

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİJİTAL KONTROLLÜ ÇOK EKSENLİ TİTREŞİM MASASI
GELİŞTİRİLMESİ**

EMSAL DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. HÜSEYİN KURT**

İSTANBUL, 2018

Emsal DEMİR tarafından hazırlanan “DİJİTAL KONTROLLÜ ÇOK EKSENLİ TİTREŞİM MASASI GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman:Yrd.Doç.Dr. HÜSEYİN KURT

Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

Üye : Yrd.Doç.Dr. ARİF ŞENOL ŞENER

Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

Üye : Doç.Dr. MUSTAFA KEMAL BİLİCİ

Uygulamalı bilimler Yüksekokulu, Marmara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

Teslim Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Nuri KURUOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emsal DEMİR

.../.../2018

DİJİTAL KONTROLLÜ ÇOK EKSENLİ TİTREŞİM MASASI GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Emsal DEMİR

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2018

ÖZET

Titreşim masası adı ile bilinen deprem simülasyonu, bir mekanizma üzerine yerleştirilmiş metal tabladan oluşmaktadır. Bu metal tabla mekanizmalar sayesinde çok eksenli olarak hareket edip üzerine inşa edilecek olan yapıya deprem etkisi vermektedir. Bu mekanizmalar birbirlerinden bağımsız olarak metal tablayı hareket ettirmektedir. Hareketi meydana getiren mekanizma elektronik kontrol kartları ve gömülü sistemler sayesinde deprem verileri girilerek daha önce olmuş bir depremi tekrardan canlandırma veya farklı deprem verisi girilerek bu depremin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Metal tabla üzerine inşa edilen yapının belirli bölgelerine ivme ölçer sensörleri konularak mekanizma ile meydana getirilen depremin bina üzerindeki tahribatı ve deprem verileri bu şekilde bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. İnşa edilen yapıya tüm eksenler için tek tek hareket de verilebilmektedir. Bu hareket birbirlerinden bağımsız olarak çalışabilen liner kızaklar üzerinde çalıştırılan step motorlardan sağlanılmaktadır. Bu Metal tabla üzerine inşa edilen yapının üst bölgesine eksenel hareket edebilen bir mekanizma daha yerleştirilmiştir, bu mekanizma üzerine ağırlık konulmuştur. Bu ağırlık bina deprem etkisiyle sallandığında bina ya bağlanan ivme ölçerlerden aldığı veriye göre hareket edebilen bir servo motor yardımıyla konum değiştirerek binanın kütle merkezinin korunmasını sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde deprem tahribatını azaltabilmek için yazılım ve kontrol algoritmaları geliştirilip denemeler yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim masası, Akıllı binalar, Aktif kontrol, Servo motor

Sayfa Adedi : 50

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT

DEVELOPMENT OF DIGITAL CONTROLLED MULTI-AXIAL SHAKING TABLE

(Master Thesis)

EMSAL DEMİR

GELİŞİM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2018

ABSTRACT

The earthquake simulation, which is also known as a shaking table, is a ground based mechanism that drives a table in order to accomplish the desired motion and acceleration to recreate seismic inputs. Its multi-axis mechanism can be used to give earthquake inputs to a building scale structure placed on a table. The designed software and hardware, as an embedded system, enables to recreate different earthquake events by using the desired input data or by the animation of previous earthquake signals. The platform sensory system is designed which includes some accelerometers placed on certain points of the building structure. Earthquake input signals along with the acquired sensory signals are transferred to a monitory system in order to evaluate the building movements and a possible damage in the structure during and after an earthquake. A building scale structure will be designed whose performance hast to be similar two a two-story frame building. Another mechanism placed at the upper floor of the structure will be designed and controlled to reduce the vibration amplitude, and therefore, minimize the overall effects of seismic ground inputs. This control mechanism will work together with the accelerometers that can measure the movements at the structure and gives feedback to the control system. The final aim is to reduce system vibration and protect the mass center of the building under earthquake events. The good design of the mechanisms, driving system and sensorial system as well as the acquisition of the overall system data allow to test different earthquake events, the performance of the building under seismic inputs, as well as basic active control algorithms that can reduce building damage.

Keywords: Shaking table, Smart buildings, Active control, Servo motors

Number of Pages : 50

Advisor : Ass. Prof. Dr. Hüseyin KURT

TEŞEKKÜR

Üniversite hayatım boyunca bilgilerinden, deneyimlerinden ve tecrübelerinden yararlandığım sevgili hocam Yrd.Doç.Dr. Hüseyin KURT'a ve bu tezde maddi manevi çok yardımı bulunan Yrd.Doç.Dr. Ali ETEMADİ ' ye teşekkür ederim. Ayrıca en büyük destekçim aileme ve sevgili eşime teşekkürleri borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
GRAFİK LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsam.....	2
1.2 Tezin Yapısı	2
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
2.1 Çok eksenli titreşim masası tasarımı.....	6
3. TİTREŞİM MASA SYSTEMİ YAPIMI İÇİN GEREKLİ MALZEMELER VE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	8
3.1 Servo – Lineer sistem tasarımı.....	8
3.2 Mekanik Bileşenlerin Tasarımı.....	10
3.3 Elektrik-Elektronik Bileşenler ve tasarım.....	12
3.3.1 Mikro İşlemci.....	12
3.3.2 Motor Sürücü	16
3.3.3 İvme Ölçer	17
3.3.4 Motorlar	18
3.4 Çok Eksenli Titreşim Masası Yazılım Tasarımı.....	20
3.4.1 Detaylı Kod Bilgisi	22
3.5 Çok Eksenli Titreşim Masası Montaj Aşamaları	25
3.5.1 Sabit Eksenel Hareket Verisi İle Titreşim	25
4. TİTREŞİM MASASININ DİNAMİK ÖZELLİKLERİ	30
4.1 Testlerin Karşılaştırılması.....	30
4.2 Performans Değerlendirilmesi ve Sonuçlar	30
4.3 Kullanılan Yer Hareket Veri tabanının Genel Özellikleri	34
4.4 Tek Katlı Yapıların Sismik Tepki İçin TMD Modellerinin Performansları	35

4.4.1	Deprem Titreşimi Altında Yapı Modellerinde Ayarlanmış Kütle Amortisörü (TMD) için Hareket Denklemleri	35
4.4.2	Transfer Fonksiyonu: Hareket Denklemleri	36
4.4.3	Simülasyon Durumu	37
4.4.4	Simülasyon Sonuçları	38
4.5	Analitik Temel Modüllerin Simulink Temsilleri	39
4.5.1	Titreşim masası Modeli.....	39
4.5.2	Servovalve.....	39
4.5.3	Dijital Kontrol Cihazı	40
4.5.4	Yapı modeli için aktif kontrol düzeneği	41
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
5.1	Önemli Sonuçlar	43
5.2	Gelecekteki Çalışma Önerileri.....	45
	KAYNAKLAR	46
	ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1 Planlanan Titreşim masasının Konsept Şeması (Solidworks)	8
Şekil 3.2 Çok eksenli tabla SolidWorks çizimi	11
Şekil 3.3 SolidWorks çok eksenli tabla çiziminin üst görünümü	11
Şekil 3.4 SolidWorks çok eksenli titreşim masası karşıdan görünüşü.....	12
Şekil 3.5 Arduino Uno karşıdan görünüş	13
Şekil 3.6 Arduino Uno Pinleri gösterimi	13
Şekil 3.7 Arduino mega karşıdan görünüş	14
Şekil 3.8 L293N Adafruit Motor Sürücü	15
Şekil 3.9 Mpu 6050 ivmeölçer	18
Şekil 3.10 Motorlar	19
Şekil 3.11 Gt-2 kasnak	19
Şekil 3.12 Gt-2 kayış.....	20
Şekil 3.13 Arduino ilk ekran açılış sayfası	20
Şekil 3.14 Arduino ivmeölçer kodları	21
Şekil 3.15 Arduino sabit hareket kodları	22
Şekil 3.16 İnşa edilen yapının tablasının merkezinde olan ivme ölçer verisi	26
Şekil 3.17 İnşa edilen yapının birinci katındaki ivme ölçer.....	28
Şekil 4.1 Titreşim masasının performans değerlendirilmesi.....	31
Şekil 4.2 İvme ölçerlerden alınan değerlerin doğruluğunu incelenmesi.....	31
Şekil 4.3 Titreşim masası ve üst yapı deney seti görünümü	32
Şekil 4.4 Titreşim masası kayış titreşimi	33
Şekil 4.5 Titreşim masası kayış sabitleme karşılığı	33
Şekil 4.6 Sinüs girdi time serisi	34
Şekil 4.7 Titreşim masası örnek deprem verisi.....	35
Şekil 4.8 Tek bir serbestlik derecesi (DOF), bir TMD modeline eşdeğerdir.....	37
Şekil 4.9 SDOF TMD modelini simüle etmek için kullanılan simülasyon blok diyagramı	38
Şekil 4.10 Sismik harekette SDOF TMD yapısının simülasyonları: a) Simulink matlab sonuçları b) Sonlu elemanlar yöntemi (ABAQUS).....	38

Şekil 4.11 Servovalve'in simulink model ifadesi: (a) zaman gecikmesi olarak servovalve (b) ikinci dereceden sistem olarak servovalve.....	40
Şekil 4.12 X, Y ve Z ekseni için ivme ölçer kayıtları.....	41



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1 Kullanılan Arduino tiplerinin özellikleri	16
Tablo 3.2 Arduino kodlarının tablolanmış olarak gösterimi.....	23
Tablo 3.3 İnşa edilen yapının tablasının merkezinde olan ivmeölçer değerleri	26
Tablo 3.4 İnşa edilen yapının birinci katında olan ivmeölçer değerleri	28
Tablo 4.1 Simülasyon parametreleri.	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

$f(x)$	Titreşim kuvveti
m	Kütle
hz	Hertz
k	Rijitlik
C	Sünme
$H_t(s)$	Servovalve
k_t	Tablo kazanım faktörü
$q_t(s)$	Servo tarafından akümülatör gönderilen akış
$x_c(s)$	Servovalve yi kontrol eden elektrik sinyali

Kısaltmalar

Açıklamalar

DOF	Serbestlik derecesi
DC	Doğru akım
TMD	Ayarlanmış kütle amortisörü
PID	Geri Besleme dijital denetleyici

1.GİRİŞ

Türkiye deprem riski yüksek olan bölgeler içerisinde yer almaktadır. Diğer taraftan da birçok büyük şehirlerde depremleri oluşturan fay hatlarına yakın ve hat üzerinde bulunmaktadır. Bu durumu da tehlikeli hale getiren diğer bir faktörse sünek davranış göstermeyen zayıf mevcut binalar olmaktadır. Hükümetlerce de yürürlükte olan Kentsel dönüşüm projelerinde sözü geçen tehlikeleri azaltmak için yapılan önlemler içindedir. Yeni yapılan yüksek katlı binalarda ise sismik hareketlere karşı yeni teknolojilerin uygulanması vazgeçilmezdir. Araştırma merkezleri ve üniversitelerin yerel mühendisleri yeni teknolojiler ile tanıştırmada ve uygulanabilir hale getirilmesinde önemli bir rol almaktadır. Ayrıca bölgesel yapı sistemleri ve yapı malzemeleri yeni yüksek teknolojiler uygulanması için araştırma geliştirme yükünü de üstlenmesi diğer bir sorumluluktur. Akıllı yapı sistemleri ve aktif kontrol sistemler bahsedilen konuların önemli başlıkları içerisinde yer almaktadır. Laboratuvar deney çalışmaları ise araştırma geliştirme amaçlı söz edilen hedeflere ulaşmak için vazgeçilmezlerindedir.

Titreşim masa düzeneği deprem yer hareketleri modellemesinde yapı ve deprem mühendisliği çalışmasında çok önemli bir yere sahip olmakla beraber binaların vb yapıların belirli ölçülerde küçültülerek titreşim masası üzerinde yapay deprem testi uygulayarak gerçek deprem olduğunda bina vb yapılar üzerinde ne gibi hasarlar meydana getireceği görülebilir. Gelişen teknoloji ile titreşim masa düzenliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirmesine imkan sağlamaktadır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı çeşitli deprem verilerini, bina tepkilerini ve binada oluşacak hasarları incelemek amacıyla yapay deprem üreten bir titreşim masası geliştirmektir. Dünya genelinde bir çok bölgede farklı depremler meydana gelmektedir. Bunlar arasında zemin ivmesi, topraklama hızı, zeminin elastik tepkisi gibi farklı parametreler bulunmaktadır. Bu farklı deprem verileri zemin yapısı ve coğrafi konum gibi nedenlerden dolayı depremin şiddetini artırabilmekte ve binaların dayanım gücünü azaltmaktadır. Daha önce meydana gelmiş depremlerin verileri kayıtlarda bulunmaktadır. Bu deprem verileri bölgelere göre farklı olduğu için farklı deprem verilerini yapay olarak üreten bir titreşim masası olması gerekmektedir.

Bu çalışmada yapılan titreşim masası çok eksenli olarak hareket edebildiğinden bir çok bölgede meydana gelen depremlerin yapay olarak yeniden canlandırılmasına imkan sunulacaktır. Bunların yanı sıra çalışmadaki titreşim masasının gömülü sistemi sayesinde bilgisayar ortamında deprem verisi oluşturulup meydana gelmeyen fakat tahmin edilebilen depremlerde bu çalışma sayesinde yapay olarak üretilip bina üzerindeki etkileri ölçülecektir.

Bina üzerindeki etkileri ölçülen depremin binalara daha az hasar vermeleri için de gerekli çalışmaların yapılmasına imkan sağlayacaktır.

Özel hedefler: Tezin Çıktıları:

- Titreşim masa tasarımı, en önemli özellikleri, fonksiyonu ve performansı üzerine bir güncel teknoloji içermesi.
- Basit bir iki eksenli titreşim tablası mekanizması, sismik girdileri yeniden üretmek için istenen hareket ve ivmeyi gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır.
- Bu çalışmanın mekaniği, bazı deneyleri gerçekleştirmek için bir titreşim tablası tasarımı ve basit yapı ölçeği modelini içermektedir.
- Titreşim masası, geniş menzil sensörü hareketi ve kontrolüne olan ihtiyacı karşılamak için itme sistemini oluşturan geleneksel STEP motorlara sahip iki eksenli bir mekanizma içerir.

- Mekanizma motorlarının, sürücülerin ve elektrikli ekipmanın seçimi. Belirlenen kriterlere göre tasarlanmış mekanizmaları çalıştıran uygun bir gömülü sistem oluşturmak için gerekli tüm yazılımların ve donanımın seçimi.
- Platform gerçek zamanlı sinyal toplama ve işleme gerektirir. Tüm iletişim ve kontrol algoritmaları ile birlikte bir bilgisayar tabanlı sistem tasarlanmıştır.
- Sistemde, sismik dalga oluştuktan sonra titreşim sinyali çıktılarını elde etmek için 4 ivmeölçerden oluşan bir duyuşal sistemi içermektedir.
- İzleme sistemi, gerçek zamanlı sismik girdileri ve elde edilen titreşim sinyal çıkışlarını gösterecek şekilde tasarlanmalıdır. Bir sistem operatörünün giriş değişiklikleri yapmasına ve depremlerin farklı sistem yanıtlarını almasına olanak tanır.
- Yapı titreşimini azaltmak için temel aktif kontrol algoritmalarının ön çalışmaları olmaktadır.
- Bu sistem titreşim masa düzeneği bütün karakteristiklerini taşımakla beraber, kapasite, kontrollü hareket ve yüksek verim avantajları gibi birçok yönden entegre yeniliklere sahiptir.
- Deprem tehlikesi yüksek olan bölgede yer aldığımız gerçeğin göz önüne aldığımızda, aktif kontrol sistemleri hep mevcut yapıların sismik rehabilitesi ve yeni akıllı bina sistemlerinin kullanılması önemini artmaktadır. Yapılacak titreşim masası yerel binaların özeliğini modelleme ve incelenmesini imkân sağlayıp modellenen sistemlerin deprem durumunda davranış şekillerini de inceleyecektir.

1.2 Tezin Yapısı

Bu tez çalışmasında üzerinde araştırma yapılan titreşim masası düzeneği donanım ve yazılım yöntemleri ile birçok yenilikleri öne çıkarmıştır. Donanım değişikliklerinde ilk olarak zeminin sarsılması için gerekli olan öteleme hareketini sağlayan motorlar lineer kızakları hareket ettirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım sayesinde zemin üzerine yerleştirilecek olan model yapının ağırlığı motorlar üzerine binmeyip kızaklar üzerine bindirilecektir. Ağırlık eşit olarak lineer kızaklara dağıtıldıktan sonra lineer kızaklarda step motorlar tarafından hareket ettirilmiştir. Bu sayede sistemin enerji verimliliği artırılmış olup motorlara binen yük azaltılmıştır. Motorlara binecek yükün azaltılması motorların hareketini kolaylaştırdığı gibi motorların meydana getireceği öteleme hareketlerini

istenilen şekilde yapmasını sağlayacaktır. Bu sayede deprem verisi ile hareket ettirilecek olan titreşim masasının meydana getireceği yapay depremin istenilmeyen titreşimlerden arındırılacaktır.

Bu tez, 2017'de başlayan araştırma programı sırasında çok eksenli gerçek zamanlı alt yapı testinin geliştirilmesi üzerine yazar tarafından yapılan araştırmayı sunmaktadır. Bu araştırma İstanbul Gelişim Üniversitesi teknoloji transfer ofisi tarafından desteklenmiştir.

İkinci bölüm, diğer araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen daha önceki çalışmaları, bulguları ve karşılaştıkları sorunları incelemektedir. İlk önce deprem mühendislerine sunulan çeşitli deneysel seçenekleri sunulmaktadır ve kontrol sistemi daha ayrıntılı anlatılmaktadır. Akümülatör dinamikleri sorunu ve daha sonra, sayısal zaman entegrasyon şemaları içermektedir. Sonunda, step motorlar ile çalışan titreşim masası kontrol yönteminin geliştirilmesi için önümüzdeki zorlukların daha detaylı tanımını hazırlanmıştır. Bölüm 3, araştırmanın yapıldığı ortamın bir tanımını sunmaktadır. Son olarak, geliştirme teçhizatının gerçek zamanlı alt yapı devreye alma testleri, yazılımları ve sonuçları açıklanmaktadır.

Bölüm 4'te, step motorların harekete geçirmenin kalitesi, gerçek zamanlı hibrid testi bağlamında tartışılmaktadır. Bu kaliteyi, bir gerçek zamanlı deneyi gerçekleştirmenin karmaşıklığına kolaylıkla bağlı olarak ölçmek için yöntem getirildi. Bu konu Bölüm 4'de bir dizi ileri seviye telafi şeması ve çeşitli gerçek zamanlı hibrid simülasyonlarının uygulanması ve uygulanması ile bir adım daha ileriye götürülmüştür. Zaman entegrasyonu konusu Bölüm 4'da ele alınmıştır. Birkaç sayısal düzen söz konusudur.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Titreşim masası, sismik ya da basamak yükü, sinüzoidal değişken kuvvet ya da rastgele yük gibi diğer dinamik yükleme türleri altındaki tüm yapıları test etmek için kullanılan mekanik bir cihazdır. Titreşim masası öncelikle sismik yük altında bina yapıları test etmek için tasarlanmışsa da, o zaman aynı zamanda deprem simülatörü de denir. Normalde test modeli, prototipin gerçek zamanlı olarak arızalanmasına yol açan farklı parametrelerin ve prosesin etkilerini anlamak için geliştirilmiştir. Test modeli yeryüzünün yerçekimi alanı altında gerçekleştirilirse, titreşim masası testine tabi tutulurken, model testleri daha yüksek yerçekimi alanı altında gerçekleştirilirse, santrifüj testine tabi tutulur. Dolayısıyla titreşim masası testi, yapının dinamik karakteristik özellikleriyle teorik tahminin geçerliliğini sağlamak ve böylece yapının tasarım emniyet marjını geliştirmek için deneysel bir yaklaşımdır.

Titreşim masası testinde, test numuneleri masanın üzerine yerleştirilir ve masada sıkıştırılmış yapay zemin veya mekanik tutturucu ile sabitlenir. Daha sonra yapı, operatör tarafından belirlenen belli bir zaman sınırına kadar belli bir frekans değerinde bir sallama işlemi yaşayacaktır. Deprem simülatörü veya titreşim masası, aşağıdakiler gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir:

- Gerçek depremden etkilenen belli bir ölçekte yapı veya yapı modelleri.
- Belirli dinamik yükleme koşullarında güç kaynağı veya sanayi binaları modelleri.
- Mekanik ekipman ve taşıma tesisleri testi
- Enerji nakil hatları için mekanik test ve damperlerin geliştirilmesi.

Titreşim masası cihazı çeşitli yollarla çalışır. Bazıları elektrikli servo motor tahrikli tipleri, yüksek kütle yükleri için servo hidrolik araçlarını ve tablayı sallamak için harici uygulanan kuvveti kullanan titreşim tablasını kullanmaktadır.

Titreşim masasının çoğu deprem simülatörü amaçları olarak kullanıldığından, bazıları bir yapının veya bir test modelinin yanıtını veya frekansını test etmek için bir cihaz olarak kullanılmıştır. Bu, titreşim tablası modelinin çok yönlülüğü ve geniş yelpazesine imkan sağlamaktadır. Titreşim masası, akümülatör gücüne, frekans aralığına ve üstesinden gelebilecek maksimum yüke göre gruplandırılmıştır. Normalde küçük ölçekli, orta ölçekli

veya büyük ölçekli bir yük altında sınıflandırılır. 0 ila 1000 kg yük arasında değişen küçük ölçekli yük elektrikli servo motorlar/ hidrolik titreşim masası, orta ölçekte 1000 ila 5000 kg arasında değişebilir ve geniş ölçek aralığı 5000 kg yükten daha büyüktür.

2.1 Çok Eksenli Titreşim Masası Tasarımı

Kontrol teorisi, bir servo-elektrik motor titreşim tablası sisteminin geliştirilmesi ve çalışmasında hayati bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, kontrol konusuna birçok kitap ve ders kitabı yazılmıştır, Ancak, ilk kez bu alana girerken, dinamik Sistemlerin Geri Bildirim Kontrolü, pedagojik etkinliği ve bu konunun kapsamlı davranış ile ön plana çıkmaktadır. Dinamik Sistemlerin Dijital Kontrolü, dinamik sistemlerin gerçek zamanlı kontrolü için dijital bilgisayarların kullanımı ile ilgili olarak da geçerlidir. Ardından Modem Kontrol Sistemleri gibi, günümüz dünyasında karşılaşılan modem sistemleri ve Kontrol Sistemleri Mühendisliği ile ilgili uygulama örnekleri ile birlikte, kontrol sistemlerinin pratikte uygulanmasına vurgu yapan diğer ders kitapları bulunmaktadır. MatLab, Arduino gibi bilgisayar araçlarını bir şekilde kullanan geri bildirim kontrol sistemlerinin analizi ve dizayn mühendisliğini kapsamaktadır.[10,11,19,34]

Bu çalışmanın amacı gereği, Servo elektrik Kontrol Sistemleri, Uygulamalı Sistem Belirleme ve Akışkan Güç Devreleri ve Kontrolleri gibi yakın ilişkili konularla ilgili diğer kitaplara sürekli olarak referans edilmektedir. Yapı mühendislerin geleneksel geçmişinin bir parçası olmayan konular hakkında bilgi sahibi olmak için birkaç tanesinden bahsedilmiştir [8,14].

Titreşim masası analizi, tasarımı ve performansı, konuya daha fazla ışık ve anlayış getirmeye çalışan önemli sayıda yayınlı olmasına, son yıllarda deprem mühendisliği araştırma topluluğuna ilgi duymaktadır. Geniş sarsma tablası sistemlerinin kontrolü ile ilgilenmişler ve 6m x 6m platformlu varsayım sal bir sarsma tablosu ve 50 tonluk bir taşıma kapasitesine sahip çalışma yapmışlardır. Hareketli plaka boyutları 3m ile 3m ve 4m ile 4m arasındaki hareketli plaka boyutlarına ve 15 ton sırasındaki yük taşıma kapasitelerine sahip, iki adet 6 serbestlik dereceli servo hidrolik sarsma tablolarının performansını kapsamlı bir karşılaştırmalı çalışması sunmaktadır. Avrupa'daki büyük titreşim masası uyumlu bir performans değerlendirmesini açıklarken, bu Avrupa sarsma

tablolarında Minimum Kontrol Sentezi algoritması olarak bilinen bir uyarlamalı kontrol şeklini kullanarak elde edilen sonuçları sunuyor. Minimal Kontrol Sentezi algoritması tarif edilmiştir. Rice Üniversitesi'nde orta boyutlu tek eksenli bir sarsma tablası sisteminin tasarımını, analizini ve yapımını kapsamaktadır. Rice Üniversitesi sarsıntı tablosunun doğrusal dinamik bir modeli geliştirmiş ve bu titreşim masasının deneysel-analitik korelasyon çalışması sunmuştur.[5,6,7,12,17,29,30]

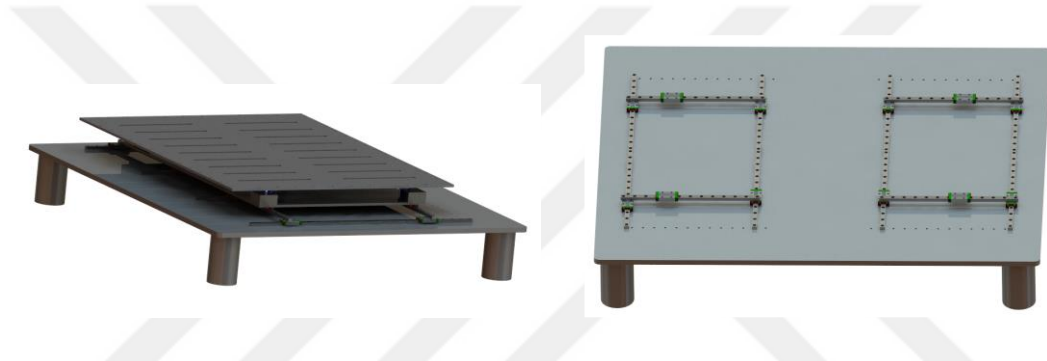
Kim ve Tsao, Nikiforuk ve diğerleri, Wang ve diğerleri tarafından iki aşamalı akış kontrol servo valflerinin modellenmesi için farklı girişimler sunmuştur. Williams, Williams ve Blakeborough, servo-valf aktüatör sisteminin detaylı bir doğrusal olmayan modelini içeren yapıların dinamik bir test laboratuvarının gerçekçi bir modelini sunmuşlardır.[15,18,31,32]

Literatürde incelenen titreşim tablası sistemlerinin çoğu, daha büyük boyutlu tablo ve aktüatörler düşünmüştür. Literatürde bulunan en küçük boyutlu aktüatör, titreşim bir masanın kontrol edilmediği halde aktif kontrollü kütle sistemidir; Spencer tarafından derlenmiştir mevcut çalışmada kullanılan aktüatörle aynı çapa sahip bir servo motor içermektedir.[28]

3. TİTREŞİM MASA SİSTEMİ YAPIMI İÇİN GEREKLİ MALZEMELER VE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Servo - Lineer Sistem Tasarımı

Titreşim masa sistemi (Şekil 3.1), Arduino platformunda hazırlanan bir program tarafından kontrol edilen iki eksenli, servo-lineer veya step motor, yer değiştirme kontrollü tabladan oluşur.



Şekil 3.1 Planlanan Titreşim masasından Konsept Şeması (Solidworks)[35]

Titreşim masasının modellenmesi birçok parametrenin belirlenmesini gerektirir. Bunlardan bazıları, çeşitli sistem bileşenlerinin geometrik ve fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Bu parametreler, bu bileşenler üreticisinden veya doğrudan ölçüm yoluyla edinilebilir. Destek çerçevesinin doğal frekansı ve sönüm oranı gibi bazı diğer parametrelerin deneysel olarak belirlenmesi gerekir. Diğer parametreler kullanıcı tarafından belirlenir, bunlar Bölüm 4'te ele alınacak olan kontrol algoritmasının kontrol kazanımlarıdır. Sadece bilinmeyen son parametreler seti vardır. Bu bilinmeyen parametreler titreşim tablosu sisteminin deneysel olarak tanımlanmış toplam Transfer fonksiyonu ile analitik muadili arasında doğrusal olmayan en küçük kareler vasıtasıyla tahmin edilmektedir. Bu parametrelerin örnekleri servovalve doğal frekansı ve tablo kazanım faktörüdür [30].

Titreşim masası mekanizmasının çalışması için gerekli olan sistem lineer eksen hareketlerden oluşması gerekmektedir. Bu hareketler lineer motorlar, lineer akümülatörler, motor tahrik yöntemi ile krank biyel mekanizmalı sistemler, hidrolik ve pnomatik kontrol

sistemleri gibi birçok yöntem kullanılarak yapılabilmektedir. Bu yöntemler çalışma sistemleri nedeniyle istenilmeyen titreşimler de açığa çıkarmaktadır bu titreşimler hareketi veren motor kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Dönme hareketinin var olduğu tüm sistemlerde dönme kuvvetinin açığa çıkan istenilmeyen rotasyonlar oluşmaktadır. “Euler’in dönme teoremine göre, Aynı zamanda, sabit eksenler boyunca eş zamanlı rotasyon imkânsızdır. Eğer iki rotasyona aynı anda kuvvet uygulanırsa, rotasyonun yeni eksenini oluşur.”.

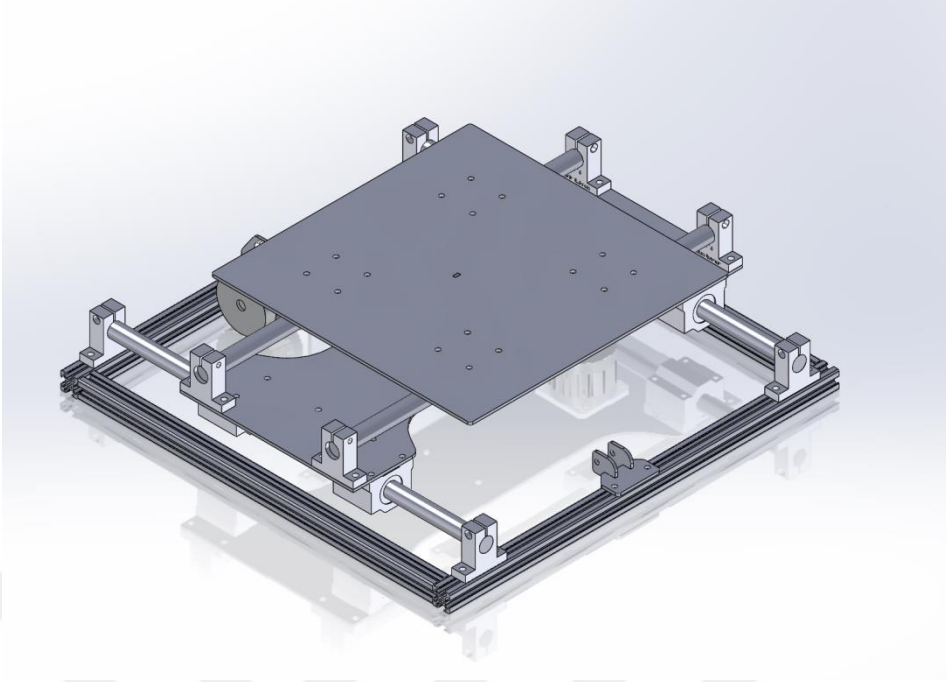
İstenilmeyen tüm titreşimleri gidermek ve minimum hata ile sistemin çalışmasını sağlamak için yapılacak olan sistemde lineer servo sistemleri kullanılması daha uygundur. Lineer servo çalışma prensibi, lineer kızaklar üzerinde bulunan kızak arabasının ileri geri hareket eden bir tabla sisteminin hareketini sağlayan dönme hareketi ile öteleme veya step motordan alınan dönme hareketini kayış kasnak sistemi ile öteleme hareketini oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Tabla içerisinde yer alan bobinler ve ray içerisinde yer alan mıknatıslar sayesinde ileri geri hareket sistemi konumlandırılabilir özelliğe sahip olmasıyla beraber daha yüksek hareket kabiliyeti ve kararlılık sağlamaktadır. Bu yöntem sayesinde istenilmeyen titreşim ve rotasyon hareketlerinden arınmış olunmaktadır. Bu yöntem kullanılarak metal bir tabla üzerine karşılıklı olarak x ekseninde çalışması için 4 adet lineer Servo karşılıklı olarak montaj edilecektir. Bu yerleştirme şekli dikdörtgen şeklin köşelerinde karşılıklı hareket edebilecek ve 2 motor $+x$ 2 motor da $-x$ yönde çalıştırılacaktır. Bu çalışma şekli motorlara verilen sinyallerin kontrolünü sağlamak ve sistemde giriş sinyalleri karşılaştırmak için seçilmiştir. Motorlara gönderilen data bilgilerinde $+x$ yöndeki motorlar ile $-x$ yöndeki motorların ilerleme ve gerileme hareketleri doğrusal uzunluk olarak aynı olmak zorundadır. Tüm motorlardan data bilgisi toplanıp kıyaslama yapılacaktır. Bu kıyaslama da eğer $+x$ yönündeki motorların ilerlemesi $-x$ yönündeki motorlar ile aynı birim miktarı kadar hareket etmediyse, hareket de hata vardır ve bu yöntemde sistemden elde edilmek istenen hareketin hata oranını okumak için gerçekleştirilen bir çözümdür. Bir diğer avantaj ise 4 motor tahriki olduğu için üzerinde bulunan yükün hareket ettirmesi daha kolay olacaktır. Metal tabla üzerine x eksen hareketini sağlayan motorların ray üzerinde bulunan hareketli tablaları üzerine 90 derece açıyla dikdörtgen köşelerine yerleştirilecek y eksen motorları montaj yapılacaktır bu montaj şeklinin amacı x ekseninde uygulanan ve sistem kontrolünün gerçekleştirildiği yöntemi y ekseninde uygulamak ve x, y hareketini aynı birim zamanda hareket ettirmektir. Motorlar üzerine ara taşıyıcı tabla yerleştirilecektir. Bu tablanın amacı, asıl yük taşıyacak

olan tablann boyutlarının değiştirilme imkânı sunmasıdır. Bu imkan dahilinde deney yapılacak sistemin boyutlarına göre tabla değiştirilip sistem çalışması sağlanacaktır. Sabit tabla kullanılmamasının nedeni ise küçük testlerde büyük tabla kullanarak tabla ağırlığının motorlara uyguladığı yüklerden dolayı gereksiz yere enerji harcamamasını sağlamaktır.

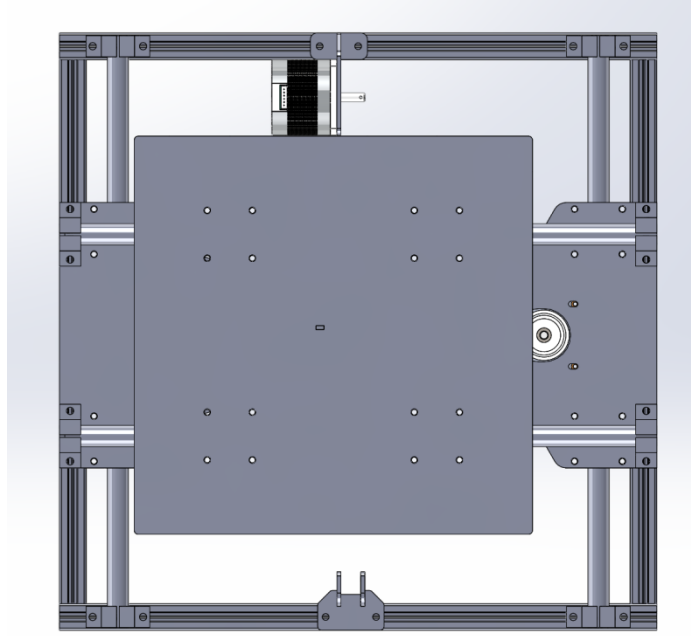
Bu başlık altında cihaz üzerinde kullanılmış olan elektronik materyaller işlenmiştir. Bu parçalar mikroişlemci, motor sürücü, step motor, ivmeölçer ve çok eksenli tabla yer almaktadır.

3.2. Mekanik Bileşenlerin Tasarımı

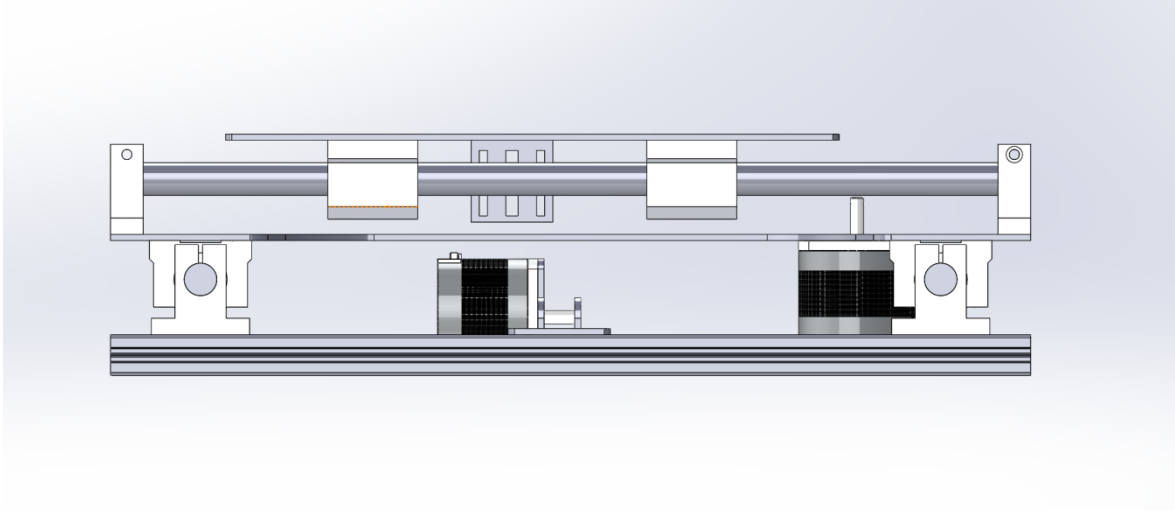
Çok eksenli titreşim masası çalışmasında mekanik aksam tasarımı SolidWorks programı [35] ile çizilip üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2 SolidWorks çizimi gösterilmektedir. Bu tasarımda uygulanan yöntem aksenal hareketlerinin lineer kızaklar üzerinde hareket ettirilmesi ve yüklerin kızaklar üzerinde dağılacak şekilde yayılması sağlatılmıştır. Titreşim masasında x eksen hareketini sağlamak için öncelikli olarak sigma profiller den oluşan bir şase tasarlanmıştır. Bu şase üzerine karşılıklı olarak mil sabitleme tutucuları yerleştirilmiştir. Bu tutucular içerisine krom kaplama miller takılmıştır bu miller x eksenini hareket ettirecek olan lineer kızakların bağlanacağı ve x eksen hareketinin meydana geleceği düzendir. Her milde 2 adet lineer kızak bulunmaktadır bu sayede x eksenine binecek olan yüklerin kızaklar üzerinde dağılması ve bu sayede step motorların kızakları hareket ettirdiğinde yükün motor üzerinde değil kızaklar üzerinde baskı yapması step motorun hareketini engellememesi sağlanmıştır. X eksenini kızakları üzerine metal plaka monte edilip bu plaka üzerine de x ekseninde olduğu gibi 2 mil ve bu her milde 2 adet lineer kızak bulunmaktadır. Buradaki hareket y eksen hareketini meydana getirmiş olup birbirlerinden bağımsız bir şekilde hareket edip Kartezyen hareketleri meydana getirmektedir.



Şekil 3.2 Çok eksenli tabla SolidWorks çizimi



Şekil 3.3 SolidWorks çok eksenli tabla çiziminin üst görünümü



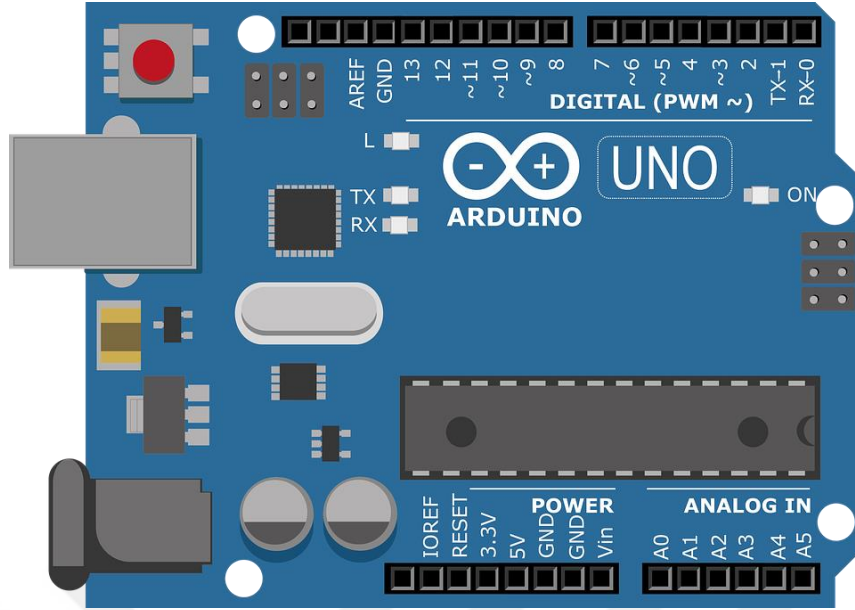
Şekil 3.4 SolidWorks çok eksenli titreşim masası karşıdan görünüşü

3.3. Elektrik-Elektronik Bileşenler ve Tasarım

Bu başlık altında tez çalışmasında kullanılan Arduino, ivme ölçer, Adafruit sürücü, step motor ve kayış kasnak ekipmanları anlatılmaktadır.

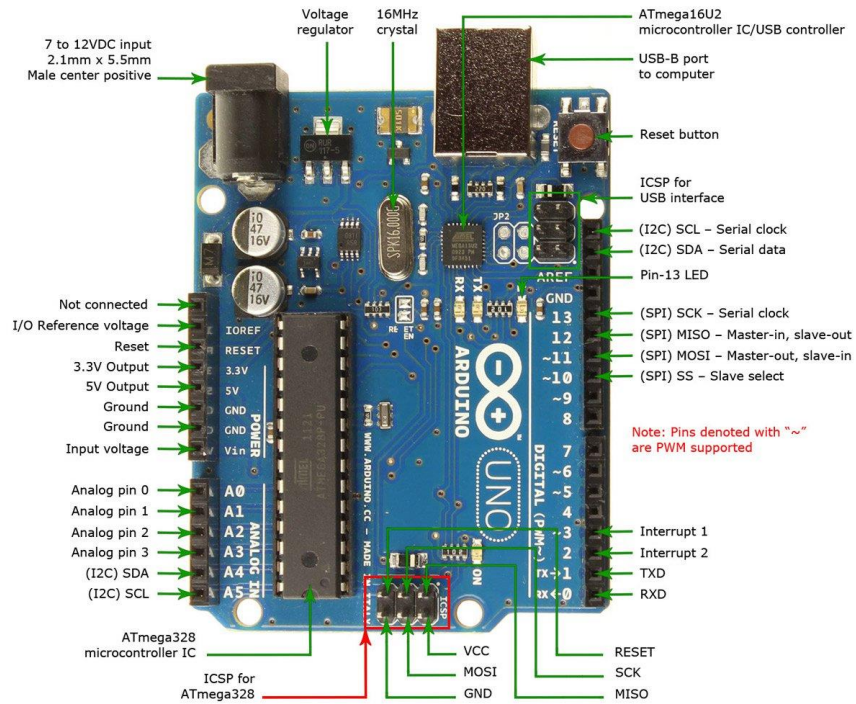
3.3.1. Mikro İşlemci

Arduino Uno üzerinde giriş ve çıkış pinleri bulunan java temelli programlama temellerine sahip açık kaynak kodlu bir fiziksel programlama kartıdır. Arduino modellerinde farklı mikro denetleyiciler yer almaktadır. Arduino Uno kartında ATMEL Atmega328 mikro denetleyici yer almaktadır. Arduino üzerinde bulunan usb bağlantı noktasıyla bilgisayara bağlanıp haberleşmesi sağlatılmaktadır. Bilgisayar ortamında kodlama işlemi yapıldıktan sonra yazılım Arduino içerisinde kalmakta ve istenildiğinde harici bir besleme ile Arduino çalıştırılabilmektedir. Harici bir besleme ile çalıştırıldığında Arduino belleğine kaydedilen veri çalışmaya başlayacaktır. Bu sayede bilgisayara bağlı kalmadan çalıştırılmak istenildiğinde çalışma imkanı sunmaktadır.



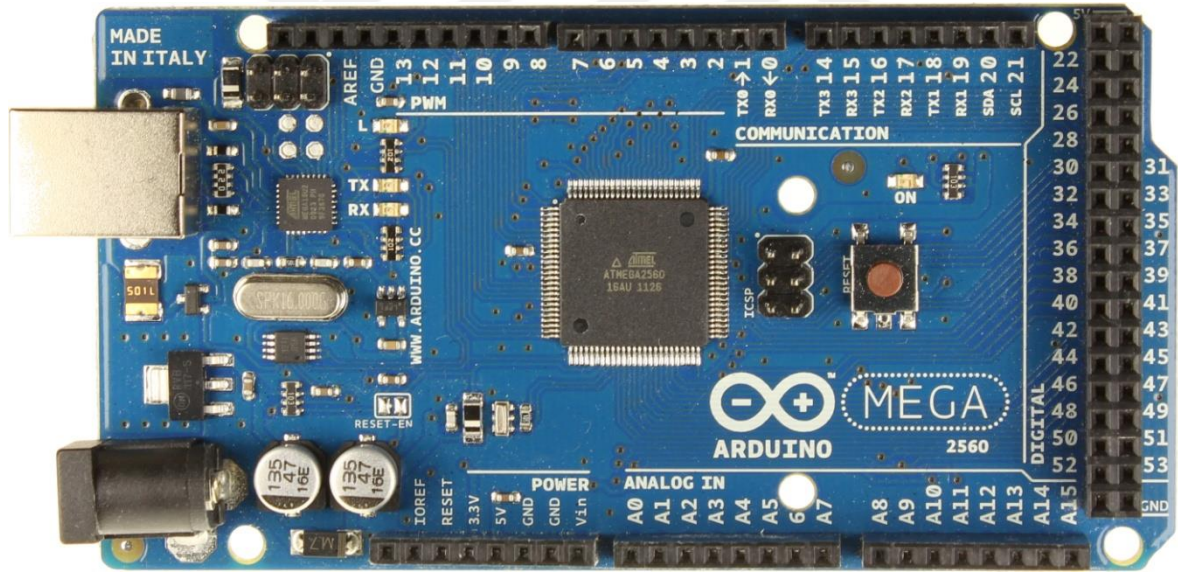
Şekil 3.5 Arduino Uno karşıdan görünüş

Şekil 3.5 de gösterilen Arduino kartının karşıdan görünüşünde pinler görülmektedir. Arduino 5V veya 9V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Arduino üzerinden 5V ve 3.3V gerilim kaynağı bulunmaktadır. 3 adet GND pini 6 adet analog pin 13 adet de dijital pin yer almaktadır.

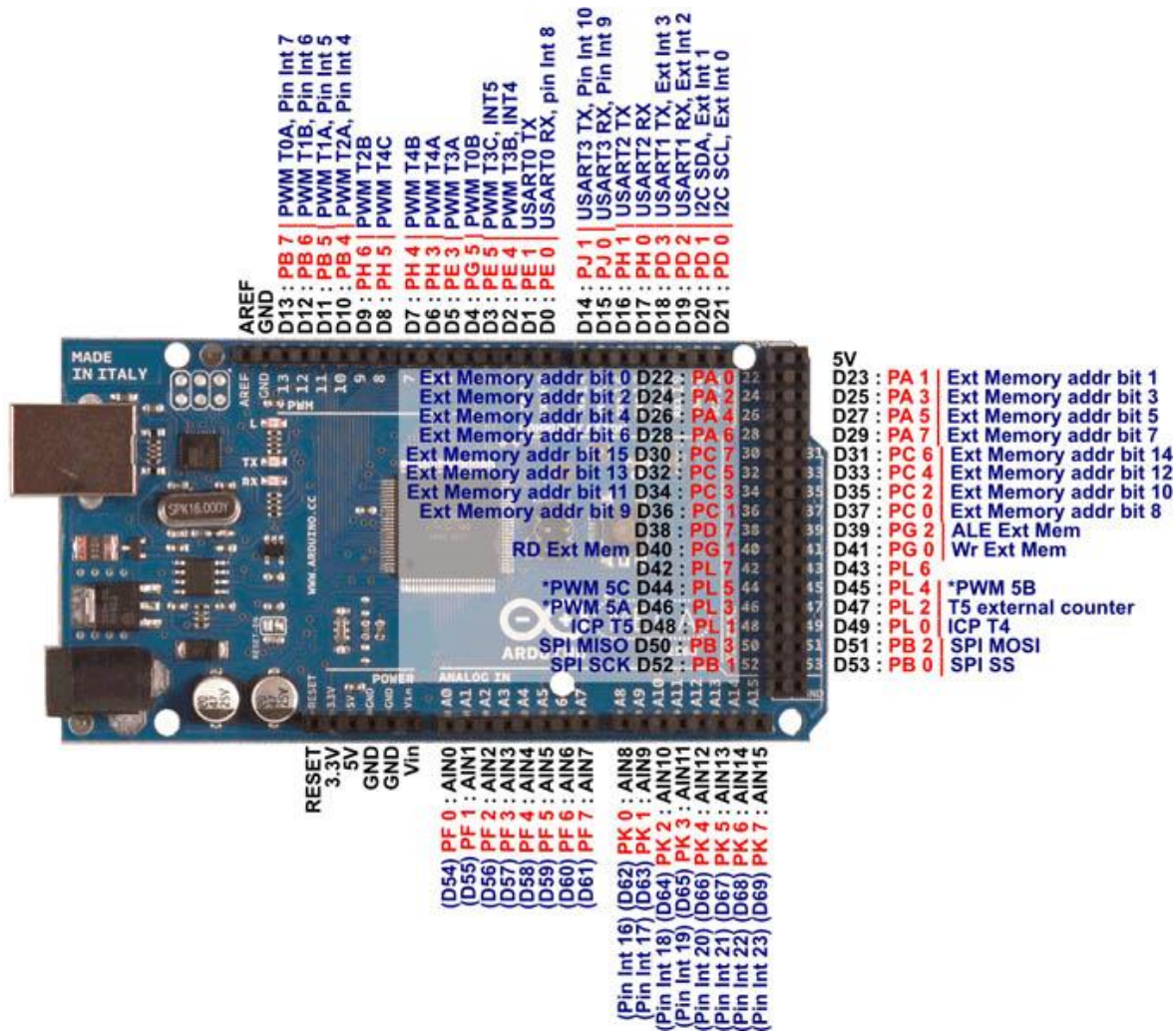


Şekil 3.6 Arduino Uno pinlerinin gösterimi

Bu tez çalışmasında Arduino Uno ve Arduino Mega kullanılmıştır. Arduino Uno üzerine step motorları sürbilmek için Adafruit sürücü takılmıştır. Arduino arayüz ekranından Adafruit sürücünün kütüphanesi eklenmiştir. Bu sayede Arduino üzerinden dijital çıkış almaya gerek kalmadan Adafruit sürücü üzerindeki motor çıkışlarına motorlar bağlanılarak kontrol edilmektedir. Arduino Uno üzerinden gönderilen veri motorlar için dönme hızı ve dönme açısı olarak belirlenmektedir. Arduino mega kartında ise SDA ve SCL analog pinleri, 5v besleme pini ve 2. Dijital pin kullanarak ivme ölçerden veri alınmaktadır. Alınan bu veri ivme ve gyro verisi olmaktadır. X eksen ivmesi için ax, Y eksen ivmesi için ay, X eksen gyro verisi için gx, Y eksen gyro verisi için gy Arduino kütüphaneleri kullanılmaktadır. Arduino arayüzü üzerinden yazılımla istenilen eksenlerden teker teker veri alınabilmektedir. Alınan bu veriler sayısal değerler veya grafik şeklinde de alınabilmektedir.



Şekil 3.7 Arduino Mega karşıdan görünüş



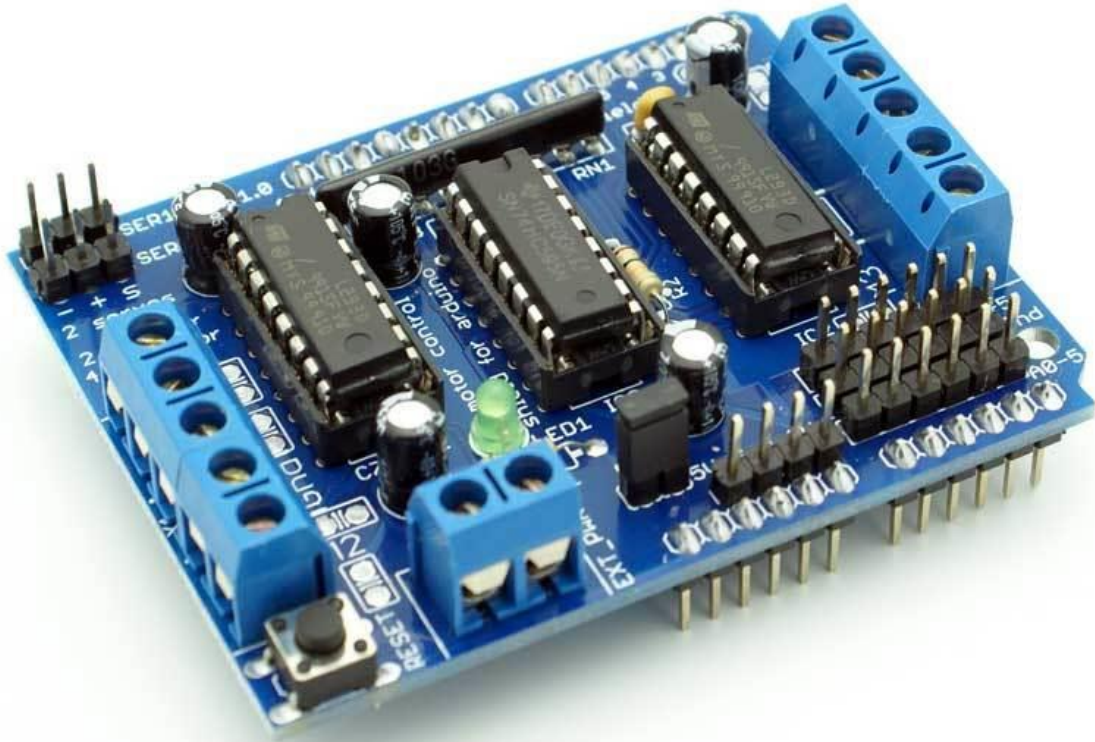
Tablo 3.8 Arduino Mega bilgiler

Mikrodenetleyici	Atmega 2560	Atmega 328	Atmega 168
Çalışma Gerilimi	5 V	5 V	5 V
Dijital Giriş / Çıkış	54(14 tane PWM)	14(6 tane PWM)	14(6 tane PWM)
Analog Giriş Pinleri	16	6	6
Her bir G / Ç pini başına akım	40 mA	40 mA	40 mA
3.3 V gerilim çıkışı akımı maksimum	50 mA	50 mA	50mA
Flash Bellek	256 KB (8 kb'ı program yükleyici (bootloader) tarafından kullanılıyor.)	32 KB (2 kb bootloader tarafından kullanılıyor.)	16 KB
SRAM	8 KB	2 KB	1 KB
EEPROM	4 KB	1 KB	512 Bayt
Saat Hızı	16 MHz	16 MHz	8 MHz (3.3V modeli) 16 MHz (5V modeli)

Tablo 3.2 Kullanılan Arduino tiplerinin özellikleri

3.3.2. Motor Sürücü

Motor sürücü, mikroişlemcinin üzerine gelen sinyal ve komutların motora gitmesi için yeterli güce sahip olmamasından dolayı kullanılan devredir. Motor sürücü devre aracılığı ile mikro denetleyici çıkışından alınmış olan sinyaller aktif edilerek motor kontrolü sağlanmaktadır. Tabla hareketlerini meydana getirmek için dönme hareketini step motorlardan almak gerekmektedir. Step motordan bu dönme hareketini kontrollü şekilde almak için motor sürücüye ihtiyaç duyulmaktadır. Step motorları kontrol etmek için L293D, L293B, L298 motor sürücü entegrelerdir. Bu tezde kullanılan motor sürücü devresi üzerinde L293N sürücü bulunan Adafruit isimli motor sürücü devresidir.



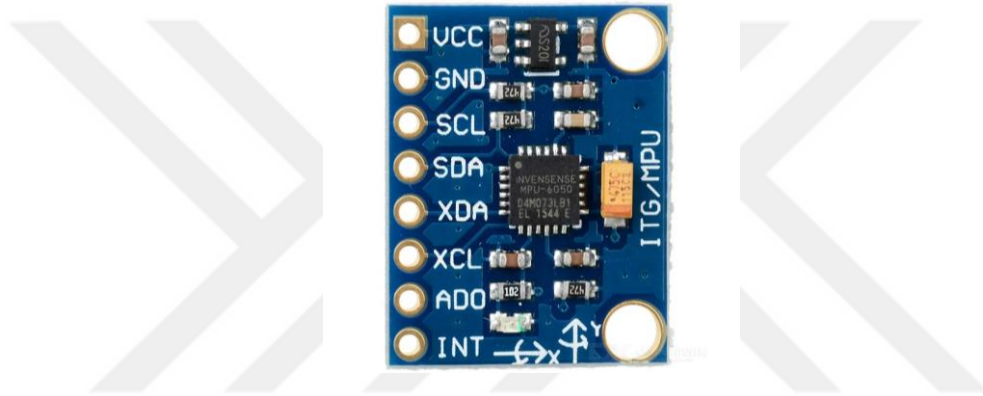
Şekil 3.8 L293N Adafruit Motor Sürücü

Max 12V besleme ile çalışan dc motor, servo motor ve step motor sürmek amacıyla kullanılan adafruit sürücü kartı, iki step motor veya dört kanal dc motor ile aynı anda iki adet servo motor çalıştırabilmektedir. Adafruit sürücü kartı üzerinde L293N isimli sürücü entegresi kullanılmıştır. Arduino üzerine shield olarak takılabilen bir yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde haberleşme işleme ve daha kolay olmakla beraber aynı anda tek kart üzerinde tüm motorları aynı anda bağlayıp çalıştırma imkanı sunması çalışmalarda sağladığı en büyük avantajlardandır. Motor sürücü entegresi kart üzerinden sökölüp takılabilmektedir.

3.3.3 İvme Ölçer

Hızın zamana göre değişme miktarı veya hızın zamana göre türevine ivme denilmektedir. İvme vektörel bir büyüklüğe sahip olup cisimlerin zamana göre yönlerini ve hızını vermektedir. İvme modeli $a=F/m$ dir. Bu modelde yer alan F ifadesi vektörel bir büyüklük olup m ifadesi ise skaler bir büyüklüktür. İvme ölçerler de bu modele dayalı olarak

çalışmaktadır. Elektronik olarak çalışan ivme ölçerler kapasitif veya piezoelektrikli olarak endüstriyel uygulamalarda yer almaktadır. Piezoelektrik ile çalışan ivme ölçerler mikroskobik kristallerin içerisinde bulunması ve bu kristallerde oluşan gerilim değişimi kullanılarak kıyaslama metodu ile değişimlerden veri elde etmektedir. Oluşan bu değişimler serial portlar vasıtasıyla okunabilmektedir. Diğer bir ivme ölçer tipi olan kapasitif ivme ölçer birbirlerine çok yakın iki paralel levhalar arasındaki kapasitif etkiden oluşur. Levhalar üzerinde meydana gelen değişken kapasitans değişkenidir. Bu değişken den yararlanılarak ivme verisi elde edilir.



Şekil 3.9 Mpu 6050 ivme ölçer

3.3.4. Motorlar

Bu tezde kullanılan motor tipi step motordur. Step motorlar elektrik enerjisini hareket enerjisine çeviren elektro – manyetik motorlardır. Step motorlar yapısı ve çalışma mantığı itibariyle hareketlerini adım adım ilerleyerek yaptığından açısal olarak kontrol edilme imkanı sunmaktadır. Step motorlar sürücü devreleriyle sürülmekte olup çalışması sürekli olarak kontrol altında tutulmaktadır bu sayede bir sonra ki sinyal gelmeden step motorun açısal olarak hareket etmesi beklenemez. Step motorlar adım açılarına göre 90 derece, 45 derece, 18 derece, 7.5 derece ve 1.8 derece olarak farklı tiplerde bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan step motor 200 adımlık bir motordur. Step motorun 200 adım olması her bir adımın 1.8 derece olarak hareket etmesi anlamına gelmektedir. Bu hesaplama sistemi (devir / adım sayısı) olarak hesaplanmaktadır. O halde $360 / 200 = 1.8$

yaptığından seçilen bu motorun her adımı 1.8 derece olarak çalıştırılmaktadır. Step motorun dönmesiyle bir lineer hareket yaptırılmaktadır. Bu hareket gt-2 kayış kasnak sistemiyle sağlatılmaktadır. Gt-2 kasnak parçası step motor miline monte edilmektedir. Kasnak sisteminin etrafından kayış geçirilerek hareket ettirmek istenen eksen üzerindeki rulman dan geçirilip o eksen de bulunan sabitleme kancasına tutturulmaktadır.



Şekil 3.10 Titreşim masasında kullanılan step motor



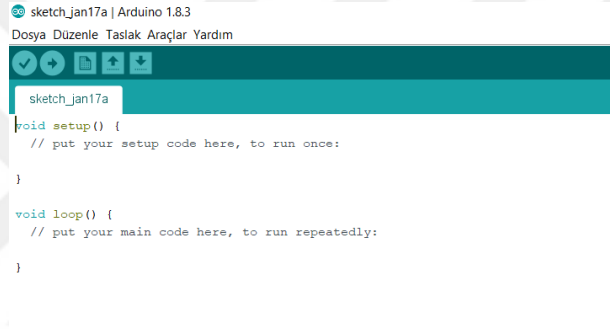
Şekil 3.11 Gt-2 kasnak

Gt-2 kasnak sistemi 16 adet kasnak dişi bulundurmaktadır. Bunlar her biri 2mm olup bir tam turda 32 mm ilerleme gerçekleştirilmektedir. Step motor adımları ile hesaplama yapıldığında $32 / 200 = 0.16$ mm elde edilmektedir. Bu değer step motorumuzun her bir adımda eksenlere vereceği öteleme miktarını göstermektedir. Bu şekilde step motor bir adım attığında 0.16 mm hareket verilmekte olup istenilen ilerleme miktarı bu ölçüde ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.12 Gt-2 kayış

3.4. Çok Eksenli Titreşim Masası Yazılım Tasarımı



```
sketch_jan17a | Arduino 1.8.3
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
sketch_jan17a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Şekil 3.13 Arduino ilk ekran açılış sayfası

Arduino ilk başlatıldığında Şekil 3.13 sayfası açılmaktadır. Bu açılan sayfada arduino içerisinde yüklü bulunan kütüphaneden basit programlar çağırılarak denemeler yapılabilmektedir.


```

mpuservo
#include "I2Cdev.h" //I2C kütüphanesi
#include "MPU6050.h" //Mpu6050 kütüphanesi
#include "Wire.h"

#include <Servo.h>
MPU6050 ACC_GYR;
Servo S_K; // nesne yaratılır.
//16-BITLIK DEGISKEN KULLANILIR. ÇÜNKÜ GYRO VE IVME ÖLÇERDEN ALINAN DATALAR 16-BITLIK.
int16_t accx, accy, accz;
int16_t gyrx, gyry, gyrz;
const int servocikis=9; // SERVO ÇIKIS PALS PINI. SINYAL
int deger, eskideger;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("deprem test");

  ACC_GYR.initialize(); //
  Serial.println(ACC_GYR.testConnection() ? "BASARILI":"BASARISIZ");
  // EGER BAGLANTI BASARILI ISE mpu.testConnection()=1 OLUR
  // VE "BASARILI" AKTIF OLUR. DEGILSE "BASARISIZ" AKTIF OLUR
  S_K.attach(servocikis);
  S_K.write(90); // 90 DERECE KONUMUNA GETIR.
  delay(50);
}

void loop(){
  ACC_GYR.getMotion6(&accx, &accy, &accz, &gyrx, &gyry, &gyrz); // HER BIRI 16-BIT OLANA DATALARI AL
  deger=map(accx,-17000,17000,0,180);// SADECE X EKSENİNDEKİ DEGEERİ 0 İLE 180 ARASINDA SINIRLA.
  //if(deger!=eskideger){ // EGER İYİ DEGER VE BİR ÖNCEKİ DEGER AYNI İSE BIRAYAT ÇIKIR SERVO AYNI KONUMDA KALIRM

```

Şekil 3.14 Arduino ivme ölçer kodları

```

deprem-data-isleme
#include <AFMotor.h>
int veri[]={-20,20};
int ivme;
int dt;
AF_Stepper motor(200, 2);
AF_Stepper motor1(200, 1);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  motor.setSpeed(150);
  motor1.setSpeed(150);
}
void loop() {

Serial.println("double coil steps");
Serial.println("Stepper test!");

for(int i=0;i<3;i++){
  if(veri[i]>0){
Serial.println(veri[i]);
motor.step(veri[i] ,BACKWARD, DOUBLE);
motor1.step(veri[i] ,BACKWARD, DOUBLE); |
delay(5);
}else{
  Serial.println(veri[i]);
motor.step(abs(veri[i]) ,FORWARD, DOUBLE);
motor1.step(abs(veri[i]) ,FORWARD, DOUBLE);
delay(5);

}
}
}
/*

```

Şekil 3.15 Arduino sabit hareket kodları

3.4.1. Detaylı Kod Bilgisi

Bu konu başlığı altında Arduino arayüzü üzerinde step motorları ve ivme ölçerleri çalıştırmak için gerekli olan kodların açıklanması yapılmaktadır. Bu açıklamalar her kod satırı ayrı ayrı olacak şekilde yapılmıştır. Kodların detaylı anlatımı yazılımın motorlara nasıl veri gönderdiği ve bu veri gönderme yöntemi ile istenilen hareketin ne kadar kolay bir şekilde yönetildiğini görebilmek için açıklanmıştır. Açıklama şekli tablo olarak yapıp kodların ne anlama geldiğini basitçe anlatabilmek amaçlı seçilmiştir.

Tablo 3.2 Arduino kodlarının tablolanmış olarak gösterimi

Sıra Numarası	Kod	Açıklama
1	#include <AFMotor.h>	Arduinokütüphanesinden AFMOTOR kütüphanesi çağırılır
2	int veri[]={-20,20};	20 adımlık yön tanımlaması yapılmaktadır.
3	int ivme;	İvme isminde tanımlama yapılıyor
4	int dt;	dt isminde tanımlama yapılıyor
5	AF_Stepper motor(200, 2);	2. motorun adım miktarı 200 olarak tanımlanıyor.
6	AF_Stepper motor(200, 1);	1. motorun adım miktarı 200 olarak tanımlanıyor.
7	void setup() {	İlk değerler ve başta bir kere çalışacak kodlar
8	Serial.begin(9600);	Serial monitör iletişim hızı
9	motor.setSpeed(150);	"1. Motor dönüş hızı
10	motor1.setSpeed(150);	2.Motor dönüş hızı
11	void loop() {	Devamlı tekrarlanacak sırayla çalışacak kodlar
12	Serial.println("double coil steps");	Step motorlara verilecek pwm türü
13	Serial.println("Stepper test!");	Serial monitörde stepper test yazdır
14	for(int i=0;i<3;i++){	i değerini 0 dan başlatıp 3 oluncaya kadar her defasında bir attır
15	if(veri[i]>0){	i değeri 0 dan büyükse bir alttaki komutu çalıştır
16	Serial.println(veri[i]);	Seri monitöre i değerinin karşılığını yazdır
17	motor.step(veri[i] ,BACKWARD, DOUBLE);	Step motor a gelen veri geri yönde hareket ettir
18	motor1.step(veri[i] ,BACKWARD, DOUBLE);	Step motora gelen veriyi ileri yönde hareket ettir.
19	delay(5);	5 mili saniye bekle sonra diğer koda git. Bu kod her veri arasında 5 milisaniye fark olmasını sağlamaktadır
20	}else{	Bir üstteki komut geçerli olmadığında bir alttaki komut çalıştır
21	if(Serial.available() > 0){	

22	Serial.println(veri[i]);	i değerini serial monitöre yazdır
23	motor.step(abs(veri[i]),FORWARD,DOUBLE);	Step motorlara gelen negatif yöndeki verileri mutlak değer olarak görüp geri yönde hareket sağlar.
24	motor1.step(abs(veri[i]),FORWARD,DOUBLE);	Step motorlara gelen negatif yöndeki verileri mutlak değer olarak görüp geri yönde hareket sağlar.
25	delay(5);	Bir sonraki komut 5 milisaniye sonra çalışacaktır.
1	#include "I2Cdev.h" //I2C kütüphanesi	Kütüphane çağırılıyor.
2	#include "MPU6050.h" //Mpu6050 kütüphanesi	ivme ölçer kütüphanesi çağırılıyor
3	#include "Wire.h"	Wire başlıklı Kütüphane çağırılıyor
4	#include <Servo.h>	Servo motor kütüphanesi çağırılıyor
5	Servo myservo; int pos = 0;	Servo motor pozisyonu 0 konumunda başlat
6	MPU6050 accelgyro;	Mpu6050 sensör tanımlama
7	int16_t ax, ay, az;	ivme tanımlama
8	int16_t gx, gy, gz;	gyro tanımlama
9	void setup() {	İlk değerler ve başta bir kere çalışacak kodlar
10	delay(5);	5 milisaniye sonra diğer komut çalışır
11	Wire.begin();	Wire 1 başlat
12	myservo.attach(9);	Servo pwm pin numarası 9
13	Serial.begin(9600);	Serial monitör iletişim hızı
14	Serial.println("I2C cihazlar başlatılıyor...");	Serial monitör ekranına I2C cihazlar başlıyor yaz
15	void loop() {	Devamlı tekrarlanacak sırayla çalışacak kodlar
16	accelgyro.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz); // ivme ve gyro değerlerini okuma	Gyro ve ivme verilerini okuma işlemi yapılıyor
17	Serial.println(accelgyro.testConnection())	Serial monitör ekranına ? "MPU6050 bağlantı başarılı" : "MPU6050 bağlantısı başarısız"); yazar
18	Serial.print(ax); Serial.print("\t");	Serial monitör ekranına x eksenin ivmesini yazıp bir alt satıra geçmesini sağlar
19	Serial.print(ay); Serial.print("\t");	Serial monitör ekranına y eksenin ivmesini yazıp bir alt satıra geçmesini sağlar
20	Serial.print(az); Serial.print("\t");	Serial monitör ekranına z eksenin ivmesini yazıp bir alt satıra

		geçmesini sağlar
21	<code>Serial.print(gx); Serial.print("\t");</code>	Serial monitör ekranına x eksenin gyro verisini yazıp bir alt satıra geçmesini sağlar
22	<code>Serial.print(gy); Serial.print("\t");</code>	Serial monitör ekranına y eksenin gyro verisini yazıp bir alt satıra geçmesini sağlar
23	<code>Serial.println(gz);</code>	Serial monitör ekranına x eksenin gyro verisini yazar
24	<code>myservo.write(abs (gy));</code>	Servo değerini mutlak değere dönüştürür.

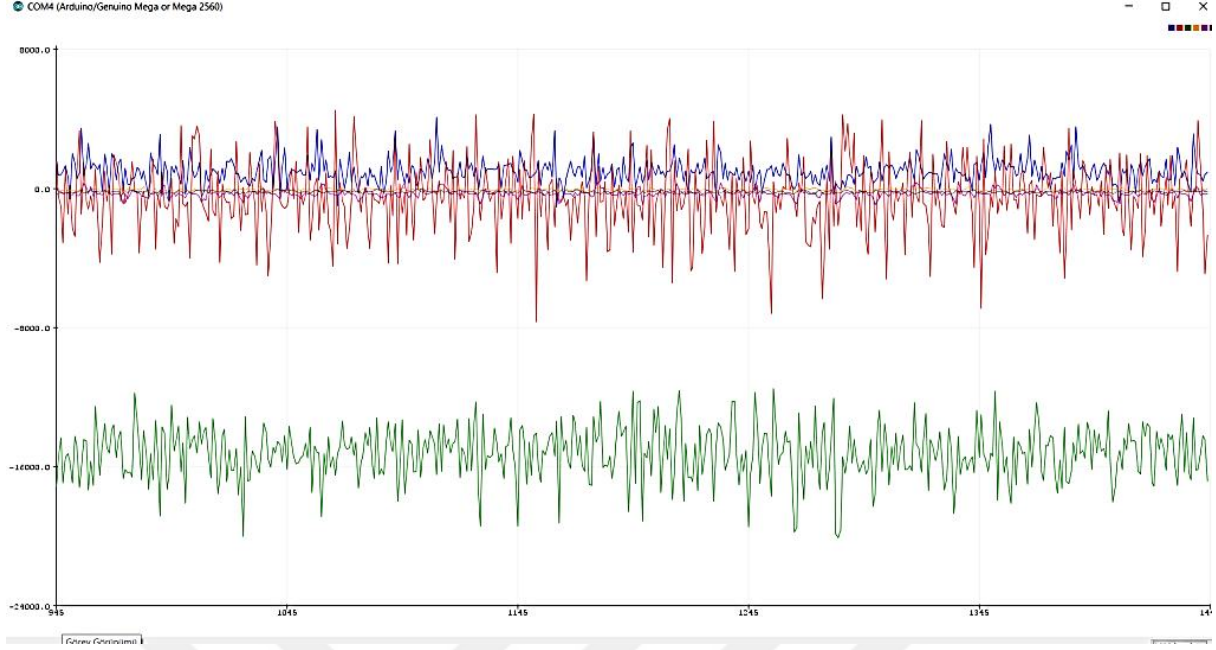
3.5.Çok Eksenli Titreşim Masası Montaj Aşamaları

Bu bölüm altında titreşim masasının mekanik montajının nasıl yapıldığı ve eksen hareketlerinin nasıl meydana geldiği anlatılmaktadır.

3.5.1. Sabit Eksenel Hareket Verisi ile Titreşim

Arduino ekranında step motorlara 20 adım ileri 20 adım geri yönde hareket için gerekli kodlar yazılmıştır. Bu kodlar 1. motorun ilk olarak 20 adım +X yönünde hareket etmesini sağlamaktadır. Step motorda bulunan kayış kasnak takımının ilerleme hesabı (20 adım x 0,16 adım ilerleme katsayısı) olmaktadır. Bu ilerleme hesabı kullanarak step motorun öteleme miktarı belirlenmiştir. Step motorun hareket etmesiyle 3,2 mm +X yönünde tabla hareket etmektedir. Bir sonraki komut devreye girdiğinde bu sefer step motor –X yönünde 3,2 mm tabla hareketi gerçekleştirilmektedir. Bu hareket sonra tablanın tam merkez noktasında yer alan ivme ölçer den ax, gx, ay ve gy verileri alınmaktadır. Bu veriler Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

X ve Y ekseninden alınan veriler tablanın merkezine sabitlenmiş olan ivme ölçerden alınan grafik verileridir. Bu grafik verilerine ait sayısal kayıt işlemi de gerçekleştirilmiştir. İvme ölçerden alınan veriler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



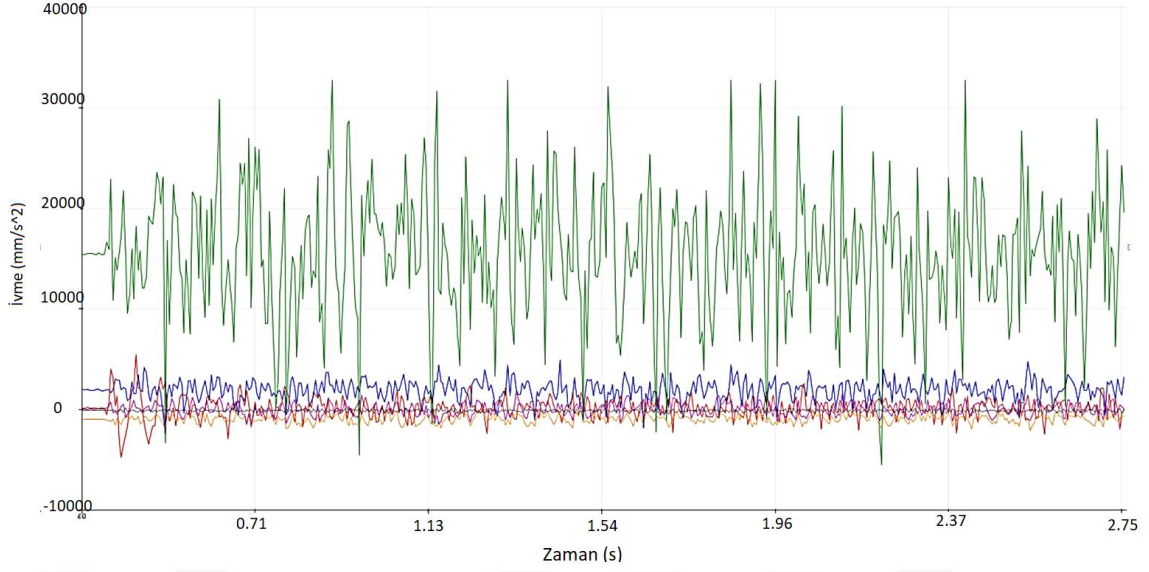
Şekil 3.16 İnşa edilen yapının tablasının merkezinde olan ivme ölçer verisi

Tablo 3.3 İnşa edilen yapının tablasının merkezinde olan ivmeölçer değerleri

ax	Gx	ay	gy
2600	-16	-2188	-293
-232	-3	368	-441
1192	8	-1964	-316
1148	-132	-396	-236
360	-83	964	-137
928	-69	2196	-619
1180	-51	-2636	-293
1552	-68	2560	-441
884	-228	-2740	-316
1072	-150	356	-236
1256	-102	-896	-137
636	-198	-508	-619
1208	-127	-804	-293
1584	18	-2712	-441
2204	-135	-2308	-316
92	-110	-200	-236
2884	-26	-3464	-137
860	-48	360	-619
1388	23	-2496	-293
2288	-110	-280	-441

ax	gx	ay	Gy
636	-99	-592	-236
1288	-106	3500	-137
752	-75	-944	-619
1056	-71	-908	-293
1680	-201	-6104	-441
204	-126	-4408	-316
720	-76	-2256	-236
476	-138	-1096	-137
500	-71	-464	-619
2176	3	-592	-293
872	-16	2408	-441
900	-3	-2224	-316
1540	8	-3120	-236
1972	-132	-220	-137
628	-83	1164	-619
2204	-69	-1072	-293
1032	-51	-452	-441
460	-68	-692	-316
396	-228	1976	-236
568	-150	2680	-137

Tabla merkezine yerleştirilmiş Şekil 4.1 de gösterilen ivme ölçere ait grafikte, yeşil renkte olan grafik verisi z eksen gyro verisine ait grafikdir. Bu grafik x ve y eksenlere ait olan grafiğin altında yer almaktadır. Tabla üzerine inşa edilen yapının birinci katında bir başka ivme ölçer bulunmaktadır. Bu ivme ölçer den de grafik ve sayısal veri alınmıştır. Alınan grafik verisi Şekil 4.2 de gösterilmiş olup bu grafikte z eksenine ait olan grafik yeşil renkte olup x ve y eksen grafiklerinin üzerinde bulunmaktadır. Bunun nedeni gyro verisinin yüksekliği algılamasıdır. İnşa edilen yapı tabla ya göre yüksek olduğundan buna ait grafik yukarıda yer almaktadır.



Şekil 3.17 İnşa edilen yapının birinci katındaki ivme ölçer

İnşa edilen yapıya ait gösterilen grafiğin sayısal verisi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 3.4 İnşa edilen yapının birinci katında olan ivmeölçer değerleri

ax (mm/s ²)	gx (mm/s ²)	ay (mm/s ²)	gy (mm/s ²)
2572	-1415	2308	-380
3404	-973	968	816
1508	-1231	-72	-354
2584	-748	756	-171
3648	-655	708	-234
2496	-1046	-668	-593
1084	-1526	-692	-740
2528	-1195	456	-616
2972	-895	-2532	413
1868	-693	-828	136
2420	-511	76	108
2184	-622	-16	262
1908	-316	-1048	468
220	-1187	716	-548
1436	-397	384	607
2132	-630	164	801
1156	-626	380	-89

ax (mm/s ²)	gx (mm/s ²)	ay (mm/s ²)	gy (mm/s ²)
1592	-831	1960	-283
2544	-1187	1592	-344
2340	-817	-20	265
1808	-1581	656	-623
2748	-875	92	-661
3272	-749	-676	161
1768	-917	28	920
1476	-972	512	-134
2192	-845	-156	-750
3028	-782	-696	-478
1916	-974	-164	-426
1132	-837	352	-244
2528	-868	860	324
908	-1120	596	711
1996	-806	212	12
1536	-1436	292	-912
2900	-1296	-224	-657
1888	-1191	160	-210
2408	-1504	1028	-414
2116	-1484	1052	-547
1724	-1130	-236	-628
2844	-765	364	-388
3592	-404	-244	410
2596	-480	-292	619
1612	-371	-140	649
1552	-739	200	2
2888	-992	888	-286
1324	-1095	-360	-35
1936	-1060	-816	35
2960	-798	104	317
1564	-1136	420	916
196	-1388	-596	-486
2324	-705	-860	407
2024	-586	504	856
-64	-594	504	1233
1052	-1101	1088	-126

4. TİTREŞİM MASASININ DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

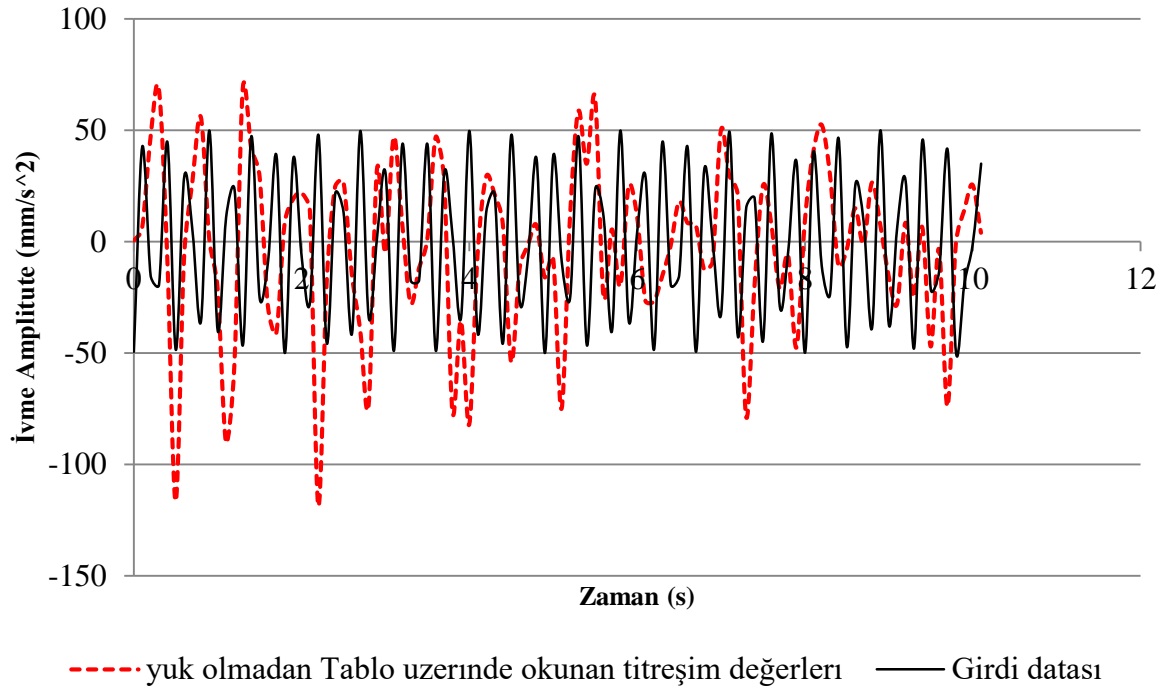
4.1 Testlerin Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde, fiziksel ilkelere dayalı analitik modeller geliştirilmiş ve frekans tepkileri analiz edilmiş ve gerçek sistemin deneysel olarak tanımlanmış frekans yanıtı ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümde, bu modellerin zaman alanındaki yanıtı Arduino modellerinin geliştirilmesi aracılığıyla sayısal olarak elde edilmiş ve bu yanıt, gerçek test deneyleri sırasında kaydedilen gerçek sistemin yanıtı ile karşılaştırılmıştır.

4.2. Performans Değerlendirilmesi ve Sonuçlar

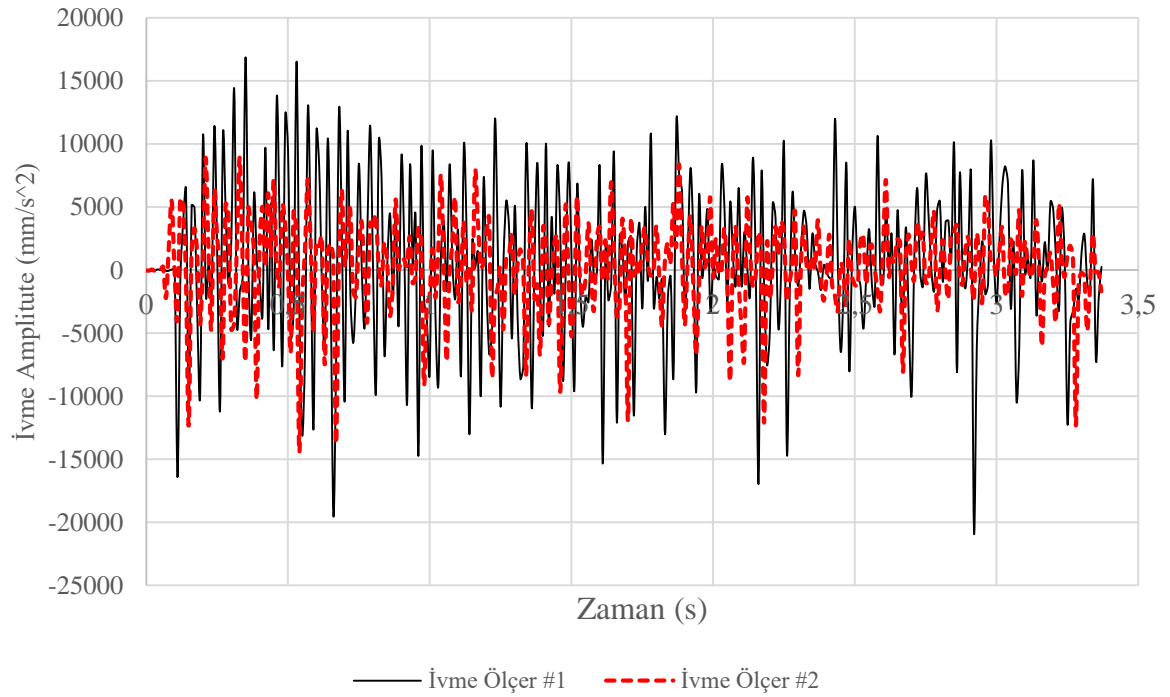
Model testi için deney düzeneğinde 4 ivmeölçer kullanıldı. Deneysel model için giriş hareketi değeri sağlayan titreşim masasının üst plakasına Acc-1 monte edilmiştir. Titreşim nedeniyle modelin tepkisini sağlamak için Acc-2, deneysel modelin üstüne monte edildi. Modelin taban plakasına Acc-4 monte edilmiştir ve titreşim ve taban plakasının titreşiminin aynı olduğunu doğrulamıştır. Şekil 4.1, dört ivmeölçerin grafik gösterimini göstermektedir. Yanıt değerlerinden, Acc-1, Acc-3 ve Acc-4'ün neredeyse aynı yer değiştirme değerlerine sahip olduklarını söyleyebiliriz. Böylece, masa genliğini sarsıntı, modelin taban plakasının tümü aynı yer değiştirme değerine sahiptir. Şekil 4.1 de yer alan grafikte titreşim masasına girilen bir deprem verisi ile titreşim masasının bu veri ile meydana getirdiği titreşim grafikleri verilmiştir. Bu grafikte verilen girdi ile çıktı arasında fark görülmektedir. Bu farkın nedeni şekil 4.4 de gösterilen hareket esnasında kayışta meydana gelen titreşimlerdir. Bu titreşimlerden dolayı girdi deprem verisi ile çıkış deprem arasında farklar meydana gelmektedir. Kayış kasnak kullanımdan kaynaklanan bu sorun vidalı mil kullanılarak çözülebilir. Fakat vidalı mil kullanıldığında step motorların verdiği tepkime süreleri kayış kasnaktaki tepkime sürelerine göre yavaş olacaktır. Kayış kasnak takımı kullanıldığında step motorun bir tam turunda 40 mm hareket alınmaktadır. Bu 40 mm hareket 160 mm / sn hızla gerçekleştirmektedir. Vidalı mil kullanıldığında bu değer step motorun 4 tur atmasına denk gelmektedir. Bu nedenden dolayı vidalı milde istenilen tepkimeler daha yavaş olacaktır. Tepkiler yavaş fakat sistem daha stabil halde çalışacaktır.

Titreşim Masası Performans Değerlendirmesi

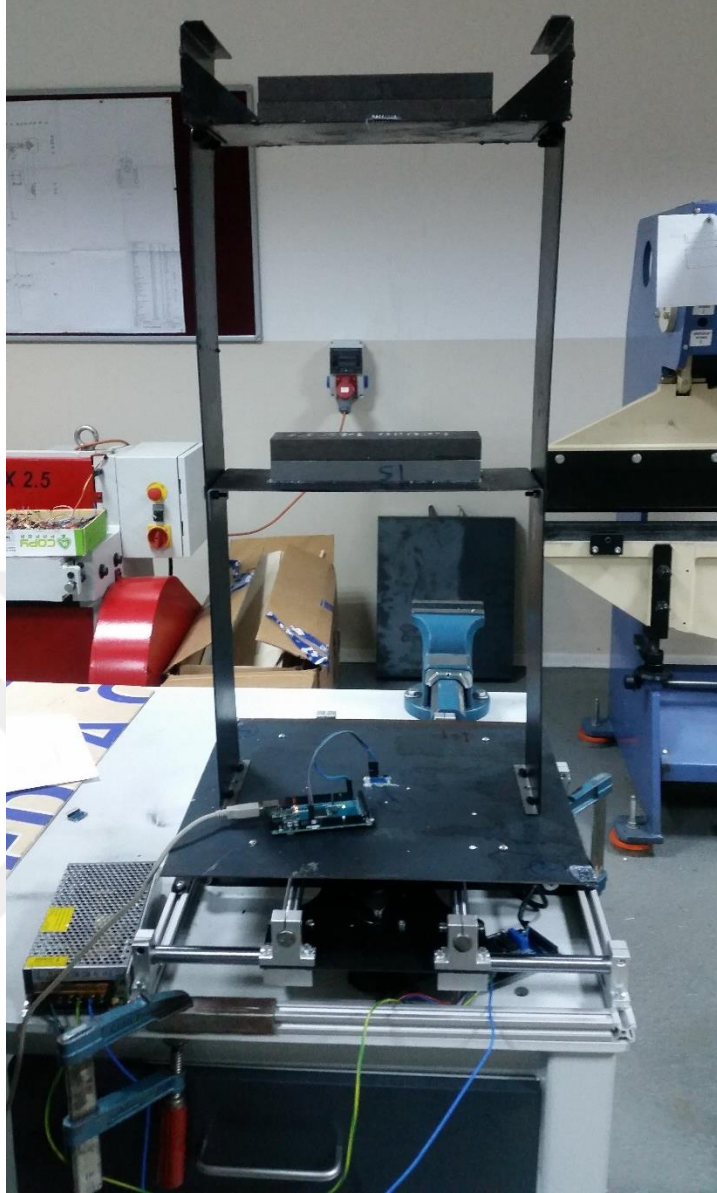


Şekil 4.1 Titreşim masasının performans değerlendirilmesi

İvme Ölçerlerin doğruluğu

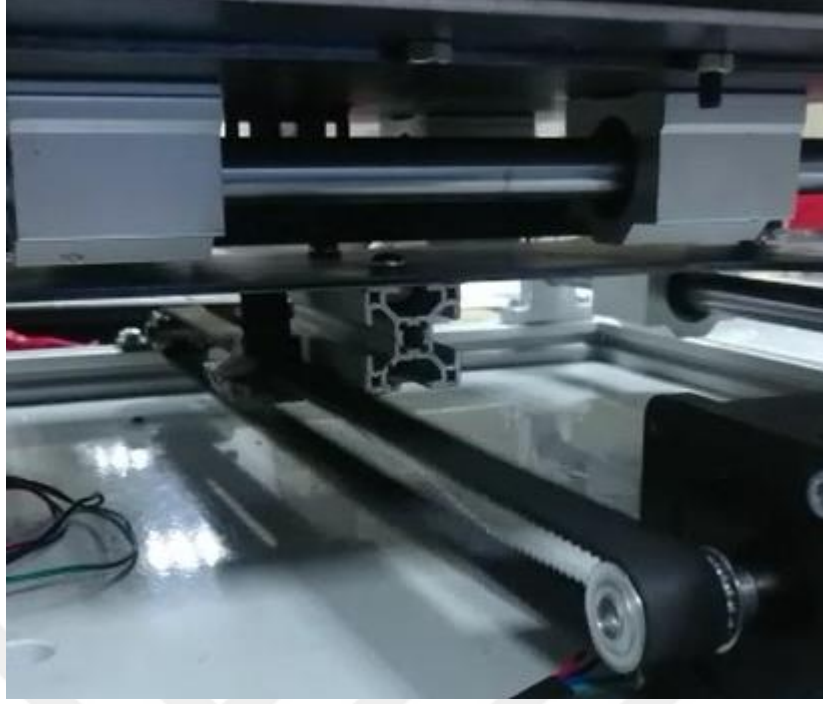


Şekil 4.2 İvme ölçerlerden alınan değerlerin doğruluğunun incelenmesi



Şekil 4.3 Titreşim masası ve üst yapı deney seti görünümü

Şekil 4.3 de gösterildiği gibi titreşim masası üzerinde iki katlı bir bina modeli sac kullanılarak yapılmıştır. Titreşim masasının çalışmasıyla zemin hareketinden dolayı tabla üzerine inşa edilen yapı sarsılmaktadır. Sarsılan yapının üzerinde bulunan ivme ölçerlerden veri alınmaktadır. Alınan bu veriler hem grafik olarak hem de txt formatından kayıt imkanı sunmaktadır. Txt formatında alınan kayıtlar sayesinde tüm ivme ölçerlerden alınan verileri excel üzerinde toplu grafik çizdirme ile tüm grafiklerin ayrıntılarını görebilmekteyiz.

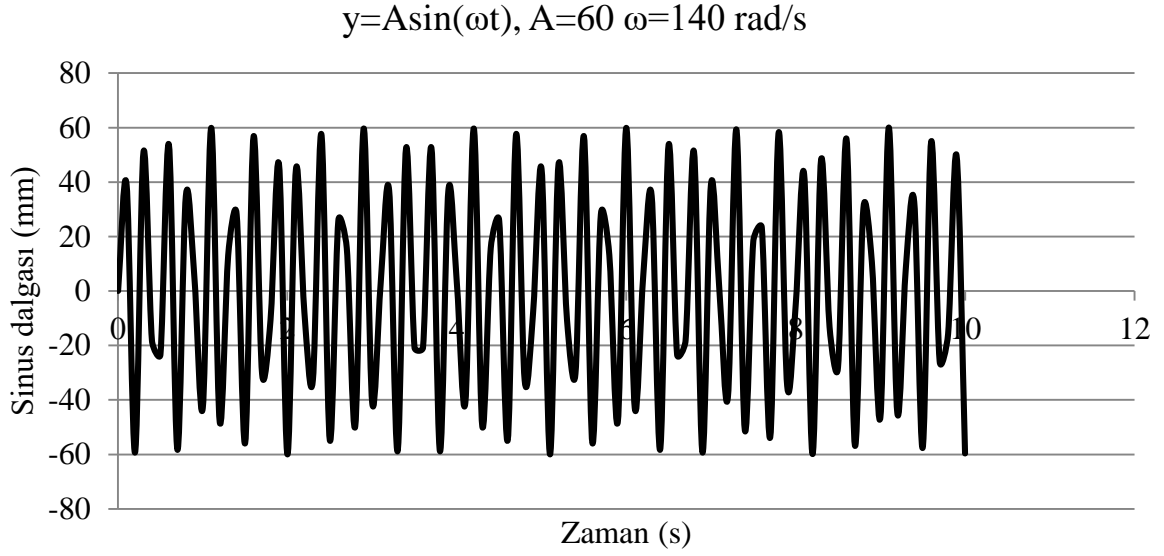


Şekil 4.4 Titreşim masası kayış titreşimi



Şekil 4.5 Titreşim masası kayış sabitleme karşılığı

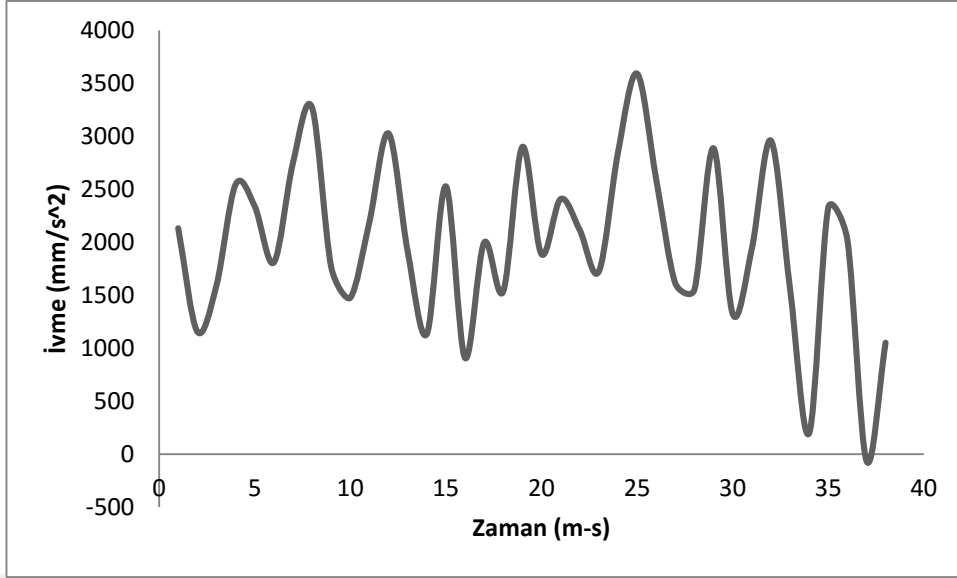
Titreşim masasında step motorlardan alınan dönme kuvvetini öteleme hareketine çevirmek için kullanılan kayış kasağ sisteminde kayış hareketinin lineer olması için sabitleme rulmanları kullanılmaktadır. Bu rulmanlar sayesinde kayış gerdirilerek döndürülme ve lineer hareket yaparken bulunduğu eksenden dışarı çıkmaması sağlatılmaktadır. Bu sayede hareketli bileşenlerde boşluk oluşmasını engellemektedir.



Şekil 4.6 Sinüs girdi time serisi

4.3 Kullanılan Yer Hareket Veri Tabanının Genel Özellikleri

Fay kırığına takriben 20 km'den daha yakın noktadaki yer hareketleri “yakın alan deprem kayıtları” olarak adlandırılmaktadır. Fay hattına yakın yer hareketlerinin ayırt edici özellikleri, kırılma yönü (directivity), atım tesiri (fling) ve yukarı kayan kesim tesiri gibi özelliklerden doğmaktadır. İlk iki etkiye göre, fay hattına yakın yer hareketleri, deprem başlangıcında binalara yüksek miktarda enerji aktararak önemli yapısal hasarlara neden olmaktadır. Seçilen Sakarya yer hareketi kaydı (Ağustos 1999, Büyüklük (Mw)= 7.4, Mesafe= 3.2 km) için ivme, hız ve deplasman zaman geçmişi Şekil 4.7 de çizilmiştir. Zaman serisinde darbe benzeri etki görülmektedir.



Şekil 4.7 Titreşim masası örnek deprem verisi

4.4. Tek Katlı Yapıların Sismik Tepki İçin TMD Modellerinin Performansları

Bu bölümde tek serbestlik derecesi olan yapı modeli için deprem yükü altında simülasyon yapılmıştır ve ilgili denklemler sunulmuştur. Ayrıca sonuçların doğrulaması için örnek bir yapı modellenmiş ve çözümler kıyaslanmıştır.

4.4.1. Deprem titreşimi Altında Yapı Modellerinde Ayarlanmış Kütle Amortisörü (TMD) için Hareket Denklemleri:

Birçok Ayarlanmış Kütle Amortisörü (TMD), yüksek katlı yapı yapılarında başarıyla kurulmuştur. TMD'ler rüzgar, deprem ve insan faaliyetleri altında hem yeni hem de mevcut yapılar için bina yapılarını etkili bir şekilde modellemek için kullanılabilir. Eşit kütle amortisörleri TMD'lerin deprem uyarımlar altında bina yapılarını kontrol etme etkinliği 'de yapılan çalışmada araştırılmıştır. TMD parametrelerinin bazılarının sismik performans uyarımı altında, TMD'lerin bulunduğu yapıların performansı, yer hareketinin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Bu denklemlerin hesaplama Amacı ise deprem uyarımı altında tek serbestlik derecesinde (SDOF) yapıları için diferansiyel denklem denklemini elde etmek ve basit bir SDOF TMD modelini simüle etmek ve performansını doğrulamak.

4.4.2. Transfer Fonksiyonu: Hareket Denklemi

Bir TMD sistemini kullanarak tek serbestlik dereceli hareket serbestliği denklemi, ana kütle üzerine etki eden kuvvet olan bir titreşim kuvvetine $f(t)$ maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, parametre ana kütle, yay sertliği, emici sönümlenme, bir harmonik uyarım frekansdır. kabul edilen pozitif hareket yönü ile sistemin yer değiştirmesi:

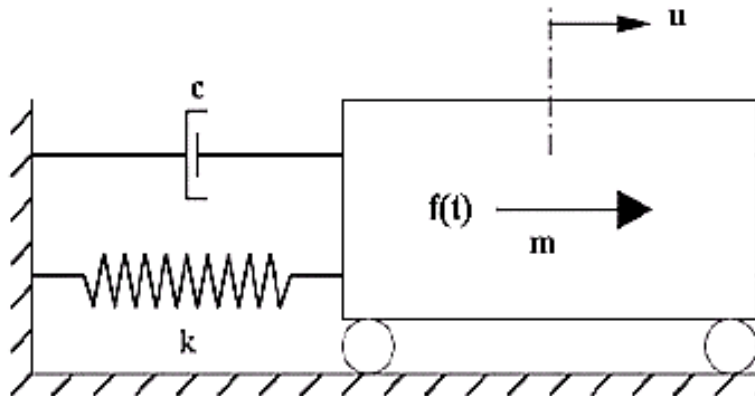
Newton yasası, kuvvetleri ve sıfıra eşit kuvvetlerin toplamını toplayarak hareketin diferansiyel denklemini elde etmek için kullanılabilir. Dolayısıyla hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + c \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t) \quad (4.1)$$

Denk. (4.2) 'in Laplace dönüşümünü almak, sıfır başlangıç koşullarını varsayarak ve transfer fonksiyonu verimleri için

$$G_1(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k} \quad (4.2)$$

Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tek bir serbestlik derecesi (DOF), bir TMD modeline eşdeğerdir.

4.4.3 Simülasyon Durumu

Tek katlı bir bina yapısal özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Yapının, yer ivmesi $g(t) = A \sin [(20\pi / 3) t]$ 'nin uyarımına tabi olduğu varsayılacaktır. Binanın bir TMD modelinin bir SDOF'sinin dinamik sistem yanıtını tasarlamak ve simülasyonunu Nümerik çözümlenme programı kullanarak doğrulamak için bir Simulink / Matlab [36] algoritması kullanılmaktadır.

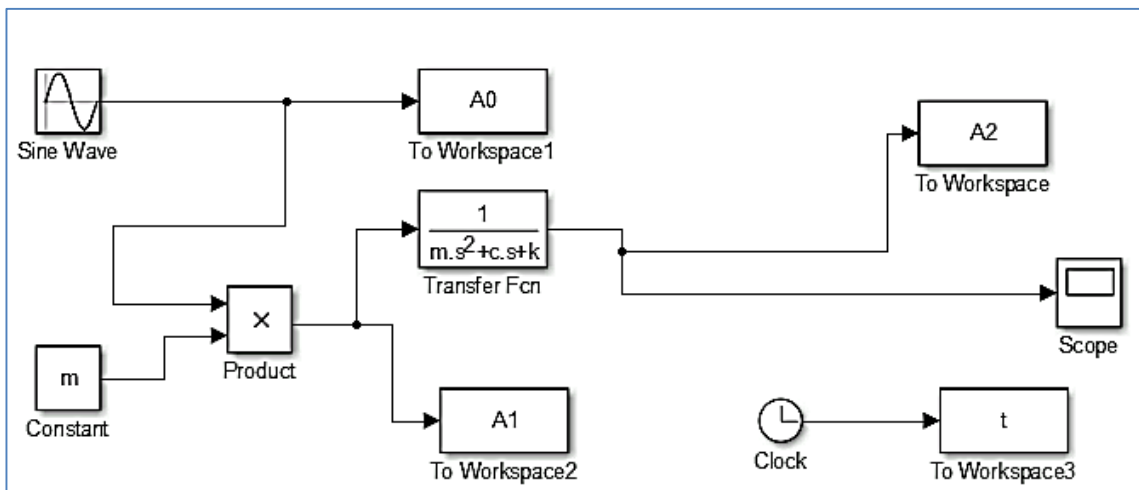
Sistem kurulumu:

Tablo 4.1 Simülasyon parametreleri.

Simülasyon parametreleri	
m	233.6×10^6 Kg
K	14.7×10^{10} N/m
c	27×10^7 N-s/m
g	9.81 m/s ²
A	$0.25 * g$

Simülasyonlar, sistemin dinamik davranışının incelenmesine ve tepki spektrumu analizinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Matlab / Simulink bir SDOF TMD modelinin grafiksel analizini gerçekleştirmek için uygulanabilmektedir.

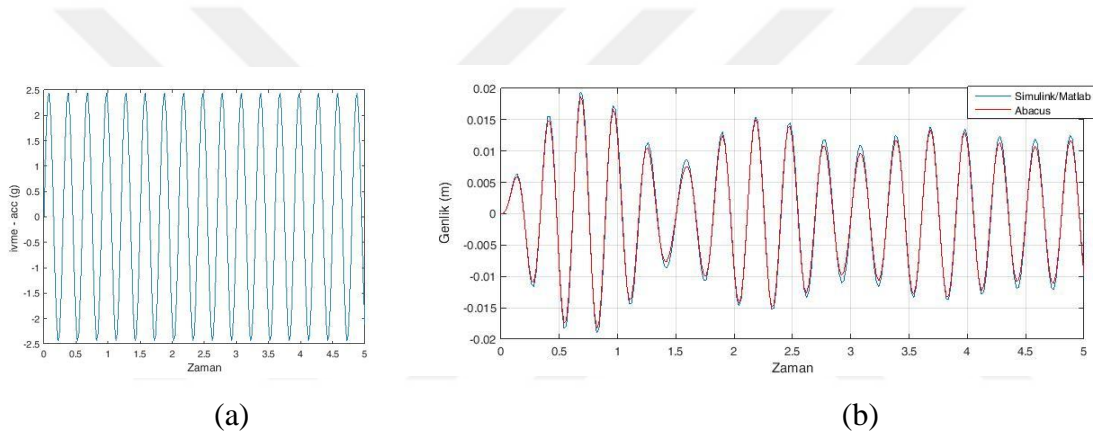
Şekil 4.9, SDOF TMD modelini gerekli sinüs dalgası girişi ve yer ivmesi girişi, bina aktarma işlevi Denk. (4.2) ve oluşturulan sistem çıktıları ile simüle etmek için kullanılan Simulink blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 4.9. SDOF TMD modelini simüle etmek için kullanılan simülasyon blok diyagramı.

4.4.4. Simülasyon Sonuçları

Şekil 5.3'de, sismik hareket altında SDOF TMD yapısının simüle edilmiş dinamik yanıtı elde edilmiş ve ABAQUS sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen bir simülasyon ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.10 (a), bir sistem girişi olarak kullanılan sismik hareket sinyalidir; Şekil 4.10 (b) Simulink sisteminin simülasyona cevabını bir sonlu elemanlar yöntemi (ABAQUS) ile karşılaştırır.



Şekil 4.10. Sismik harekette SDOF TMD yapısının simülasyonları: a) Simulink / Matlab sonuçları[36] ve b) Sonlu elemanlar yöntemi (ABAQUS).

Bu TMD modeli çok basit ve ana sistemi dinamik davranış kopyalarından bir SDOF TMD modelini temsili için kullanılabilir. Daha sonraki çalışmalarda, titreşim tablosu ve duyuşal sistemi olan bir SDOF yapı yapısı, SDOF TMD'nin basit zorlanmış titreşim sistemlerinin performansını doğrulamak için olmalıdır.

Gerçek sistem zaman geçmişini yanıtı, Linear Variable Differential Transformer, LVDT ve bir veri toplama uygulaması kullanılarak 500 Hz'lik bir örnekleme oranı kullanılarak elde edilmektedir. Bu LVDT kayıtları, sistemin denetleyicisine geri bildirim sağlayan aynı sinyalden elde edilmiştir. Analitik modelin zaman etki alanındaki simülasyonudur. Simulink kullanılarak elde edilmiştir. Simulink, grafik kullanıcı arabirimi ortamında dinamik sistemlerin modellenmesini, simüle edilmesini ve analiz edilmesini kolaylaştıran Matlab'ın bir uzantısıdır. Matlab Simulink, gerçek sistemi temsil eden diferansiyel yönetim

denklemlerinin sayısal integrasyonunu gerçekleştirir. Bu modeller, kapsamlı bir blok kütüphanesine tıklayarak sürükleyerek kolaylıkla monte edilebilmektedir.

Bu bölümde sadece bir kontrol algoritması da dahil olmak üzere bu analitik modeller düşünülmüştür çünkü simülasyon gerçek sistem tepkisi ile karşılaştırma amaçlıydı ve gerçek sistem, hiçbir koşulda servo elektrik çalışması ile ilgili pratik zorluklar nedeniyle hiçbir zaman açık çevrimde kontrol çalıştırılmadı. Başlangıçta, Simulink modelleri analitik modellerin yapı taşlarını sağlayan temel denklemler için geliştirilmiştir. Ardından, daha sofistike sistemlerin montajını takip edilmiştir ve bunlara karşılık gelen blok diyagramları eşlik edilmiştir.

4.5 Analitik Temel Modüllerin Simulink Temsilleri:

4.5.1. Titreşim Masası Modeli

Bu bölüm, aşağıdaki bölümlerde monte edilecek komple modellerin yapı taşlarını sağlayacak olan temel Simulink modellerinin gelişimini kapsamaktadır.

4.5.2. Servovalve

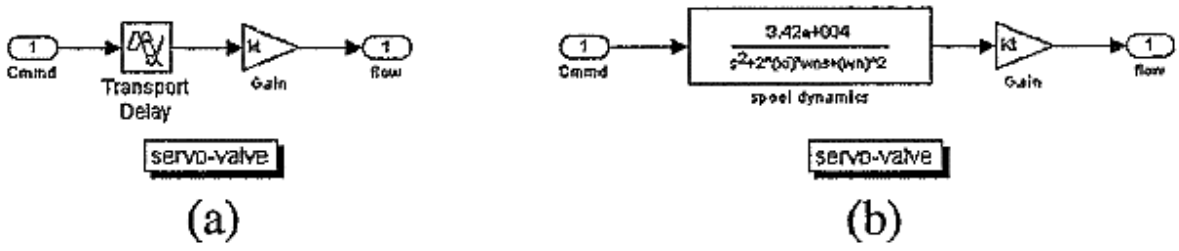
Bazı modellerde servovalve zaman gecikmesi (taşıma gecikmesi) ve bazıları ise ikinci dereceden bir sistem olarak temsil edilir. Zaman geciktirme modeli aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$q_t(s) = k_t \cdot x_c(s) \cdot e^{-\tau s} \quad (4.3)$$

$x_c(s)$, servovalve'yi kontrol eden elektrik sinyalidir, k_t , tablo kazanım faktörü ve t , zaman gecikmesidir. Burada $q_t(s)$, servovalve tarafından aktüatöre gönderilen akıştır. İkinci dereceden sistem aşağıdaki denklemle temsil edilmektedir:

$$H_t(s) = \frac{k_t \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (4.4)$$

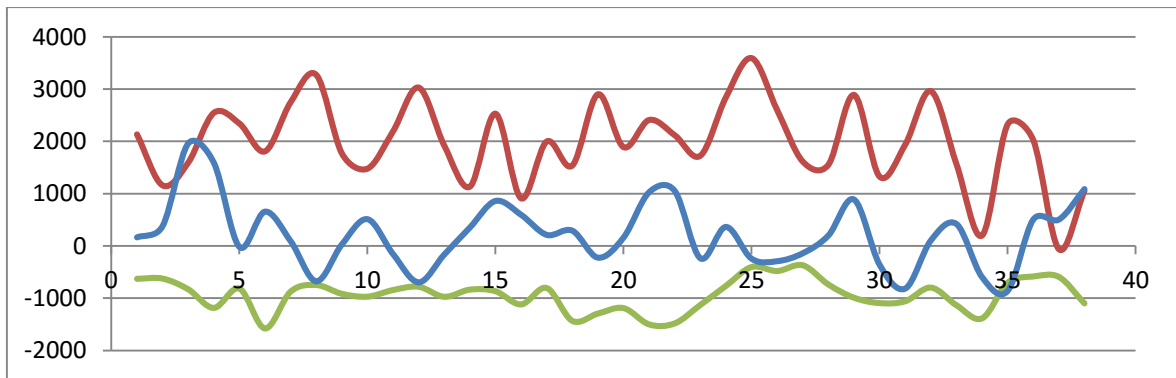
Burada $H_t(s)$ servovalve, $x_c(s)$ ve servovalve, $q_t(s)$ tarafından verilen akış arasındaki sinyal iletimi arasındaki servovalve transfer fonksiyonudur. Bu iki denklem, Şekil 4.11'de gösterilen blok diyagramları olarak Simulink modellemesinde temsil edilmektedir.



Şekil 4.11 Servovalve'in simulink model ifadesi: (a) zaman gecikmesi olarak servovalve, (b) ikinci dereceden sistem olarak servovalve

4.5.3 Dijital Kontrol Cihazı

Orantılı, İntegral ve Türevsel, PID geri besleme dijital denetleyicisi, önceki bölümdeki 1 no'lu modelde ve Model 1'deki ileri besleme denetleyicisinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Temel denklem aşağıdaki gibidir. Gerçek titreşim masası sistemi değerleri ve sinüzoidal dalga sinyallerine arasındaki verilen yanıtların karşılaştırılması şekil 4.12 gösterilmiştir. Gerçek titreşim masasında sinusoidal dalga üretmek için step motorlara komut gönderen Adafruit sürücülere motor için dönme hızı, dönme miktarı ve deplasman verisi gönderilmektedir. Gönderilen bu veri kapalı bir çevrim içerisinde olup, ileri ve geri yönde olarak çalışmaktadır. Bu çalışma kapalı bir çevrimi içerisinde olduğu için elektrik sinyali kesilene kadar sinüzoidal dalga biçiminde titreşim devam etmektedir.



Şekil 4.12 X, Y ve Z eksen i için ivme ölçer kayıtları

4.5.4 Yapı Modeli için Aktif Kontrol Düzenegi

Bu çalışma için binaların deprem esnasında sismik davranışını modelleme amacıyla iki serbestlik derecesi olan yapı modeli hazırlanmıştır. Titreşim masasından bağımsız olarak ayarlanabilir aktif kütle sönümleyici (AKS) yöntemi ile bu modelin verilen deprem hareketi altında tepkisi minimize etme hedeflemektedir. Bu AKS çalışma mekanizması aşağıda anlatılmıştır.

Modellenen titreşim masası ve titreşim masası üzerine inşa edilen iki serbestlik dereceli yapının üzerine yerleştirilen ivme ölçerlerden alınan veriler ile bir kontrol yazılımı geliştirilmiştir. Bu kontrol yazılımı bir servo motoru hareket ettirecek şekilde tasarlanmıştır. Hareket ettirilecek olan servo motor yapının en üstüne yatay olarak yerleştirilmiştir. Servo motorun üzerinde bulunan metal dişliye temsili bir ağırlık konulmuştur. Bu ağırlık sisteme yapılan yazılım sayesinde inşa edilen yapı üzerinde bulunan ivme ölçerlerden alınan veriler ile hareket ettirilmektedir. Bu veriler yapının deprem etkisiyle sallanmasından kaynaklanan ivme ve deplasman verilerini hesaplayarak yapının hareket ettiği yönün tersine ve yapının salınım ivmesine uygun ivme ile hareket edip yapının titreşimini en aza indirecek şekilde çalışmaktadır. Kontrol sisteminin çalışması yapı üzerinde bulunan ivme ölçerden alınan gyro verisi ve ivme verisini 180 derece arasında sınırlandırılarak kütleli belirli aralıkta hareket ettirmesiyle AKS yi oluşturmaktadır . Bu sayede servo motorun hareketi aksel olarak kontrol altında tutulmaktadır. Servo motorun ivme sınırlandırılması 1700 olarak belirlenmiş ve hareket aralığı 5 ms olarak ayarlanmıştır. İvme ölçerlerden her 5 ms de bir veri alıp o veriye uygun hareketi üretmektedir. Kontrol sisteminde bulunan yazılımda kütleli he defasında merkez noktasına getirecek olan bir yazılımda mevcuttur. Bu sayede titreşim masasına her elektrik verildiğinde kütle, sistemin tam merkez noktasına konumlanacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında makine mühendisliği, kontrol mühendisliği, deprem mühendisliği ve yazılım üzerine disiplinler arası çalışmalar yapılacaktır. Makine ve Elektronik sistem model simülasyon ve yapımı, kontrol sisteminin uyumlu olarak kurulması, makine yapımı ve gerekli yazılımların hazırlanması ile hazırlanan bu çalışmalardan yararlanılarak model üzerinde yapılacak çalışmanın incelenmesi ve minimum hata ile ürünün ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

PID kontrolü temel teorisinin anlaşılması ve kullanılması yoluyla tamamen çalıştırılan dijital olarak kontrol edilen küçük servo elektrik motorlar ile titreşim masası sistemi geliştirilmiştir. Tüm bileşen parçalarının dinamik özellikleri ve etkileşimleri, zaman alanındaki yanıtlarını elde etmek için Arduino simülasyon aracında programlanan bir dizi yükseltilmiş analitik doğrusal modelde kurulmuş ve başarılı bir şekilde modellenmiştir.

- Lisans yapısal dinamikler laboratuvarında kullanılmak üzere özgün elektro-dinamik bir iki eksenli titreşim masası sistemi geliştirilmiştir.
- Temel kontrol teorisi PID kontrolü gözden geçirildi ve incelenmiştir.
- Bir dijital kontrolör uygulandı ve kontrol yazılımı, bu teoriyi kullanarak, yeni monte edilen titreşim masası sistemini kontrol etmek için geliştirilmiştir.
- Titreşim masası sisteminin toplam Transfer fonksiyonu, çeşitli sistem tanımlama teknikleri kullanılarak deneysel olarak tanımlanmıştır.

Her bileşen parçasının fiziksel ve dinamik özellikleri incelenmiş ve belirlenmeyen parametreler, deneysel olarak tanımlanmış toplam tablo transfer fonksiyonu ile analitik model transfer fonksiyonunun en küçük kareler uyması yöntemi ile belirlenmiştir.

Her bileşen parçasının çalışmasını düzenleyen fiziksel ilkelere dayanılarak bir dizi artan analitik doğrusal model geliştirildi. Transfer fonksiyonunun frekans tepkisi, gerçek titreşim masası sisteminin deneysel olarak tanımlanmış toplam Transfer fonksiyonuyla karşılaştırıldı. Böyle bir sistemin, harmonik hareketler, deprem hareketi ve diğerleri gibi

çeşitli dalga formlarının komuta edilen sinyallerinin üretilmesinde dinamiklerini daha iyi anlamak için yapılmıştır.

Analitik modellerin zaman alanındaki tepkisini elde etmek ve gerçek titreşim masası sisteminin tepkisi ile karşılaştırmak için bir dizi Arduino modeli geliştirilmiştir.

Duyarlılık çalışmaları, her model ve varyasyona duyarlı her parametre için gerçekleştirildi. Hedef, modellerin frekans yanıtı ve titreşim masası sisteminin dinamik tepkisini izleme kabiliyetlerini daha iyi anlamayı sağlamaktır.

Hemen hemen her araştırmada titreşim masası sisteminin en önemli dinamik özelliği olan motor frekansı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu durumda, elektrik akümülatör özellikle küçük boyutu göz önüne alındığında, servo-motor frekansı tüm sistemin dinamik karakteristikleri ile birebir alakalı olmadığı görülmüştür.

- Servo-motor frekansının belirleyici parametrelerinden biri olan titreşim masasının kütlelerinin, küçük boyutlu aktüatör ve titreşim tablası ile bağlantının doğal uyumu göz önüne alındığında, kütlelerin motorlara etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür.

5.1 Önemli Sonuçlar

Bu işletim sistemi altında çalışan yürütülmekte olan bir işleme atanabilen, Microsoft Windows'un Gerçek Zamanlı önceliği adı verilen ayar, işlemin deterministik bir şekilde yürütüleceğini garanti değildir. Gerçek Zamanlı kontrol uygulamaları için, kesin bir kurulumu garanti eden Gerçek Zamanlı donanım araçlarını dağıtmak kesinlikle gereklidir.

Çok basit analitik modeller, çok karmaşık dinamik sistemlerin genel dinamik tepkisini elde etme yeteneğine sahiptir. Basit olanlardan çok daha fazla bileşen içeren çok karmaşık modeller, bu sistemlerin dinamik tepkilerini elde etmede mutlaka daha doğru çalışmazlar. Bu daha karmaşık modeller, araştırmacıya sistemin daha ayrıntılı ayrıntılarını inceleme imkânı sunma avantajına sahiptir ancak çok katı ve temel bir temel çalışma prensibi üzerine oluşturulmuş iyi eğitilmiş bir basit modelle elde edilen simülasyon üzerinde mutlaka önemli bir gelişme sağlamazlar. Destek tabanı çerçevesinin esnekliğini analitik

modele eklemek, düzeltme katsayısına daha gerçekçi bir değer verilmiştir. Analitik modellerle yapılan diğer modifikasyonlar ve sayısal simülasyonlar, basit modellerin gücünü ve daha karmaşık modellerin ortaya çıkan küçük iyileştirmeleri göstermiştir.

Analitik doğrusal sistemler bu titreşim tablası sistemlerini modellemek için güçlü bir kapasiteye sahiptirler, ancak bu sistemler birçok doğrusal olmayan birleşime sahip olmaktadır.

- Toplam sistemin dinamik davranışını belirleyen parametre, en düşük doğal frekansa sahip bileşenin doğal frekansıdır. Elektrik akümülatör, daha küçük boyutlara sahipse, bu durumda servo motor frekansı daha yüksek değerlere erişebilir ve çalışma aralıklarında sistemin dinamik tepkisi için tamamen uygun olmayabilir.

1. Arduino, çok kolay ve kullanımı kolay bir kullanıcı arayüzü vasıtasıyla zaman alanındaki dinamik sistemleri simüle etmek için güçlü bir araçtır. Bununla birlikte, daha yüksek frekanslarda simülasyon, doğrudan frekans alanında elde edilen sonuçları doğru bir şekilde transfer fonksiyonu formülasyonundan yansıtmaz. Büyük olasılıkla daha yüksek frekanslarda, zaman geçmişi izlerinin eğrilik derecesi daha yüksektir ve bu da dahil edilen sayısal entegrasyon prosedürlerinde daha büyük hataya neden olur. Bu çok yönlü aracın avantajlarından yararlanmak için Arduino'un entegrasyon motoru hakkında daha fazla çalışma gereklidir.

2. 0,5 m x 0,5 m boyutunda yüksek frekanslı iki eksenli titreşim tablasının geliştirilmesi maliyeti, 1500 \$ ve izleyici kurulumu ile birlikte çok basit, uygun maliyetli için kabul edilebilir deplasman sonuçlarını sunmaktadır.

4. Bu düşük maliyetli titreşim tablası kurulumu, deprem mühendisliği laboratuvarının geliştirilmesi için ilk adımdır ve bu vesileyle Dinamikler konusunu pratik olarak deneyimler için yardımcı olacaktır:

- Lisans öğrencilerine yapıların dinamik tepki anlayışını geliştirmek;
- "Uygulamalı " laboratuvar deneyleri ile teorik kavramları güçlendirmek;
- Sensörler ve veri toplama / analiz ekipmanı da dahil olmak üzere modern mühendislik araçlarını kullanma fırsatı sağlamaktadır.

5.2 Gelecekteki Çalışma Önerileri

Bu çalışma gelecekteki çalışmalar için birçok doğal kaynak oluşturmuştur. Bunların bazıları şunlardır:

- Titreşim tablası ve akümülatör kolu arasındaki bağlantının davranışını anlamak için daha fazla araştırma gereklidir, çünkü daha küçük boyutlu elektrikli etki üniteleri durumunda, çok sert görünen bağlantıların uyumu, bu şekilde çok telli bir etkiye sahip olabilir güç birinden diğerine iletilir. Bu durumda, bu uyum, servo motor frekansının deneysel olarak belirlenmesi çabalarını tamamen yanlış yönlendirdi.
- Bu araştırmanın bir sonraki adımında doğrusal olmayan analitik modellerin geliştirilmesidir, çünkü doğrusal olmayan analitik modellerin birçoğu, doğrusal olmayan kaynağa sahip bir sistemdir. Sistemin kalbindeki en temel unsur olan elektrik etki ünitesi, sadece doğrusal olmayan bir modelden doğru şekilde modellenebilen farklı kesit alanlarına sahiptir. Servovalve'nin daha ayrıntılı bir modeli de kullanılabilir; titreşim masası ve raylar arasındaki sürtünmeyi göstermek için doğrusal olmayan bir model gereklidir ve kayışların davranışı de doğasında doğrusal değildir. Daha ileri araştırmalarda, hazır bulunan daha modern teorilerini kullanmak için ek kontrol algoritmaları düşünülmelidir.
- Son olarak, bu araştırmada ilerlemenin bir başka doğal yolu, bir yükün dahil olmasıdır. Amaç, test örneğinin hareketi ile titreşen tablonun dinamik tepkisi arasındaki etkileşimi incelemek için titreşim masasına yerleştirilen bir test örneği dahil bir sistemi modellemek önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]Aldawod M., Samali B., Naghady F., Kwok Kenny CS. (2001). “*Active control of along wind response of tall building using a fuzzy controller.*” *Engineering Structures*; 23,1512–1522.
- [2]Ammanagi S., Poornima V., Sera A. and Sunder R. (2006). “Development of a Digitally-controlled three-axis Earthquake shake table.”, *Current Science*, Vol. 91
- [3]Blostotsky B., Agranovich G. and Ribakov Y. (2008). “*Developing of A Shaking Table Control Algorithm.*” 5th. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS.
- [4]Bonnet Paul A. (2006). “*The Development of Multi-Axis Real-Time Substructure Testing.*” A thesis submitted to the degree of doctor of philosophy at the University of Oxford, St Catherine’s College, Trinity.
- [5]Carydis, P. G., Vougioukas, E. A., Taylor, C. A., and Crewe, A. J. (1992). “*Comparative Shaking Table Studies at the National Technical University of Athens and at Bristol University.*” 10th European Conf. on Earthquake Eng., Madrid, Spain, 2993- 2997
- [6]Clark, A. J. (1992). “*Dynamic Characteristics of Large Multiple Degree of Freedom Shaking Tables.*” Tenth World Conf. on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 2823- 2828.
- [7]Crewe, A. J., and Severn, R. T. (2001). “*The European Collaborative Programme on Evaluating the Performance of Shaking Tables,*” *Phil. Trans. R o y a l Soc. Lond ., A*, 359, p. 1671-1696.
- [8]Cundiff, J. S. (2002). *Fluid Power Circuits and Controls: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- [9]Datta TK. (1996). Control of dynamic response of structures. In: Indo–US symposium on emerging trends in vibration and noise, 18–20.

- [10]Franklin, G. F., Powell, D., and Emami-Naeini, A. (1995). *Feedback Control of Dynamic Systems*, 3rd ed., Addison Wesley.
- [11]Franklin, G. F., Powell, D., and Workman, M L. (1990). *Digital Control of Dynamic Systems*, 2nd ed., Addison Wesley.
- [12]Gomez, E. G., and Stoten, D. P. (2000). “*A Comparative Study of the Adaptive MCS Control Algorithm on European Shaking Tables*,” 12-th World Conf on Earthquake Eng., Auckland, New Zealand.
- [13]HORIUCHI T., INOUE M. And Takao Konno T. (2000). “*Development of A Real-Time Hybrid Experimental System Using a Shaking Table*”, 12th World Conference on Earthquake Engineering (12 WCEE).
- [14]Juang, J. (1994). *Applied System Identification*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [15]Kim, D. H., and Tsao, T. C. (2000). “*A Linearized Electrohydraulic Servo-valve Model for Valve Dynamics Sensitivity Analysis and Control System Design*”, *J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, ASME, (122) 179-186.
- [16]Kuehn J., Epps D. and Patten W. N. (1999). “*High-Fidelity Control Of A Seismic Shake Table*”, *Earthquake Engng. Struct.Dyn*, 28, 1235-1254.
- [17]Muhlenkamp, M. J. (1997). “*Analysis, Design and Construction of a Shaking Table Facility*,” M.S. Thesis, Rice University, Houston, Texas.
- [18]Nikiforuk, R N., et al. (1969).“*Detailed Analysis of a Two-Stage Four-Way Electrohydraulic Flow-Control Valve*,” *J. Mech. Engrg. Sci.*, London, 11(2), 169-174.
- [19]Nise, N. S. (2000). *Control Systems Engineering*, 3rd ed., John Wiley & Sons.
- [20]Nguyen, T. (2003).“*Matlab and Simulink A tutorial*”

<http://www.messiah.edu/acdept/depthome/engineer/Resources/tutorial/matlab/simu.html>.

- [21]Ozcelik O., Luco J. E., Conte J. P. (2008). “*Trombetti T. L. and Restrepo J. I. Experimental characterization, modeling and identification of the NEES-UCSD shake table mechanical system*”, Earthquake Engng Struct. Dyn. 37:243–264
- [22]Plummer, A. (2016).“*Model-based motion control for multi-axis servo hydraulic shaking tables*”, Department of Mechanical Engineering University of Bath, Control Engineering Practice, 53. pp. 109-122. ISSN 0967-0661.
- [23]Ramakrishna P., Varghese Sh., Shah J., Limaye P.K. and Soni N.L. (2016). “*Technology Development of 500Kg Multi Axis Shake Table*”, BARC Newsletter.
- [24]Sanghvi C. S., Patil H. S. and Shah B. J. (2016). “*Development of Low Cost Shake Tables And Instrumentation Setup For Earthquake Engineering Laboratory*”, International Journal of Advanced Engineering Technology.Vol.III, Issue I, PP. 46-49.
- [25]Sarbjee S, Datt TK. (1998). Open closed loop linear control of building frames under seismic excitation. J Struct Eng, ASCE 124(1):43–51.
- [26]Soong TT, Hanson R. (1993). Recent developments in active and hybrid control research in US. In: Int. workshop on structural control. p. 483 90.
- [27]Severn R. T. (2011). “*The development of shaking tables–A historical note*”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Earthquake Engng Struct.Dyn, 40:195–213.
- [28]Spencer, B. F., Dyke, S. J., and Deoskar, H. S. (1996). “*Benchmark Problems in Structural Control Part I: Active Mass Driver System*,” J. of Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- [29]Stoten, D. P., and Gomez, E. G. (2001). “*Adaptive Control of Shaking Tables Using the Minimal Control Synthesis Algorithm*,” Phil. Trans. Royal Soc. Lond ., A, 359, p. 1697- 1723

- [30] Trombetti, T. L., and Conte, J. P. (2002). “*Shaking Table Dynamics: An Experimental-Analytical Correlation Study*,” J. of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, September .
- [31] Wang, D., Dolid, R., Donath, M., and Albright, J. (1995). “*Development and Verification of a Two Stage Flow Control Servo-Valve Model*,” Fluid Power and Sys.Technology, 2, p. 121-129.
- [32] Williams, D. M., Williams, M. S., and Blakeborough, A. (2001). “*Numerical Modeling of a Servo-Hydraulic Testing System for Structures*,” J. of Engineering Mechanics, ASCE, 127(8), 816-827.
- [33] Xua Y., Huab H. and Hanc J.(2008). “ *Modeling and controller design of a shaking table in an active structural control system*”, Mechanical Systems and Signal Processing, 22, 1917–1923.
- [34] Dorfd, R. C., and Bishop, R. H. (1998). Modem Control Systems, 8th ed., Addison-Wesley.
- [35] SolidWorks. <http://www.solidworks.com/sw/engineering-education-software.htm>.
- [36] MATLAB, version 7.12.0 (R2011a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2011



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı :DEMİR EMSAL
 Uyuğu :T.C
 Doğum tarihi ve yeri :14.12.1990 BAKIRKÖY
 Medeni hali :EVLİ
 Telefon :0541 369 15 95
 Faks :
 e-mail :eemsall@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi	
Lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi	2015
Lise	Necip Fazıl Kısa Kürek Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017	Metigem	Tasarım ve prototipleme mühendisi
2016	Nişantaşı Üniversitesi	AR – GE Mühendisi
2015	Gelişim Üniversitesi	TTO - MÜHENDİSİ

Yabancı Dil

Yayınlar

Hobiler: yüzme, motor sporları



ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..