



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SERVO KONTROLLÜ
MEKATRONİK SİSTEMLERDE
RULMAN ARIZALARININ ÖNGÖRÜSÜ VE
SİSTEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

RİDVAN SEFİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı

1. DANIŞMAN

Prof. Dr. NİHAT AKKUŞ

2. DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr. İSMAİL TEMİZ

İSTANBUL, 2017



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SERVO KONTROLLÜ
MEKATRONİK SİSTEMLERDE
RULMAN ARIZALARININ ÖNGÖRÜSÜ VE
SİSTEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

RİDVAN SEFİL

526211027

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı

1. DANIŞMAN

Prof. Dr. NİHAT AKKUŞ

2. DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr. İSMAİL TEMİZ

İSTANBUL, 2017

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana rehberlik eden ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Nihat AKKUŞ hocama;

Analiz çalıőmalarımnda ve tezin her aőamasında destek olan Sayın Arő. Gör. İőhak ERTUğRUL hocama;

Deney setinin hazırlanmasında yardımcı olan Kamer Makine iőletmesinin sahibi Sayın Abdullah KAMER'e

Beni yetiőtiren ve her turlu imkân ve şartları sağlayan çok değerli Anne ve Babama;

Her zaman ve her konuda beni destekleyen eőim Zehra SEFİL'e

Teőekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2017

Rıdvan SEFİL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Literatürde Titreşim Analizi	2
1.3 Titreşim Analizinin Uygulandığı Alanlar	3
1.4 Tezin İçeriği	4
2 KESTİRİMCİ BAKIM VE YÖNTEMLERİ	5
2.1 Bakım Yaklaşımları.....	5
2.1.1 Arıza Çıktıkça Bakım	5
2.1.2 Periyodik Koruyucu Bakım	5
2.1.3 Periyodik Koruyucu Bakım	5
2.1.4 Pro-Aktif Bakım Anlayışı	5
2.1.5 Kestirimci Bakım	5
2.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri.....	6
2.2.1 Kızıl Ötesi Termografi	7
2.2.2 Yağ Analizi	7
2.2.3 Ultrasonik İzleme	8
2.2.4 Titreşim Analizi	8
3 RULMAN HASAR FREKANSLARI VE TİTREŞİM PARAMETRELERİ.....	8
3.1 Rulman Hasar Çeşitleri	9
3.1.1 Yanlış Montaj.....	9
3.1.2 Kirlenme.....	9

3.1.3	Yetersiz Yağlama.....	10
3.1.4	Yorulma	10
3.2	Titreşim Parametreleri.....	10
3.2.1	Frekans	10
3.2.2	Genlik.....	10
3.2.2.1	Yer Değiştirme	11
3.2.2.2	Hız.....	11
3.2.2.3	İvme	11
3.3	Rulman Hasarlarının Titreşim Aşamaları	11
3.3.1	Birinci Aşama	12
3.3.2	İkinci Aşama	12
3.3.3	Üçüncü Aşama	13
3.3.4	Dördüncü Aşama	13
3.4	Rulman Frekanslarının Matematiksel Modellenmesi	13
4	TİTREŞİM ANALİZİ DENEY TASARIMI	14
4.1	Mekanik Donanım	14
4.1.1	Rulmanlı Döküm Yatak	15
4.1.2	Deneyin Yapılacağı Zemin	16
4.2	Elektronik Donanım.....	16
4.2.1	Servo Motor ve Sürücü Sistemi	16
4.2.2	Baldor Next Move Esb ve Mint Workbench	17
4.2.3	Arduino Mega 2560 Mikro İşlemci	19
4.2.4	Adxl 335 İvme Ölçer	20
4.3	Matlab&Simulink Yazılımı	21
4.4	Matlab&Simulink ile Arduino Mega 2560 Haberleşmesi	21
4.5	Simulink'e Giriş ve Sistemin Modellenmesi	23
5	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
5.1	Sistemin Hazır Hale Getirilip Çalıştırılması	27
5.1.1	2000 Devir İçin Zaman-Genlik ve FFT Analizi.....	28
5.1.2	1000 Devir İçin Zaman-Genlik ve FFT Analizi.....	31
5.1.3	2000 dev/dak ile 1000 dev/dak Çalışan Rulmanların Karşılaştırılması.....	34

6 SONUÇLAR	38
KAYNAKLAR	39
EKLER	41
ÖZGEÇMİŞ	43

ÖZET

SERVO KONTROLLÜ MEKATRONİK SİSTEMLERDE RULMAN ARIZALARININ ÖNGÖRÜSÜ VE SİSTEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada servo kontrollü, yataklanmış bir mil üzerindeki rulmana ait arizaların, titreşim analizi ile belirlenmesi ve arızalı rulmanın sisteme etkilerinin bulunması amaçlanmıştır. Servo kontrollü yataklanmış bir rulmana ait titreşim sinyalleri takip edilmiş ve analizi yapılmıştır.

Yapılacak deneyler sonucunda rulmanda meydana gelen hasarlar önceden tespit edilerek beklenmeyen arızaların önüne geçilmesi amaçlanmış ve kestirimci bakımın önemine vurgu yapılmıştır. Aynı zamanda hasarlı bir rulmanın sisteme olan negatif etkisi incelenerek ileride oluşabilecek yüksek maliyetli hasarların önüne geçilmiş olacaktır.

Yapılacak olan çalışmada Panasonic marka servo motora kaplin vasıtasıyla mil bağlantısı yapılmış ve UCP 204 standartlarında 20mm çapında 2 adet rulman ile yataklanmıştır. Titreşim verileri Arduino Mega 2560 ve Adxl 335 ivmeölçer kullanılarak alınmış, alınan veriler Matlab&Simulink ortamında işlenerek FFT analizi yapılmıştır. Alınan veriler, matematiksel hesaplamalar yapılarak ortaya çıkarılan rulman arıza frekansları ile karşılaştırılarak sonuca varılmıştır.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BEARING DEFECTS ON THE SYSTEM AND PREDICTIONS OF SERVO-CONTROLLED MECHATRONIC SYSTEMS

In this study, it is aimed to determine the faults of the bearing on a bearing with servo control by vibration analysis, and to determine the effect of the bearing on the system. Periodic vibration measurements were recorded from the service controlled bearing and this vibration motion was analyzed.

As a result of the experiments to be done, it was aimed to prevent the unexpected failures by determining the damages that occurred in the bearing in advance and emphasized the importance of estimating maintenance. At the same time, the negative impact of a damaged bearing on the system will be investigated to avoid any future costly damage.

In the work to be done, the shaft connection is made through the coupling of Panasonic 400w servo motor and it is bedded with 2 roller bearings.

Vibration data were obtained using the Arduino Mega 2560 and Adxl 335 accelerometers and the received data were processed in Matlab & Simulink environment for FFT analysis

The results are given in comparison with the bearing failure frequencies found by mathematical calculations.

SEMBOLLER

ω_{bp} Dış bilezik Frekansı

ω_{bpi} İç bilezik frekansı

ω_b Bilye frekansı

ω_c Kafes bilye frekansı

n Dönme Devri

N Silindirik Bilye adeti

d Bilye Çapı

D Rulmanın Bölüm Dairesi Çapı

μA Mikro Amper

g Yer Çekim İvmesi

KISALTMALAR

FFT Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)

Hz Hertz (Saniyeki Devir)

RPM Dakikadaki Devir

AC Alternatif Akım

W Watt

V Volt

UC204 Sıkma Bilezikli Rulman Tanımı

P204 Yuva Tanımı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Bakım Amaçlı Titreşim Ölçümü

Şekil 1.2 Bakım Amaçlı Titreşim Ölçümü

Şekil 1.3 Kalite Amaçlı Titreşim Ölçümü

Şekil 2.1 Kestirimci Bakım Şeması

Şekil 2.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri Kullanım Oranları

Şekil 3.1 Rulman Elemanları

Şekil 3.2 Frekans-Genlik Eğrisi

Şekil 3.3 Rulman Dış Bilezik Geçiş Frekansı

Şekil 3.4 Hasar Aşamaları

Şekil 3.5 Rulman Geometrisi ve Hasar Titreşim Frekansları

Şekil 4.1 Deney Aşamaları

Şekil 4.2 Titreşim Analizi Deney Düzeneği

Şekil 4.3 Rulmanlı Yatak Teknik Resimi

Şekil 4.4 Panasonic servo motor ve sürücüsü

Şekil 4.5 Servo Motor ve Sürücü Bağlantısı

Şekil 4.6 Baldor Next Move Esb

Şekil 4.7 Baldor Next Move ESB Kontrol Şeması

Şekil 4.8 Mint Workbench Uygulaması

Şekil 4.9 Arduino Mega 2560

Şekil 4.10 Adxl 335 İvme Ölçer

Şekil 4.11 Arduino Mega 2560 ile Adxl 335 Bağlantı Şeması

Şekil 4.12 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Şekil 4.13 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Şekil 4.14 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Şekil 4.15 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Şekil 4.16 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Şekil 4.17 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Şekil 4.18 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Şekil 4.19 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Şekil 4.20 Scope Ekranı

Şekil 4.21 Simout Veri Ekranı

Şekil 5.1 Deney Düzeneği

Şekil 5.2 Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.3 Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.4 Hasarlı Rulman Genlik-Frekans Grafiği

Şekil 5.5 Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.6 Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.7 Hasarlı Rulman Genlik-Frekans Grafiği

Şekil 5.8 2000 dev/dak Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.9 1000 dev/dak Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.10 Hasarsız Rulmanın Genlik Fark Grafiği

Şekil 5.11 2000 dev/dak Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.12 1000 dev/dak Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Şekil 5.13 Hasarlı Rulmanın Genlik Fark Grafiği

Şekil 5.14 Dış Bilezik Hasar Frekans Karşılaştırma Grafiği

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Titreşim Arıza Çeşitleri

Tablo 4.1 Parça Listesi

Tablo 4.2 Rulmanlı Yatağa Ait Parametreler

Tablo 4.3 Motor-Sürücü Pin Bağlantı Detayları

Tablo 4.4 Arduino Mega 2560 Özellikleri

Tablo 4.5 Adxl 335 İvme Ölçer Parametreleri

Tablo 5.1 Dış Bilezik Hasar Frekans Eğrisi

Tablo 5.2 Dış Bilezik Hasar Frekans Eğrisi

Tablo 5.3 2000 dev/dak Dış Bilezik Hasar Frekans Eğrisi

Tablo 5.4 1000 dev/dak Dış Bilezik Hasar Frekans Eğrisi

1 GİRİŞ

Günümüzde meydana gelen teknolojik gelişmeler sürekli gelişen rekabet şartları, işletmelerin bakım ve onarım faaliyetlerini çok önemli bir konuma getirmektedir. Teknoloji geliştikçe otomasyon ağırlıklı tesislerin sayısı artmakta ve bu gelişmenin paralelinde bakım ve onarım masrafları artmaktadır.

Üretim esnasında meydana gelen beklenmedik arızalar üretim planlarının uygulanmasını aksatabilmekte bunun akabinde özellikle mekatronik sistemlerde büyük maliyetlere ve zararlara yol açmaktadır.

Arıza yapan otomasyon sistemleri zaman ve maliyet açısından problemler teşkil etmektedir.

Mekatronik sistem içerisinde tahmin edilemeyen ve anlık olarak meydana gelen arızalarda bakım ve onarım faaliyetlerinin uzun sürmesinin yanı sıra edek parça tedarikinde arızanın çıktığı lokasyona bağlı olarak zorlaşabilir. Sonuç olarak üretimin aksaması ile zaman ve mali olarak kayıplar meydana gelir [1]

Arıza ortaya çıktıktan sonra bakım onarım yapılması bir yöntem olarak kabul edilse de çağımız şartları göz önünde tutulduğunda, arıza meydana gelmeden sisteme müdahale etme anlayışı daha öncelikli bir konuma gelmiştir.

Makinelerde arıza meydana gelmeden yapılan müdahalenin amacı bir makine veya mekatronik bir sistemden maksimum verimi almak ve arıza durumundan ve bakımdan dolayı süre gelen ve kayıpları minimize etmek için ortaya çıkmış bir anlayıştır. Faaliyet halinde olan sistem veya makinelerde, süre gelen akışın takibinin gözetilmesine; kestirimci bakım anlayışı denir [2].

Kestirimci bakım metoduyla çalışan makinelerde, bakım işlemleri makinelerin üretime ara vermeden ,üzerlerinden toplanan veriler incelenerek yapılmaktadır. Bu bakımlar neticesinde ortaya çıkan bulgular ve teşhisler ile makinelerde arıza oluşumu için uygun zamanlarda bakım planlanarak makineye veya sisteme gerekli bakım yapılır. Bu yöntemle arızaya mahal vermeden makinedeki arızaya müdahale edilerek gereksiz zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilir.

1.1 Amaç

Bu çalışmada kestirimci bakım anlayışları incelenmiş, bu bakım anlayışının en önemli parçası olan ve geneli dahilinde %45 oranı ile diğer kestirimci bakım yöntemlerinin önünde en önemli konumda bulunan titreşim analizi metodu uygulanmıştır. Bu tezin amacı; klasik olarak kullanılan hazır titreşim ölçüm cihaz ve ekipmanlarının yerine hem maliyet açısından daha düşük bütçeli bir çalışma yapılabilmesine olanak tanınması hemde Arduino ve Matlab&Simulink haberleşmesi yapılarak ortaya çıkarılmış ilk çalışma olması amaçlanmıştır.

Titreşim ölçümünde Arduino Mega 2560 ve Adxl 335 ivme sensörünün kullanılmasının amacı, diğer ölçüm yapılan çalışmalarda kullanılan Mikro işlemci kartlarının pahalı olması ve projemizi etkilemesiydi. Aynı zamanda Servo Kontrollü bir sistem oluşturulmasındaki amaç ise hem düşük miktarda titreşim ortaya çıkaran bir motor teknolojisi olması hemde istediğimiz şekilde programabilir olmasıydı.

1.2 Literatürde Titreşim Analizi

Kestirimci bakımın en önemli unsuru konumunda bulunan titreşim analizi metodu ile çeşitli arızaların teşhisi ve takibi gibi meseleler çerçevesinde çalışmalar da yapılmıştır.

Arslan (2010)'da havalandırma fanlarında yataklanmış rulmanların titreşim analizini yapmış ve suni hasarlar vererek spectrum karşılaştırmalarını incelemiştir [3].Denli (2007)'de makinelerden ortaya çıkan ses, titreşim ve ısı verilerinden faydalanarak yaptığı ölçüm ve öngörüler neticesinde makinelerin durumlarını incelemiştir. Kestirimci bakım yöntemi üzereinde çalışmıştır [4].McFadden ile Smith (1985) rulmanın iç bileziğinde oluşmuş tekli ve çoklu meydana gelmiş hasarları ortaya çıkardıkları titreşimi modellemiş, matematiksel olarak hesaplamış ve elde edilen sonuçları karşılaştırarak geçerliliğini doğruluğunu ortaya koymuşlardır[16].

Baykara (2009)'da yaptığı çalışmada, şanzımanlardaki hasarları titreşim analizi yöntemini kullanarak ele almış ve kestirimci bakımın önemine vurgu yapmıştır[7].Orhan (2002)'deki çalışmasında, titreşim analizi yöntemini kullanarak fan ve pompalardaki rulmanların hasar tespitini yapmış ve bunu yaparkende elde ettiği verileri frekans analizine tabi tutarak makinelerdeki balanssızlık ve mekanik gevşeklik gibi hataların oluşmadan engellemesinin mümkün olduğunu göstermiştir[8].Tatar (2010)'daki uygulamasında, periyodik ve kestirimci bakım gibi farklı iki bakım yöntemini incelemiş ve kestirimci bakımın önemini ortaya koyarak bunun yanında titreşim analizi yöntemiyle arızaların genel titreşim özelliklerini ortaya koymuştur[9].Yaman(2014)'deki çalışmasında endüstride yaygın bir biçimde kullanılan makinelerden olan pompalard vuku bulabilecek arızaları titreşim analizi metoduyla incelemesini yapılmıştır. Bununla beraber kestirimci bakım yöntemlerini incelenmiştir. Örnek bir işletmedeki pompa seçiminde ABC analizi kullanılmış ve uygulaması yapılmıştır[10].

Uygun(2006)'daki çalışmasında, dört farklı durumdaki rulmandan titreşim sinyalleri alınmış, işlenmiş, elde edilen sonuçlar teorik model ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Öncelikle literatür araştırması yapılmış ve rulman kusurlarının oluşturduğu sinyaller modellenmiştir[11].Kalyoncu(2004)'deki çalışmasında, titreşim analizinin kullanımı ve faydaları yapılmıştır.Makina ve teçhizatın sürekli gözlemlenmesi ve kestirimci bakım yöntemleri incelenmiştir.Titreşim analizi yapılarak grafiksel sonuçları gösterilmiştir[12].

Sönmez(2013)'deki çalışmasında asenkron motorlarda karşılaşılan arızalar arasında en büyük paya sahip olan rulman arızasının, uygulanan işaret tabanlı analiz yöntemleri ile; laboratuvar ortamında yaşlandırılan motor rulmanının yarattığı motor titreşim işaretlerini incelemiştir[13].Hjort(2015)'deki çalışmasında arduino mikro işlemcisini kullanarak bir vakum pompasındaki titreşimleri ölçüp spektrum grafiklerini ortaya çıkarmıştır[14].Vedaraj(2014)'deki çalışmasında arduino mikro işlemcisi kullanarak bir torna tezgahında yapılmakta olan tornalama işlemi esnasındaki titreşimleri ölçmüştür[15].

Bu çalışmada ise servo kontrollü olarak yataklanmış olan UCP standartlarında hasarsız rulmanların titreşim ölçümleri yapılmış ve daha sonra rulman dış bileziğine suni hasar verilerek, hasarın meydana getirdiği titreşimleri Arduino ile Matlab&Simulink seri haberleşmesi tesis edilerek Adxl 335 ivme sensörü ile toplanmış, dalga formu ve spektrum analizleri yapılarak, daha önce matematiksel olarak hesaplanan frekans değerleriyle karşılaştırılmıştır.

1.3 Titreşim Analizinin Uygulandığı Alanlar

Titreşim izlenmesi ve analizi, makinaların ve otomasyon sistemlerin bakım ve kalite kontrolünde kullanılmakta olan bir yöntemdir. Kalite kontrol ve bakım birbirine benzeyen 2 yöntem olsada birbirlerinden ayrıldıkları bazı noktalar vardır[6]. Titreşim analizinin bakım amaçlı yapılması erken uyarıya dayalı bakım programlarının hayata geçmesine olanak tanır. Tahmin edilemeyen bir arıza kritik öneme sahip olan üretim hatlarında öncelikli olarak can kaybı ve yaralanmalara bununun doğrultusunda mal kaybına neden olabilmektedir. Bu yüzden erken uyarıya dayalı bakım programlarının önemi büyüktür.

Üretilen malın titreşim miktarı o malın kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir [17].Kalite kontrol amaçlı titreşim izleme daha çok düşük maliyetli parçaların üretimi esnasında kullanılmakta olup, hatalı parçaların ortaya çıkmasını sağlar ve hem üretim hem de garanti maliyetlerinin aşağı çekilmesine yardımcı olur. Titreşim izlemenin başka bir avantajı ise ortada hiçbir problem olmamasına rağmen gelecekte meydana gelebilecek bir problemin ön bulgularını ortaya çıkarmasıdır.



Şekil 1.1 Bakım Amaçlı Titreşim Ölçümü



Şekil 1.2 Bakım Amaçlı Titreşim Ölçümü



Şekil 1.3 Kalite Amaçlı Titreşim Ölçümü

1.4 Tezin İçeriği

Bu çalışmada titreşim analizi için gerekli veriler Arduino Mega 2560 ve adxl 335 üç eksenli ivme sensörü ile toplanmış, Matlab&Simulink ortamında, zamana bağlı analizi ve FFT analizleri yapılmıştır. Ayrıca kestirimci bakım yöntemleri açıklanarak önemi belirtilmiştir.

Bölüm 2’de Kestirimci bakım hakkında genel bilgi verilmiş ve içerisinde en önemli paya sahip olan titreşim analizi yöntemi kısaca açıklanmıştır.

Bölüm 3’de Rulmanın genel tanımı yapılmış ve rulmanlarda meydana gelen hataların genel nedenleri açıklanarak rulmanlara ait hata frekanslarının matematiksel formülleri verilmiştir.

Bölüm 4’de Deney düzeneği ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgi verilmiş ve Matlab&Simulink yazılımının Arduino Mega 2560 ile nasıl haberleşeceği ve titreşim ölçümü için Simulink ortamında yapılan deney şeması gösterilmiştir.

Bölüm 5’de Sistemden elde edilen deney ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 6’da Yapılan çalışma sonucunda ulaşılan genel sonuçlar anlatılmıştır.

2. KESTİRİMCİ BAKIM VE YÖNTEMLERİ

2.1 Bakım Yaklaşımları

Üretim alanında faaliyet gösteren bütün işletmelerde uygulanan ve işletmelere göre değişkenlikleri olan; ancak 4 temel üzerine inşaa edilmiş bakım metotları bulunmaktadır.

- Arıza Çıkınca Yapılan Bakım
- Periyodik Bakım
- Pro-Aktif Bakım
- Kestirimci Bakım

Belirtilen bakım yaklaşımları göz önünde bulundurulduğunda, bakım yöntemlerinin faydalarının irdelenmesi neticesinde, bakım maliyetlerinin 1/3'ünün ihtiyaç duyulmayan komponentlerin değiştirilmesi ve bakımlar veya zamansız bakımlar neticesinde heba edildiğini ortaya koymuştur.[6-19-20].

2.1.1 Arıza Çıktıkça Bakım

Arıza çıkınca onarım yapılır. Arızaların umulmadık zamanda tezahür etmesi, işletme sahibine planlama yapması için fırsat vermez. Arka arkaya aynı yerde ya da yakın bölgelerde arıza çıkma riski yüksektir ve maliyeti en yüksek uygulamadır.

2.1.2 Periyodik Koruyucu Bakım

Arıza çıkma periyodu olasılığı üzerine kuruludur. Bu periyotlara bağlı arıza önleyici bakım iş emirleri periyodik olarak açılır. Amaç, makinelerin belirli zamanlarda bakımlarının yapılarak hem hasarlı parça değişimini sağlamak hemde meydana gelebilecek arızaların önüne geçmektir.

2.1.3 Pro-Aktif Bakım Anlayışı

Arızanın meydana gelmeden engellemek için kullanılır. Kendini tekrarlayan bir arızayı teşhis edip onarmaktan ziyade arızayı meydana getirebilecek nedenleri ortadan kaldırmaktır. Gerilmeler, balanssızlık, eksen kaçıklığı gibi sorunları amaca uygun ve nitelikli teçhizat kullanımı ile minimuma indirgeyip yok etmek veya etkilerinin minimize ederek arızaların meydana gelmemesini sağlar veya süreyi uzatır. Proaktif bakım yöntemi ile yapılan çalışmaları örneklendirmek gerekirse kaplinlerin mekanizmalarını ayarlama ve balanssızlıkları iyileştirerek makine veya sistemde oluşan dengesizliklerin düzeltilmesi örnek verilebilir[4].

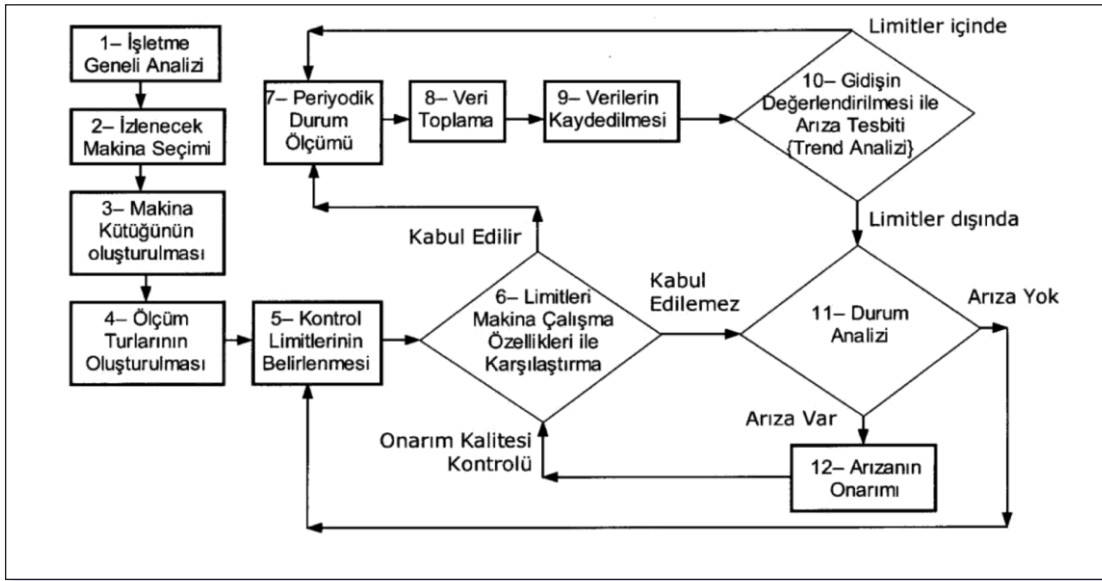
2.1.4 Kestirimci Bakım

Gerektiğinde özel aygıtlar kullanılarak yapılan periyodik gözlem, muayene ve kayıt izleme sistemiyle makina, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir. Sistem incelenerek, potansiyel arıza durumlarında bakım faaliyetleri devreye alınır[3].

2.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri

Kestirimci bakım yöntemini uygulamak maksadı ile birçok metot denenmiştir. Bu metotlarla sıkıntısız bir şekilde faaliyet gösteren sistemlerden değerler alınarak, üretimi faaliyetlerini kesmeden sistemin takibi yapılır. Toplanan verilerin analizi sonucunda, meydana gelebilecek sıkıntılar önceden tespit edilir. Planlanmış bir zaman diliminde de bakım faaliyetleri gerçekleştirilerek kestirimci bakım işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Kullanılan bu yöntem bazı negative sonuçlar doğurabilir. Bunlar; bozuk parça veya malzemelerin yanlış teşhis edilmesi neticesinde bakım masraflarının artması olabilmektedir[3]. Bu negative durumlar zaman içerisinde eğitimle ve alışkanlık ile azalma gösterir ve süreç sonunda negative bir etkisi kalmaz. Şekil 2.1'de kestirimci bakım metotlarının işletmedeki uygulama adımları verilmiştir.

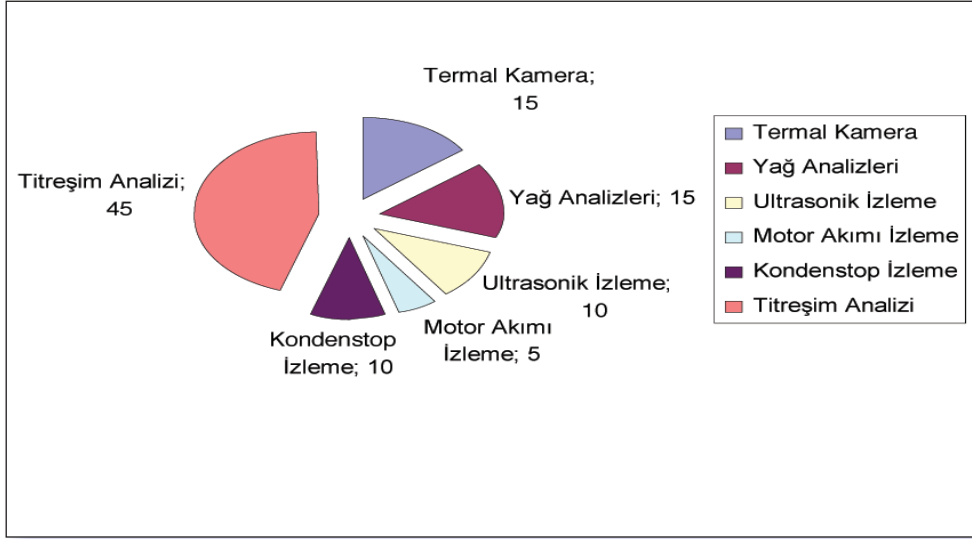


Şekil 2.1 Kestirimci Bakım Yöntemi Akış Şeması

Kestirimci bakım yönteminin hali hazırda faaliyet gösteren bir müessesede işlev görebilmesi için değişik metotlar uygulanmalıdır. Bu yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Kızıl Ötesi Termografi Analizi
- Yağ Analizi
- Ultrasonik İzleme
- Motor Akımı İzleme
- Kondensör İzleme
- Titreşim Analizi

Kestirimci bakım programı oluşturmak için bu yöntemler içerisinde birini veya birkaçını uygulanabilir [8]. Bu yöntemler dahilinde kullanım oranı şekil 2.2 de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri Kullanım Oranları

Titreşim analizinin diğer bakım yöntemlerine oranla daha yüksek bir değerde olması, titreşim analizi metodunun faaliyet içerisinde bulunan makine veya sistemin hiçbir şekilde faaliyetine ara vermeden, üzerinden gerekli sinyalleri ve değerleri alıp, süratli bir biçimde değişkenlik gösterebilen problemleri ortaya çıkarmamızın bir sonucudur. Titreşim analizi metodu makine veya sistem içerisinde oluşabilecek arızalar hakkında yüksek doğruluk, yüksek veri toplama kabiliyetine sahip olması açısından çok verimlidir. Bu avantajların yanısıra sahip olduğu bazı dezavantajlarda vardır, bunlar titreşim analizi yapacak olan personelin arızanın nedenini net bir biçimde ortaya çıkarabilmesi için titreşim analizi metodu hakkında tecrübe ve birikim sahibi olması esastır [27]. Oluşabilecek olumsuz durumlara karşı izlenecek en iyi yol titreşim analizinin belirlenmiş aralıklarla takip edilmesi ve karar mekanizmasının bu değerleri detaylı bir biçimde incelemesinden geçmektedir.

2.2.1 Kızıl Ötesi Termografi (Termal Kamera ile İzleme)

-273°C üzerindeki sıcaklıktaki bütün cisimlerin termal enerjisi vardır. Bu enerji cisimlerin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Termal enerji gözümüzün göremediği kızılötesi (Infrared) aralıkta yayılır. Termal görüntüleme cihazları gözle görülemeyen; fakat maddi kayıplara yol açabilen problemleri görmemizi sağlar.[22]

2.2.2 Yağ Analizi

Makinelerin hareket halinde olan aksamalarının yağlanması büyük önem arz etmektedir. Birbiri ile temas halinde olan aksamalar arasındaki yağlama elemanının analiz edilmesi, kestirimci bakımın en önemli parametresidir [28]. Yağın analizlerinin yapılması neticesinde, yağın sahip olduğu fiziki ve kimyevi nitelikleri yağın muhteviyatında bulunan parçacıkların adeti ve kütlesi ile yağ kirliliği gibi değerlerin analizi sonucunda olası arızaların ortaya çıkması hakkında bazı kritikler yapılabilmektedir.

2.2.3 Ultrasonik İzleme

Ultrasonik izleme yöntemi; kestirimci bakım yöntemlerini icra eden işletmelere büyük katkılar veren bir uygulamadır. Bu metotlar icra edilerek basınçlı olarak çalışan ekipmanlardaki hava kaçakları bulunabilir, kondensstopların (buhar kapanı) ilk testleri icra edilebilir, yağlama ve hasar durumlarına göre rulmanların tetkikleri yapılabilir, tesisat sistemlerinin et paylarının ölçümü, paslanma oluşumlarının tespiti yapılabilir [6].

2.2.4 Titreşim Analizi

Kestirimci bakım metotları arasında en çok icra edilen ve kullanımı yaygın olan yöntem titreşim analizi yöntemidir. Bir alıcı vasıtasıyla (sensör), makine veya sistem üzerindeki titreşim sinyallerinin toplanması ve bu sinyallerin bilgisayar vasıtasıyla ilgili analiz programları kullanılarak, makine hakkında gerekli değerlendirmeler yapılır [6]. Eksenel veya eksantrik hareket halinde olan ve yataklanmış tüm makinelerde ve sistemlerde uygulanabilir. Makinelerin mekanik durumunun hangi safhada olduğu hakkında detaylı bir değerlendirme yapmamızı sağlar [6,28]. Makineler hakkında bilgi sahibi olmak için periyodik olarak titreşim ölçümlerinin icra edilmesi ve bu değerlerin analizi ile yapılır. Titreşimin izlenmesi neticesinde tablo 2.1 de belirtilen arızaları teşhis edebilme olanağına sahip oluruz. çok fazla sayıda arızayı yakalama şansımız vardır.

Tablo 2.1 Titreşim Arıza Çeşitleri

Balanssızlık
Mekanik Gevşeklik
Eksenel Ayarsızlık
Rulman Arızaları
Kayış Kasnak Problemleri
Dişli Hasarları
Kaplin Hasarları
Mil Eğrilikleri
Yatak Aşınmaları
Kavitasyon
Yağlama Problemleri
Şase ve Ankraj Zayıflıkları

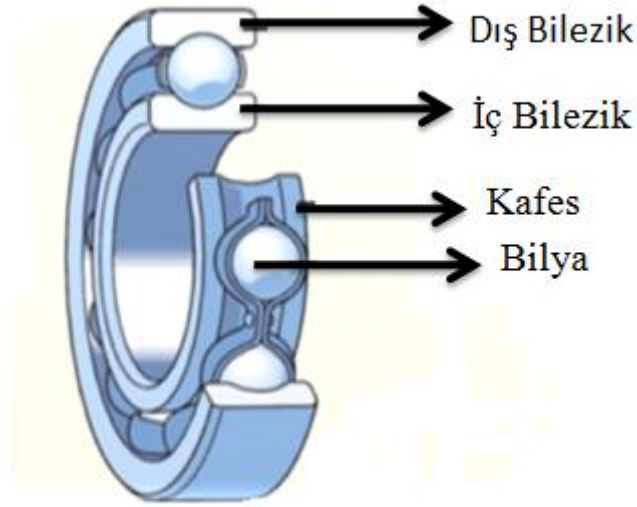
Belirtilen arızaların belirlenmesi, doğru tespitlerin yapılmasına bağlıdır; aksi halde üretim ve verim kayıplarına neden olabilir.

3. RULMAN HASAR FREKANSLARI VE TİTREŞİM PARAMETRELERİ

Rulman; iç ve dış iki bilezik ve arasında yuvarlanan bilya, makara ve benzeri elemanların en az sürtünme kuvveti ortaya çıkararak döner hareket yapan ve farklı güçler taşıyan bir makine elemanıdır [22]. Maruz kaldığı yüklerle radyal ve eksenel, yuvarlanma elemanlarına göre ise bilyalı ve makaralı rulmanlar olarak sınıflandırılırlar [22,23].

Rulman elemanları şu şekilde sıralanır;

- Dış bilezik
- İç bilezik
- Kafes (polyamid,pirinç,çelik)
- Yuvarlanma elemanları (Bilya)



Şekil 3.1 Rulman Elemanları

3.1 Rulman Hasar Çeşitleri

Rulman hasarları genel anlamda aşağıdaki sebeplerden meydana gelmektedir.

- Yanlış Montaj
- Kirlenme
- Yetersiz Yağlama
- Yorulma

3.1.1 Yanlış Montaj

Erken rulman hasarlarının yaklaşık %16'sı rulmanın uygun olmayan şekilde (genellikle kol kuvveti ile) montajından ve doğru montaj aletlerinden haberdar olmamaktan kaynaklanmaktadır. Bir rulmanın doğru ve uygun montaj veya demontajı uygulamaya bağlı olarak mekanik, hidrolik veya ısıl yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir[6].

3.1.2 Kirlenme

Bir rulman, hem kendisi hem de yağlayıcısı kirlenmeye karşı koruma olmaksızın verimli çalışması mümkün olmayan hassas bir makina elemanıdır. Conta kapaklı ve imalatta gresle doldurulmuş rulmanların tüm rulmanlar içindeki oranı çok küçük olduğundan, erken rulman hasarlarının en az %14'ü kirlilikle ilgili problemlerden kaynaklanmaktadır[6].

3.1.3 Yetersiz Yağlama

Yetersiz yağlama Normalde conta kapaklı rulmanlar ömür boyu yağlama gerektirmemesine karşın, bunun dışındakilerde erken rulman hasarlarının yaklaşık %36'sı yanlış yağlayıcı ve yetersiz miktarda yağlamadan kaynaklanır. Kaçınılmaz olarak, yağlama problemi olan her rulman, hesaplanan normal ömründen çok önce hasara uğrayacaktır. Rulmanlar genelde makina içinde ulaşılması en zor makina elemanlarından olduğu için, ihmal edilen yağlama işlemi problemin daha da artmasına neden olur[6,22,28].

3.1.4 Yorulma

Rulman arızalarının %34'ü aşırı yüklenmiş, yanlış bakım ya daihmal edilmiş makineler yüzünden olur. Rulmanlar durum izlemeye bağlı takip programları ile senkron çalışan sinyal izleme sistemleri ile ani arızalar engellenebilir[6,22,8].

3.2 Titreşim Parametreleri

Makinelerin oluşturduğu sistemlerde meydana gelen arızalar neticesinde sinyaller meydana getirirler. En dikkat çekici uyarı sinyalide titreşimdir. Titreşim bir mekanik sistemin maruz kaldığı kuvvetlere karşı gösterdiği tepkidir. Titreşim sinyalleri farklı noktalardan geldiği için farklı boyutta sinyaller oluşturur ve bunun neticesinde değişik dalga formları meydana gelir [6-22].

1822 yılında Baron Jean Baptiste Fourier kompleks dalga formlarının basit sinus dalga formlarına ayırabileceğini ispat etti. Basit dalga formlarının genlik frekans bandına taşınması ile spektrumlar ortaya çıkmıştır[22].

Vibrasyon analizi yaparken dikkate alınması gereken iki önemli bileşen vardır. Bunlardan birisi frekans diğeri de genliktir.

3.2.1 Frekans

Frekans bilindiği gibi genel bir kavramdır. Belirli bir zaman periyodunda hadisenin oluş sayısı olarak tarif edilir. Periyodik vibrasyonun birim zamandaki tekrarlanma oranıdır[6]. Vibrasyonun meydana geldiği frekans bize arızanın yada uygunsuzluğun tipini ve kaynağını gösterir.

Çeşitli şekillerde ve birimlerle ifade edilir. Fakat en yaygın olarak iki şekilde ifade edilir.

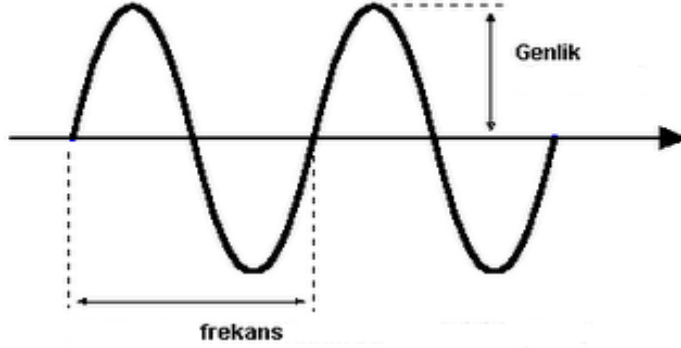
- Hz (saniyeki devir)
- RPM (dakikadaki devir)

3.2.2 Genlik

Vibrasyon sinyalinin büyüklüğüdür. Ayrıca maksimum yer değiştirmesi diyebiliriz. Vibrasyonun genliği bize arızanın yada sorunun kaynağındaki uygunsuzluğunun büyüklüğünü ve şiddetini verir [6,22]. Genlik 3 şekilde ölçülür;

1. Yer değiştirme
2. Hız
3. İvme

Frekans ve genliği aksenal olarak belirtecek olursak titreşim spektrumunda frekans x akseninde, genlik ise y akseninde gösterilir [22].



Şekil 3.2 Frekans-Genlik Eğrisi

3.2.2.1 Yer Değiştirme

Titreşim yapan makinenin yer değiştirdiği mesafeyi gösterir. Yer değiştirme birimi olarak mikron veya mil olarak ifade edilir. Düşük frekanslı makinelerde tercih edilen bir yöntemdir. Düşük frekans olarak belirtilen değer aralığı 600 d/d altındadır[6,22,26].

3.2.2.2 Hız

Genellikle mm/ sn veya In/Sec Pk olarak ölçülür. Bu birimlerle yer değiştirmenin hangi hızda meydana geldiğini ölçeriz. 600 ile 100.000 d/d aralığındaki ölçümlerde kullanılır[6,22].

3.2.2.3 İvme

Bu birimle hızın ne kadar çabuk değiştirdiği saptanır. 100.000 d/d üzerindeki frekans aralıkları için kullanılan bir yöntemdir [6,22].

Yukarıda belirtilen birimlerin hepsi birbiriyle ilişkilidir; fakat seçeceğimiz ölçüm metodolojisi çok önemlidir, şöyle ki 2 farklı metod ile aynı makineden veya sistemden alınan değerler çok farklı sonuçlar verebilmektedir.

Yer değiştirme yöntemi ile bazı problemler gözükmebilir, bu yüzden hız yöntemi en uygun yöntem olacaktır.

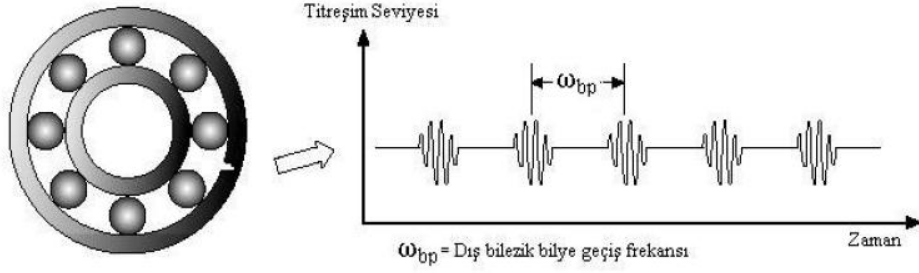
İvme yöntemi de dişlilerdeki diş bozuklukları ve rulman arızalarının teşhisinde öncelikli olarak kullanılır [5,28,23].

3.3 Rulman Hasarlarının Titreşim Aşamaları

Rulmanlarda tespit edilen hatalar genellikle bölgesel ve dağınık olarak isimlendirilir[20]. Bölgesel hasarlar yuvarlanma yüzeyinde görülen çatlaklar ve delik formundaki yüzeylerdir. Karşımıza en sık çıkan hasar tipi yorulmalardan dolayı meydana gelen kabarmalardır.

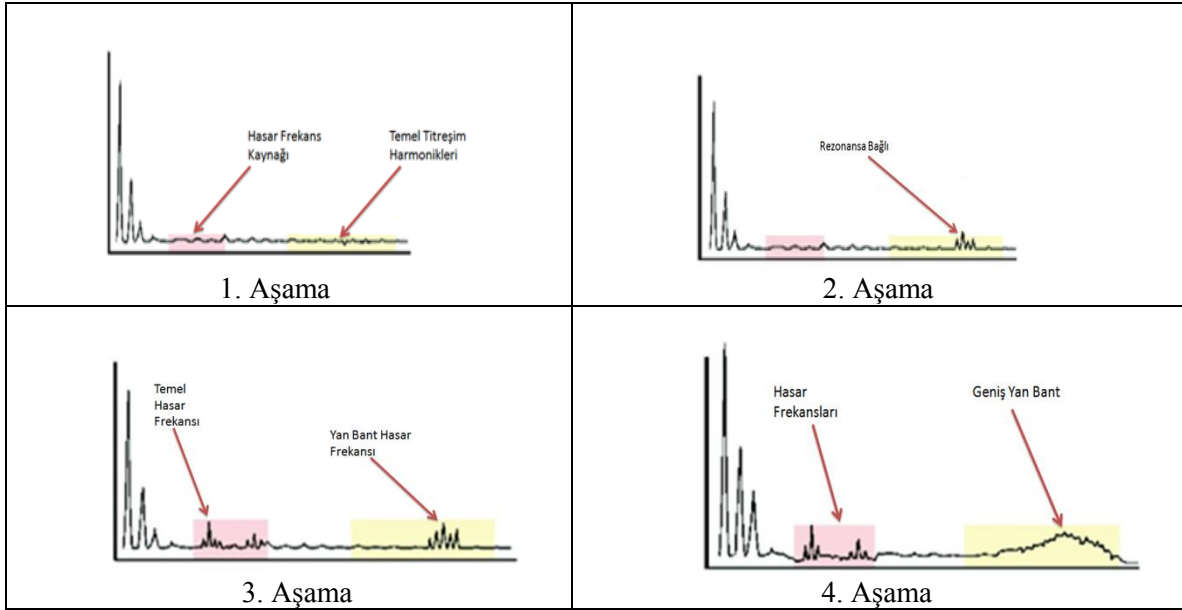
Dağınık hasarlar ise yüzey pürüzlülüğü, çentik ve paslanma aşınmaları, ekseni kaçık bilezikler ile kir ve hatalı ölçü olarak kendini gösterir.Rulman hasarları ilk olarak dış bilezikte kabarma formunda ortaya çıkarken artan kabarmalar ve bunların derinleşmesi titreşimlerin genlik miktarını artırır bunun sonucunda kabarmalar iç bileziğe geçerek geçiş frekansları artar. Bu da kısa süreli vuruntu sinyallerinin daha büyük ve sık olması sonucunu doğurur. Şekil3.3 de örnek bir rulmana ait dış bilezik bilya geçiş frekansı gösterilmiştir.

Rulmanlarda yuvarlanma elmanları hasarlı bölgeden geçerken kısa süreli sönümlü sinyaller üretirler[4].



Şekil 3.3 Rulman Dış Bilezik Geçiş Frekansı

Arızalı bir rulmanın meydana getirdiği titreşime ait frekans grafiğinde meydana gelen oluşumlar 4 aşamayla gösterilebilir [25].



Şekil 3.4 Hasar Aşamaları

3.3.1 Birinci Aşama

Hasarlı rulmanın ilk dönemlerinde frekans grafiğinde hasara ait harmonikler görülür. Hasara ait titreşim frekansı görülmez.

3.3.2 İkinci Aşama

Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının çok daha fazla harmonikleri oluşur. Bozulma devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme hızı ile değişime uğrar ve yan bantlar görülmeye başlanır. Yan bantların genliği başlangıç frekansının genliğini geçerse hasarın ciddi boyuta ulaştığı anlaşılır.

3.3.3 Üçüncü Aşama

Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansı harmoniklerinin yanında temel hasar frekansı da oluşur. Yan bant oluşumları rulman hasar frekanslarına paralellik gösterdiği zaman hasar bariz bir şekilde görülür seviyeye gelmiş demektir. Bu durumda rulman değiştirilmelidir

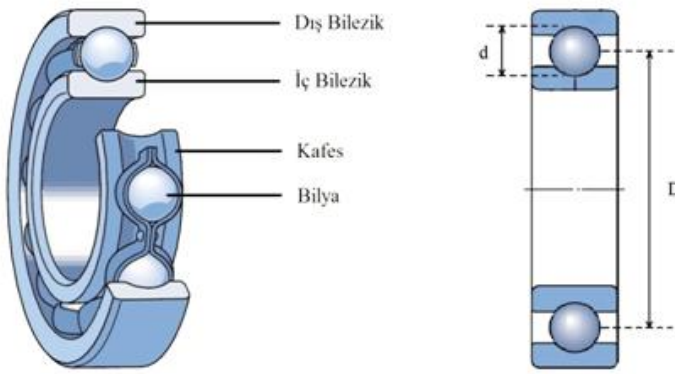
3.3.4 Dördüncü Aşama

Rulman hasar frekansları dağınık olarak gözlemlenir. Rulmandaki hasarlanma devam ettiği için iç boşluklar artar ve vuruntu sayısı artar. Bunun sonucunda spektrum grafiğinde geniş yan bantlar oluşur ve bu gürültüden zor ayırt edilebilir.

3.4 Rulman Frekanslarının Matematiksel Modellenmesi

İç bileziği dönen ve dış bileziği sabit rulmanların ürettiği titreşim sinyalleri matematiksel olarak hesaplanabilir.

Bu çalışmada Şekil 3.8 de verilen formüllere bağlı olarak örnek rulmana ait hasar frekansları hesaplanmış ve titreşim analizi sonucu alınan değerlerle karşılaştırılmıştır.



$$\omega_{bp} = n\omega_c$$

$$\omega_{bpi} = \frac{n}{2} N \left[1 + \frac{d}{D} \right]$$

$$\omega_b = \frac{N}{2} \left\{ \frac{D}{d} \right\} \left[1 - \left\{ \frac{d}{D} \right\} \right]^2$$

$$\omega_c = \frac{N}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \right]$$

Şekil 3.5 Rulman Geometrisi ve Hasar Titreşim Frekansları

Hasar frekans modelinde; D:Rulman bölüm dairesi çapı, d:Bilye çapı, N:Bilye sayısı ve n:Mil dönme devridir. Verilen titreşim frekansları aşağıdaki gibidir.

ω_c : Kafes bilye geçiş titreşim frekansıdır. Kafes içerisindeki arıza frekanslarını hesaplamamız için gerekli parametredir.

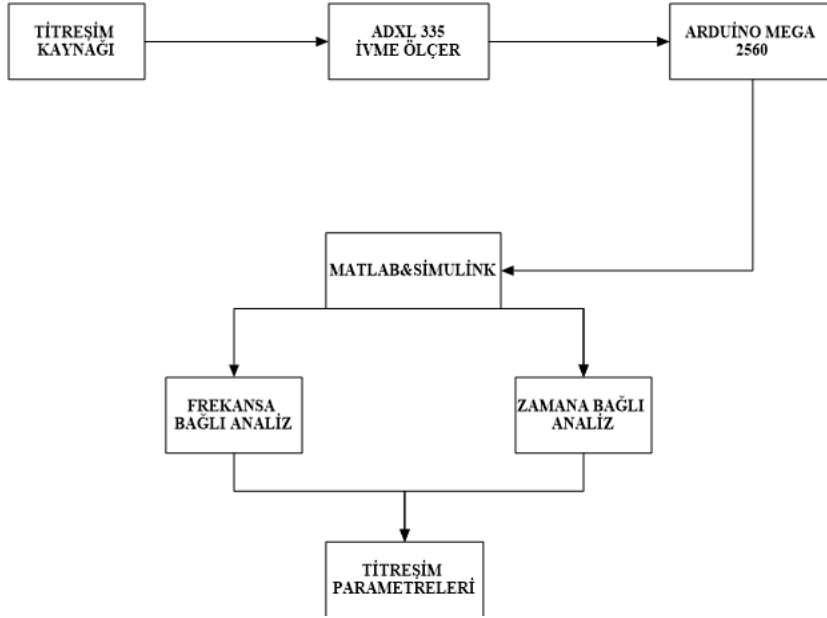
ω_{bp} : Dış bilezik bilye geçiş titreşim frekansı olarak tanımlanır.. Kafes bilye geçiş frekansının ile milin dönme devrinin (n) devir/dakika'dan hertz'e çevrilerek çarpımı sonucu elde edilir.

ω_{bpi} : İç bilezik bilye geçiş titreşim frekansıdır. Toplanacak sinyaller kafes, bilye ve dış bilezik içerisinden geçeceği için dikkat edilmesi gereken bir parametredir.

ω_b : Bilye geçiş titreşim frekansıdır. Bilyede meydana gelmiş hasarları tespit etmemiz için gereklidir.

4 TİTREŞİM ANALİZİ DENEY TASARIMI

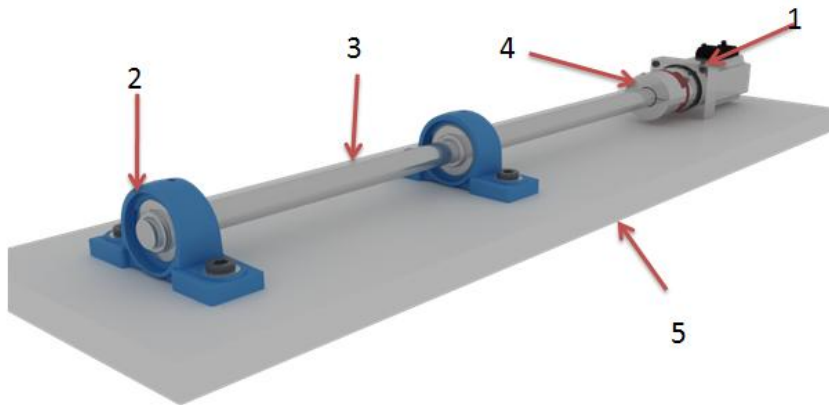
Deney düzeneği literatürde yapılmış çalışmalar paralelinde bir yöntemle yapılmış; fakat değişik ekipmanlar ile sinyaller toplanmıştır. Deney aşamaları diyagram olarak şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Deney Aşamaları

4.1 Mekanik Tasarım

Sistemin tasarımı 3ds Max de çizildikten sonra, uygun olarak üretilerek birleştirildi. Aşağıda deney düzeneğinin tasarımı verilmiştir.



Şekil 4.2 Titreşim Analizi Deney Düzeneği

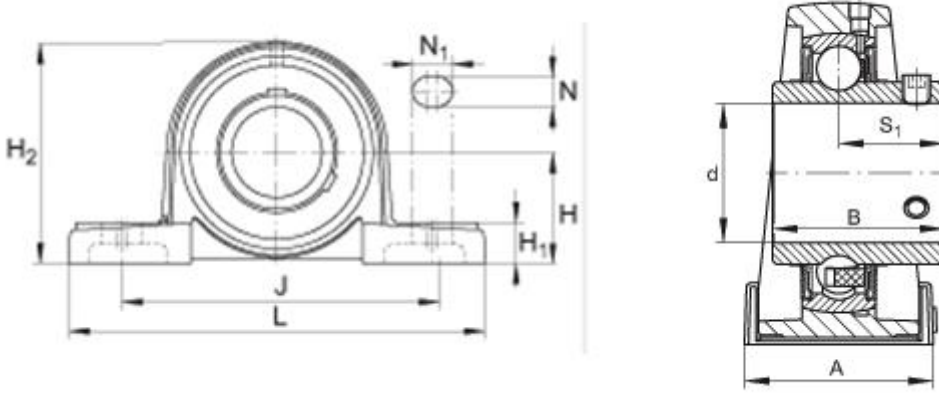
Deney düzeneğine ait parçalar tablo 4.1de belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Mekanik Tasarım Parça Listesi

Parça No	Parça İsmi
1	Panasonic Servo Motor 400W
2	Ucp 204 Tipi Rulmanlı Yatak
3	Mil
4	Kaplin
5	Polyamid Plaka

4.1.1 Rulmanlı Döküm Yatak

Bu çalışmada NKB firmasına ait UCP-204 serisi rulmanlı yatak serisi kullanılmıştır. Bu makine elemanını tercih etmemizin nedeni montajda kolaylık ve hız sağlamanın yanında, bakım veya onarım halinde çabuk erişilebilmesi ve ekonomik olmasıdır. Kullanılan rulmanlı yatağa ait teknik özellikler aşağıda belirtilmiştir [19].



Şekil 4.3 Rulmanlı Yatak Teknik Resimi

Tablo 4.2 Rulmanlı Yatağa Ait Parametreler

Sembol	Ölçü
d	20 mm
L	127 mm
H ₂	65 mm
A	38 mm
B	31 mm
H	33.3 mm
H ₁	14 mm
J	95 mm
N	13 mm
N ₁	19 mm
S ₁	18.3 mm
M	0.65 kg

4.1.2 Deneyin Yapılacağı Zemin

Eğer yüksek doğruluğa ulaşmak istediğiniz bir titreşim deneyi yaparsanız bu deneyin hangi zemin üzerinde yapacağınız da önem arz etmektedir. Sanayide titreşimi engellemek için makinalarda genellikle döküm malzemeler kullanılmaktadır. Yakın zamanda teknolojik olarak büyük aşama kaydeden plastik malzemelerin bir bölümünde titreşim sönümlenme açısından başarılı bir performans göstermektedirler.

Bu çalışmada deneyin inşa edileceği malzeme olarak polyamid malzeme tercih edilmiştir. Polyamid peptid bağları tarafından bağlanmış monomerler olarak tanımlanmaktadır. Sert bir plastik türü olan polyamid darbe emme ve titreşim sönümlenme özelliğine sahiptir.

4.2 Elektronik Donanım

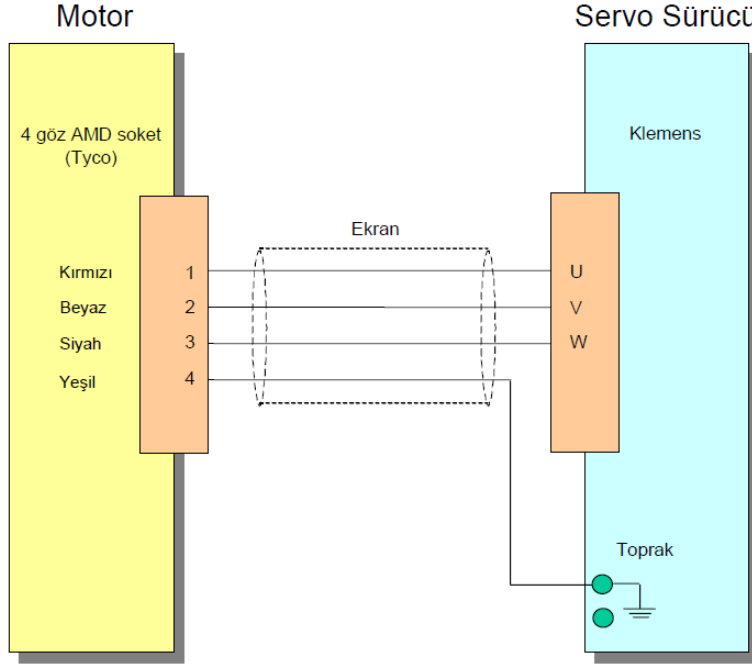
4.2.1 Servo Motor ve Sürücü Sistemi

Bu çalışmada Panasonic markasına ait servo motor ve sürücüsü kullanılmıştır. Kullanılan servo motor 400W frenli, düşük ataletli “MSMD042P1S” serisidir. A5 serisi içerisinde yer alan bu motor 200VAC dır.



Şekil 4.4 Panasonic servo motor ve sürücüsü

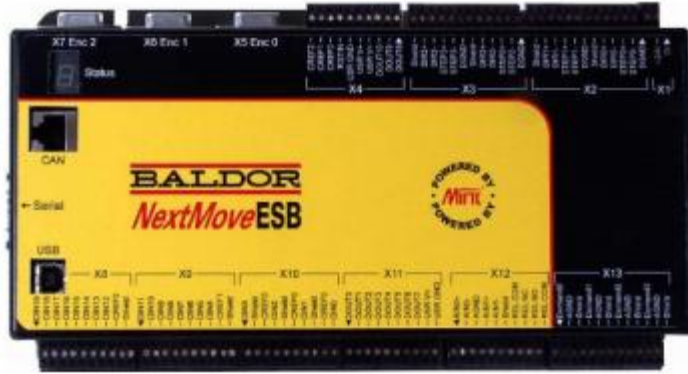
Servo motor ile sürücüsü arasındaki bağlantı şekil 4.5 deki gibi yapılmıştır.



Şekil 4.5 Servo Motor ve Sürücü Bağlantısı

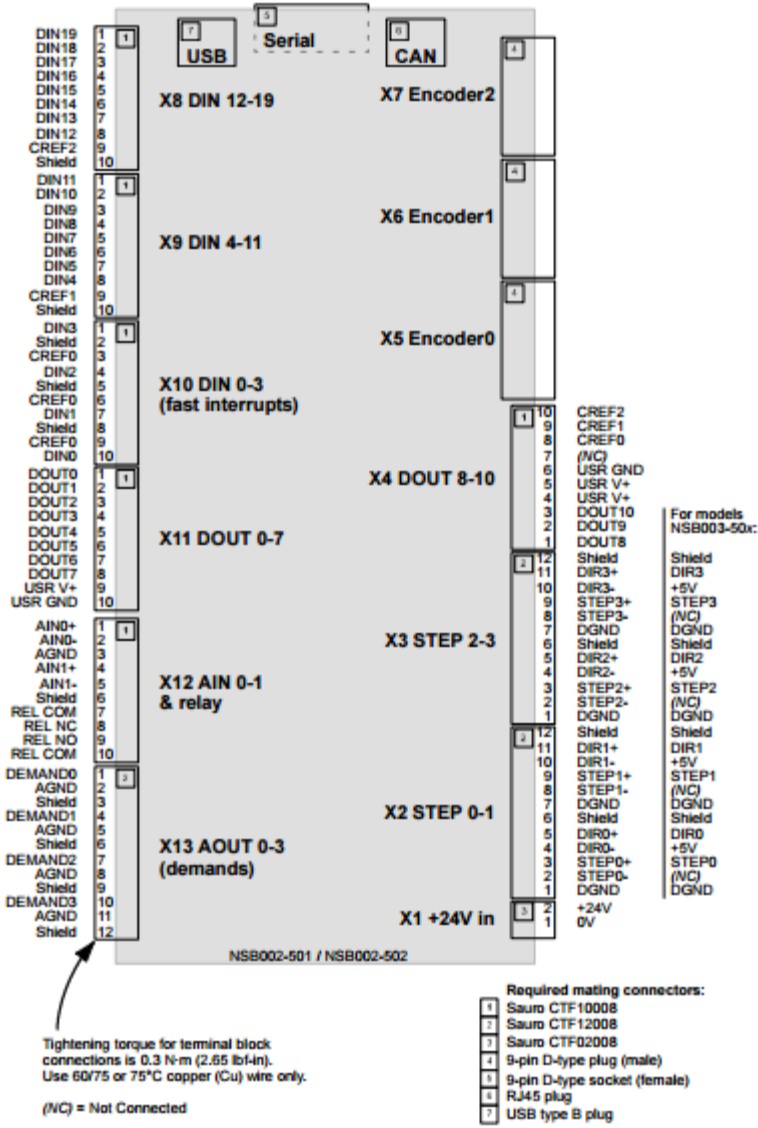
4.2.2 Baldor Next Move Esb ve Mint Workbench

Sürücü parametre ayarlama işlemlerini ABB firmasına ait Baldor Next Move Esb 5 eksen servo kontrol denetleyicisi ve Mint Workbench program kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.6 Baldor Next Move Esb

Servo motor sürücüsünün 50 pin kablosu Baldor Next Move ESB hareket kontrolcüsüne bağlanmıştır. Şekil 4.7 de kontrolcüye ait şema verilmiştir. Tablo 4.3 de bağlantılar gösterilmiştir.

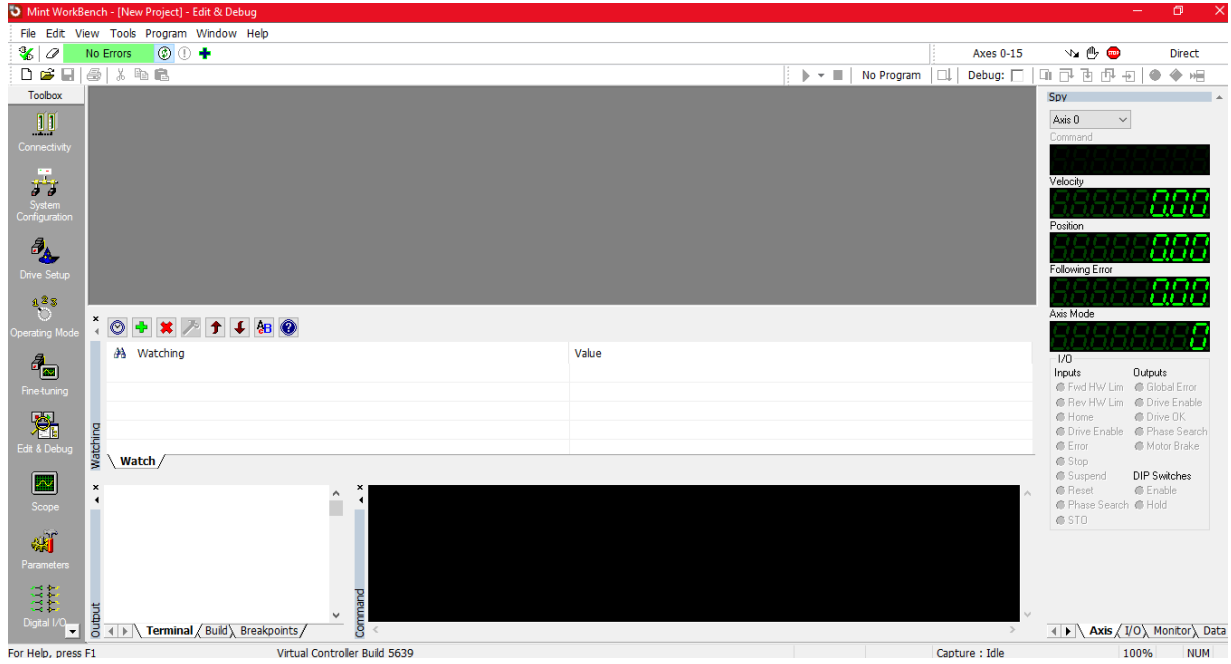


Şekil 4.7 Baldor Next Move ESB KontrolŞeması

Tablo 4.3 Motor-Sürücü Pin Bağlantı Detayları

50 Pin Bağlantı Kablosu	Next Move Bağlantı Girişi
Yeşil	Step 0 +
Kırmızı	+24 V
Siyah	-24V
Turkuaz	Servo Ready (DGND)
Beyaz	Step 0 -
Turuncu	DIR +
Sarı	DIR -

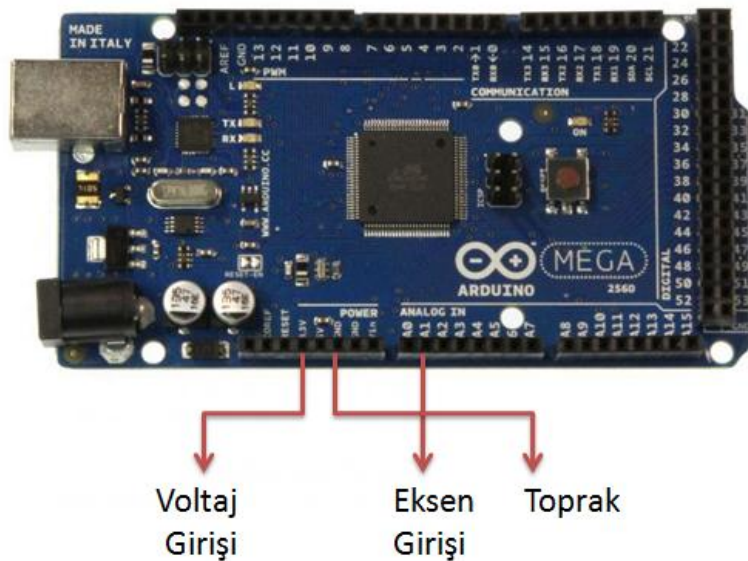
Sistemin kontrol edilmesi için ABB firmasına ait Mint Workbench yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4.8 Mint Workbench Uygulaması

4.2.3 Arduino Mega 2560 Mikro İşlemci

Atmega 2560 temelli bir mikrodenetleyici kartıdır. Titreşim ölçümlerinde kullanmak için tercih ettiğimiz şekil.4.9 da gösterilen bu kart hem maliyet açısından uygun olup hem de pahalı mikro işlemci kartlar paralelinde performans sunuyor. Tablo 4.4 de Arduino Mega 2560 özellikleri verilmiştir [20].



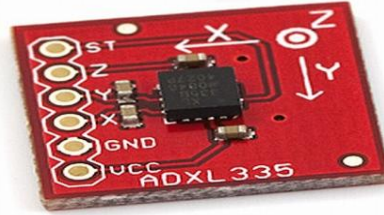
Şekil 4.9 Arduino Mega 2560

Tablo 4.4 Arduino Mega 2560 Özellikleri

Mikro denetleyici	Atmega 2560
Dijital I/O pinleri	54 (14 tanesi PWM çıkışı için kullanılır)
Analog giriş pinleri	16
I/O pinlerinin akımı	40 mA
3.3V pini akımı	50 mA
Çalışma gerilimi	5V
Besleme voltajı (Tavsiye edilen)	7 – 12 V
Besleme voltajı (Limit)	6 – 20 V
Flash bellek	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Frekansı	16 MHZ

4.2.4 Adxl 335 İvme Ölçer

Adxl 335 3 eksen ivme ölçen bir sensördür. Bu analog sensörler uzun kullanım testlerinden sonra doğruluğu yüksek sonuçlar neticesinde, kendini kanıtlanmış bir ivme ölçerdir. ADXL335 üçlü eksen ivme ile son derece düşük gürültü ve güç tüketimi göstermektedir. (320uA). Sensörün algılama alanı (+ /-3g) dir. Bu sensörler 3V - 5V aralığında çalışabilir [22].

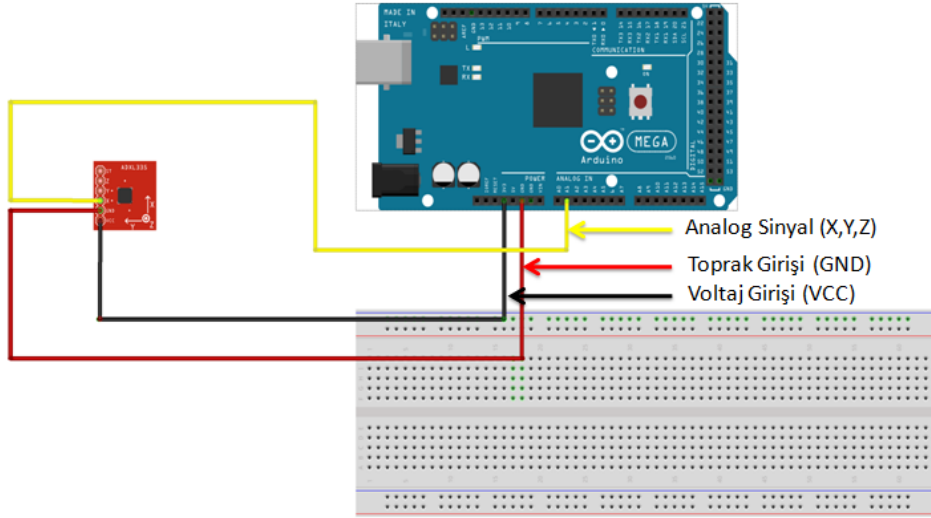


Şekil 4.10 Adxl 335 İvme Ölçer

Tablo 4.5 Adxl 335 İvme Ölçer Parametreleri

ST (Self Test)	Test
X	Eksen
Y	Eksen
Z	Eksen
GND(Ground)	Toprak
VCC(Collector Collector Voltage)	Voltaj

Arduino Mega 2560 ve Adxl 335 sensörünün kablo bağlantısı şekil 4.11 de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.11 Arduino Mega 2560 ile Adxl 335 Bağlantı Şeması

4.3 Matlab&Simulink Yazılımı

Rulmandan alınan titreşim sinyallerinin işlenmesi zaman analizi ve FFT analizi Matlab&Simulink ortamında yapılmıştır.

Matlab; çok paradigmalı sayısal hesaplama yazılımı ve dördüncü nesil programlama dilidir[18].

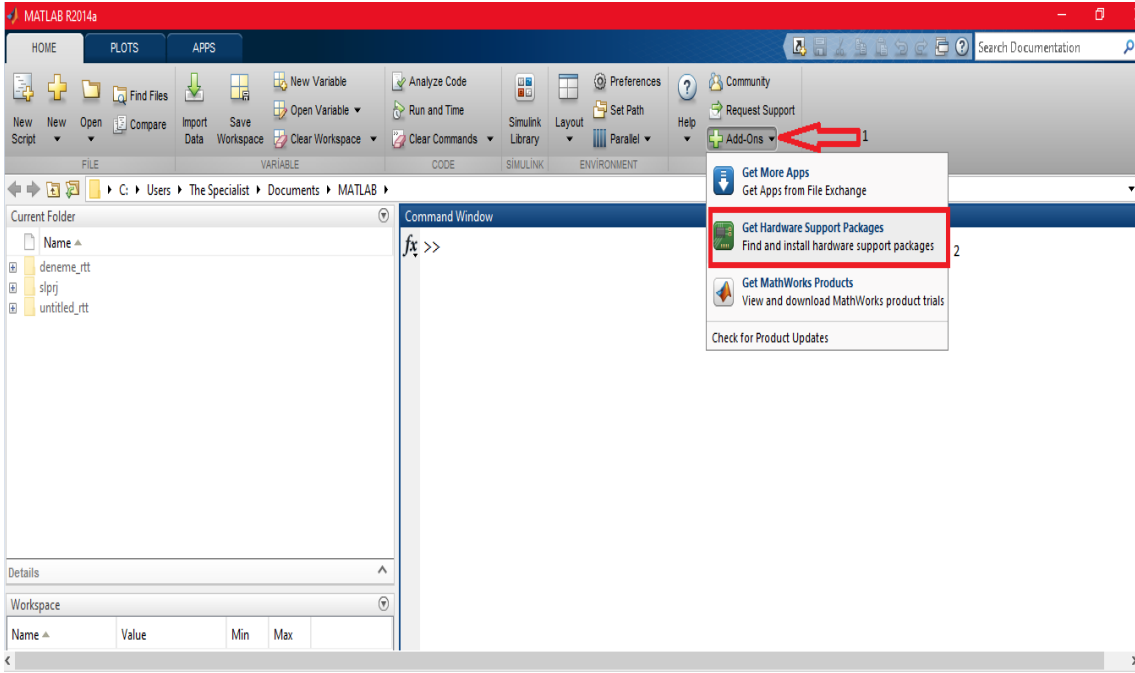
Simulink yazılımı ise; Matlab içinde entegre halde bulunan ve dinamik sistemlerin modellenmesi ile analiz ve simülasyon yapılan bir pakettir.

Bu çalışmada Simulink paketini kullanarak titreşim sinyallerinin analizi yapılmış ve daha sonra Matlab ortamında zaman analizi ve FFT analizini yaparak frekans tablosunu ortaya çıkarılmıştır.

4.4 Matlab&Simulink ile Arduino Mega 2560 Haberleşmesi

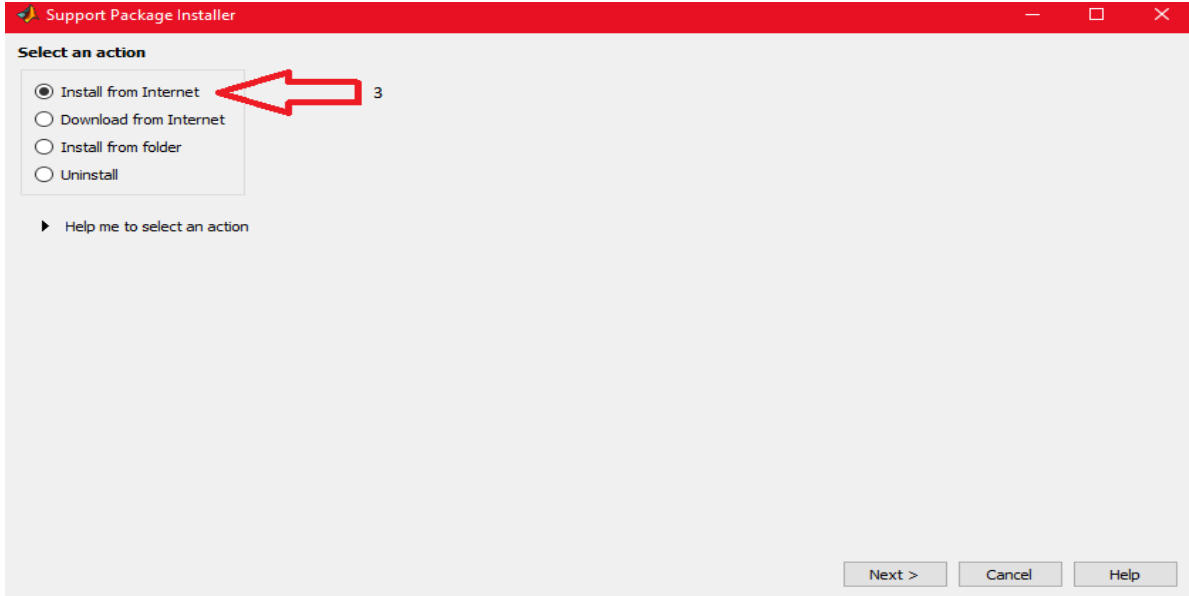
Mathworks tarafından geliştirilen Matlab&Simulink yazılımı R2014a serisinden itibaren Arduino firması tarafından geliştirilen mikro işlemciler ile direkt haberleşme imkanı için destek verdi. Bu çalışmada Matlab&Simulink R2014a yazılımı kullanılmıştır.

Matlab&Simulink R2014a yazılımını yükledikten sonra ana ekrandan Add-Ons sekmesini seçerek Get Hardware Support Packages sekmesine giriyoruz.



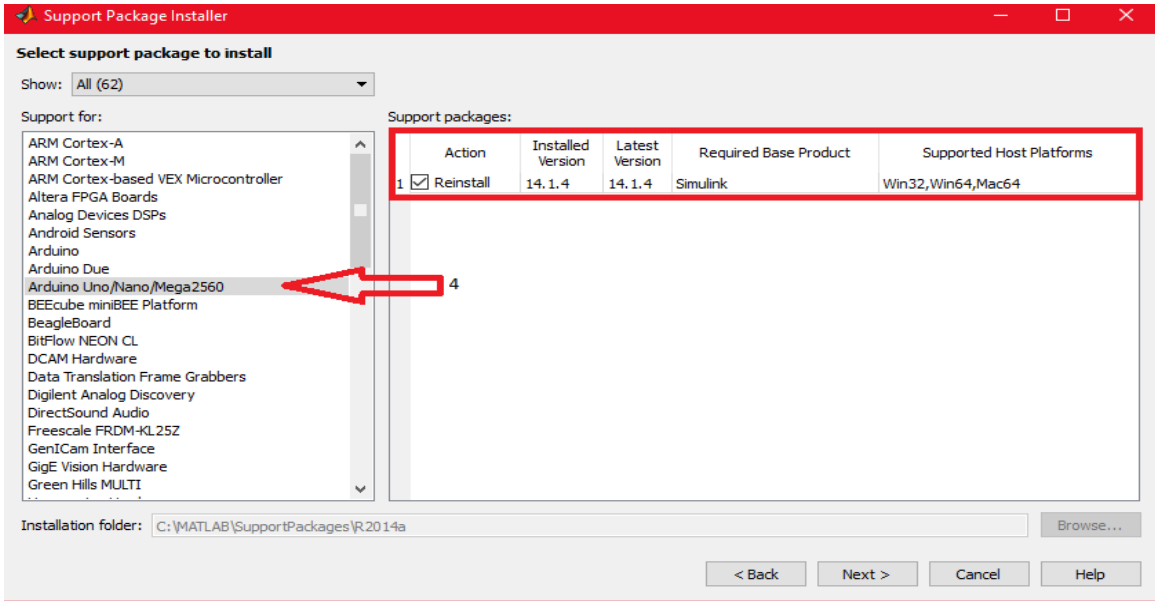
Şekil 4.12 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Çıkan ekranda Install from Internet sekmesine giriyoruz.



Şekil 4.13 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Önümüze gelen listeden şekil 4.14 de gösterilen kısımdan Arduino'yu seçerek ilgili sürücüleri (Support Packages) yüklüyoruz.

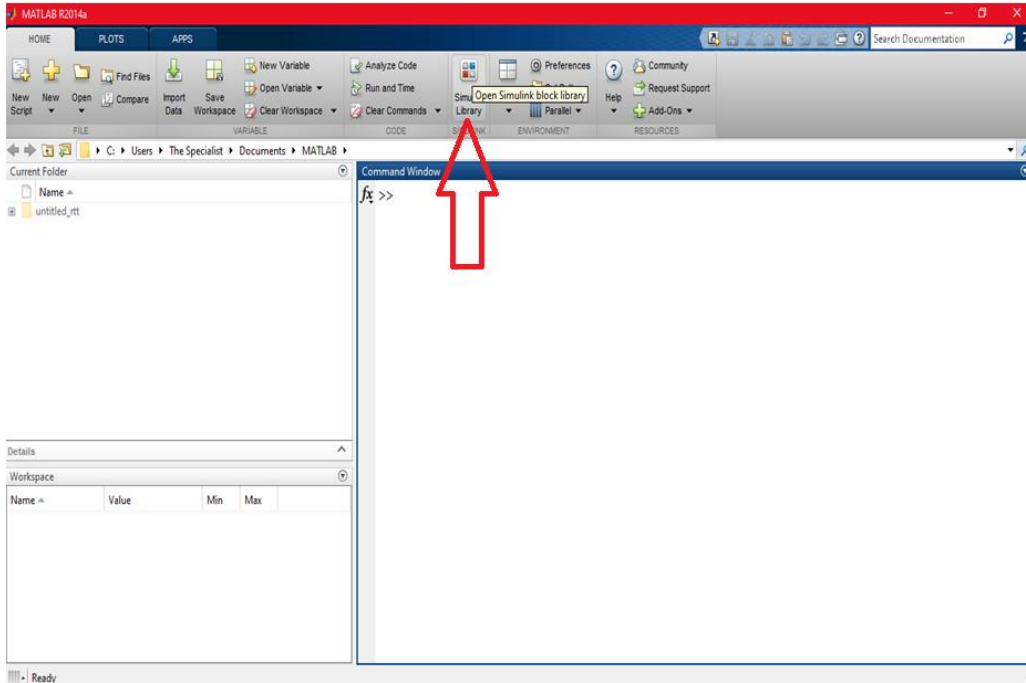


Şekil 4.14 Arduino Package Yükleme Aşamaları

Bu işlemlerin sonunda Arduino Mega 2560 support packages yüklenmiş ve Matlab&Simulink ile Arduino arasında seri haberleşme kurulmuş oldu.

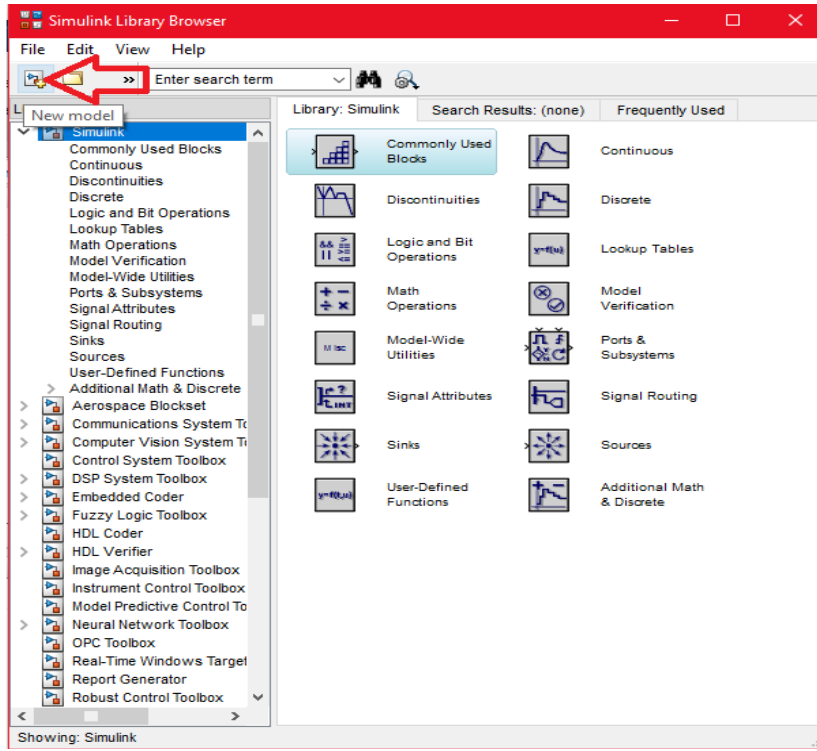
4.5 Simulink'e Giriş ve Sistemin Modellenmesi

Simulink ile titreşim analizi için istediğimiz sistemin modellemesini yaptık. Şekil 4.15 de belirtilen simulink sekmesine giriyoruz.



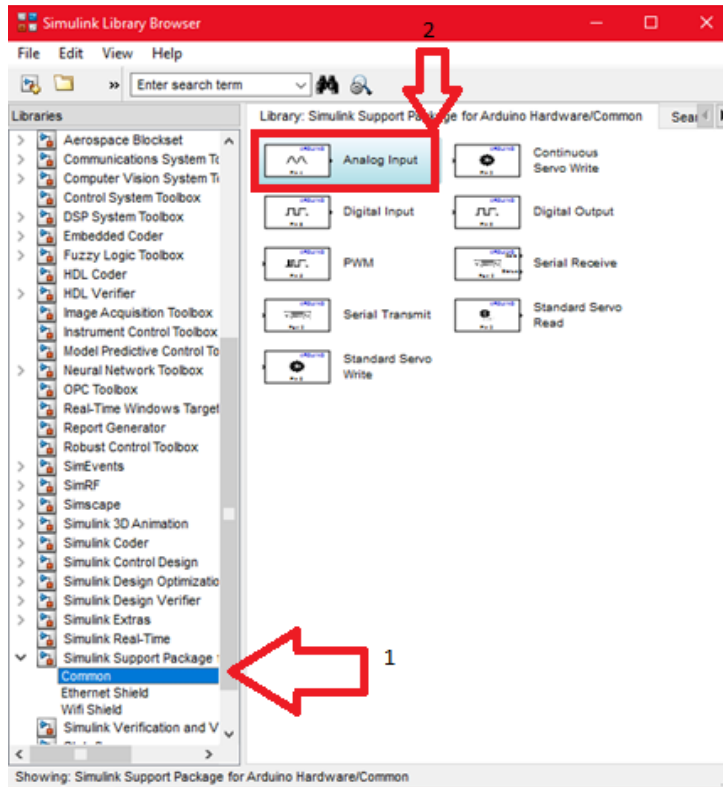
Şekil 4.15 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Bu bölüme girdikten sonra şekil 4.16 da belirtilen sol üst köşede bulunan new model kısmına giriyoruz ve yeni bir model sayfası açıyoruz.



Şekil 4.16 Simulink Devre Şeması Oluşturma

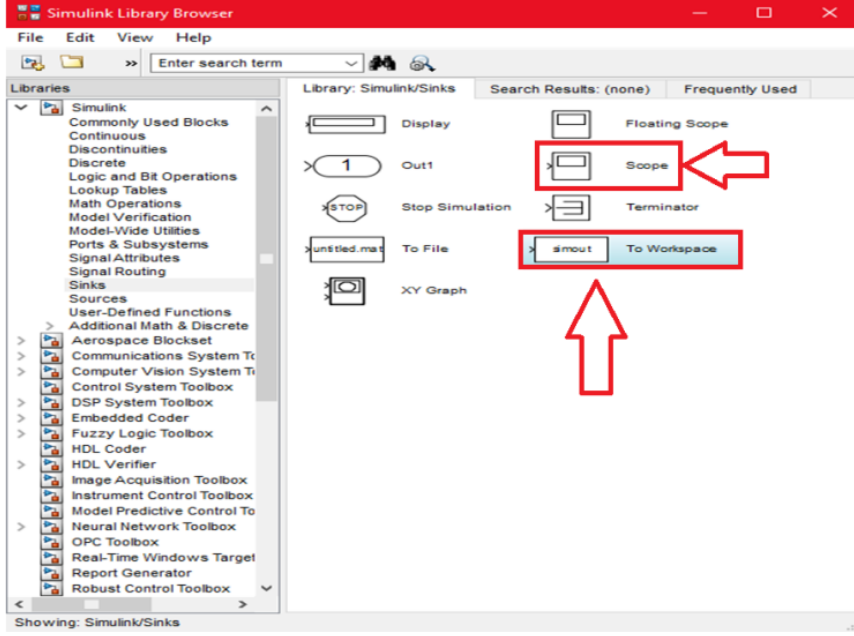
Daha sonra şekil 4.17 de belirtilen sol sütunda yer alan simulink support packages bölümüne giriyoruz. Buradan yer alan Common bölümünden Analog Input devre elemanını model sayfamıza ekliyoruz.



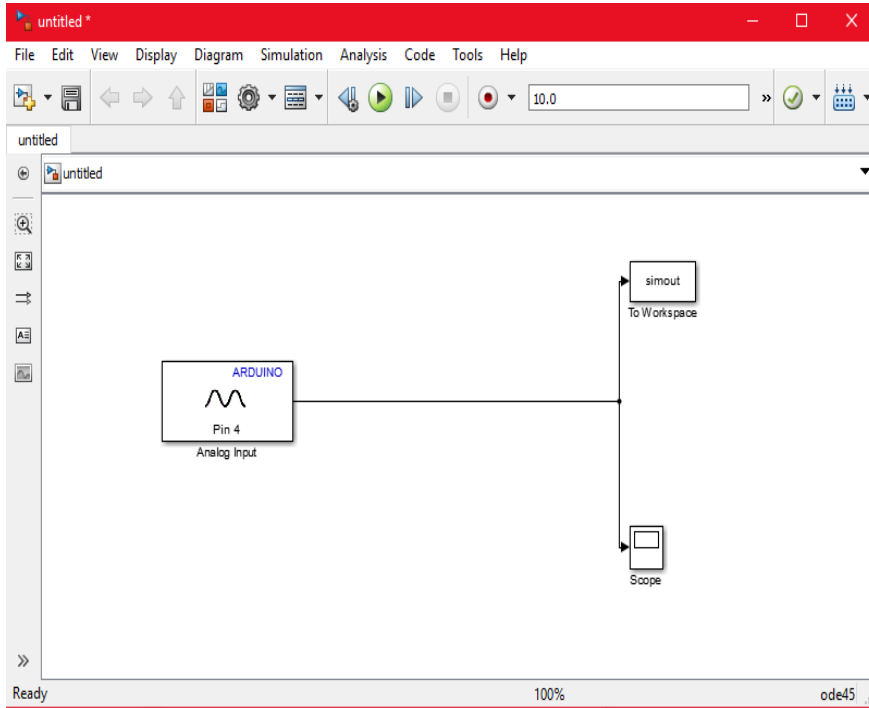
Şekil 4.17 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Daha önceden yüklediğimiz Arduino Mega sürücülerini Simulink yazılımını içerisinde gömüldü. Analog Input sensörden gelen verileri okumak ve Simulink ile haberleşmek için kullanılan devre elemanıdır.

Bu işlemin ardından Şekil 4.18 de belirtilen ve yine sol sütundan 'Sinks' kısmına giriyoruz ve buradan 'Scope' ve 'To Workspace' devre elemanlarını model sayfamıza gönderiyoruz.

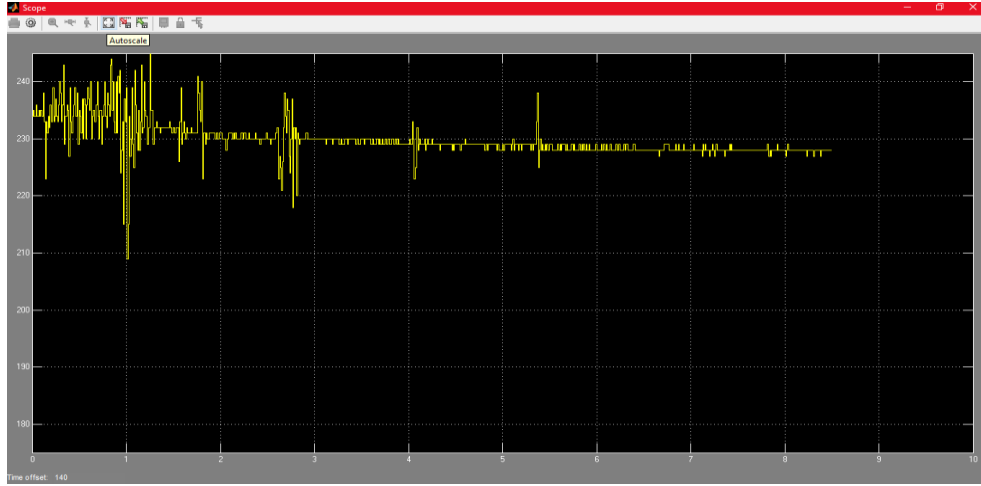


Şekil 4.18 Simulink Devre Şeması Oluşturma



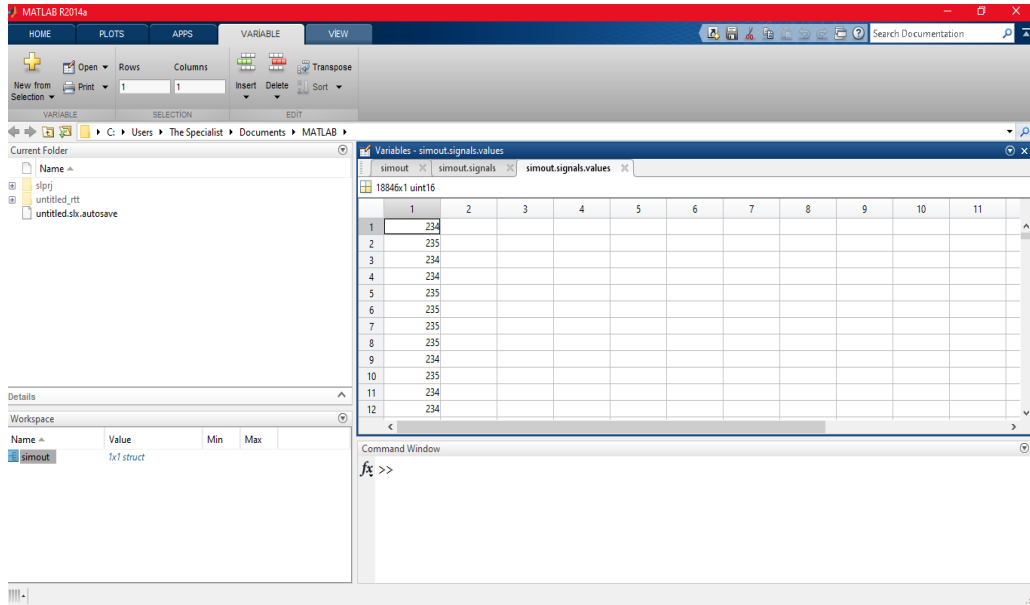
Şekil 4.19 Simulink Devre Şeması Oluşturma

Scope: Titreşim sensörü üzerinden gelen sinyal dalgalarını görmemizi sağlayan ve dalga formu (Genlik-Zaman) grafiği için fikir verecek olan devre elemanıdır. Şekilde rastgele alınan titreşim sinyalleri gösterilmektedir. Titreşimin olmadığı durumlarda, grafik bir doğru gibi hareket ederken, yapay bir titreşim oluşturulduğunda genlik miktarlarına bağlı olarak dalga boylarının meydana geldiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20 Scope Ekranı

To Workspace (Simout): Simulink üzerinden alınan verileri matlab ortamına aktararak orada yapacağımız dalga formu ve spektrum işlemleri için zemin hazırlar.



Şekil 4.21 Simout Veri Ekranı

Simout sekmesine girerek 'signal values' kısmına girdiğimizde excel doya formatında bulunan ve titreşim değerlerini ifade eden sayısal değerlere ulaştık. Bu değerler ile dalga formu (Genlik-Zaman) ve spectrum (Genlik-Frekans) grafiklerini ortaya çıkarıp yorumunu yapmış olacağız.

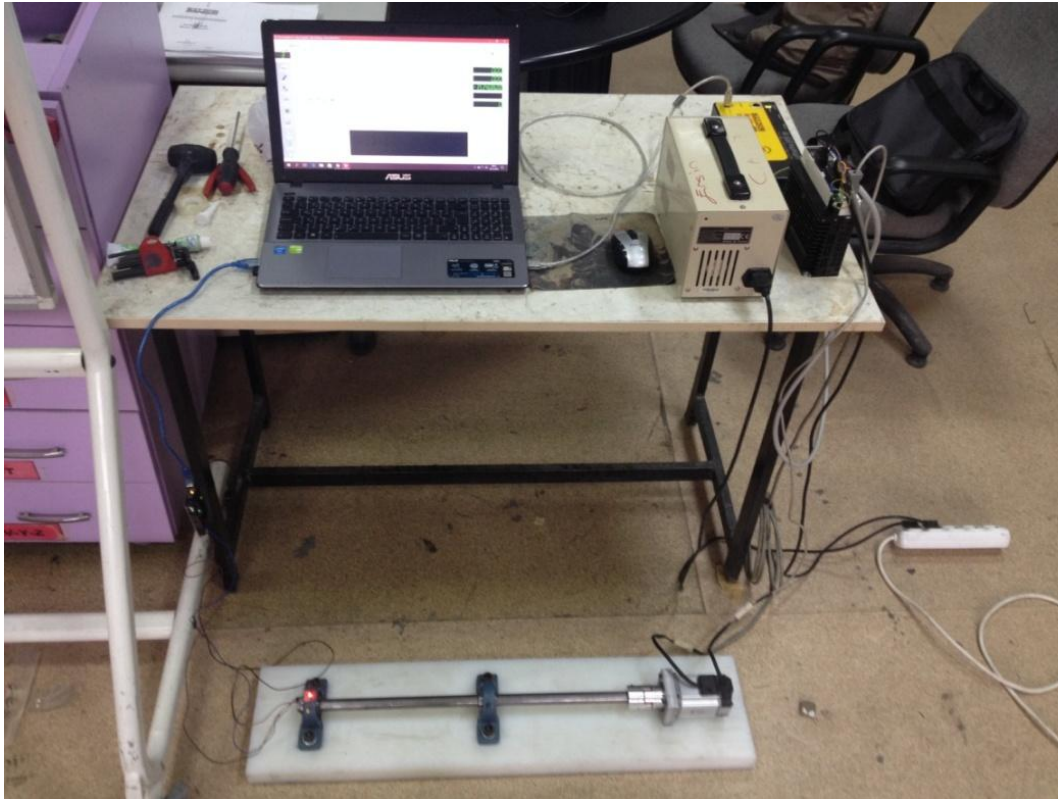
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Titreşim analizi yapılacak sistemin tasarım ve yazılım kısımları tamamlandıktan sonra belirlenen devirlerde rulmanlardaki titreşim analizleri yapıldı. Öncelikli olarak hasarsız rulmandan alınan sinyallerin analizi yapıldı. Daha sonra rulmanlara suni hatalar verilerek tekrar sinyaller toplandı ve analizleri yapıldı. Bu deneyler hasarlı rulman ile hasarsız rulman arasındaki titreşim farklılıklarını ortaya koyacak ve bunun istikametinde hasarlı rulmanın erken teşhisine olanak sağlayarak kestirimci bakım için bize yardımcı olacaktır.

5.1 Sistemin Hazır Hale Getirilip Çalıştırılması

Servo motoru workbench uygulamasını açarak Baldor Next Move ESB üzerinden servo motorun 2000 devir/dakika da çalışması için gerekli komutu verdik. Servo motor istenilen devire çıktığında Adxl 335 ivme ölçer sensörü yatağa dik olacak şekilde silikon vasıtasıyla sabitledik.

Şekil 5.1 de sistemin genel durumu için gerekli hazırlıklar yapılmıştır.

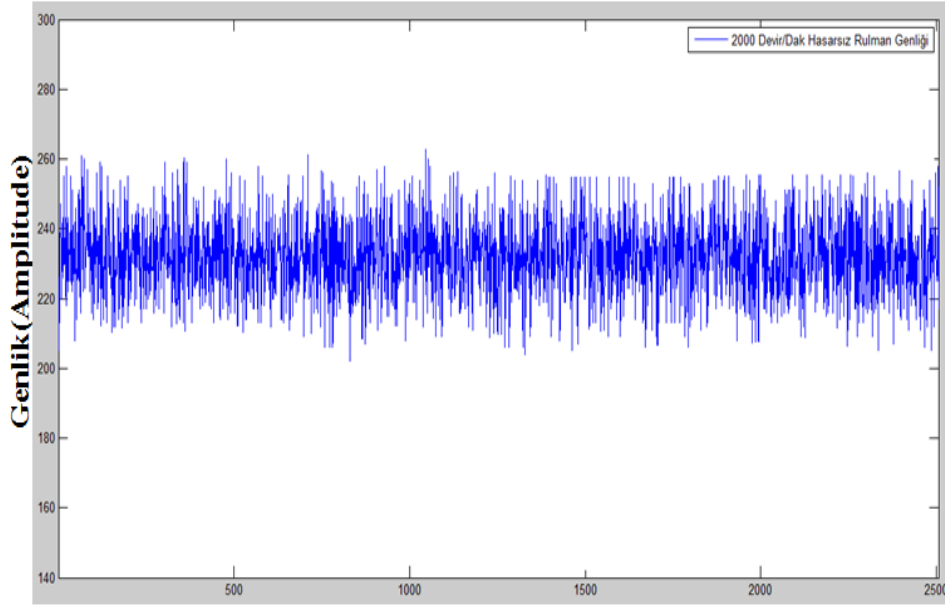


Şekil 5.1 Deney Düzenegi

5.1.1 2000 Devirde Hatasız ve Hatalı Rulman Genlik-Zaman ve FFT Analizi Karşılaştırması

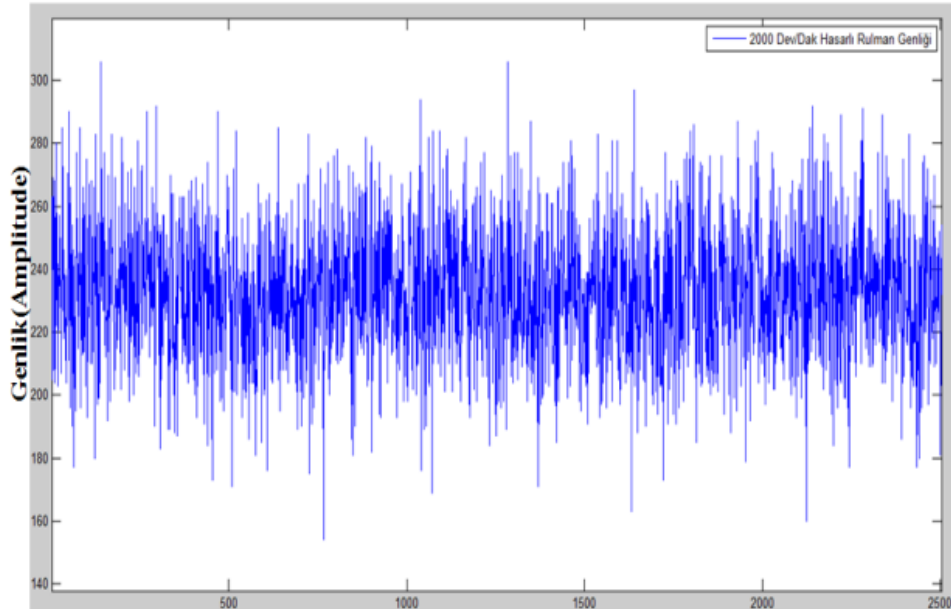
Servo motor 2000 devir/dakika'ya ulaştığında rulmandan 25sn boyunca titreşim sinyalleri toplanmış ve Matlab ortamına aktarılarak genlik-zaman tablosu ortaya çıkarılmıştır.

Şekil 5.2 de hasarlı rulamanın şekil 5.3 de hasarsız rulmanın genlik-zaman grafiği verilmiştir.



Zaman(Time) Sample Time:0.01sn

Şekil 5.2 Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği



Zaman(Time) Sample Time:0.01sn

Şekil 5.3 Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Hasarlı ve hasarsız rulmanlara ait genlik-zaman grafiği karşılaştırmalarında hasarlı rulmanın genlik-zaman grafiğinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir; fakat sadece genliğe göre değerlendirme yapmak yanıltıcı olabilmektedir. Bunun nedeni ise titreşim kaynağından gelen sinyalin sönümlenmesine neden olan dış etkenlerdir.

Bu sebeplerden dolayı genlik-zaman grafiğini (dalga formu) FFT işleminden geçirip frekans-zaman grafiğine transform ederek rulmandaki hasar frekansları görülmüştür.

Tespit edilen titreşim frekansları yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda dış bilezikte oluşan hasar frekansının 2, 3, 4, 5, 6,...14 katlarından oluştuğu anlaşılmıştır.

Bilye Geometrisi

Bilye Çapı : 7.90mm
 Bilye Sayısı : 8
 Temas Açısı : 0
 Mil Devri : 2000d/d (33.5 Hz)
 Bölüm Dairesi Çapı : 38.80mm

Hasarlı Rulman Titreşim Frekansları

$\omega_{bp} = 106,53$ Hz
 $\omega_{bpi} = 161,28$ Hz
 $\omega_b = 18,82$ Hz
 $\omega_c = 3,18$ Hz

Tablo 5.1 Dış Bilezik Hasarı Frekansları (2000 d/d)

Deney Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)	Denklem Sonucu Oluşan Hasar Frekansları ve Karşılıkları (Hz)
96,2	106,53 - 1x ω_{bp}
215	213,06 - 2x ω_{bp}
310,3	319,59 - 3x ω_{bp}
419,7	426,12 - 4x ω_{bp}
530	532,65 - 5x ω_{bp}
629	639,18 - 6x ω_{bp}
779	745,71 - 7x ω_{bp}
839,4	852,24 - 8x ω_{bp}
936,5	958,77 - 9x ω_{bp}
1098	1065,3 - 10x ω_{bp}
1156	1171,83 - 11x ω_{bp}
1290	1278,36 - 12x ω_{bp}
1355	1384,89 - 13x ω_{bp}
1483	1491,42 - 14x ω_{bp}

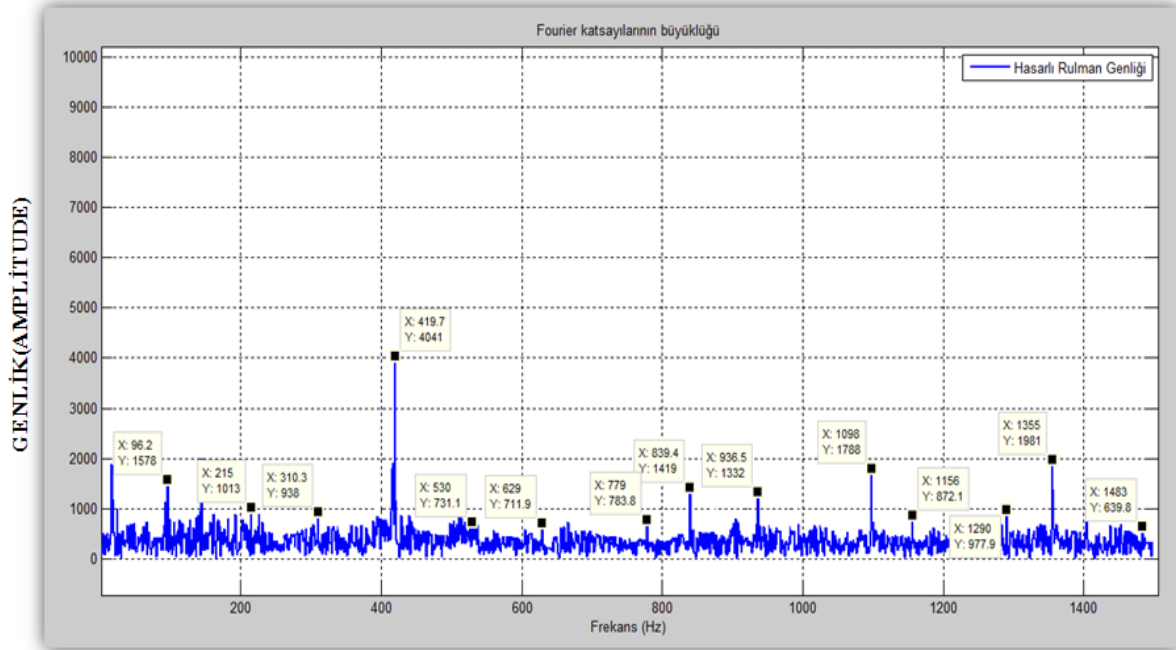
Yapılan karşılaştırmalarda ufak farklılıklar olmasının nedeni, iletim kabloları, sensörün silikon ile yapıştırılması ki bu azda olsa sinyalleri sönümleyebilir ve sinyalin rulman içerisinden sensöre ulaşmaya kadar maruz kaldığı dış etkenler olarak açıklanabilir.[21]

Simulinkten çekilen veriler Matlab ortamında aşağıda verilen formülüzasyon neticesinde FFT işlemi yapılmış ve spektrum (Genlik-Frekans) değerleri bulunmuştur.

```

% fft alma
fs=3000;
U2 = fft(ikibin); % Dönüşümü al
f = linspace(0,fs,length(U2)); % Frekans vektörü
n = floor(length(f)/2);
plot(f(1:n),abs(U2(1:n)), 'LineWidth',2);
title('Fourier katsayılarının büyüklüğü');
xlabel('Frekans (Hz)');
grid;

```

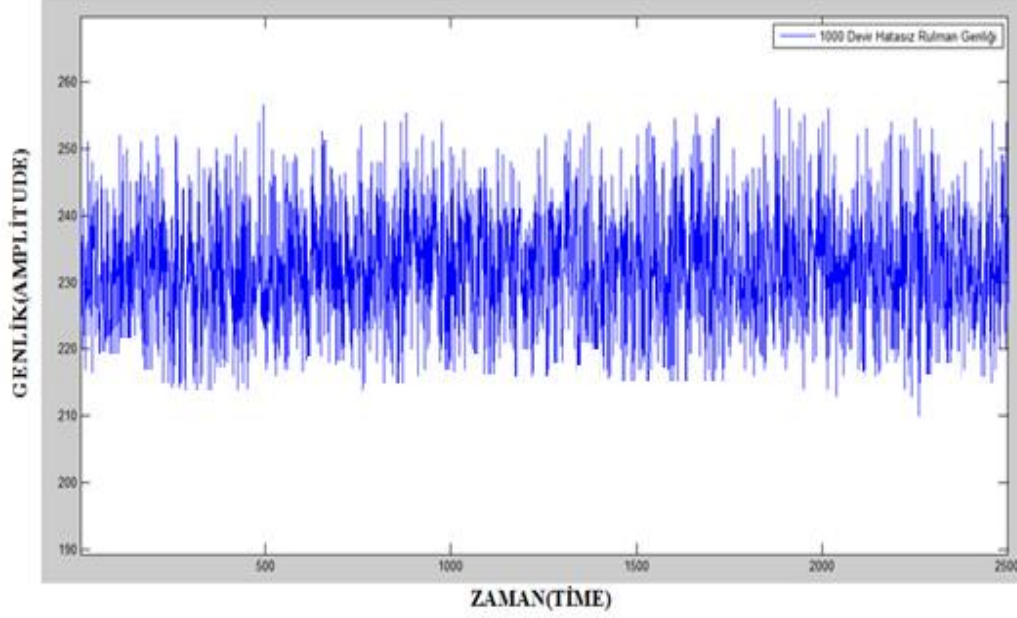


Şekil 5.4 Genlik-Frekans Spektrumu

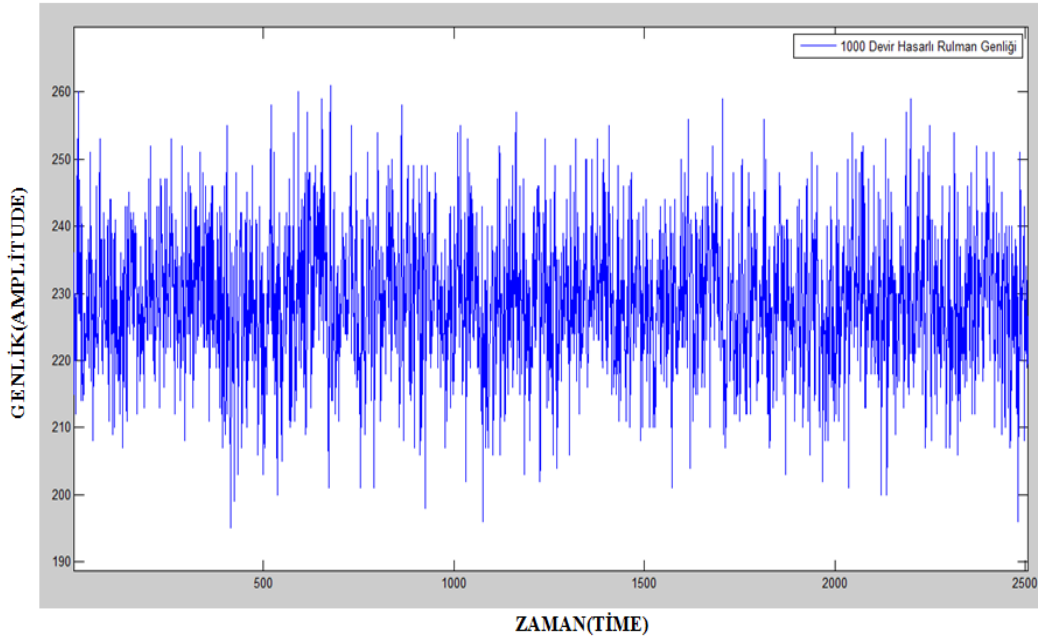
Spektruma bakıldığında dış bilezikte meydana gelen normal titreşim sinyalleri ve vuruntu sinyalleri rahatça gözlemlenebilmektedir. Frekansların; literatürde yapılan diğer çalışmalara nazaran daha yoğun olmasının sebebi Arduino Mega 2560 mikro işlemcimizin örnekleme zamanını (Sample Time) 0.01sn olarak almamızdan kaynaklandı.

5.1.2 1000 Devir/Dakika da Hatasız ve Hatalı Rulman Genlik-Zaman ve FFT Analizi Karşılaştırması

Rulmanlar değişik devir ve yükler altında değişik titreşim sinyalleri üretirler. Bu yüzden bu çalışmada Servo Motoru 1000 devir/dakika da çalışacak şekilde tekrar programlayıp 25sn boyunca hasarsız ve hasarlı rulmanlardan aldığımız sinyalleri topladık ve alınan verilerin işlenmesinin neticesinde oluşturulan genlik-zaman grafikleri (dalga formu) ortaya koyulmuştur.



Şekil 5.5 Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği



Şekil 5.6 Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği

Görüldüğü üzere genlik-zaman grafikleri arasındaki farklılıklar ortaya çıkmıştır. Ayrıca 2000 dev/dak da alınan genlik-zaman grafikleri ile de karşılaştırdığımızda da Devir sayısının düşmesi ile rulmanın ürettiği genlik oranında bir düşüşe yol açtığı anlaşılmaktadır.

1000 dev/dak için hasar frekansları hesaplanmış ve tespit edilen titreşim frekansları yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda dış bilezikte oluşan hasar frekansının 2, 3, 4, 5, 6,...18 katlarından oluştuğu anlaşılmış ve tablo 5.2 de verilmiştir.

Bilye Geometrisi

Bilye Çapı : 7.90mm
 Bilye Sayısı : 8
 Temas Açısı : 0
 Mil Devri : 1000d/d (16,66 Hz)
 Bölüm Dairesi Çapı : 38.80mm

Hasarlı Rulman Titreşim Frekansları

$\omega_{bp} = 52,97$ Hz
 $\omega_{bpi} = 80$ Hz
 $\omega_b = 18,82$ Hz
 $\omega_c = 3,18$ Hz

Tablo 5.2 Dış Bilezik Hasar Frekansları (1000 d/d)

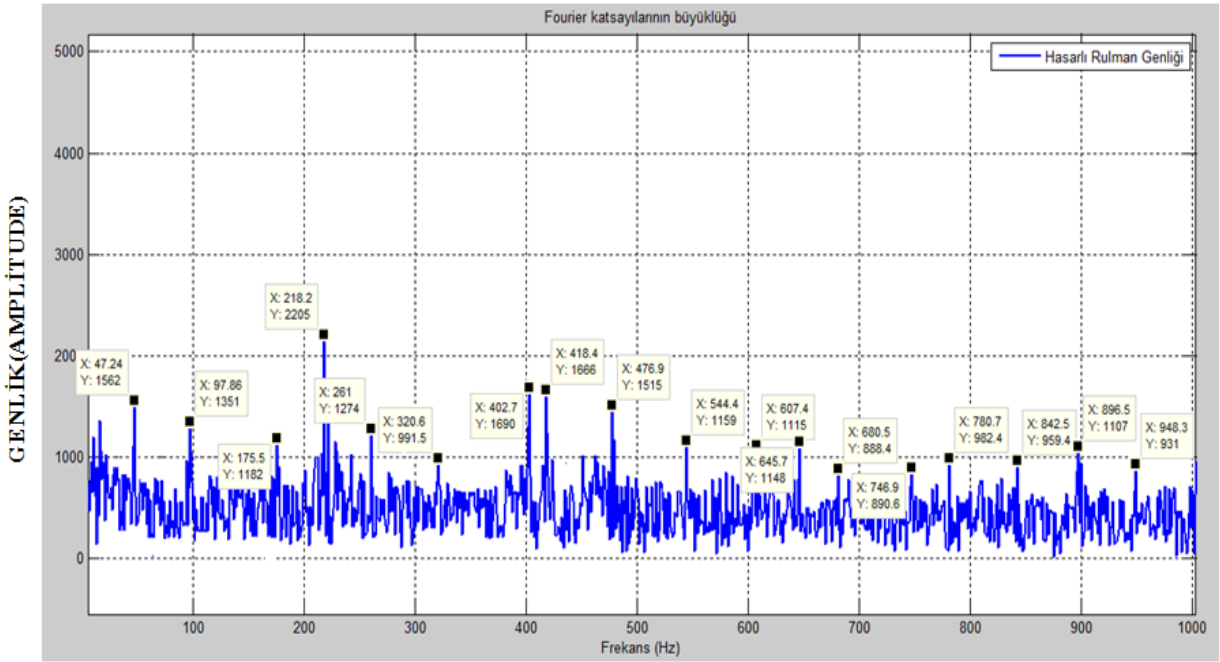
Deney Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)	Denklemler Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)
47,24	52,97 - 1x ω_{bp}
97,86	105,94 - 2x ω_{bp}
175,5	158,91 - 3x ω_{bp}
218,2	211,88 - 4x ω_{bp}
261	264,85 - 5x ω_{bp}
320,6	317,82 - 6x ω_{bp}
402,7	370,79 - 7x ω_{bp}
418,4	423,76 - 8x ω_{bp}
476,9	476,73 - 9x ω_{bp}
544,4	529,71 - 10x ω_{bp}
607,4	582,67 - 11x ω_{bp}
645,7	635,64 - 12x ω_{bp}
680,5	688,61 - 13x ω_{bp}
746,9	741,58 - 14x ω_{bp}
780,7	794,55 - 15x ω_{bp}
842,5	847,52 - 16x ω_{bp}
896,5	900,49 - 17x ω_{bp}
948,3	953,46 - 18x ω_{bp}

1000 devir/dakika da çalışan hasarlı rulmandan toplanan veriler matlab ortamında işlenerek FFT analizi yapılmıştır.

```

>> % fft alma
fs=3000;
U2 = fft(bin); % Dönüşümü al
f = linspace(0,fs,length(U2)); % Frekans vektörü
n = floor(length(f)/2);
plot(f(1:n),abs(U2(1:n)), 'LineWidth',2);
title('Fourier katsayılarının büyüklüğü');
xlabel('Frekans (Hz)');
grid;

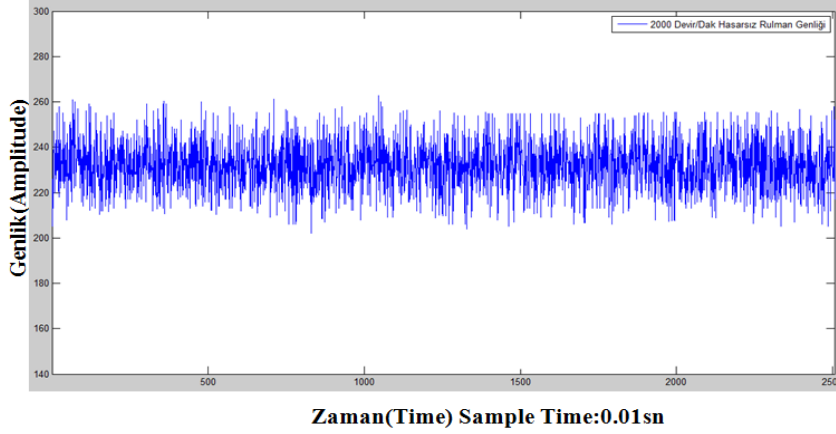
```



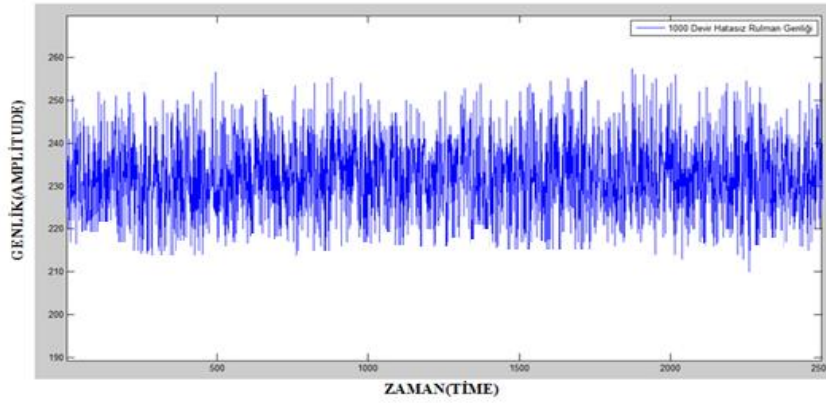
Şekil 5.7 Genlik-Frekans Spektrumu

Yukarıda ortaya çıkarılan genlik-frekans grafiğinde görüldüğü üzere dış bilezik hasar frekansları belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır; fakat 2000devir/dakika hızda çalışan hasarlı rulmana nazaran daha düşük genliklerde olduğunu gözlemledik.

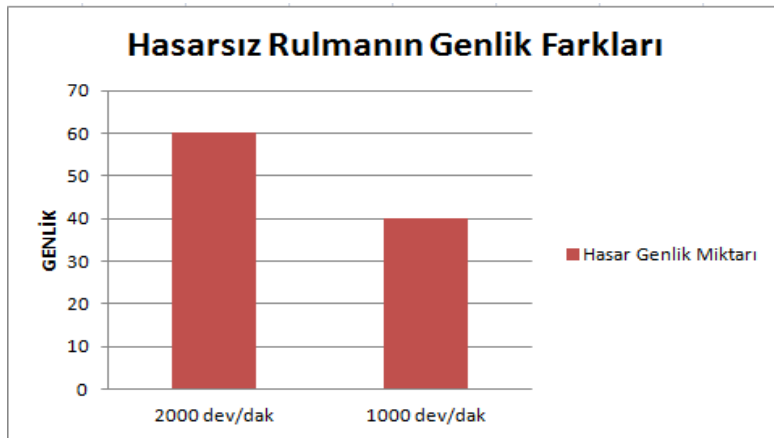
5.1.3 2000 devir/dakika ile 1000 devir/dakika da Çalışan Rulmanların Karşılaştırılması
Rulmanların ürettikleri titreşimin, tahrik edildikleri hızlar ile alakalı olduğunu daha önceden belirtmiştik. Bunu net olarak ortaya koyabilmek adına 1000 devir/dakika ve 2000 devir/dakika da çalışan hatasız bir rulman üzerinden veriler alınarak Genlik-Zaman grafiği ortaya çıkarılmış ve aşağıdaki gibi karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 5.8 2000 dev/dak Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği



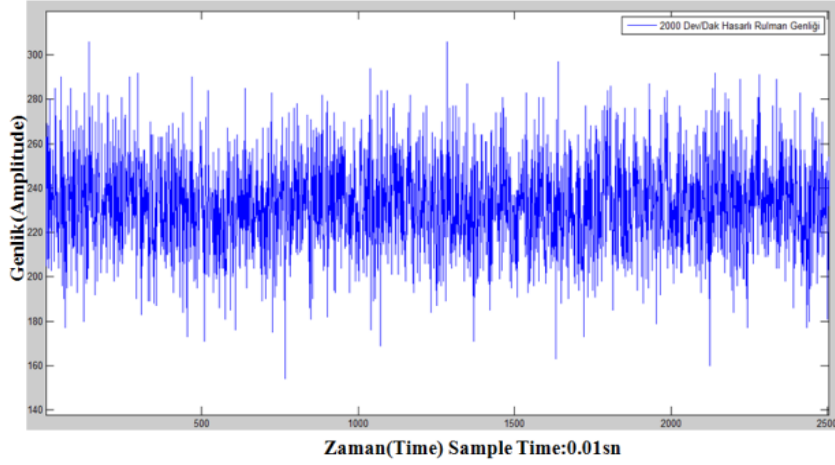
Şekil 5.9 1000 dev/dak Hasarsız Rulman Genlik-Zaman Grafiği



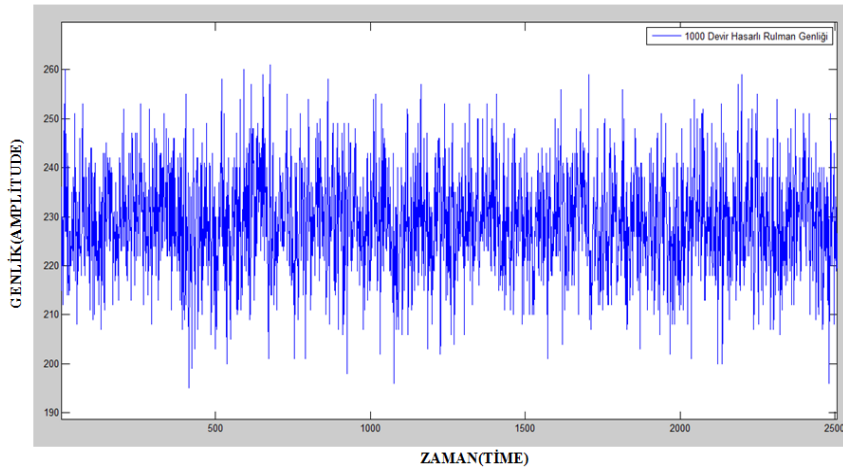
Şekil 5.10 Hasarsız Rulmanın Genlik Fark Grafiği

Yapılan karşılaştırmalar neticesinde hatasız rulmanlar açısından birbirine yakın değerler çıktı; yalnızca 2000 devir/dakika da çalışan rulmanın biraz daha fazla titreşim meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

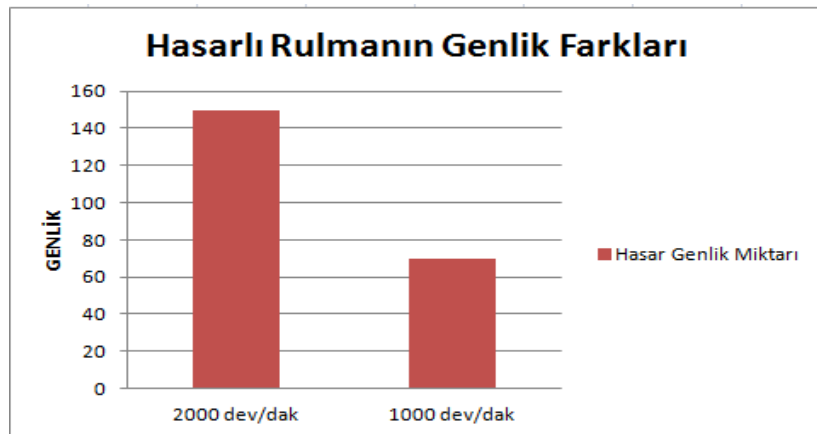
Esas üzerinde durmak istediğimiz durum ise, arızalı rulmanın tahrik edildiği hız ile meydana getirdiği titreşimler arasındaki farklılıklar olmuştur. İlk olarak Genlik-Zaman grafikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.11 2000 dev/dak Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği



Şekil 5.12 1000 dev/dak Hasarlı Rulman Genlik-Zaman Grafiği



Şekil 5.13 Hasarlı Rulman Genlik Fark Grafiği

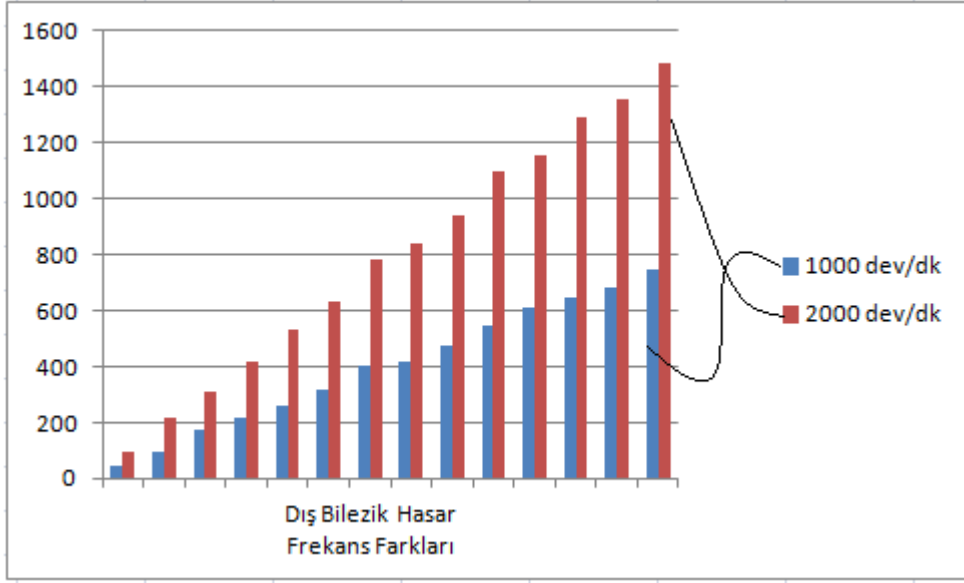
Yapılan karşılaştırmalar neticesinde 2000 dev/dak da çalışan arızalı rulmanın bariz bir şekilde Genlik miktarlarının 1000 dev/dak ya göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Genlik-Zaman grafikleri bize rulmanlar hakkında genel bir bilgi vermektedir; fakat net ve detay bir veri elde etmek istememiz durumunda ise toplanan titreşim verilerini FFT süzgecinden geçirmemiz gerekmektedir. Bu veriler ışığında daha önceden elde ettiğimiz 1000 dev/dak ile 2000 dev/dak hızında çalışan rulmanların Genlik-Frekans (Spektrum) grafiklerinden elde edilen veriler ile matematiksel olarak hesaplanan veriler karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.3 Dış Bilezik Hasar Frekansları (2000 d/d)

Deney Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)	Denklemler Sonucu Oluşan Hasar Frekansları ve Karşılıkları (Hz)
96,2	106,53 - 1x ω_{bp}
215	213,06 - 2x ω_{bp}
310,3	319,59 - 3x ω_{bp}
419,7	426,12 - 4x ω_{bp}
530	532,65 - 5x ω_{bp}
629	639,18 - 6x ω_{bp}
779	745,71 - 7x ω_{bp}
839,4	852,24 - 8x ω_{bp}
936,5	958,77 - 9x ω_{bp}
1098	1065,3 - 10x ω_{bp}
1156	1171,83 - 11x ω_{bp}
1290	1278,36 - 12x ω_{bp}
1355	1384,89 - 13x ω_{bp}
1483	1491,42 - 14x ω_{bp}

Tablo 5.4 Dış Bilezik Hasar Frekansları (1000 d/d)

Deney Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)	Denklemler Sonucu Oluşan Hasar Frekansları (Hz)
47,24	52,97 - 1x ω_{bp}
97,86	105,94 - 2x ω_{bp}
175,5	158,91 - 3x ω_{bp}
218,2	211,88 - 4x ω_{bp}
261	264,85 - 5x ω_{bp}
320,6	317,82 - 6x ω_{bp}
402,7	370,79 - 7x ω_{bp}
418,4	423,76 - 8x ω_{bp}
476,9	476,73 - 9x ω_{bp}
544,4	529,71 - 10 ω_{bp}
607,4	582,67 - 11x ω_{bp}
645,7	635,64 - 12x ω_{bp}
680,5	688,61 - 13x ω_{bp}
746,9	741,58 - 14x ω_{bp}



Şekil 5.14 Dış Bilezik Hasar Frekans Karşılaştırma Grafiği

Yapılan grafik karşılaştırmalar ve kıyaslamalar neticesinde 1000 dev/dak ile 2000 dev/dak arasında çalışan bir rulmanın meydana getirdiği hasar frekanslarının farklı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu durum ise, rulmanların bakımı ve analizinin çeşitli hız ve yükler altında yapılması gerektiğini göstermiştir. Aksi takdirde kestirimci bakımın faydadan çok zarar getireceği ve işletmelere fazladan zaman kaybı ve maliyet olarak geri döneceği öngörülmüştür.

6 SONUÇLAR

Literatürde titreşim analizi ile rulman hasarlarının tespiti, bu çalışmanın giriş bölümünde belirtildiği gibi genel olarak pahalı mikro işlemciler kullanılarak yapılmakta ve hazır sistemler ile sinyaller toplanmaktaydı.

Bu çalışma ise; tasarımı kendine özgü olan, Baldor 5 eksen servo kontrol kartı ve Workbench yazılımı kullanılarak oluşturulmuş bir deney seti üzerinde yataklanmış rulmanların titreşim ölçümü, arduino mega 2560 mikro kontrolcüsü ve adxl 335 ivme ölçer sensörü ile yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

1- Rulmanların meydana getirdikleri titreşim ve vuruş sinyalleri, bu makine elemanın çalıştığı devir ile doğru orantılı olup, genlik miktarlarının değişimine etkisi bulunmaktadır.

2-Pahalı mikro işlemci kartlar yerine maliyet açısından uygun olan Arduino Mega 2560 mikro işlemcisi ve Adxl 335 ivme sensörü ile titreşim analizi deneyinin yapılabileceği anlaşılmıştır.

3-Titreşim sinyallerinin toplanması ve işlenmesi açısından Arduino ile Matlab& Simulink yazılımının seri haberleşmesinin kullanılması ve Simulinkte modellenmesi ile literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır.

Yapılan bu çalışma üzerine ilave olarak eklenecek led bildirim ve kablosuz sistemler ile kestirimci bakım konusunda, işletmelere faydalı olacağı beklenmekle birlikte; bu çalışma için hazırlanan deney setinin lisans ve lisanüstü öğrencilere katkı yapacağı ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arslan, S., “Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2010).
- [2] Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- [3] Baykara, V.İ., “Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2010).
- [4] Orhan, S., “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakım”, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2002).
- [5] Tatar V., “Su pompa istasyonunda kestirimci bakım ve yönetim organizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, (2010).
- [6] Yaman G.Karadayı H, “Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma. 26.03.2014
- [7] Uygun.B “Rulmanlı yataklarda Hata Analizi” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 8 Mayıs 2016.Engür, A.İ., “Kestirimci bakımda titreşim analizi”, Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara, Cilt: 48, Sayı: 570, (2007).
- [8] Kalyoncu, M., “Titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi”, Mühendis ve Makina Dergisi, Ankara, Cilt no 47, Sayı 552, (2006).
- [9] Sönmez D. “Asenkron Motor Rulman arızasının titreşim işaretleri Üzerinden Entropi Tabanlı Analizi” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı, Nisan 2013
- [10] Adam Hjort & Mans Holmberg “Measuring mechanical vibrations using an Arduino as a slave I/O to anEPICS control system”. Department of Physics and Astronomy Uppsala University Physics Project with a Research Connection 5 hp, 1FA605 • June 2015
- [11] Arslan, H., Orhan, S. and Aktürk, N. 2003. BilyalıRulman Hasarlarının Neden Olduğu TitreşimlerinModellenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (4), 123-146.
- [12] Yıldırım.E, Karahan.F, titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE
- [13] Aktürk, N., Üzkürt, İ., Yüksel, Ş., “Titreşim Analizi İle Rulmanların Çalışabilirlik Durumlarının Belirlenmesi”, Mühendis ve Makina Cilt:41 Sayı:481 Şubat 2000.

- [14] Orhan, S., Aktürk, N., Çelik, V., "Vibration Monitoring For Defect Diagnosis of Rolling Element Bearings As A Predictive Maintenance Tool: Comprehensive Case Studies", NDT&E International 39 293-298 2006.
- [15] Tekelioğlu, M., "Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakım", Bilgilendirme Semineri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü. İzmir, 1992
- [16] McFadden, P. D. and Smith, J. D., "The Vibration Produced by a Multiple Point Defect in a Rolling Element Bearing", Journal of Sound and Vibration, 98(2), 263-273, 1985.
- [17] Puneet Bansal, I. S. Rajay Vedaraj" Monitoring and Analysis of Vibration Signal in Machine Tool Structures"School of Mechanical and Building Sciences, VIT University Vellore, India. 2014 IJEDR | Volume 2, Issue 2 | ISSN: 2321-9939
- [18]<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>[20.12.2016]
- [19] http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/UCP*UCP204?lang=tr [24.12.2016]
- [20] <http://arduino.cc> [25.12.2016]
- [21] <https://tr.wikipedia.org> [20.12.2016]
- [22] <http://www.analog.com/en/products/mems/accelerometers/adxl335>. [15.10.2016]
- [23] Yalçıntaş, M., Fault Diagnosis of Gears by Computer Simulation, Master Thesis, Middle East Technical University (METU), August 1990.
- [24] Overton, B., "Basic Vibration Primer", DoctorKnow□Application Paper, Computational Systems Incorporated, Knoxville, TN, USA
- [25] Reeves, T., "Failure Modes of Rolling Element Bearings", **DoctorKnow Application Paper**, Computational Systems Incorporated, Knoxville, TN, USA. DoctorKnow□Application Paper, Computational Systems Incorporated, Knoxville, TN, USA.
- [26] Braun, S. and Datner, B., "Analysis of Roller/Ball Bearing Vibrations", Journal of Mechanical Design, 101, 119-125, January 1979. Reeves, T., "Failure Modes of Rolling Element Bearings",
- [27] Köse, R.K. , "Makine arızalarının belirlenme- sinde titreşim analizi", Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara, Cilt: 45, Sayı:538, (2004).
- [28] Mobley, R.K., "An introduction to predictive maintenance", Van Nostrand Reinhold, New York, Page 1–16., (1990).

EKLER

EK 1

UCP 204 RULMANLI YATAĞININ HASAR FREKANSLARI (2000 DEV/DAK)

Bilye Geometrisi

Bilye Çapı : 7.90mm
Bilye Sayısı : 8
Temas Açısı : 0
Mil Devri : 2000d/d (33.5 Hz)
Bölüm Dairesi Çapı : 38.80mm

Hasarlı Rulman Titreşim Frekansları

$\omega_{bp} = 106,53$ Hz
 $\omega_{bpi} = 161,28$ Hz
 $\omega_b = 18,82$ Hz
 $\omega_c = 3,18$ Hz

		1×	2×	3×	4×	5×	6×	7×
ω_{bp}	106,53	106,53	213,06	319,59	426,12	532,65	639,18	745,71
ω_{bpi}	161,28	161,28	322,56	483,84	645,12	806,4	967,68	1128,96
ω_b	18,82	18,82	37,64	56,46	75,28	94,1	112,92	131,74
ω_c	3,18	3,18	6,36	9,54	12,72	15,9	19,08	22,26

8×	9×	10×	11×	12×	13×	14×	15×
852,24	958,77	106,53	1171,83	1278,36	1384,89	1491,42	1597,95
1290,24	1451,52	1612,8	1774,08	1935,36	2096,64	2257,92	2419,2
150,56	169,38	188,2	207,02	225,84	244,66	263,48	282,3
25,44	28,62	31,8	34,98	38,16	41,34	44,52	47,7

EK 2

UCP 204 RULMANLI YATAĞININ HASAR FREKANSLARI (1000 DEV/DAK)

Bilye Geometrisi

Bilye Çapı : 7.90mm
Bilye Sayısı : 8
Temas Açısı : 0
Mil Devri : 1000d/d (16.6 Hz)
Bölüm Dairesi Çapı : 38.80mm

Hasarlı Rulman Titreşim Frekansları

$\omega_{bp} = 52,97$ Hz
 $\omega_{bpi} = 80$ Hz
 $\omega_b = 18,82$ Hz
 $\omega_c = 3,18$ Hz

		1×	2×	3×	4×	5×	6×	7×
ω_{bp}	52,97	52,97	105,94	158,91	211,88	264,85	317,82	370,79
ω_{bpi}	80	80	160	240	320	400	480	560
ω_b	18,82	18,82	37,64	56,46	75,28	94,1	112,92	131,74
ω_c	3,18	3,18	6,36	9,54	12,72	15,9	19,08	22,26

8×	9×	10×	11×	12×	13×	14×	15×
423,76	476,73	52,97	582,67	635,64	688,61	741,58	794,55
640	720	800	880	960	1040	1120	1200
150,56	169,38	188,2	207,02	225,84	244,66	263,48	282,3
25,44	28,62	31,8	34,98	38,16	41,34	44,52	47,7

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rıdvan SEFİL
Doğum Yeri ve Tarihi : Otlukbeli /1989
Yabancı Dili : İngilizce
E-Posta : ridvansefil@tmo.gov.tr

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Sayısal	Haydarpaşa ATL	2007
Üniversite	Talaşlı Üretim Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2011
Üniversite	Makine Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2016

İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-2012	Gnc Teknoloji	Satış Mühendisi
2012-	TMO	Memur

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Rıdvan SEFİL'in "Servo Kontrollü Sistemlerde Rulman Arızalarının Öngörüsü ve Sisteme Etkisinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 11/04/2017 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Nihat AKKUŞ (Danışman)
Marmara Üniversitesi (İMZA)

Yrd.Doç.Dr. Hüseyin YÜCE (Üye)
Marmara Üniversitesi (İMZA)

Yrd.Doç.Dr. Fatih YALÇIN (Üye)
Gedik Üniversitesi (İMZA)

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/04/2017 tarih ve 2017.10.02 sayılı kararı ile Rıdvan SEFİL'in Mekatronik Anabilim Dalı Mekatronik Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Ümit YAHSİ

