahip olmalıdır.Bu nedenle sistem içerisindeki tüm yataklamalar bilyalı yataklardan seçilmiştir.Buna ek olarak tahrik için kullanılan vidalı mil sistemi de bilyalı seçilmiştir.

3.2.2 Tasarımın Boyutlandırılması

3.2.2.1 Seçilen Motorun Anma Moment Hesabı

Tahrik için katalog değeri 1.1 kW 2800 devir/dak asenkron AC motor WAT(Arçelik) marka motor seçilmiştir.Motorun uygulayacağı max moment formül aşağıda hesaplanmıştır.

Motor milinden alınan moment (Nm olarak) :

$$M = 9.55 \times P \times 1000 / n \quad (4)$$

M: Anma momenti

P: Anma gücü (kW)

n: Anma hızı (d/dak)

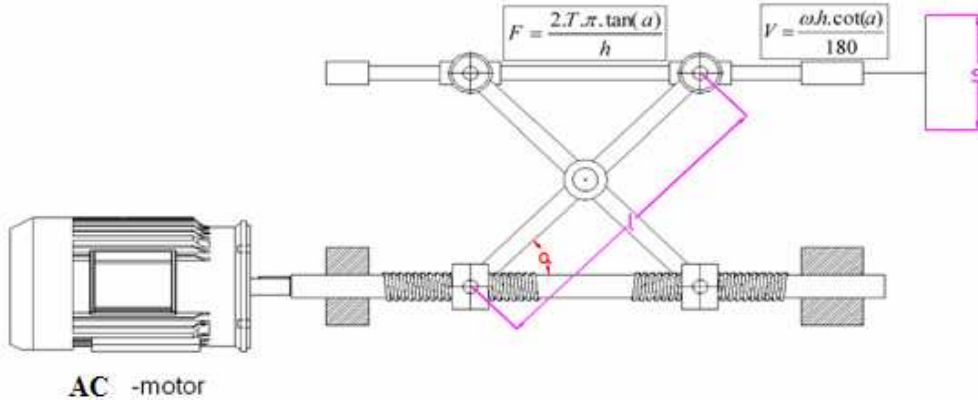
Verilen değerler denklemde yerine konulduğunda

$$M = 9.55 \times P \times 1000 / 2800$$

M=3.75 Nm olarak hesaplanır.

H (vidalı milin bir devirde aldığı lineer yol)=0.055 m

Aşağıda seçilen değerler için excelde hazırlanmış dizayn tablosunda ulaşılan kuvvet ve hız değerleri verilmiştir. Böylece sistemimizin performansı hakkında bilgi sahibi olup ona göre tasarım yapılmıştır.Sistemde kullandığımız makas sistemi mekanik yapısı gereği kapanma açısına göre değişken hız ve kuvvetler oluşturmaktadır.Bu sebepten optimum çalışma açılarını tespit etmek ve sistemin boyutlandırılması için bir dizayn tablosu ihtiyacı doğmuştur.Tablo 3.5 de kapanma açısı 0-90 derece aralığındaki kuvvet ve hız değişimleri gösterilmiştir.Açı kuvvet grafiğine baktığımızda kapanma açısı yükseldikçe kuvvet değerinin lineerliğinin kaybolduğu görülmektedir.Düşük değerlerdeki kapanma açılarında ise hızın lineerliğini yitirdiği görülmektedir.Grafik incelenerek sistemin en lineer olduğu noktanın yaklaşık olarak 35 derece olduğu tespit edilmiştir.Bu değer bizim çalışma aralığımızı belirlemiştir.Tablo 3.1 da açı kuvvet grafikleri belirlemiş olduğumuz çalışma aralığı için incelenmiştir



Şekil 3.4 Makas sistemi

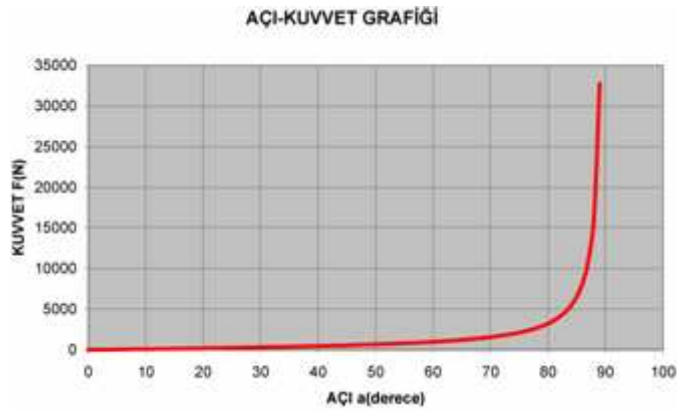
Şekil 3.4'deki parametrelerden

L=makas boyunu (m)

s=tabla stroku (m)

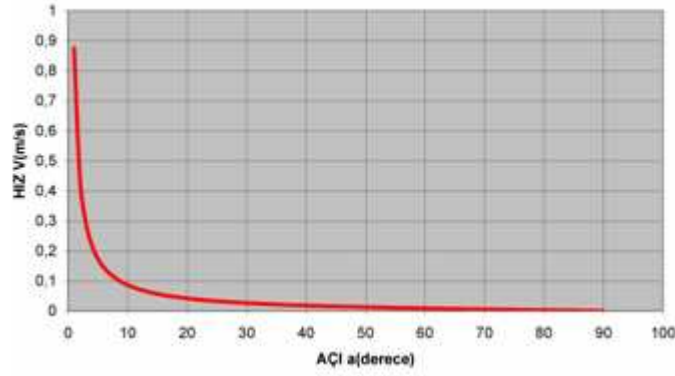
α=orta eksendeki kapanma açısı (deg) 'nı göstermektedir.

Bu sisteme T=5,00 Nm maksimum tork ve ω=50 deg/sn değerlerinde 0-90 derece kapanma açısı aralığında uygulanmış olup şekil 3.5 ve şekil 3.6'da bulunan grafikler elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Makas sisteminin açı-kuvvet grafiği

AÇI-HIZ GRAFİĞİ



Şekil 3.6Makas sisteminin açı-hız grafiği

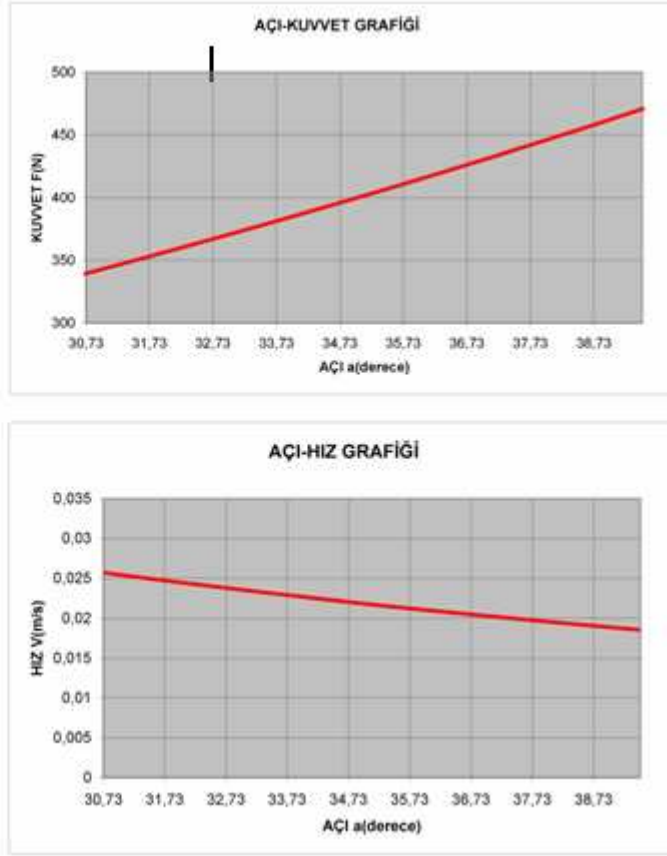
Çizelge 3.1Dizayn tablosu 1

a (derece)	F (N)	V (m/s)				
0	0	sonsuz				
1	9,970309772	0,875263303				
2	19,94669689	0,437498314				
3	29,93525352	0,291517366				
4	39,9340158	0,218482401				
5	49,97340775	0,174625799				
6	60,03539879	0,145358346				
7	70,13437718	0,124427515				
8	80,27673706	0,108707037				
9	90,46898076	0,096460093				
10	100,7177359	0,086644583				
11	111,0297729	0,078597353				
12	121,4120241	0,071876293				
13	131,8716024	0,066175326				
14	142,4158222	0,06127582				
15	153,0522208	0,057017443				
16	163,7885813	0,053279943				
17	174,6329569	0,049971359				
18	185,5936965	0,047020165				
19	196,6794728	0,044369888				
20	207,8993117	0,041975349				
21	219,2626241	0,039799972				
22	230,7792405	0,037813827				
23	242,459448	0,035992189				
24	254,3140304	0,034314451				
25	266,3543115	0,0327633				
26	278,5922031	0,031324086				
27	291,0402562	0,029984327				
28	303,7117172	0,028733321				
29	316,6205898	0,027581841				
30	329,7817026	0,026461887				
31	343,210783	0,025426492				
32	356,9245392	0,024449555				
33	370,9407498	0,023525715				
34	385,2783639	0,022650237				
35	399,9576106	0,021818928				
36	415,0001215	0,021028057				
37	430,4290669	0,020274296				
38	446,2693063	0,019554664				
39	462,5475581	0,018866484				
40	479,2925885	0,018207347				
41	496,5354235	0,017575073				
42	514,3095874	0,016967691				
43	532,6513716	0,016383411				
44	551,6001383	0,015820602				
45	571,1986643	0,015277778				
46	591,4935321	0,014753579				
47	612,5355748	0,014246758				
48	634,380385	0,013756173				
49	657,0888976	0,01328077				
50	680,7280603	0,012819578				
51	705,3718063	0,012371701				
52	731,1009507	0,011936308				
53	758,0062296	0,011512631				
54	786,1875145	0,011099955				
55	815,7562339	0,010697615				
56	846,8368449	0,010304991				
57	879,5688105	0,009921505				
58	914,1089454	0,009546615				
59	950,6342173	0,009179815				
60	989,3451078	0,008820629				
61	1030,469668	0,008468611				
62	1074,268445	0,008123339				
63	1121,040499	0,007784417				
64	1171,130816	0,00745147				
65	1224,939489	0,007124145				
66	1282,933205	0,006802105				
67	1345,659725	0,006485032				
68	1413,766305	0,006172623				
69	1488,023394	0,005864589				
70	1569,355432	0,005560666				
71	1658,881374	0,005260561				
72	1757,968726	0,004964051				
73	1868,306647	0,004670885				
74	1992,006472	0,004380832				
75	2131,742436	0,004093668				
76	2290,952712	0,003809178				
77	2474,133234	0,003527153				
78	2687,278435	0,003247392				
79	2938,562382	0,002969699				
80	3239,4286	0,002693884				
81	3606,406432	0,002419762				
82	4064,289681	0,002147152				
83	4652,039801	0,001875875				
84	5434,592268	0,001605759				
85	6528,830608	0,001336632				
86	8168,521464	0,001068326				
87	10899,11979	0,000800674				
88	16356,98963	0,000533512				
89	32723,94956	0,000266675				
90	sonsuz	9,35877E-19				

Dizayn tablosu 1 den yararlanarak bir çalışma aralığı belirlenmiştir. 35 derecelik kapanma açısı referans konum olarak tespit edilip bu konumdan +50 mm ve -50mm maksimum genlikte çalışılacağı var sayılmıştır. Buna dayanarak oluşturduğumuz dizayn tablosu 2 de bu çalışma aralığı için oluşan hız ve kuvvetler hesaplanmış grafik çıktıları alınmıştır. Grafikler incelendiğinde lineer bir karaktere sahip olduğu görülmektedir. Böylece sistemin kontrol edilebilirliği artırılmıştır.

Üst limit a açısı = 46,8718
Alt limit a açısı = 24,6659

a (derece)	F (N)	V (m/s)
24,66590894	262,3103814	0,033268398
25,63138444	274,0573504	0,031842409
26,59689995	285,9958312	0,030213194
27,56233546	298,1374998	0,028270542
28,52781096	310,4946561	0,028105625
29,49328647	323,0800719	0,027010765
30,45876197	335,9052011	0,025979299
31,42423748	348,9928996	0,025003226
32,38971299	362,3498543	0,024083482
33,35518849	375,9954818	0,023209444
34,320664	389,8472518	0,022279043
35,2861395	404,2237819	0,021588651
36,25161501	418,8449458	0,020635028
37,21709052	433,831989	0,020115267
38,18256602	449,2076009	0,019426753
39,14804153	464,9963593	0,018767128
40,11351703	481,2242936	0,01813426
41,07899254	497,9186654	0,017526213
42,04446805	515,1128719	0,016941231
43,00994355	532,8367339	0,016377711
43,97541906	551,1267527	0,015834191
44,94089456	570,021399	0,015309331
45,90637007	589,9624408	0,014801903
46,87184558	609,7953148	0,014310779



Şekil 3.7 Dizayn tablosu 2 ve açı-hız , kuvvet-hız grafikleri

3.3 Makas sisteminde kullanılan ekipmanlar

3.3.1 Kaplin

Motor miliyle vidalı mile tahrik vermek amacıyla bir bağlantı ekipmanı kullanma gerekliliği duyulmuştur. Sistemimizde yüksek ivmelenmeler ve yüksek frekanslı titreşimler oluşturulacağı düşünülerek bu bağlantı servo motorların bağlantısında kullanılan bir **kaplin** sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8 te kaplin sisteminin bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.8Sistemde kullanılan bağlantı elamanı kaplin

Deprem simülöründe FESTO KSE-40-66-D19-D20 model kaplin kullanılmıştır.Kullanılan elaman servo motorların bağlantısında kullanılan kaplin tipidir.Yaptığımız uygulamada AC motor kullanılmasına rağmen yüksek ve ani ivme değişimleri olmasından dolayı bu tip kaplin kullanılması uygun görülmüştür.Böylece vidalı milin tahrikinde oluşan yüksek momentler sönmülmüş olmaktadır. Çizelge 3.2 te kullanmış olduğumuz elemanın katalog bilgileri verilmiştir

Çizelge 3.2 Kaplin'in katalog bilgileri.

KSE-40-66-D19-D20

KAPLİN

Ürün Özellikleri	Değerler
Çap 1	19 mm
Çap 2	20 mm
Ebat	40
Kütle atalet momenti	42,3 kgmm ²
Transfer edilebilir tork	23,1 Nm
Ürün Ağırlığı	139 g

3.3.2 Rulman

Sistemimizde 3 çeşit bilyalı standart rulman ve tek çeşit masuralı özel tip rulman kullanılmıştır.Rulman kullanmamızdaki amaç sistemdeki sürtünmeleri ve boşlukları minimize ederek simülörün daha kararlı ve kontrol edilebilir çalışmasını sağlamaktır.Standart

rulmanlardan birincisi FAG 6002-2RSLTN9/HC5C3WT kodlu rulmandır sistemde 8 adet kullanılmıştır mafsalların plakalara yataklanmasında kullanılmıştır. Diğer tip standart rulmanlar ise FAG 6204-2RSLTN9/HC5C3WT ve FAG 6205-2RSLTN9/HC5C3WT kodlu rulmanlardır.Sistemde birer adet kullanılmıştır,vidalı milleri yataklamıştır. Çizelge 3.3’de katalog değerleri verilmiştir.Şekil 3.8 te kullanılan rulmanlar gösterilmektedir.



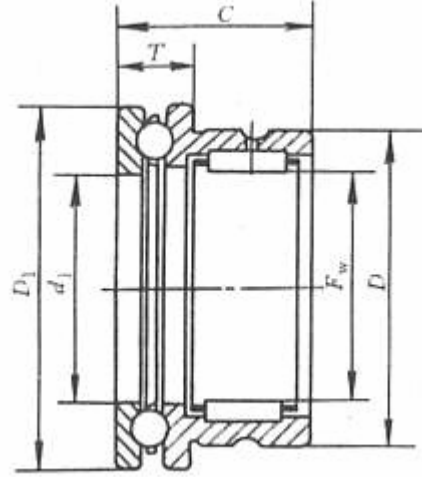
Şekil 3.9Rulman

Çizelge 3.3 Rulman katalog değerleri

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min	kg	-	
15	32	9	5,85	2,85	0,12	63000	43000	0,030	6002-2RSLTN9/HC5C3WT
20	47	14	13,5	6,55	0,28	45000	30000	0,097	6204-2RSLTN9/HC5C3WT
25	52	15	14,8	7,8	0,335	38000	26000	0,12	6205-2RSLTN9/HC5C3WT

Özel tip mesuralı rulman NKX 15 kodlu rulmandır. Sistemde 2 adet kullanılmış olup mafsalları birbirine yataklar.Bu rulman şekil 3.9’da gösterilmiştir.Simülatörde mafsallar birbirine aksi yönde döndüklerinden hem alından hemde mil üzerinden yataklama ihtiyacı

doğmuştur. Bu sebepten dolayı bu tip bir rulman seçilmiştir. İmal ettiğimiz bağlantı mili bu rulmanın masuralarının üzerine direkt yerleştirildiğinden dolayı mile ısıtma işlemi uygulanmış olup hassas olarak taşlanarak uygun ölçüye getirilmiştir. Bu işlem mekanizmanın boşluksuz çalışabilmesi için önemlidir. Özel tip rulmanın katalog bilgileri çizelge 3.4’de verilmiştir.



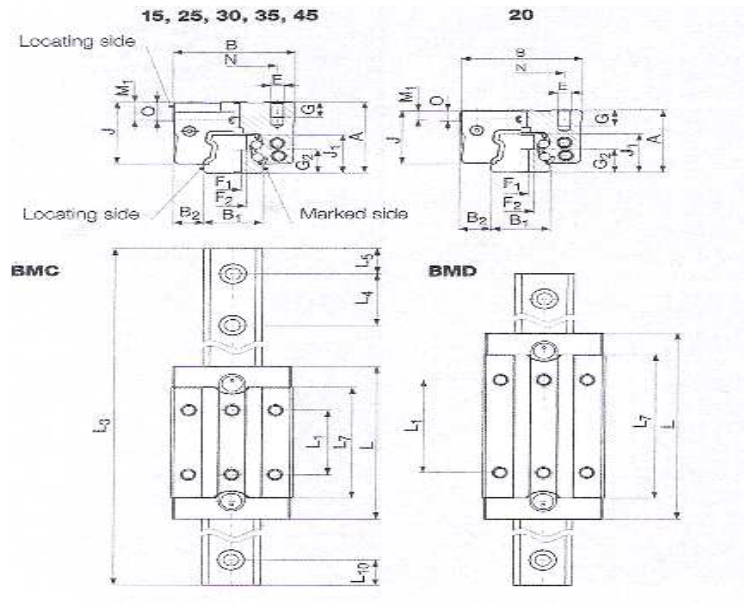
Şekil 3.10 Rulmanın yan kesiti

Çizelge 3.4 Özel tip rulmanın katalog bilgileri

Without end cap Designation	Designation to DIN 5 429	Mass m	With end cap Designation	Designation to DIN 5 429	Mass m	Dimensions						
						F_w	D	D_1	D_2	C	C_1	
		g			g			max.	max.	-0,25	0,2	
NKX15	XL NAXK15	44	NKX15-Z	XL NAXK15Z	47	15	24	28,1	29,2	23	9	
		Mounting dimensions		Basic load ratings				Fatigue limit load		Limiting speed n_G	Recommended inner rings Designation	
C_2	d_w	r	d_a	r_a	radial		axial					
E8	min.		max.		dyn. C_1	stat. C_{01}	dyn. C_a	stat. C_{0a}	C_{ur}	C_{ua}	min^{-1}	
6,5	15	0,3	23,7	0,3	12 100	12 700	10 500	16 800	2 320	810	9 200	IR12X15X16

3.3.3 Bilyalı Kızak

Sistemde lineer hareketlerin sağlanması için bilyalı kızaklar kullanılmıştır. Rulmanlar ile benzer şekilde kızaklamalarda sistemin düşük sürtünmeli ve kararlı olması için kullanılmıştır. Kızak tipi SCHNAIBERGER BMC20 model 4 adet kullanılmış olup şekil 3.10 da gösterilmiştir. Katalog değerleri ise çizelge 3.5’de verilmiştir.



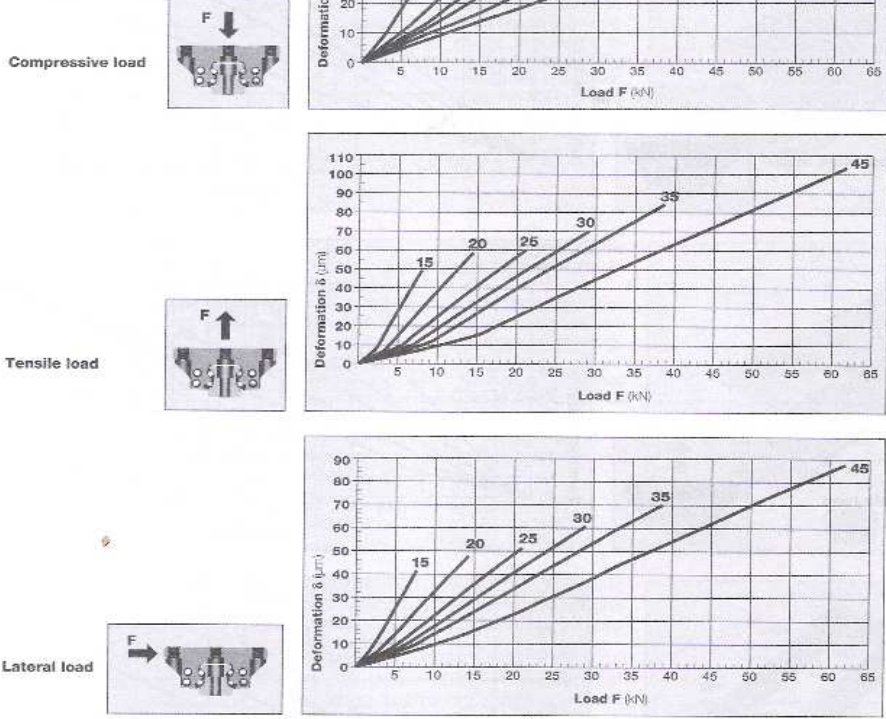
Şekil 3.11 Kızak tipi rulman

Çizelge 3.5 Kızak tipi rulmanın katalog değerleri

Type	Dimensions (mm)														
	A	B	B ₁	B ₂	J	J ₁	L*	L ₁	L ₄	L ₅ / L ₁₀	L ₇	N	E	F ₁	
BMC 20	30	44	20	12	25.5	19	75.5	36	80	29	53.5	32	M	5	5.8
BMD 20							91.5	50			69.5				

Loading capacities		Moments				Weight	
C ₀	C	M ₀₀	M _{0L}	M ₀	M _L	Carriage	Rail
(N)	(N)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(kg)	(kg/m)
31 400	14 400	373	292	171	134	0.4	2.2
41 100	17 400	490	495	206	208	0.5	

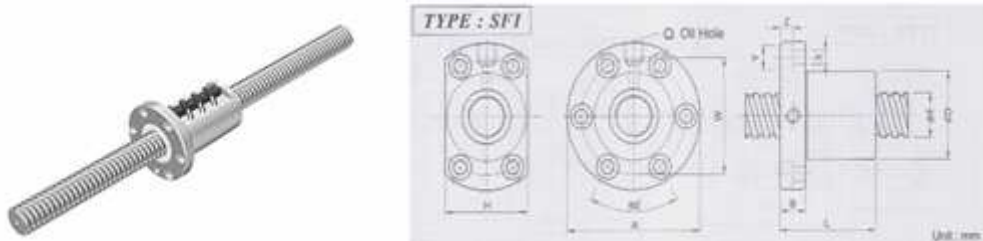
BMA 15, 20, 25, 30, 35, 45
 BMC 15, 20, 25, 30, 35, 45
 BMF 15, 25, 30, 35



Şekil 3.12 Kızak tipi rulmanın deformasyon kuvvet değerleri

3.3.4 Bilyalı Vidalı Mil

Bilyalı vidalı mil sistemine bakacak olursak mekanizmamız dönme hareketini lineer harekete dönüştürülme esasına göre çalışmaktadır. Sistem tahriki için vidalı mil kullanılması zorunlu olmuştur. Daha önce anlatıldığı gibi sistem yataklarından bilyalı ekipmanlar kullanılmıştır. Yataklamalardaki hassasiyet ve kararlılığı bozmamak için vidalı mil sistemi de bilyalı seçilmiştir. Sistemde kullanılan vidalı mil COMTOP Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Katalog değerleri ise çizelge 3.6 'da verilmiştir



Şekil 3.13 Bilyalı vidalı mil.

Çizelge 3.6Bilyalı vidalı milin katalog bilgileri

Model No.	Dimensions																
	d	l	D ₂	D	A	D	L	W	H	α	γ	z	Q	n	C ₂	C ₀₂	κ
SFI2504-4		4	2.381	40	63	11	46	51	46	5.5	9.5	5.5	M8	4	760	1950	31
SFI2505-4	25	5	3.175	40	63	11	51	51	46	5.5	9.5	5.5	M8	4	1280	3110	35
SFI2510-4		10	4.762	48	72	12	85	58	52	6.5	11	6.5	M6	4	1944	3877	33

3.4 Kontrol Sisteminin Tasarımı

3.4.1 Kontrol Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar

3.4.1.1 Motor

Asenkron AC motor, mekanik sistemin tasarımında sistemin istediğimiz gibi çalışması için 1.1 kW 2800 devir/dak. Çalışma bir motor kullanılma ihtiyacı görülmüş ve buna uygun olarak bir motor seçilmiştir. Çizelge 3.7’de motor ile ilgili katalog değerleri verilmiştir ve Şekil 3.13’de motor gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Motorun katalog değerleri

Çalışma frekansı	Anma devir sayısı	Anma gerilimi	Gücü
50Hz	2800 devir/dk	220V	1.1 kW

Motorun farklı frekanslarda çeşitli zamanlara tabi tutulduğu için orjinal soğutucu sökülerek yerine motor tahrikli bir fan takılmıştır. Böylelikle motordaki aşırı ısınmaların önüne geçilmiştir.



Şekil 3.14WAT AC asenkron motor

3.4.1.2 Motor Sürücü

Motor sürücü seçilirken ilk dikkate aldığımız husus 1.1 kW motor için olması. Bu sebepten sürücü 1.5 kW secilmiştir. Bir diğer husus ise motorun analog -10 +10 V gerilim ile sürülmesidir. Seçtiğimiz sürücünün bu şekilde sürülmeye uygun bir çalışma modu mevcuttur. Makinaların toplam yönetimi için yüksek güçlü bir hız kontrol cihazı ile aynı performansı sunar. Hız kontrol cihazının akı vektör kontrolü sayesinde motorun optimum yönetimi (1- 20 arası hızlar için 60 saniye süreyle hız kontrol cihazı anma akımının %150'si). Uygulamalara mükemmel adapte olan fonksiyonlar: dinamik frenleme, dönen yükü anında yakalama. Altivar 11, 0.18 kW - 2.2 kW arası 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorlar için kullanılan bir hız kontrol cihazıdır.

1 röle çıkışı (NA kontak)

4 lojik giriş (30 V maks.)

Dahili güç kaynakları : +5 V (potansiyometre güç kaynağı) ve +15 V kısa devre ve aşırı yük koruması

1 konfigüre edilebilir lojik/analog çıkış

1 konfigüre edilebilir analog giriş: 0-5 V dahili güç kaynağı, 0-10 V harici güç kaynağı, 0/4 - 20 mA (ilave direnç olmadan)



Şekil 3.15 Kullanılan telemecanique sürücü

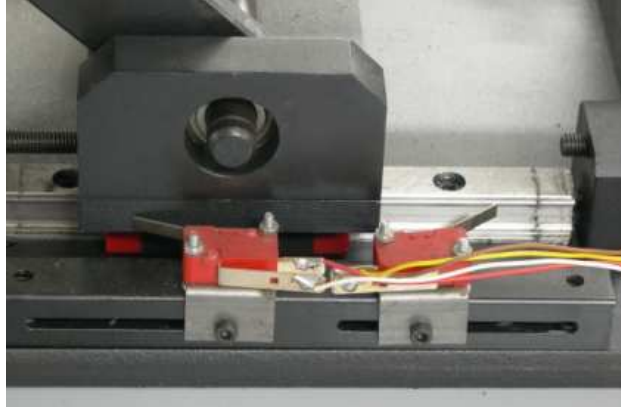
Altivar 11 AC Motor hız kontrol cihazları (Monofaze girişli / 220 V trifaze çıkışlı ,Açık çevrim vektör kontrollü ,B tipi EMC filtrelili ,CE direktiflerine tam uyumlu

Çizelge 3.8 Sürücünün katalog bilgileri

Güç (kW)	Akım (A)	Referans
0,18	1,1	ATV-11HU05M2E
0,37	2,1	ATV-11HU09M2E
0,55	3	ATV-11HU12M2E
0,75	3,6	ATV-11HU18M2E
1,5	6,8	ATV-11HU29M2E
2,2	9,6	ATV-11HU41M2E

3.4.1.3 Limit Switchler

Makas sisteminde sistemin yukarıdamı ya da aşağıdamı olduğunu anlaya bilmek için konulmuştur. 2 adet açık switch kullanılmıştır. Kontrol sistemimizde oluşacak bir problemten ötürü sistemimiz limitler dışarısına çıkacak olursa bunu PC'ye bildirecek switchler kullanılmıştır. Bu switchler DAQ kartının digital girişinden bilgisayara verilmiştir.



Şekil 3.16Sistemdeki limit switchler

3.4.1.4 DAQ Kart

Kontrol kartı olarak National Instruments 6025E kullanılmıştır.Bu kartın 2 adet analog çıkışı bulunmaktadır bu çıkışlar yatay ve düşey eksenleri sürmek için kullanılmıştır.Ayrıca analog input konum bilgisini okumak,dijital I/O limit switchleri okumak için kullanılmıştır.Şekil da gösterilmektedir.



Şekil 3.17DAQ kart

AIGND:(Analog input ground) Analog giriş toprak,analog giriş için referans bağlantı pinidir.ACH analog input ile birlikte kullanılır.

ACH:(Analog input) Analog giriş 15 adet bulunmaktadır.0-10 volt arası gerilim girişi bu bağlantı pinleri aracılığıyla yapılmaktadır.

DAC0OUT&DAC1OUT:Bu pinler aracılığıyla -10 ile +10 volt arasında analog çıkış alınabilmektedir.Kart üzerinde 2 adet analog çıkış yer almaktadır.

AOGND :(analog input ground):Analog çıkış için referans bağlantı pinidir.

DGND :(digital ground):Dijital bağlantı için referans bağlantı pinidir.

DIO(1--7):Dijital giriş ve çıkışlar bu bağlantı pinlerinden sağlanır.7 adet dijital giriş çıkış mevcuttur.

Kontrol kartı olarak National Instruments 6025E kullanılmıştır.Bu kartın 2 adet analog çıkışı bulunmaktadır bu çıkışlar yatay ve düşey eksenleri sürmek için kullanılmıştır.Ayrıca analog input konum bilgisini okumak,dijital I/O limit switchleri okumak için kullanılmıştır.Şekil 3.17 de gösterilmektedir.

AIGND	1	51	PC7
AIGND	2	52	GND
ACH0	3	53	PC6
ACH8	4	54	GND
ACH1	5	55	PC5
ACH9	6	56	GND
ACH2	7	57	PC4
ACH10	8	58	GND
ACH3	9	59	PC3
ACH11	10	60	GND
ACH4	11	61	PC2
ACH12	12	62	GND
ACH5	13	63	PC1
ACH13	14	64	GND
ACH6	15	65	PC0
ACH14	16	66	GND
ACH7	17	67	PB7
ACH15	18	68	GND
AISENSE	19	69	PB6
DAC0OUT	20	70	GND
DAC1OUT	21	71	PB5
RESERVED	22	72	GND
AOGND	23	73	PB4
DGND	24	74	GND
DIO0	25	75	PB3
DIO4	26	76	GND
DIO1	27	77	PB2
DIO5	28	78	GND
DIO2	29	79	PB1
DIO6	30	80	GND
DIO3	31	81	PB0
DIO7	32	82	GND
DGND	33	83	PA7
+5 V	34	84	GND
+5 V	35	85	PA6
SCANCLK	36	86	GND
EXTSTROBE*	37	87	PA5
PF10/TRIG1	38	88	GND
PF11/TRIG2	39	89	PA4
PF12/CONVERT*	40	90	GND
PF13/GPCTR1_SOURCE	41	91	PA3
PF14/GPCTR1_GATE	42	92	GND
GPCTR1_OUT	43	93	PA2
PF15/UPDATE*	44	94	GND
PF16/WFTRIG	45	95	PA1
PF17/STARTSCAN	46	96	GND
PF18/GPCTR0_SOURCE	47	97	PA0
PF19/GPCTR0_GATE	48	98	GND
GPCTR0_OUT	49	99	+5 V
FREQ_OUT	50	100	GND

Şekil 3.18DAQ kart üzerindeki girişler

3.4.1.5 Pozisyon Dönüştürücü

Kontrol sistemimizde kontrol için konum bilgisini geri beslememiz gerekmektedir. Bu amaçla kullandığımız diğer bir ekipman ise lineer pozisyon dönüştürücüsüdür. Bu ekipman potansiyometre mantığıyla çalışmaktadır. Ekipmana girdiğimiz 10 volt değerindeki gerilim pozisyona göre DAQ kartının analog girişine gönderebileceğimiz 0-10 voltluk bir gerilime dönüştürülebilmektedir. Böylelikle sistemin zamana göre konumu analog olarak okunmuş oluruz. Kullanmış olduğumuz Transducer OPKON LPT100 dür. Katalog bilgileri şekil da verilmiştir.



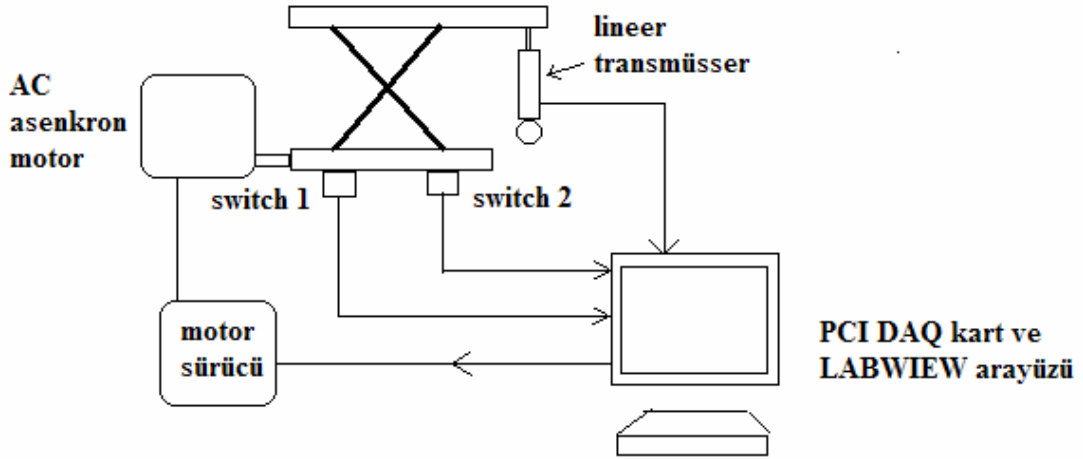
Şekil 3.19 OPKON Transducer

Çizelge 3.9 Transducerin katalog bilgileri

Model	LM	Mekanik Strok	Elektrik Ölçüm Aralığı	Toplam Uzunluk
LPT	100	102 mm	100 mm	243 mm

3.5 Kontrol Sisteminin Oluşturulması

Kontrol sistemimiz konum geri beslemesi ile bir asenkron AC motorun kontrolü esasına dayanmaktadır. Konum bir lineer dönüştürücü tarafından ölçülmektedir. Makas sisteminin kapanma açısına göre farklı davranışlar göstermesi, motor devrine göre plakanın hızını hesaplamak için formül (1)'i kullanmayı gerektirmektedir. Motor sürücümüze analog olarak hız girişi yapılabilir. Yani kontrol sistemimizin çıkışı motor devri, girişi ise konum olmaktadır. Doğal olarak geri beslememizde konum olmaktadır. Şekil 3.19'da kontrol sistemimiz görülmektedir.

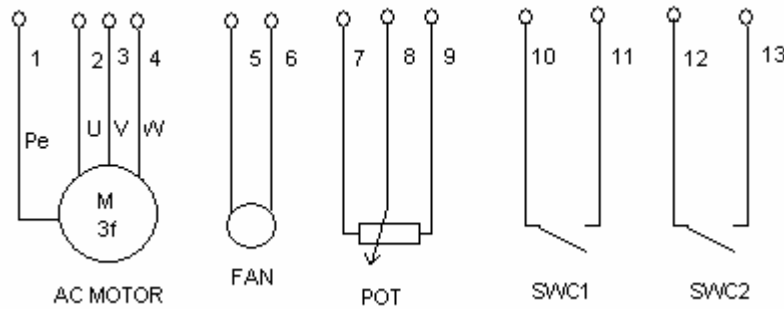


Şekil 3.20 Kontrol şeması

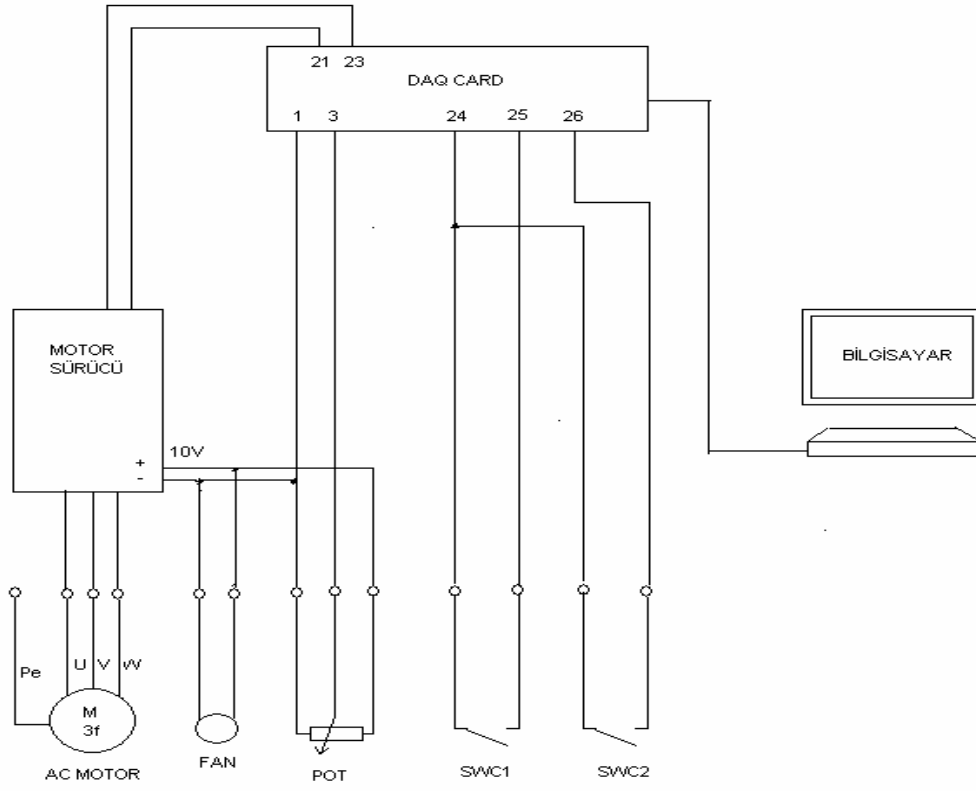
Lineer transdüser tarafından PC'ye analog 0-10 V giriş uygulanmaktadır. Bu analog giriş sayesinde sistemin konumu okunabilmekte ve kontrol sistemine dahil edilebilmektedir. Motor sürücüsü +10V -10V ile analog sürücüye programlanmıştır ve böylece PC tarafından kontrol edilebilir hale gelmiştir.

3.6 Elektriksel Devrenin Oluşturulması

Sistemin elektriksel devresi motor, motor sürücüsü, switchler, potansiyometre ve PC bağlantılarının oluşturulması şeklindedir. Aşağıda şekil 3.20'de sistemin bağlantı çizelgesi ve şekil 3.21'de ise sistemin devre şeması verilmiştir.



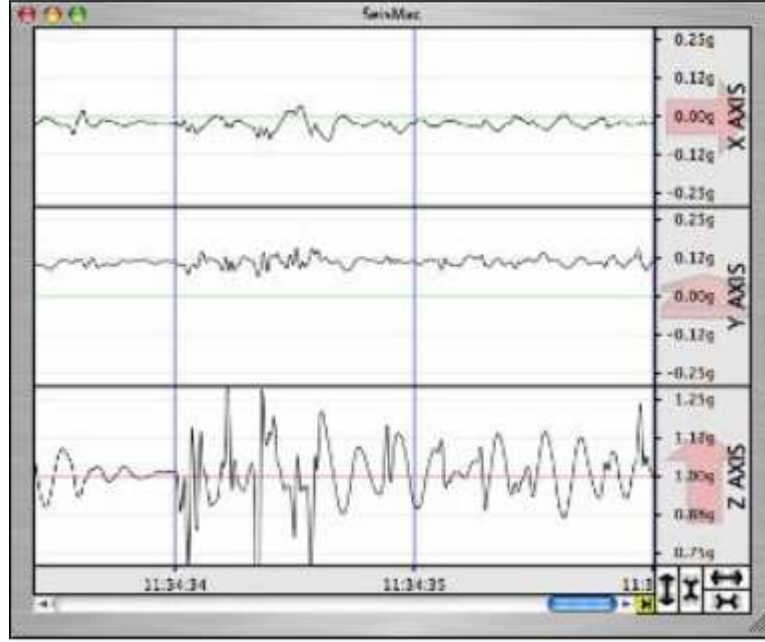
Şekil 3.21 Bağlantı çizelgesi



Şekil 3.22 Devre şeması

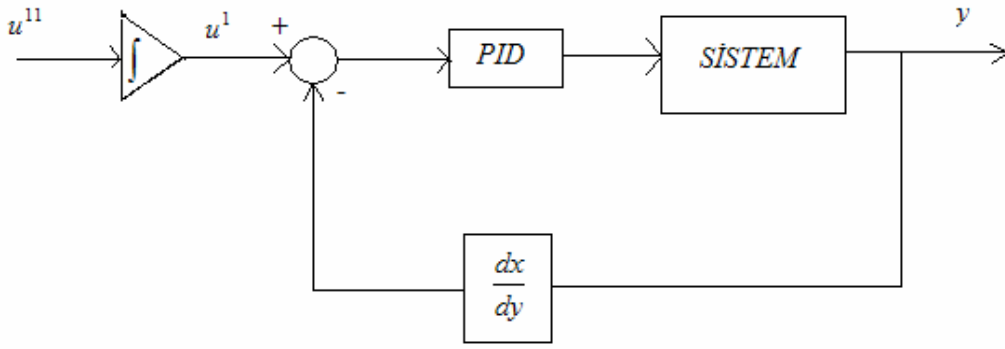
4 SİSTEMİN ÇALIŞTIRILMASI

Simulatörde oluşturmak istediğimiz titreşimler gerçek sismik titreşimlere olabildiği kadar yakın olmalıdır. Bu sebepten daha önce yaşanmış depremlerden elde edilen sismik veriler referans olarak kullanılmıştır. Şekil 4.1 de bu sismik verilere bir örnek gösterilmiştir.



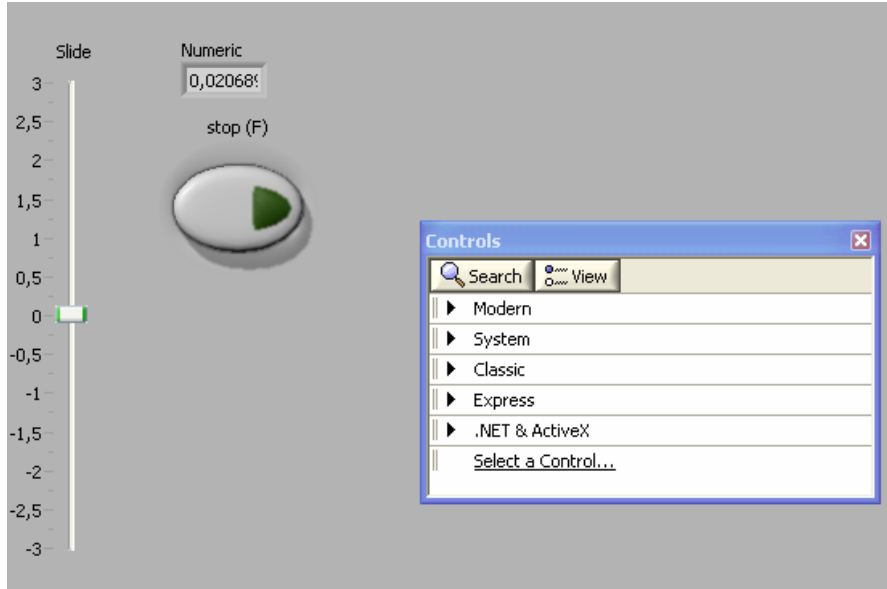
Şekil 4.1 Sismik veri

Şekilde de görüldüğü gibi sismik veriler üç eksen için verilmiş ivme verileridir. Bizim sistemimizde iki eksenli (x ve z) bir titreşim yaratmak mümkün olmaktadır. Bu sebepten verilerdeki y eksenini yok sayılmaktadır. Bu şekilde üç eksenli kaydedilmiş depremin iki eksenli olarak simülasyonunu gerçekleştirebiliriz. Simulatörde hız kontrolü yapıldığından dolayı ilk aşamada veriler integre edilerek hız verilerine dönüştürülmelidir. Transdüserden aldığımız konum verisinin türevi alınarak hız verisine dönüştürülmeli ve böylece hız için bir hata fonksiyonu oluşturulmalıdır. Hata fonksiyonumuzun oluşturulmasının ardından sistem kontrol edilebilir bir hal almış olur.



Şekil 4.2 Sistemin kontrol şeması

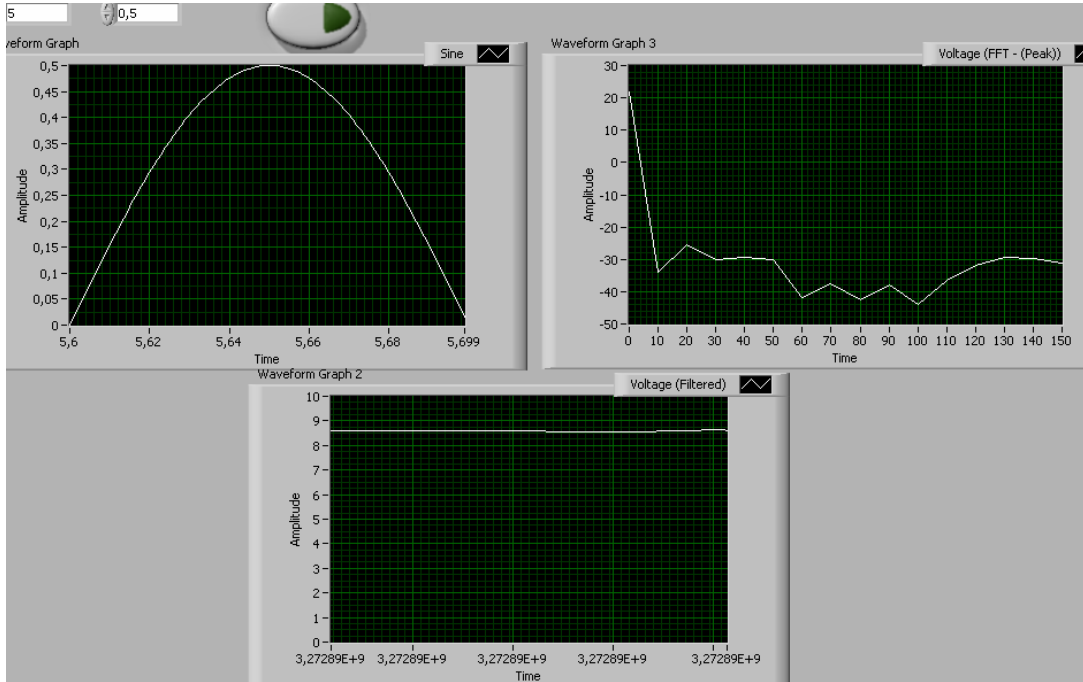
4.1 Analog Çıkışla İle Motorun Sürülmesi



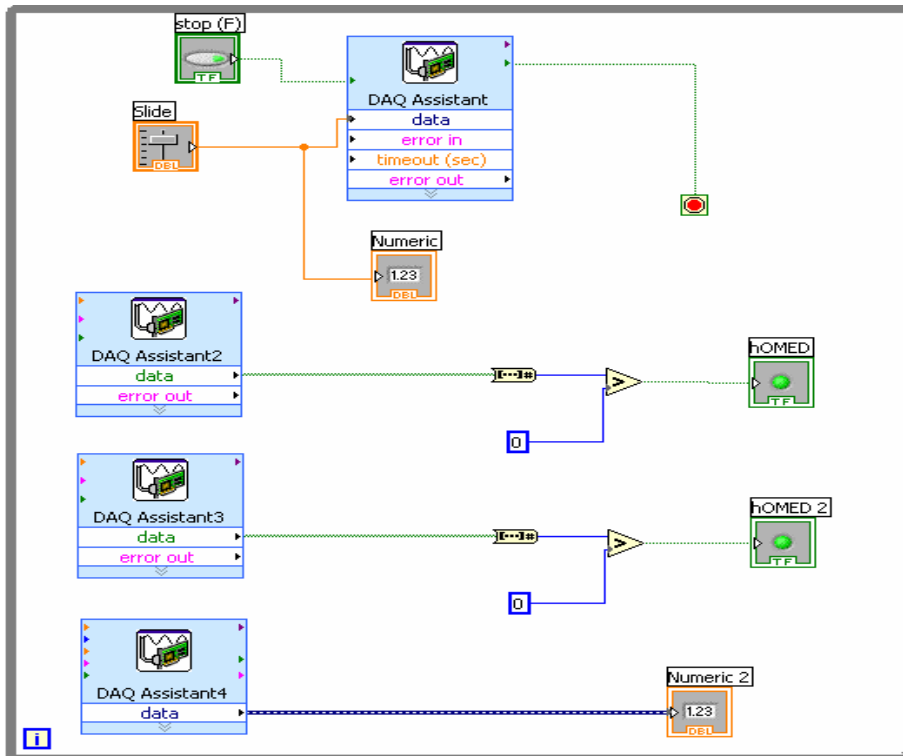
Şekil 4.3 LABVIEW arayüzü (test)

Şekil 4. 'da arayüzü gösterilen LABVIEW'da yazılan program motorun bilgisayar tarafından kumanda edilip edilemediğinin testinin gerçekleştirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu program vasıtasıyla analog çıkışlar verilebilmektedir. Bu çıkışlar motor sürücümüzün analog girişlerine bağlanarak motorumuzun düzgün olarak sürülebildiği görülmüştür. Ayrıca bu program kullanılarak digital girişlerden alınan limit switch girişlerinde çalışıp çalışmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak sistemimizin programlamaya hazır hale geldiği görülmüştür.

4.2 Sisteme Sinüs Dalgalarının Verilmesi



Şekil 4.4 LABVIEW arayüzü (sinüzoidal dalga)



Şekil 4.5 LABVIEW arayüzünde devre kurulumu

Şekil 4.4 ve şekil 4.5’de arayüzü ve program şeması gösterilen LABVIEW proramı ile motora istenilen frekans ve genlikte verilen sinüs dalgaları kullanılarak simülatörün titreşim kabiliyetleri test edilmiştir. Testler sonucunda uygun genlikle tabla üzerinde 10 Hz’e kadar titresimler oluşturulabildiği görülmüştür. Ayrıca lineer transnüslerden konum bilgisi okunarak sistemimizin çalışması test edilmiştir.

5 SONUÇLAR

Factorh Otomasyon Ltd. Şti.'de üretilen deprem simülatörünün düşey eksen ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Simülatör sistemi mekanik olarak tasarlanıp imalatı atölye ortamında gerçekleştirilmiştir. Sisteme uygun kontrol ekipmaları seçilmiş ve simülatöre entegre edilmiştir. Daha önceden imaltı gerçekleştirilen yatay eksenle çalışan tabla ile düşey eksenli tablamız monte edilebilir olarak tasarlanmış ve uygulamada da iki sistem birbirine rahatlıkla bağlanmıştır. Yatay ve düşey deprem dataları bağımsız olduklarından dolayı sadece iki eksen üzerinde eş zamanlılık sağlama ihtiyacı duyulmuş ve bu ihtiyaç LABVIEW'da yapılan yazılımla giderilmektedir.

LABVIEW ile sinüs dalgaları oluşturarak yapılan testlerde sistemimizin uygun genliklerde 10Hz' e kadar cevap verebildiği görülmüştür. Bu frekans değeri bizim için yeterli bir frekans değeridir.

Sonuç olarak deprem simülatörümüzün iki eksenle çalışma yeteneği kazanmasıyla deprem simülasyonları gerçeğe daha yakın olarak oluşturulabilecek ve gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalar için zemin hazırlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]Carydis, P. a, Vougioukas, E. A., Taylor, C. A., and Crewe, A. J., "Comparative Shaking Table Studies at the National Technical University of Athens and at Bristol University," 10. Deprem Mühendisliği Avrupa Konferansı, Madrid, Spain, p. 29932997, 1992.
- [2]Chang, K. C., Yao, G.C., Lee, G. C., Hao, D.S. ve Yeh, Y.C. "Dynamic Characteristics of a Full-Size Five-Story Steel Structure and a 2/5 Scale Model", Report No. NCEER-91-0011, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, New York, July 1991.
- [3]Clark, A. J., "Dynamic Characteristics of Large Multiple Degree of Freedom Shaking Tables," 10. Deprem Mühendisliği Avrupa Konferansı, Moorid, Spain, p. 28232828, 1992.
- [4]Clark, A. J., and Boon, a, "Design Considerations for Large Shaking Table Systems," 6. Deprem Mühendisliği Avrupa Konferansı, Dubrovnik, Yugoslavia, September 21, 1978.
- [5]Constantinou, M.C. ve Symans, M.D., "Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers", Report No. NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, New York, December 1992.
- [6]Conte, J. P., ve Trombetti, T. L., "Linear Dynamic Modeling of a Uni-axial Servo-Hydraulic Shaking Table System," J. of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2000; 29: 1375-1404
- [7]Crewe, A. J., ve Sevem, R. T., "The European Collaborative Programme on Evaluating the Performance of Shaking Tables," Phil. Trans. Royal Soc. Lond., A, 359, p. 1671-1696, 2001
- [8]Gomez, E. a, and Stoten, D. P., "A Comparatiye Study of the Adaptive MCS Control Algorithm on European Shaking Tables," 12. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı, Auckland, New Zealand, 2000.

- [9]Hwang, J. S., Chang, K. C. and Lee, G. C., "The System Characteristics and Performance of a Shaking Table", Report No. NCEER-87-0004, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, New York, June 1987.
- [10]Kim, D. H., and Tsao, T. C., "A Linearized Electrohydraulic Servovalve Model for Valve Dynamics Sensitivity Analysis and Control System Design," J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, ASME, (122) 179-186, March 2000.
- [11]Mills, R. S., "Model Tests on Earthquake Simulators-Development and Implementation of Experimental Procedures", Ph.D. Thesis, Stanford University, California, June 1979
- [12]Moncarz, P. D., "Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering", Ph.D. Thesis, Stanford University, California, May 1981.
- [13]Muhlenkamp, M. 1, "Analysis, Design and Construction of a Shaking Table Facility," M.S. Thesis, Rice University, Houston, Texas, April 1997
- [14]Rea, D., Abedi-Hayati, S. and Takahashi, Y., "Dynamic Analysis of Electro-Hydraulic Shaking Tables", *EERC Report No. UCB/EERC-91/13*, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, California, December 1977.
- [15]Rinawi, A. M. and Clough, R. W., "Shaking Table-Structure Interaction", *EERC Report No. UCB/EERC-91/13*, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, California, October 1991
- [16]Trombetti, T., "Analytical Modeling of a Shaking Table System", M.S. Thesis, Rice University, Houston, Texas, September 1996.
- [17]Trombetti, T., "Experimental / Analytical Approaches to Modeling, Calibrating and Optimizing Shaking Table Dynamics for Structural Applications", Vol. I, II and III, Ph.D. Thesis, Rice University, Houston, Texas, May 1998.
- [18]Yozgat, E. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilen Sismik Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	08.07.1979
Doğum yeri	İstanbul
Lise	1995–1997 Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi
Lisans	1998–2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003–2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Programı

Çalıştığı kurumlar

2002–2004 Kemsan Kalıp Ltd. Şti.
2005-2006 Uzun Kardeşler Kalıp Ltd. Şti
2006-2007 Devam Ediyor-Factorh Otomasyon Ltd Şti.