

**Üniversal Tip Çamaşır Makinası  
Yıkama Motoru Üretimindeki Mekanik  
Hataların Titreşim Üzerindeki  
Etkilerinin İncelenmesi**

**İbrahim ALTAN**  
**Yüksek Lisans Tezi**  
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş**  
**DALMIŞ**  
**Yrd. Doç. Dr. Süreyya Süreyya**  
**KARABEYOĞLU**

**T.C.**  
**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜNİVERSAL TİP ÇAMAŞIR MAKİNASI YIKAMA MOTORU ÜRETİMİNDEKİ  
MEKANİK HATALARIN TİTREŞİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**İbrahim ALTAN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ**  
**Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU**

**TEKİRDAĞ-2017**

**Her hakkı saklıdır**

**Bu çalışma NKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından  
NKUBAP.00.17.YL.15.01 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ ve Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU danışmanlığında, İbrahim ALTAN tarafından hazırlanan “Üniversal Tıp Çamaşır Makinası Yıkama Motoru Üretimindeki Mekanik Hataların Titreşim Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Bahar UYMAZ

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ (Danışman)

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU (II. Danışman)

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Olcay EKŞİ

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÜNİVERSAL TİP ÇAMAŞIR MAKİNASI YIKAMA MOTORU ÜRETİMİNDEKİ MEKANİK HATALARIN TİTREŞİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ **İbrahim ALTAN**

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç.Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ  
Yrd. Doç.Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Bu deneysel çalışmada çamaşır makinalarında kullanılan üniversal tip fırçalı elektrik motorunun (4 nokta bağlantılı fırçalı model) üretim süreci sırasında oluşan mekanik-tolerans hatalarının titreşim parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Proje kapsamında incelemeler üç ana hat üzerinde ve bu hat üzerinde yer alan ekipmanlarda yapılmıştır. Yapılan ölçümler 100 adetlik örnekleme ile yapılan stator, rotor ve bu yarı mamullerin birleşiminden oluşan motor üzerinde yapılan ölçümler değerlendirilerek, titreşim parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Fırçalı Elektrik Motoru, Titreşim, Rotor, RMS, Spektral Analiz

2017, 90 sayfa

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MECHANICAL DEFECTS ON THE VIBRATION  
OF THE UNIVERSAL TYPE WASHING MACHINE MOTOR PRODUCTION**

**İbrahim ALTAN**

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assit. Prof. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ  
Assit. Prof. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

In this study which was prepared as Department of Mechanical Engineering Master Degree Thesis. This experimental study used the washing machine in the universal type electric motor brush (4 points linked brush models) the impact on the parameters of the mechanical vibration-tolerance errors during the manufacturing process are investigated. Projects under examination carried out on the three main lines and equipment located on this line. Things to measurements stator with 100 units of sampling (evaluating the measurements made on the motor armature and a combination of semi-finished products) and investigated the effects on vibration parameters.

**Key words :** Electric Motor, Vibration, Armature, RMS, Spectral Analysis

**2017, 90 pages**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	iv
ŞEKİL DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
TEŞEKKÜR.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Titreşimin Genel Tanımı ve Kısa Tarihçesi.....	1
1.2. Titreşim.....	2
1.2.1. Basit Harmonik Hareket.....	3
1.2.2. Periyot.....	4
1.2.3. Frekans.....	4
1.2.4. Açısal Frekans.....	5
1.2.5. Faz Açısı.....	5
1.2.6. Genlik.....	6
1.2.7. Tepe Değer.....	6
1.2.8. Tepeler Arası Değer.....	7
1.2.9. Ortalama.....	7
1.2.10. RMS.....	7
1.2.11. Yer Değiştirme.....	8
1.2.12. Hız.....	8
1.2.13. İvme.....	8
1.3. Üniversal Motor (Seri Motor).....	9
1.3.1. Stator (Endüktör).....	10
1.3.2. Rotor (Endüvi).....	11
1.3.3. Kollektör.....	12
1.3.4. Kömür (Fırça).....	13
1.3.5. Yataklama Elemanları (Rulmanlar)-Kapaklar.....	14
1.3.6. Üniversal Motorun Çalışma Prensibi.....	16
1.3.6.1. Üniversal Motorun Özellikleri.....	17
1.3.6.2. Üniversal Motorun Kullanım Alanları.....	17
1.4. Elektrik Motorları Arıza Türleri.....	17
1.4.1. Motorun Rotorunun Manyetik Alanın Dışında Olması.....	18
1.4.2. Rotorun İçinde Yer Alan Manyetik Alanın Dengesizliği.....	21
1.4.3. Stator Sargıları Arası Kısa Devreler.....	25
1.4.4. Rulman Hasarları.....	26
1.4.5. Mil Bükülmesi.....	28
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>29</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>32</b>
3.1. Materyal.....	32
3.1.1. Üniversal Çamaşır Yıkama Makinası Motoru.....	32
3.1.2. Motor Titreşim Test Ünitesi ve Test Ünitesini Oluşturan Bileşenler.....	33

3.1.2.1. Şasi.....	33
3.1.2.2. İvme Ölçer .....	34
3.1.2.3. İvme Ölçer Kablosu.....	36
3.1.2.4. Motor Sürücü Kartı.....	37
3.1.2.5. Titreşim Veri Kartı .....	37
3.1.2.6. Bilgisayar Programları.....	38
3.2. Yöntem .....	40
3.2.1. Frekans Analiz Yöntemleri.....	40
3.2.1.1. Wavelet (Dalgacık) Analizi .....	40
3.2.1.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü.....	41
3.2.1.1.2. Ayrık Dalgacıklar .....	43
3.2.1.1.3. Band Geçiren Filtreler .....	45
3.2.1.1.4. Ayrık Dalgacık Dönüşümü.....	47
3.2.1.2. Güç Spektrumu .....	49
3.2.1.2.1. Ön Bilgiler .....	49
3.2.1.2.2. Güç Spektral Yoğunluğu .....	50
3.2.1.2.3. Parametrik Olmayan Yöntemler .....	50
3.2.1.2.4. Welch Yöntemi.....	51
3.2.1.2.5. Parametrik Yöntemler.....	51
3.2.1.2.6. Yule-Walker Yöntemi .....	52
3.3. Ölçüm Sistem Yeterliliği Analizi .....	53
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>54</b>
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>87</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>88</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>90</b>



## ÇİZELGE DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1 : Rotor mekanik ölçümleri 1-50 nolu rotorlar .....	75
Çizelge 4.1a : Rotor mekanik ölçümleri 50-100 nolu rotorlar.....	76
Çizelge 4.2 : Stator mekanik ölçümleri 1-50 nolu statorlar .....	77
Çizelge 4.2a : Stator mekanik ölçümleri 50-100 nolu statorlar .....	78
Çizelge 4.3 : ÖN ve ARKA kapak mekanik ölçümleri 1-50 nolu kapaklar .....	79
Çizelge 4.3a : ÖN ve ARKA kapak mekanik ölçümleri 1-50 nolu kapaklar.....	79

## ŞEKİL DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1 :Titreşim modeli .....	3
Şekil 1.2 :Basit harmonik titreşim .....	3
Şekil 1.3 :Faz farkı.....	5
Şekil 1.4 :Genlik .....	6
Şekil 1.5 :Tepe değerler .....	6
Şekil 1.6 :RMS gösterimi .....	7
Şekil 1.7 :Yer değiştirme, hız, ivme ilişkisi.....	8
Şekil 1.8 :Üniversal motorun şematik gösterimi .....	9
Şekil 1.9 :Stator ve rotor laminasyon sacı .....	10
Şekil 1.10 :Stator laminasyonu ve sargısı.....	11
Şekil 1.11 :Rotorda yer alan parçalar .....	12
Şekil 1.12 :Kollektör.....	13
Şekil 1.13 :Fırça (Kömür).....	14
Şekil 1.14 :Fırçaların motor üzerindeki montaj hali .....	14
Şekil 1.15 :Rulman genel görünümü .....	15
Şekil 1.16 :Motor kapağının genel görünümü .....	15
Şekil 1.17 :Üniversal motorun çalışma prensibi.....	16
Şekil 1.18 :3600 RPM devirde dönen motora ait veriler .....	19
Şekil 1.19 :Manyetik ekseninde dışarıda olan motora ait veriler- 50-70 Hz aralığı.....	20
Şekil 1.20 :Manyetik ekseninde dışarıda olan motora ait veriler- 110-130 Hz aralığı.....	20
Şekil 1.21 :Rotor manyetik alanı dengesiz motora ait veriler .....	21
Şekil 1.22 :50-70 Hz aralığına ait veriler.....	22
Şekil 1.23 :110-1130 Hz aralığına ait veriler.....	22
Şekil 1.24 :1200 devirde dönen motora ait veriler .....	23
Şekil 1.25 :20-30 Hz band aralığına ait motorlar .....	24
Şekil 1.26 :Motorun ikinci harmoniğine ait veriler .....	24
Şekil 1.27 :Zaman bazlı grafik.....	25
Şekil 1.28 :1800 RPM devirde dönen motorlar .....	26
Şekil 1.29 :Rulman dış bileziği hasar başlangıcı .....	27
Şekil 1.30 :Rulman dış bileziği hasar gelişimi .....	27
Şekil 3.1 :Üniversal motorun genel görünüşü .....	32
Şekil 3.2 :Tezgah şasisi.....	33
Şekil 3.3 :İvme ölçerinin çalışma sistematiği .....	35
Şekil 3.4 :Motor üzerinde ivme ölçer konumları.....	35
Şekil 3.5 :İvme ölçer- temsili.....	36
Şekil 3.6 :İvme ölçer kablosu .....	36
Şekil 3.7 :Motor sürücü kartı- temsili.....	37
Şekil 3.8 :Titreşim veri kartları.....	38
Şekil 3.9 :Labview ekran görüntüsü-Temsili.....	39
Şekil 3.10 :Ana dalganın ölçeklendirilmesi sonucu oluşan dalgacıklar .....	46
Şekil 4.1 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 1'e ait ölçüm yeterliliği .....	54
Şekil 4.2 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 2'e ait ölçüm yeterliliği .....	55
Şekil 4.3 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 3'e ait ölçüm yeterliliği .....	56

Şekil 4.4 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 4'e ait ölçüm yeterliliği.....	57
Şekil 4.5 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 5'e ait ölçüm yeterliliği.....	58
Şekil 4.6 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 6'e ait ölçüm yeterliliği.....	59
Şekil 4.7 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 7'e ait ölçüm yeterliliği.....	60
Şekil 4.8 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 8'e ait ölçüm yeterliliği.....	61
Şekil 4.9 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 9'e ait ölçüm yeterliliği.....	62
Şekil 4.10 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 10'e ait ölçüm yeterliliği.....	63
Şekil 4.11 : Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 11'e ait ölçüm yeterliliği.....	64
Şekil 4.12 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 1'e ait ölçüm yeterliliği.....	65
Şekil 4.13 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 2'e ait ölçüm yeterliliği.....	66
Şekil 4.14 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 3'e ait ölçüm yeterliliği.....	67
Şekil 4.15 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 4'e ait ölçüm yeterliliği.....	68
Şekil 4.16 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 5'e ait ölçüm yeterliliği.....	69
Şekil 4.17 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 6'e ait ölçüm yeterliliği.....	70
Şekil 4.18 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 7'e ait ölçüm yeterliliği.....	71
Şekil 4.19 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 8'e ait ölçüm yeterliliği.....	72
Şekil 4.20 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 9'e ait ölçüm yeterliliği.....	73
Şekil 4.21 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 10'e ait ölçüm yeterliliği.....	74
Şekil 4.22 : Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 11'e ait ölçüm yeterliliği.....	75
Şekil 4.23 : Hatalı motorun ivme frekans grafiği .....	81
Şekil 4.24 : Hatasız motorun ivme frekans grafiği .....	81
Şekil 4.25 : Hasarsız motorun ortalama ivme-frekans grafiği .....	82
Şekil 4.26 : Hasarlı motorun ortalama ivme-frekans grafiği .....	82
Şekil 4.27 : Sağlam rotora ait titreşim grafiği.....	83
Şekil 4.28 : Hasarlı rotora ait titreşim grafiği .....	83
Şekil 4.29 : Sağlam rotor için güç spektrum yoğunluğu .....	84
Şekil 4.30 : Hasarlı rotor için güç spektrum yoğunluğu .....	85
Şekil 4.31 : Sağlam ve hasarlı rotorlar için güç spektrum yoğunluğu karşılaştırılması .....	85
Şekil 4.32 : Sağlam ve hasarlı rotorlar için güç spektrum yoğunluklarının logaritmik karşılaştırılması.....	86

## SİMGELER ve KISALTMALAR

X	: Yer Değiştirme
T	: Periyot
t	: Zaman
f	: Frekans
$\phi$	: Faz Açısı
v	: Hız
a	: İvme
$\sigma$	: Dalga sayısı
$\omega$	: Açısal frekans
$\alpha$	: Açısal ivme
x	: Genlik
H <sub>p</sub>	: Beygir gücü
RMS	: Karekök ortalama
IPS	: Saniyedeki yer değişim "inch"
LSL	: Alt kontrol değeri
Target	: Hedef değer
USL	: Üst kontroldeğeri
Sample mean	: Örnekleme ortalaması
Sample N	: Örnekleme sayısı
StDev	: Standart sapma
Within	: İçinde
Overall	: Ortalama
C <sub>p</sub>	: Süreç potansiyel indeksi
C <sub>PL</sub>	: Sürecin ortallamasının alt limite olan uzaklığı
C <sub>PU</sub>	: Sürecin ortallamasının üst limite olan uzaklığı
C <sub>pk</sub>	: Süreç performans indeksi
P <sub>p</sub>	: Limit değerleri arasındaki proses yeterliliği indeksi
P <sub>PL</sub>	: Ortalama proses yeterliliğinin alt spekt limitine olan uzaklığı
P <sub>PU</sub>	: Ortalama proses yeterliliğinin üst spekt limitine olan uzaklığı
P <sub>pk</sub>	: Ortalama proses yeterliliği
C <sub>pm</sub>	: Hedef değerdeki proses yeterliliği indeksi
m	: Kütle
k	: Yay sabiti
SDD	: Sürekli dalgacık dönüşümü
ADD	: Ayrık dalgacık dönüşümü
$\tau$	: Dönüşüm faktörü
$\Psi$	: Dalgacık fonksiyonu

$M_p$	: Dalgacık momenti
$s$	: Dalgacık bozunma hızı
$N$	: Dalgacık dönüşümü yaklaşım sırası
$GSY$	: Güç spektral yoğunluğu
$p$	: Modelleme derecesi

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, konu ile ilgili çalışmalarında beni yönlendiren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ 'a, tezimin hazırlanması süresince hep yanımda olan eşim Sayın Aylin DUMAN ALTAN'a, desteklerini esirgemeyen babam Seçkin ALTAN ve annem Gülümser ALTAN'a, tez sürecindeki yardımları için Sayın Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU'na ve Makine Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Mak. Müh. İbrahim ALTAN

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Titreşimin Genel Tanımı ve Kısa Tarihçesi

Titreşim; genel olarak cisimin denge konumu etrafında yaptığı salınım hareketi olarak tarif edilir. Tasarımcılar yeni bir tasarım yaparken tasarladıkları makinanın çalışması sırasındaki titreşimlerini minimize etmeyi hedeflerler. Bunun nedeni; titreşim istenmeyen bir durum olduğundan, titreşime sebep olabilecek iç ve dış kuvvetlerin mümkün olduğu kadar küçük olması isteğidir. Titreşim makinanın zorlanarak çalışmasına ve çalışma sırasında makineyi oluşturan komponentlerin birbirine sürtmesine neden olmaktadır. Sürtünme sonucu aşınan parçalar artan sürtünme kayıpları ile makina veya ekipmanda verim kayıplarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Artan sürtünmeler ve buna bağlı olarak artan mekanik boşluklar makinanın/ekipmanın çalışamaz duruma gelmesine veya makinanın rezonansa girip parçalanmasına neden olabilmektedir. Titreşim zamanla makinada yer alan döner ekipmanların yataklama parçalarında boşluklara neden olabilir. Hatta kullanılan parçaların zamanla yorulmasına ve yorulma sonucu makinanın hasar görmesine neden olabilir.

Makine tasarımında son derece önemli bir parametreye sahip olan titreşimin keşfediliş ve bir tasarım parametresi olarak kullanılmaya başlanılmasının tarihinden kısaca bahsedecek olursak;

Titreşimin tam olarak incelenmeye başlanması Pisagor tarafından yapılmıştır. Pisagor'un çeşitli çekiç ve borularla deneyler yapmasıyla ilk deneysel titreşim ölçümleri yapılmaya başlanmıştır. Titreşimin şiddetinin artmasıyla cisimlerin doğal frekansına ulaşacaklarının tespiti ve her cismin kendi doğal frekansının olduğu tespiti Pisagor tarafından yapılmıştır.

Günümüzde bilgisayar tabanlı programların ve elektronikteki gelişmeler ile titreşim ölçümü ve analizi konularında gelişmeler sağlanmıştır.

Özellikle elektronik ve bilgisayar bilimlerinin ilerlemesi ile titreşim ölçümü ve analizi hassas olarak yapılabilmektedir. Titreşim ölçümü ve analizi kısaca şu amaçlar için yapılmaya başlanmıştır;

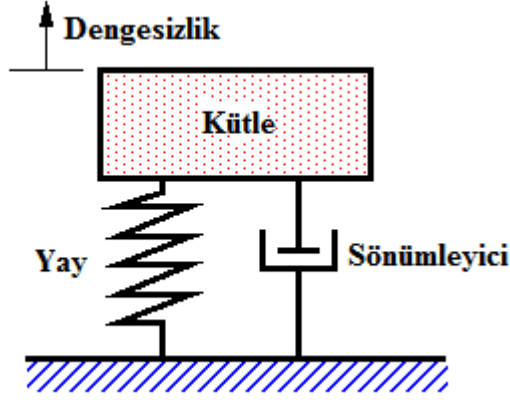
- Doğal frekansın belirlenmesi,
- Üretim sanayiinde kalite kontrol,
- Akustik ölçümü,
- Konstrüksiyon ve konstrüksiyonu oluşturan malzemelerdeki olası hasarın tespiti,
- Makine kondisyonunun kestirimci bakım kapsamında incelenmesi.

Her makine elemanının titreşim karakteristiği kendine özeldir. Bu prensipten yola çıkılarak titreşim analizi makinelerin durumu hakkında bilgi edinmede etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında da yukarıda kullanım alanları arasında bahsi geçen “Ürün kalite kontrolü” amacıyla “Üniversal Tıp Çamaşır Makinası Yıkama Motoru Üretimindeki Mekanik Hataların Titreşim Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” işlemi yapılacaktır.

## **1.2 Titreşim**

Titreşim cisimin denge konumuna ulaşmak için veya denge konumu civarında yapmış olduğu salınım hareketlerinin tümüdür.Şekil 1.1’de yer alan sistemi oluşturan veya sisteme dışardan etki eden tüm bileşenler titreşime neden olur. Titreşimin sisteme etkisi veya dışardan bir kuvvetin sisteme etkisi kuvvetin büyüklüğü ve sistemin bu büyüklüğü sönümlene yeteneğine bağlı olarak değişim gösterir.



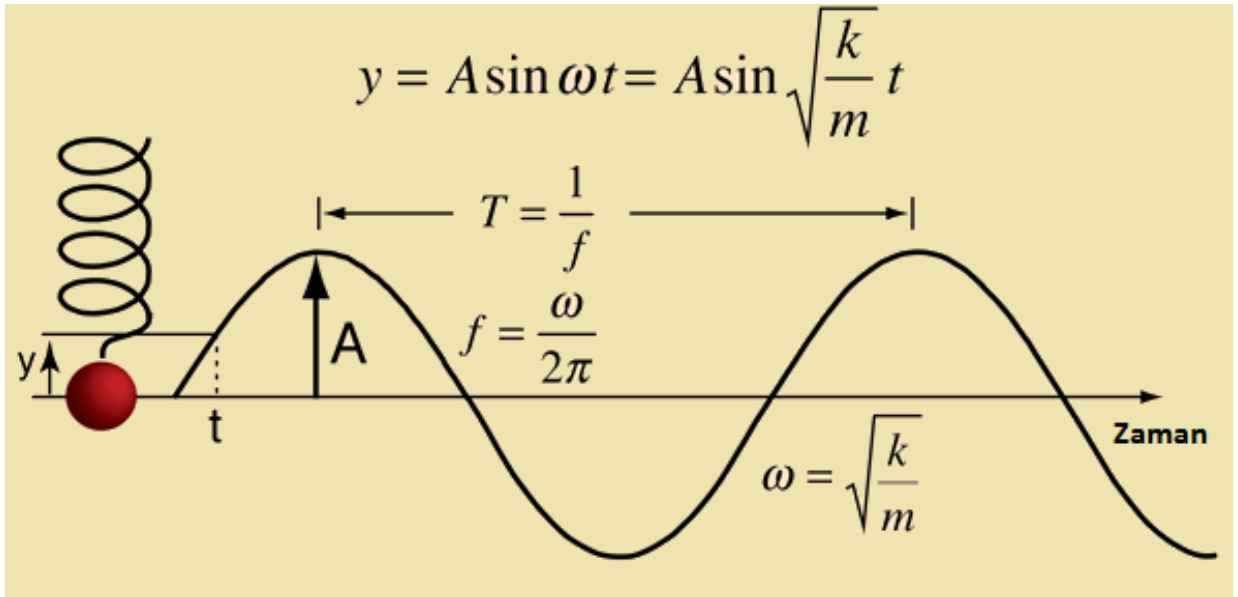


Şekil 1.1 Titreşim modeli (Anonim 2015)

Titreşimin tanımlanmasında ve hesaplanmasında kullanılan ana terimler ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

### 1.2.1 Basit Harmonik Hareket

Harmonik hareket temel olarak şekil 1.2’de gösterilen; ucuna sabit bir kütle bağlı yayın denge konumuna ulaşması için yaptığı harektir. Denge konumuna ulaşması sırasında yer değişimi ile zaman arasındaki ilişki şu denklem ile ifade edilir;



Şekil 1.2 Basit harmonik titreşim (Anonim 2016)

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.1)$$

### 1.2.2 Periyot (T)

Örneğimizde (Şekil 1.1'de) yer alan yay ucuna bağlı kütlenin bir salınım hareketini ne kadar sürede yaptığının ölçüsüdür. Birimi saniyedir (sn).

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2)$$

### 1.2.3 Frekans (f)

Örneğimizde (Şekil 1.1'de) yer alan yay ucuna bağlı kütlenin birim zamanda salınım hareketini kaç defa yaptığının ölçüsüdür. İki değişik şekilde ifade edilir.

- Salınım hareketinin bir saniye süre içinde tekrarlanma miktarıdır. Birimi hertz (Hz) 'dir.
- Salınım hareketinin bir dakika süre içinde tekrarlanma miktarıdır.
- Birimi RPM (Revolution per minute) olarak alınır.  $RPM/60 = Hz$  olarak dönüşüm yapılabilir.

Frekans ile periyot arasında ters orantı vardır;

$$F = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

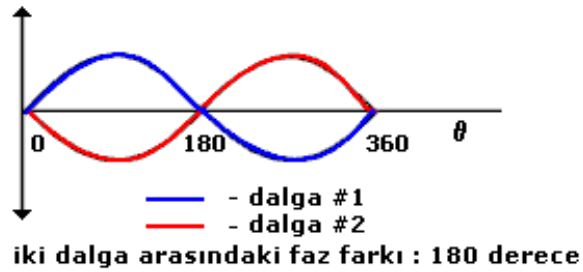
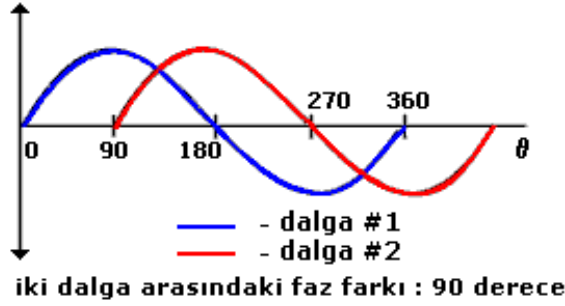
### 1.2.4 Açısal frekans ( $\omega$ )

Örnekte (Şekil 1.1'de) verdiğimiz kütle salınım hareketi yerine dönme hareketi yapsaydı; kütle'nin birim zamanda aldığı yolun radyan cinsinden değeridir. Birimi rad/s'dir.

$$\omega = 2\pi f \quad (1.4)$$

### 1.2.5 Faz Açısı ( $\phi$ )

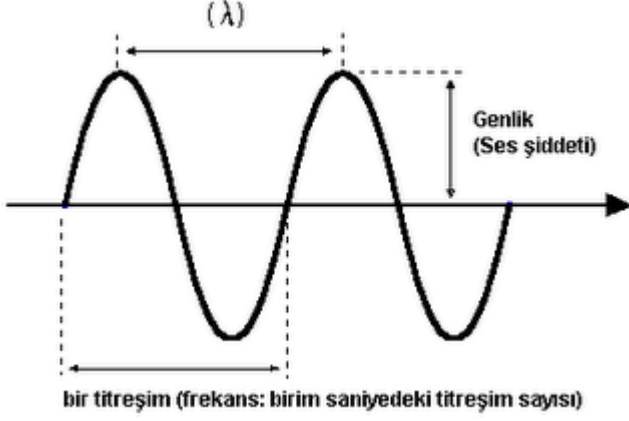
Salınım yapan sistemde iki ayrı yay ve iki ayrı kütle olduğunu düşündüğümüzde referans ya da başlangıç miktarına bağlı olarak iki sistemden birinin diğerine göre ne kadar önce veya sonra meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi derece veya radyandır.  $0-360^\circ$  veya  $0-2\pi$  arasında değerler alır. Faz açısı hesaplanırken; dönen cisimin dönüş yönünün tersi pozitif yön olarak alınır. Faz, balanssız bir rotorda yerleştirilecek balans kütle'sinin yerinin belirlenmesinde, eksentrisite, gevşeklik ve diğer makina arızalarının birbirlerinden ayırt edilmesinde önemli bir parametredir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Faz farkı (Karahana 2005)

### 1.2.6 Genlik

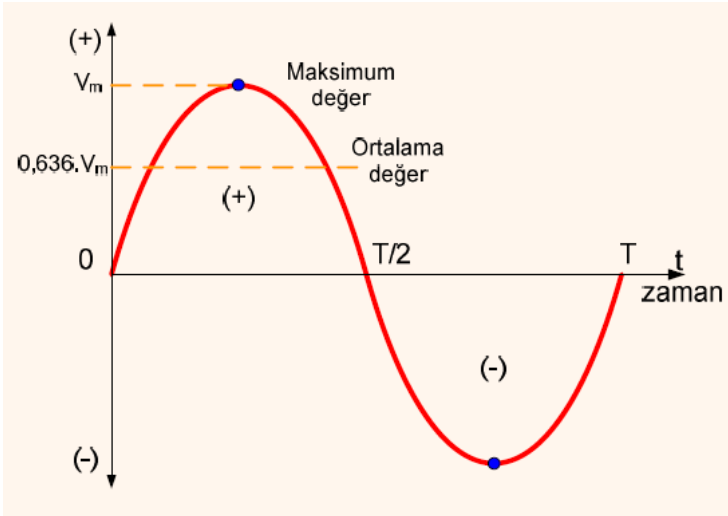
Eğri üzerindeki orijin noktası ile tepe noktası arasındaki uzaklıktır. Birimi uzunluk boyutundadır. Titreşimin şiddetini ifade eder. Genlik; tepe değeri, tepeler arası değeri, RMS, ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 Genlik (Anonim 2014)

### 1.2.7 Tepe Değeri ( $x_0$ )

Maksimum değeri ifade eder. Bu değeri orijin noktasına göre mutlak değeri en çok olan değeri (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Tepe değeri (Anonim 2015)

### 1.2.8 Tepeler Arası Değer (2x<sub>0</sub>)

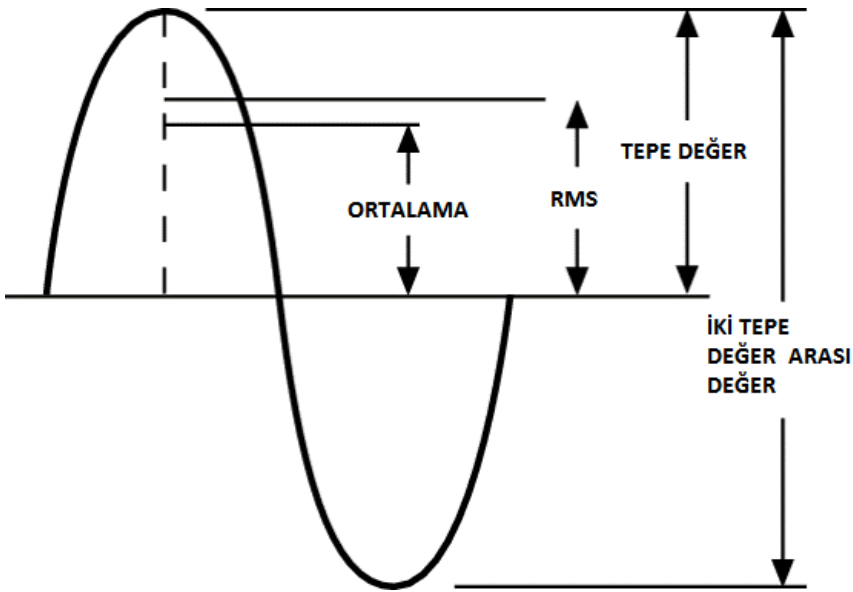
Her iki yöndeki en çok olan iki titreşim değeri arasındaki mesafedir.

### 1.2.9 Ortalama

Bir sinyalin  $t_1-t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır. Ortalama=0.5x Tepe değeri ifadesi ile elde edilir.

### 1.2.10 RMS

Bir sinyalin  $t_1-t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 RMS gösterimi (Anonim 2016)

RMS değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (1.5)$$

$$x_{pk} = \sqrt{2} * X_{RMS} \quad (1.6)$$

### 1.2.11 Yer Değiştirme (x)

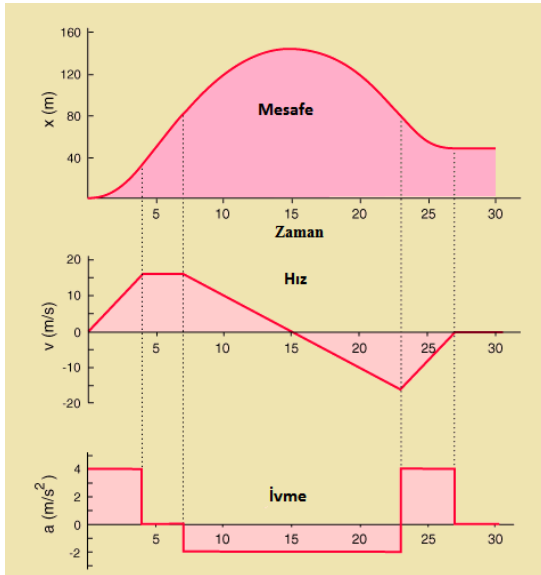
Bir cismin belirli bir kuvvet altında yine belirli bir kuvvet altında aldığı yoldur. Birimi uzunluktur; cm,m..

### 1.2.12 Hız (V)

Belirli bir kuvvet ile konumu değişen kütlenin birim zamanda aldığı yoldur ya da birim zamandaki yer değişim miktarıdır. Birimi m/s' dir.

### 1.2.13 İvme

Hızda birim zamanda meydana gelen değişmedir (şekil 1.7). Birimi m/s<sup>2</sup> dir.şekil 1.7' de mesafe, hız ve ivmenin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



şekil 1.7 Yer değiştirme, hız, ivme ilişkisi (Anonim 2016)

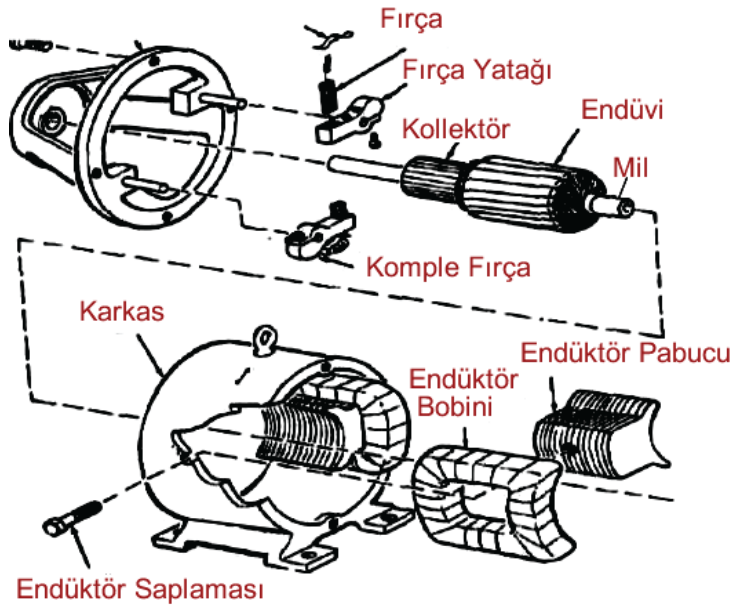
Titreşim Yer değişimi:  $X = X_0 \sin(\omega t)$  (1.7)

Titreşim Hızı:  $V = X_0 \cos(\omega t) = X_0 \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$  (1.8)

Titreşim İvmesi:  $a = -X_0 \omega^2 \sin(\omega t) = X_0 \omega^2 \sin(\omega t + \pi)$  (1.9)

### 1.3 Üniversal Motor (Seri Motor)

Üniversal motorlar Şekil 1.8’de belirtildiği gibi temel olarak 5 ana parçadan oluşmaktadır ; rotor (endüvi), stator (endüktör), yataklama elemanları (rulmanlar), kapaklar, kollektör ve fırçadan (kömür) oluşmaktadır. Yapı olarak doğru akım seri motoruna benzerlik gösterir. Rotor ve stator kısmı silisli sacların laminasyon preslerinde dilimlenip üst üste eklenmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 1.9). Laminasyonların üst üste birleştirilmesi işlemi; perçin, kaynak, kamalama veya laminasyon üzeri kilitleme işlemleri ile yapılabilir. Laminasyon saclarının üst üste eklenmesi ile oluşan boyuta paket boyu denir, rotor ve stator genelde aynı paket boyundadır, istenilen performans kriterine ve seri üretim Şartlarına bağlı olarak rotor statordan kısa yapıda olabilmektedir. Yapısı nedeniyle; üniversal motorlar hem alternatif akım ile hem de doğru akım ile çalışabilir.



Şekil 1.8 Üniversal motorun Şematik gösterimi (Anonim 2016)



**Şekil 1.9** Stator ve rotor laminasyon sacı (Anonim 2016)

### **1.3.1 Stator (Endüktör)**

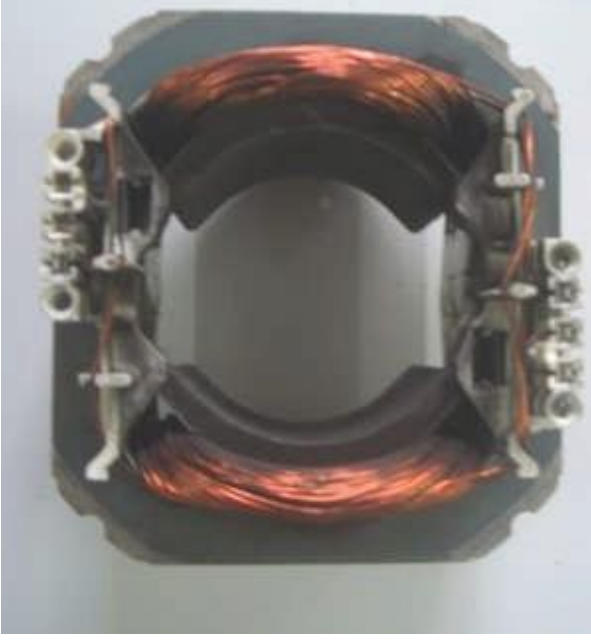
Stator üretimi laminasyon saclarının dilimlenmesi, laminasyon presinde sacların kesilmesi, laminasyonların birbirine kaynak, perçin, kamalama veya laminasyon üzeri kilitlerle birbirine eklenmesi ile başlar. Stator çekirdeği durumuna gelen yapıya sırasıyla;

İzolasyon, sargı sarma, mag mate (klemens) yerleştirme ve elektrik testleri ardından stator şekil 1.10’da görülen yarı mamul halini alır. Statorun manyetik özelliğini ve performansını etkileyen unsurlar ise şöyle sıralanabilir;

- Stator laminasyon sacının elektriksel iletkenliği,
- Stator paket boyu,
- Statora sarılan telin malzemesi(bakır yada alüminyum oluşu),
- Statora sarılan telin sarım(spir) sayısı.

Stator genel olarak motorda manyetik alanın oluştuğu kısımdır. Manyetik alanın oluşması stator laminasyonuna sarılan sargılara gerilim uygulanması ile oluşur. Stator laminasyon boyu genellikle rotor laminasyon boyuna eşittir.



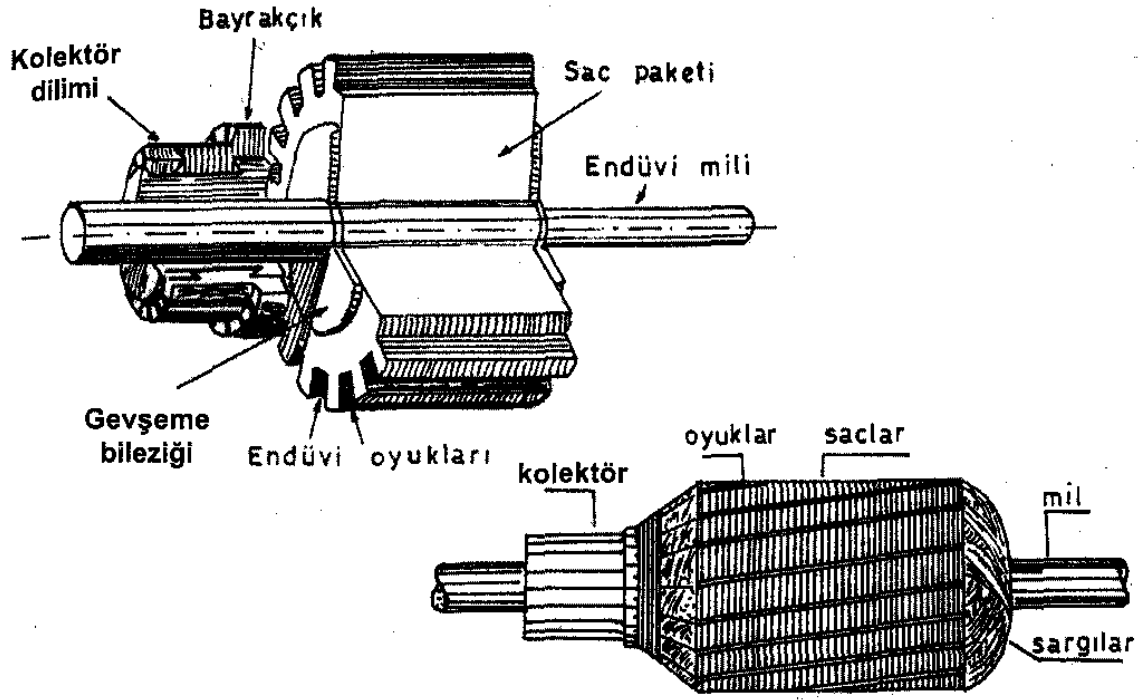


**Şekil 1.10** Statorun laminasyonu ve sargısı (Anonim 2016)

### **1.3.2 Rotor (Endüvi)**

Rotor üretimi; laminasyon saclarının dilimlenmesi, laminasyon presinde sacların kesilmesi ve kilitlenmesi ile başlar. Sonrasında mil çakma işlemi, izolasyon işlemi, kollektör çakma işlemi, sargı işlemi, elektriksel test işlemi, balans işlemi, vernik izolasyonu işlemi, torna işlemi ve rulman çakma işlemi uygulanır (Şekil 1.11). Mekanik hareketin motorda oluştuğu kısımdır. Rotorun performansını etkileyen unsurlar ise şöyle sıralanabilir;

- Laminasyon sacının elektriksel iletkenliği,
- Rotor rotor paket boyu,
- Tel sarım sayısı,
- Kollektör bakır saflığı,
- Kollektör kaynak kalitesi.



Şekil 1.11 Rotorda yer alan parçalar (Anonim 2015)

### 1.3.3 Kollektör

Şekil 1.12’de yer alan kollektör DC gerilimin rotor sac laminasyon olukları arasında yer alan sargılara iletilmesini sağlar. Kollektör haddelenmiş ve sertleştirilmiş bakır dilimlerinden oluşur. Sargı sırasında teller kollektör dilimleri üzerindeki kancalara yerleştirilir. Sonrasında uygulanan kaynak işlemi ile kancalara temas eden tellerin çevresindeki izolasyon yakılarak tellerin kollektöre elektriksel olarak temas etmesi sağlanmış olur. Kollektörü oluşturan bakırın saflığı ve yapılan kaynak işlemi sonrası kaynak direnci motorun performansını etkileyen unsurlardır.



**Şekil 1.12** Kollektör (Anonim 2015)

#### **1.3.4 Kömür (Fırça)**

Üniversal motorlarda fırçaların kullanım amacı şebeke akımını rotordan geçirerek rotorun magnetizasyonunu sağlamaktır. Fırçalar; yumuşak, orta sert ve sert karbon alaşımlardan imal edilir. Üniversal motorlar üç fırça tipi ile de uyumludur.

Fırçalar; plastik koruma kapağı, koruyucu gövde, yay, karbon gövde ve iletken kamçıdan oluşur. Fırça içerisinde; iletken kamçının bir ucu karbon gövde içine gömülü diğer ucu ise koruyucu metal gövdeye (genellikle pirinç) punta kaynağı ile kaynaklı haldedir (şekil 1.13). Metal gövdeye verilen akımla sırasıyla iletken kamçı ve karbon gövdeden geçen akım kolletöre iletilir. Fırçalar motorun arka kapağında bulunan özel yuvalara yerleştirilir. Fırçalar motora özel açılarda monte edilir (şekil 1.14). Fırçaların kollektör yüzeyine tam olarak oturup komütasyonu sağlaması motor verimliliği açısından etkilidir.



**Şekil 1.13** Fırça (Kömür) (Anonim 2015)



**Şekil 1.14** Fırçaların motor üzerindeki montaj hali (Anonim 2015)

### **1.3.5 Yataklama Elemanları (Rulmanlar) – Kapaklar**

Elektrik motorlarında yataklama elemanı olarak rulmanlar (şekil 1.15) ve rulman yataklaması olarak kapaklar (Şekil 1.16) kullanılmaktadır. Aynı zamanda kapaklar çoğu zaman motorların kullanacağı ekipmanlarda bağlantı noktası olarak kullanılmaktadır. Rulmanlar rotordan alınan mekanik hareketin iletilmesi sırasında rotora yataklık eden iş elemanlarıdır. Motorun kullanılacağı yere göre aksenal, radyal ya da teğetsel yükleri taşıyacak şekilde seçimleri

yapılmaktadır. Motorun çalışma ömrüne direkt etki eden parçalarındandır. Rulmanda oluşabilecek hasar motorun kullanılamayacak duruma gelmesine neden olur. Yine kapaklarda rulmana yataklık eden bölgelerin düzgün işlenmemiş olması rulmanın dış bileziğindeki kuvvet dengesini etkileyeceğinden rulman hasarına ve motorun çalışmamasına neden olabilmektedir.



**Şekil 1.15** Rulmanın genel görünümü (Anonim 2015)

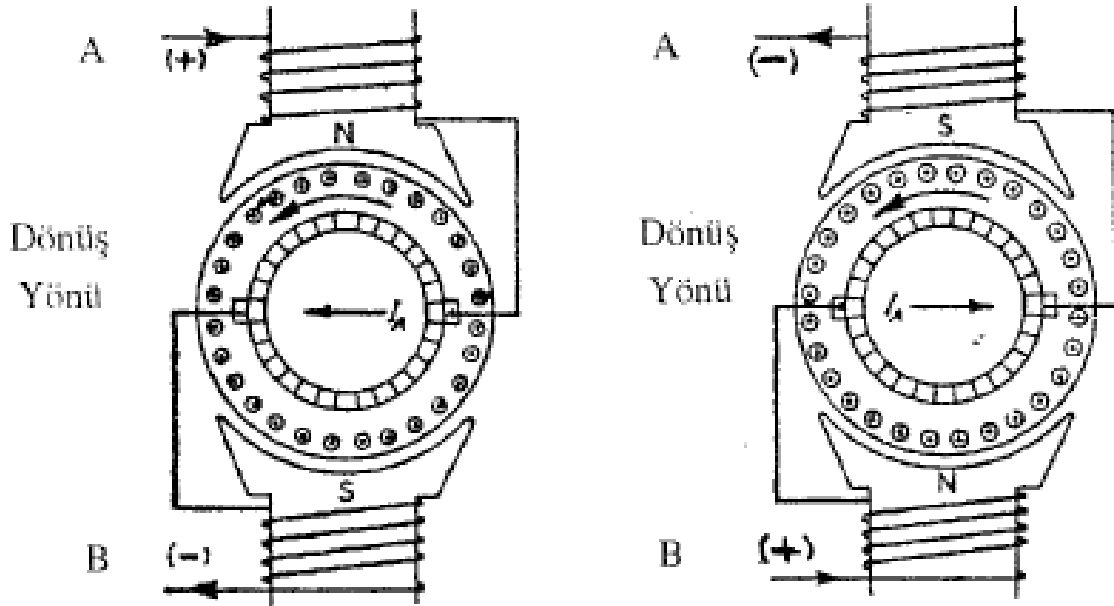


**Şekil 1.16** Motor kapağının genel görünümü (Anonim 2015)

### 1.3.6 Üniversal Motorların Çalışma Prensibi

Hem alternatif akım (AA) hem de doğru akım (DA) ile çalışabildiklerinden üniversal motor olarak adlandırılmışlardır.

Üniversal motorun hem statoruna hem de fırçalar aracılığı ile rotoruna akım uygulanması ile motorun çalışması sağlanır. Uygulanan akım bir fazlı alternatif akımdır. Uygulanan akım ile stator ve rotorda manyetik alan oluşur. Stator ve rotorda zıt yönde oluşan bu manyetik kuvvetle rotor dönme hareketi yapmaya zorlanır, bu zorlanma ile elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Stator ve rotora akım uygulandıkça bu mekanik hareket devam eder(Şekil 1.17).



Şekil 1.17 Üniversal motorun çalışma prensibi (Anonim 2016)

### **1.3.6.1 Üñiversal Motorların Özellikleri**

Üñiversal motorların özelliklerini Şu Şekilde sıralayabiliriz:

- Üñiversal motorlar hem DA (doğru akım) hem de AA (alternatif akım) olarak çalıŐır.
- AA (alternatif akım)'da alıŐan DA (doğru akım)'da çalıŐana göre daha yüksek devirde döner.
- İlk kalkıŐ momentleri ve dönme momentleri yüksektir.
- Devir sayıları yüke göre değişir.
- Devir sayıları 15000-20000 dev/dak arasında değişir.
- Çok küçük gte imal edilirler (1/500Hp-2/3 Hp arası).

### **1.3.6.2 Üñiversal Motorların Kullanım Alanları**

Üñiversal motorların kullanım alanlarını Şu Şekilde sıralayabiliriz:

- Küçük ev aletlerinde
- Çamaşır makinalarında
- DikiŐ makinalarında
- Seyyar taŐlama ve zımpara makinalarında
- Elektrik sprgelerinde
- Sirenlerde, ve benzeri uygulamalarda.

## **1.4 Elektrik Motoru Arıza Türleri**

Taylor J (1990) yaptığı incelemelere göre; elektrik motorlarının diğer mekanizmalara göre sınırlı problemleri olmasına rağmen, belirli tip sorunlar sadece elektrik motorlarında görülmektedir.

Elektrik motorlarının tiplerine göre de oluşan hasarlar farklılık gösterebilmektedir. Elektrik motorlarında oluŐabilen mekanik sorunların başlıca nedenleri aşağıda yer almaktadır;

- Motorun rotorunun manyetik merkezin dışından olması
- Rotorun içinde yer alan manyetik alanın dengesizliği (özellikle BLDC tip motorlarda)
- Stator sargıları arası kısa devreler
- Rulman Hasarları
- Mil Bükülmeleri

Genel olarak elektrik motorları sabit devirler için tasarlanır. Bu devirler örnek olarak; 900, 1200, 1800 veya 3600 devir olabilmektedir. Genelde motorlar nadir olarak senkron hızlarda (900, 1200, 1800, 3600 devir gibi) çalışırlar. Genel çalışma hızları senkron hızın altında olan devirlerdir. Senkron devir ve çalışma devri arasındaki farka kayma frekansı denilmektedir. Tam çalışma devri/hızı yükten ve motor veriminden etkilenmektedir. Örnek olarak yüksek verimli bir motor düşük veya yüksüz olarak çalıştırıldığında ancak senkron devirde çalışabilmektedir.

Stator sargıları kutup olarak adlandırılmaktadır. Statordaki kutup sayıları motor devir sayıları ile doğru orantılıdır. Statordaki kutup sayıları arttıkça motorun devri de artmaktadır. Motorun içinde yer alan kutup sayıları; motorun senkron hızının 7200 e bölünmesi ile bulunabilir. Örnek olarak;

- Devir sayısı 3600 olan bir motor için;  $7200/3600=2$  kutup
- Devir sayısı 1800 olan bir motor için;  $7200/1800=4$  kutup
- Devir sayısı 1200 olan bir motor için;  $7200/1200=6$  kutup
- Devir sayısı 900 olan bir motor için;  $7200/900=8$  kutup

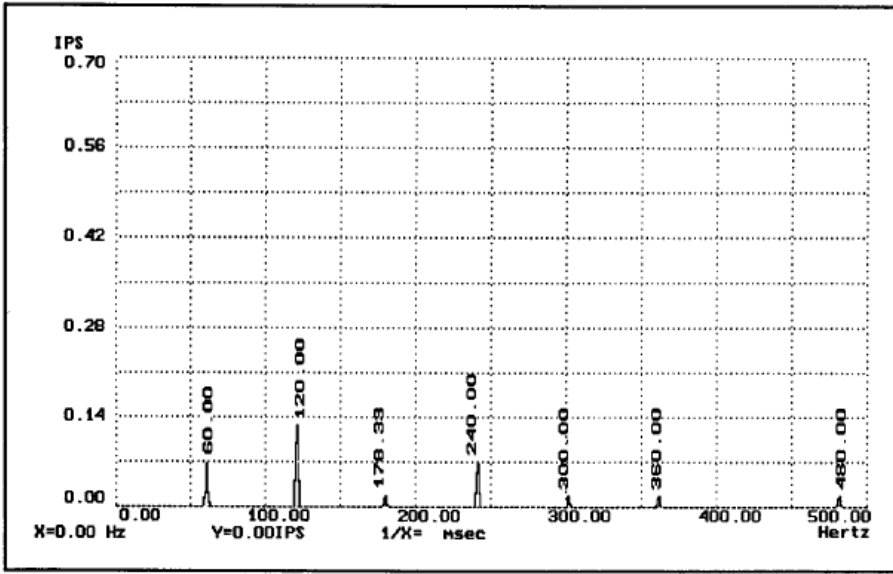
Frekans herhangi bir kusurun oluşma zamanı olarak düşündüğümüzde ve yukarıdaki denklemlerde yer alan hesaplamalar gerçekleştiğinde; motor hızı ve harmonikler kutup sayısının kayma frekansı katı kadar değişir. Normalde bu frekans değerleri farklı aralıklarda görülmez. Elektrik motoru arızalarının başlıca nedenlerini açıklayacak olursak;



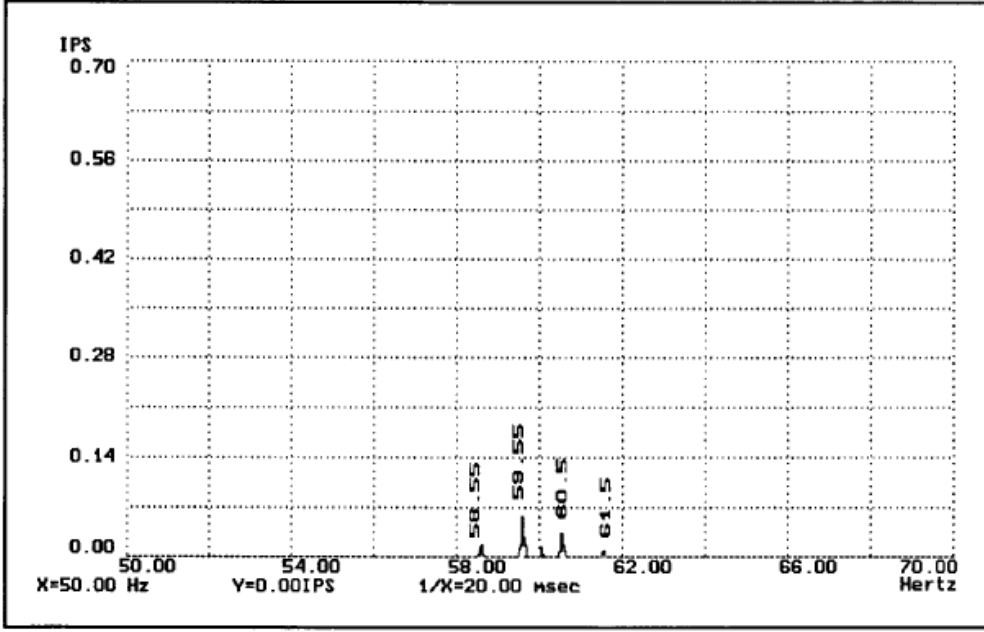
#### 1.4.1 Motorun Rotorunun Manyetik Alanın Dışında Olması

Bu durum rotorun stator içerisinde manyetik ekseninde olmamasında kaynaklanan durumdur. Rotor manyetik ekseninden yatay ya da radyal yönde kaçmıştır. Eğer rotor radyal yönde kaçıklıktan dolayı manyetik eksenin dışında ise düzgün olmayan bir hava boşluğu nedeniyle; çok etkili olmayan bir titreşim etkisine neden olur. Bu etki düşük seviyede olduğunda ve ancak çok yüksek çözünürlükte fark edileceğinden çoklukla göz ardı edilir. Örnek olarak;

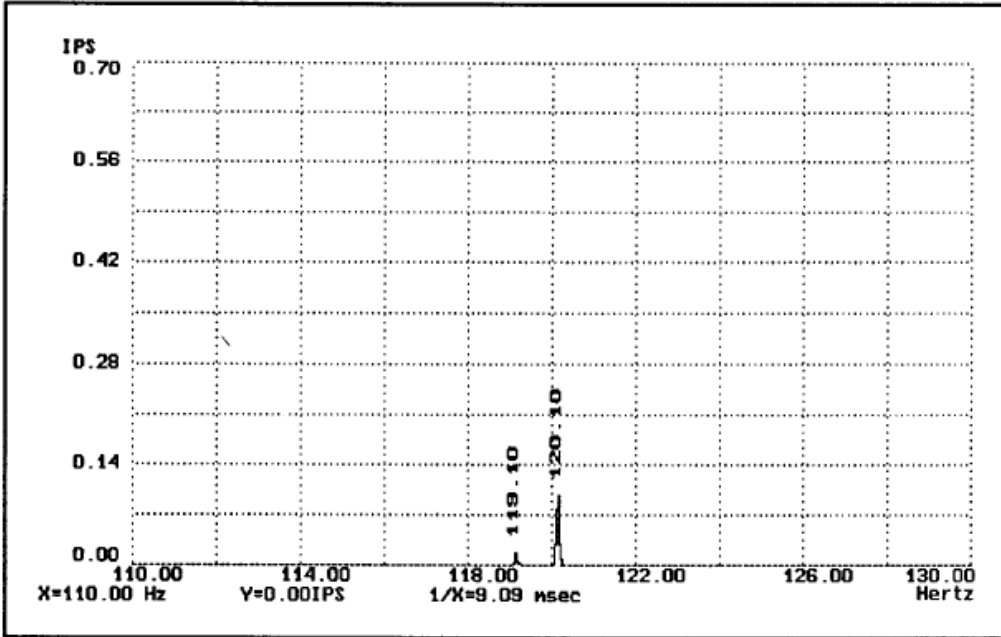
Genel olarak motorlarda oluşan hasarlara ve motorun kritik devirlerini göreceğimiz şekilleri yorumlayacak olursak; Şekil 1.18’de görülen veriler 3600 devirli motora ait verilerdir. Bu veriler doğrultusunda eş eksenlilik problemi veya mil sehimi olabileceği yorumunu yapmamız yeterli çözünürlükte verimiz olmadığından hatalı yorum yapmamıza neden olabilir. Şekil 1.19’da 50-70Hz’lik frekans bandında alınan veriler görülmektedir. Bu bilgi yorumlanacak olursa; motorun manyetik ekseninin dışında olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca yine bu grafik için motorun 59,5Hz frekansında döndüğü ve 0,5 Hz’lik bir kayma frekansının gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 1.20’de 110-130 Hz’lik frekans bandında alınan veriler görülmektedir. Bu grafik motorun ikinci harmoniklerini görmemizi sağlayacak çözünürlüğe sahiptir.



Şekil 1.18 3600 RPM devirde dönen motora ait veriler (Taylor 1990)



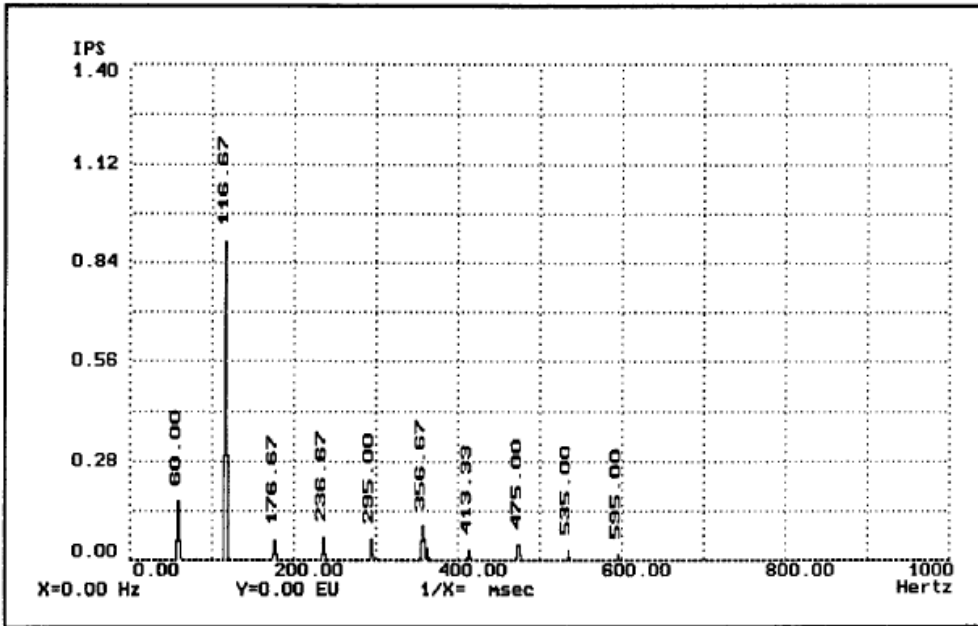
Şekil 1.19 Manyetik eksenini dışında olan motora ait veriler- 50-70 Hz aralığı (Taylor 1990)



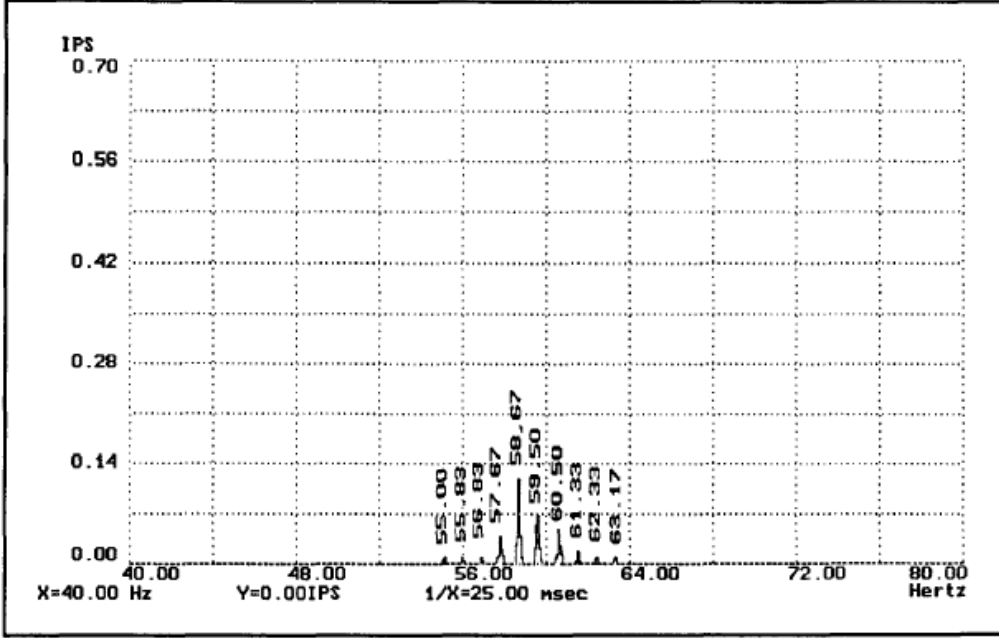
Şekil 1.20 Manyetik eksenini dışında olan motora ait veriler- 110-130 Hz aralığı (Taylor 1990)

## 1.4.2 Rotorun İçinde Yer Alan Manyetik Alanın Dengesizliği

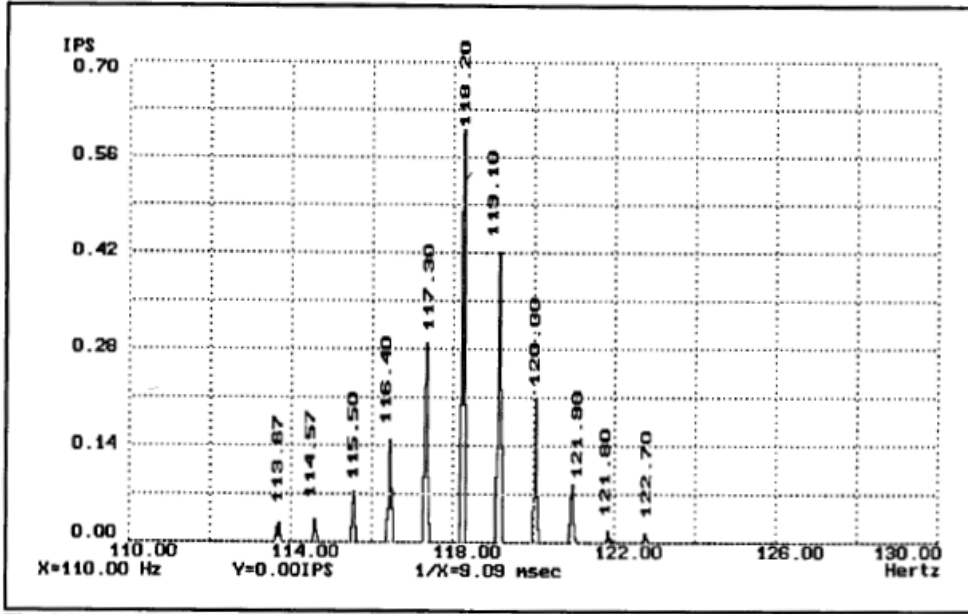
Bu sorun motorun rotorunun manyetik ekseninde olmamasıyla benzer özellikler gösterir. Buna rağmen belirli karakteristik özellikleri vardır. Benzer kısım motor hız frekansında kayma frekansı kadar bir kayma olur, bu kayma statordaki kutup sayısı katı kadardır. Rotorda yer alan manyetik alan dengesizliği önemli titreşim seviyelerine neden olur, özellikle devrin tam katlarında bunu görebiliriz. Tüm bu veriler ile yorum yapabilmemiz için verilerin yeterli çözünürlükte olması gerekmektedir. Şekil 1.21 1000Hz'lik skalada sadece tek bir manyetik kutbunda dengesizlik yaratılan bir rotorun sonuçları görülmektedir. Şekil 1.22 incelendiğinde motor hızının 59,5 Hz değerlerinde olduğu ve yan bantların 0,9 Hz artı/eksi farkla oluştuğu görülmektedir. Kayma frekansı ise  $0,45\text{Hz} \times 2 \text{ kutup} = 0,9 \text{ Hz}$  olarak oluştuğunu görebiliriz. 58,6Hz değerindeki yan bantın büyüklüğünün motor hızından büyük olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum birden fazla manyetik alan dengesizliği olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 1.23 100Hz ile 140Hz frekans aralığındaki ölçümleri göstermektedir. Bu grafik için belirtilmesi gereken husus 118,2Hz değerine denk gelen yan bantın motorun ikinci harmoniğinden dahi daha büyük olduğudur. Bu durumda Şekil 1.22'de belirtilen olaylar geçerlidir.



Şekil 1.21 Rotor manyetik alanı dengesiz motora ait veriler (Taylor 1990)



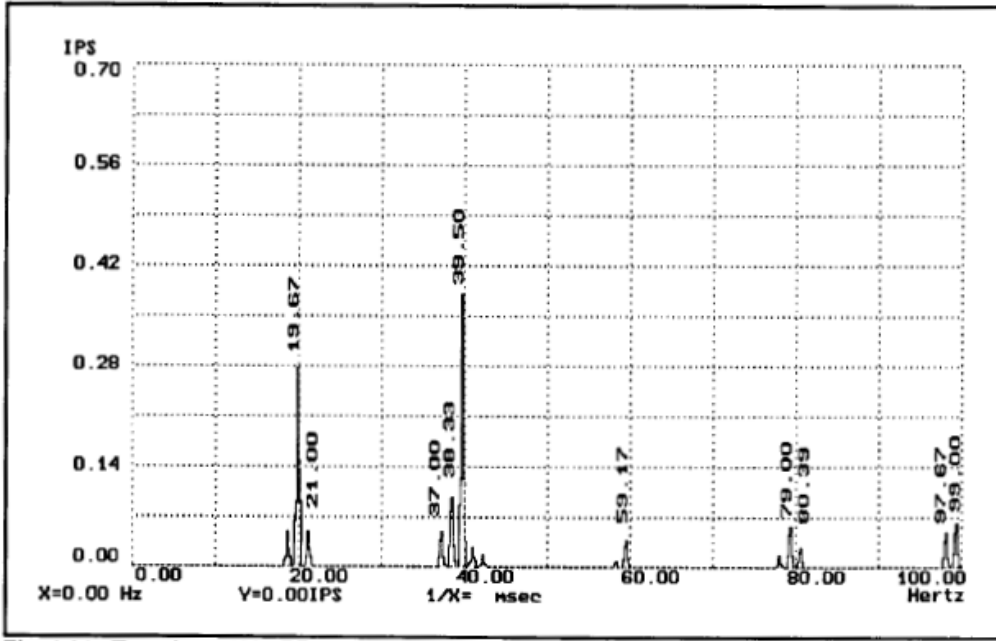
Şekil 1.22 50-70 Hz aralığına ait veriler (Taylor 1990)



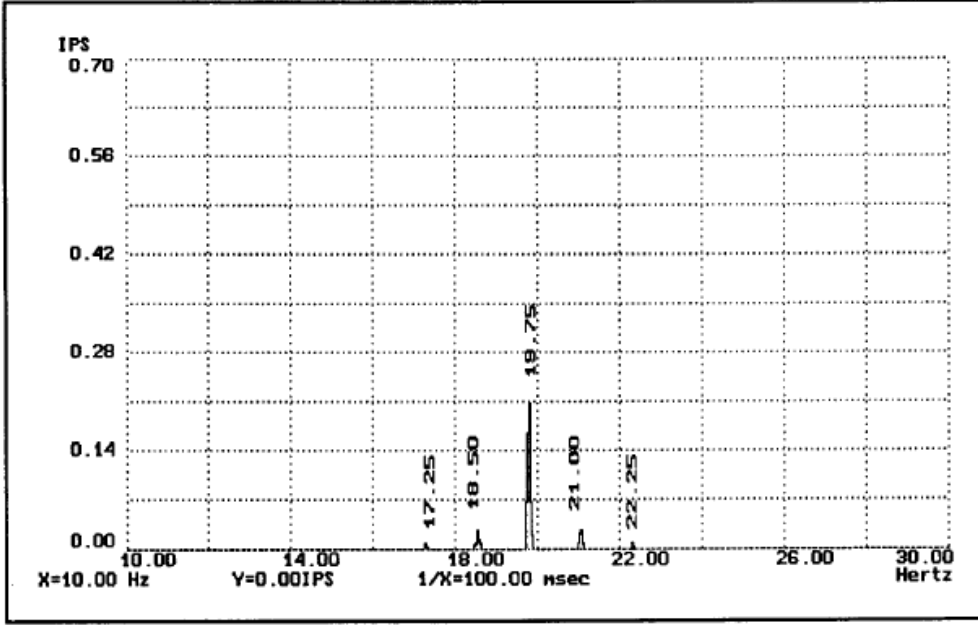
Şekil 1.23 110-1130 Hz aralığına ait veriler (Taylor 1990)

Manyetik alan dengesizliğine örnek verecek olursak; değişik hızlardaki örnekler bize daha net örnekler verebilir. Şekil 1.24 rotorunda eksik manyetik alan bulunan ve 1200 RPM

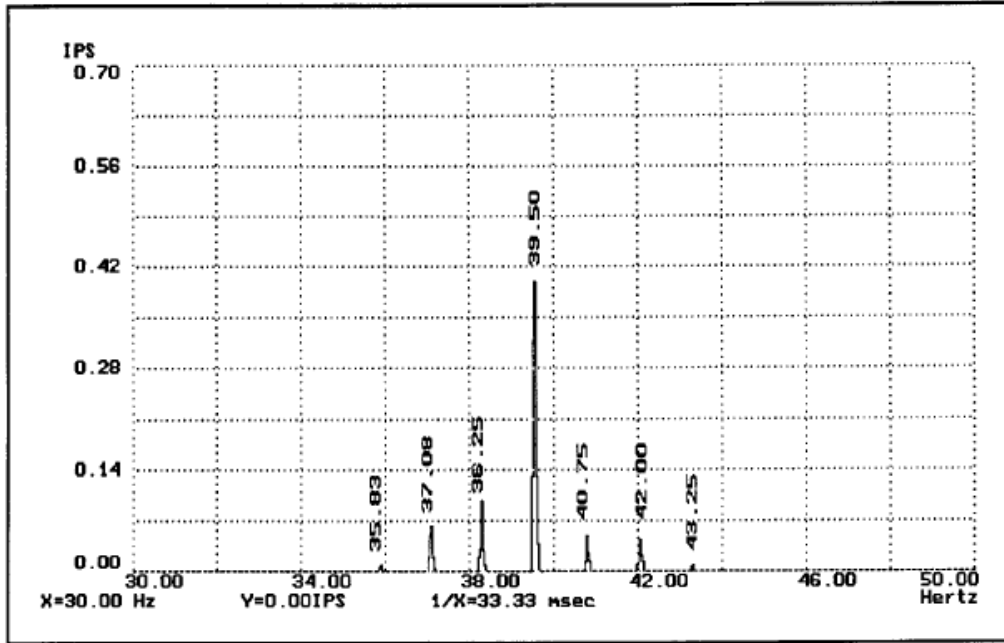
hızda dönen bir motora aittir. titreşimler daha net olarak belirgin olmakla birlikte yan bantlarda 100 Hz frekansında belirgindir. Şekil 1.25 10-30 Hz band aralığındaki verileri göstermektedir. Yan bantlar bu grafik için 1.25Hz değerlerinde belirgindir. Şekil 1.26'da ise motorun ikinci harmoniği çevresindeki veriler yer almaktadır. Burada da görüleceği gibi yan bantlar kayma frekansının kutup sayısı ile çarpımı kadar olan frekansta yer almaktadır. Şekil 1.27'de frekans yerine zaman kullanılarak alınan veriler yer almaktadır. Zaman periyodundaki 1 nolu ve 2 nolu noktalar arası veriler motor hızlarını, 3 nolu ve 4 nolu noktalar arası motor devrinin 2 katını, 5 nolu ve 6 nolu noktaların arası ise kayma frekansının motor kutbu ile çarpımının sonucu oluşan verileri göstermektedir.



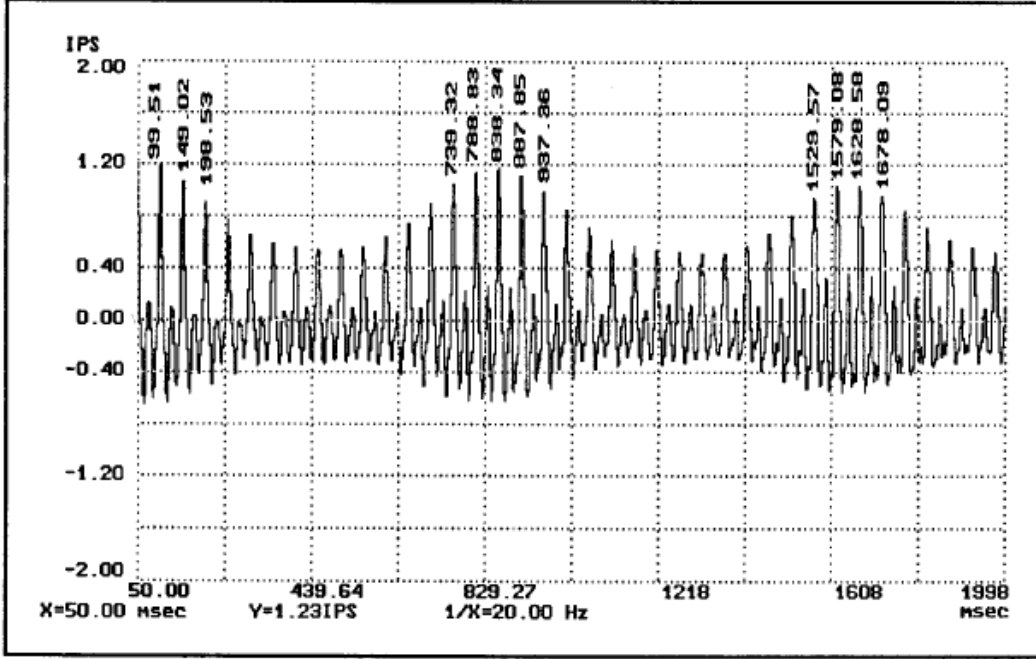
Şekil 1.24 1200 devirde dönen motora ait veriler (Taylor 1990)



Şekil 1.25 10-30 Hz band aralığına ait motorlar (Taylor 1990)



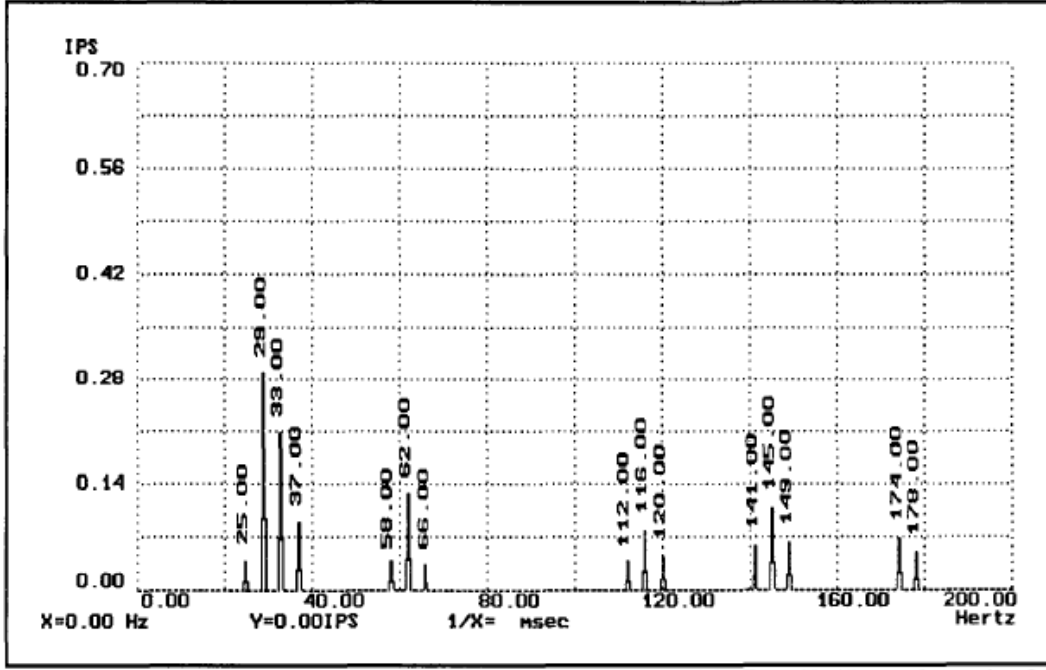
Şekil 1.26 Motorun ikinci harmoniğine ait veriler (Taylor 1990)



Şekil 1.27 Zaman bazlı grafik (Taylor 1990)

### 1.4.3 Stator Sargıları Arası Kısa Devreler

Motor stator sargıları genel olarak literatürde kutup olarak da adlandırılmaktadır. Stator kutupları üzerinde yer alan tellerde oluşabilecek mekanik bir etkiyle teller birbirine temas edip kısa devre oluşabilir. Bu kısa devreler seri üretim sırasında sargı şekillendirici veya mekiklerin üzerindeki çiziklerin sargı tellerini darbelemesinden olabileceği gibi aynı zamanda motorun bakımı sırasında da oluşabilir. Stator kutuplarında oluşan kısa devreler motorun yavaşlamasına neden olabilmektedir. Motor devrinde oluşacak yavaşlama kayma frekansında artışa neden olacaktır. Şekil 1.28'deki veriler stator kutuplarında kısa devre olan 1800 RPM devirde çalışan motora ait verilerden oluşmuştur. Bu grafikte motor hızı  $29\text{Hz} \times 60 = 1740\text{ RPM}$  olarak bulunur. Ayrıca yan bantlar  $4\text{Hz}$  olarak görülmektedir ( $\Delta F = 4\text{ Hz}$ ). Bu yan bantlar daha önce de belirtildiği gibi kayma frekansı  $\times$  kutup sayısına eşittir ( $1\text{ Hz} \times 4 = 4\text{Hz}$ ).



Şekil 1.28 1800 RPM devirde dönen motor (Taylor 1990)

#### 1.4.4 Rulman Hasarları

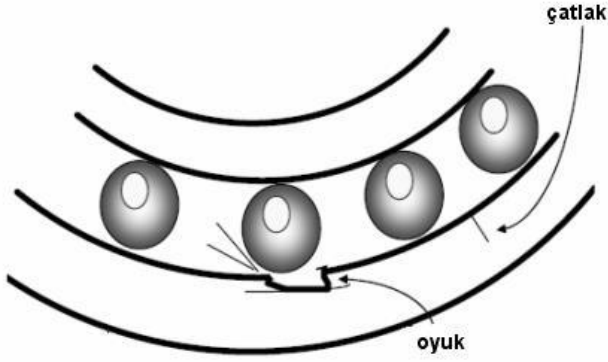
Yıldırım E, Karahan FM (2015) yaptıkları çalışmada; elektrik motorlarında rulman, hem motorun verimli çalışabilmesi hem de motorun ömrü açısından en kritik motor birleşenlerinden biridir.

Rulman genel montaj prosedürü gereği sıkı geçme olarak monte edilir. Rulman montaj işlemi sırasında veya motor üzerinde motora gelebilecek mekanik kuvvetler sonucu hasarlanabilir.

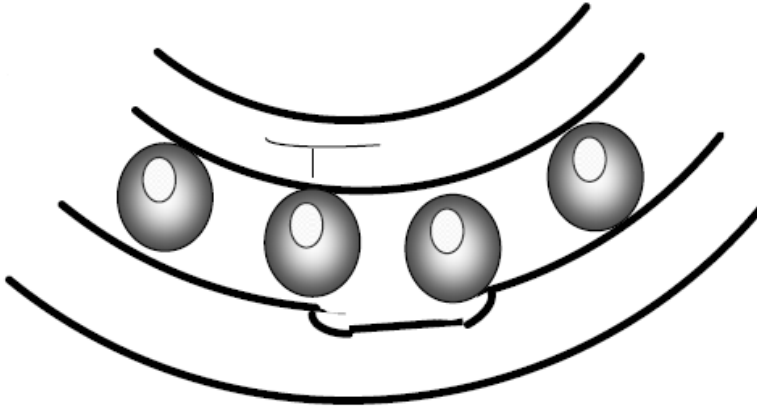
Mil üzerine rulman monte işlemi yapılırken rulman iç bileziği yerine rulman dış bileziği ya da rulman kasasına herhangi bir kuvvet uygulanması durumunda rulman düşük ölçüde darbelenir. Fakat bu düşük ölçekteki darbelenme çalışma sırasında ilerleyecek hasara neden olmaktadır. Sadece rulman montaj işleminde kuvvet uygulama noktaları değil mil üzerinde rulman oturma yüzeylerinin ovalitesi de rulmanın iç bileziğine gelecek kuvvet dengesi açısından



kritik önemdedir. Mil üzerindeki rulman oturma yüzeyindeki artan ovalite miktarı (milin daireselliği de denebilir) rulmanın iç bileziğindeki noktalara dengesiz kuvvet uygulayacağından rulman iç bileziği zamanla milin şeklini almaya başlar (Şekil 1.29). Bu durumda rulmanın sıkışan noktalarında rulman bilyaları hasarlanmaya başlar. Hasar gelişimi ile rulman çalışamaz hale gelir (Şekil 1.30).



Şekil 1.29 Rulman dış bilezik hasar başlangıcı (Karahana 2005)



Şekil 1.30 Rulman dış bilezik hasar gelişimi (Karahana 2005)

Motorun çalışma durumunda dışardan motora gelebilecek mekanik kuvvetler rulman iç bileziği, dış bileziği ya da rulman bilyaları üzerinde hasara neden olmaktadır. Bu hasarlanmalar zamanla gelişmekte rulmanın ve motorun çalışamaz duruma gelmesine neden olmaktadır.

Rulman hasarı başlamasından itibaren artan mekanik sürtünmeler motorun dönme hareketini yavaşlatıcı etki yaratmaktadır. Dönme hareketinin üzerinde taşıyan yataklarda oluşan bu hasar motorun verimini etkileyebileceği gibi aynı zamanda motor üzerinde artan titreşim seviyelerine neden olabilmektedir. Bu etki ile motor yüksek akım çekmekte ve verimsiz çalışmaya başlamaktadır.

#### **1.4.5 Mil Bükülmesi**

Mil; motorun rotorunun tüm bileşenlerini taşıyan ve mekanik hareketin iletildeği ve motorun mekanik karakteristiğini belirleyen önemli bir elemandır.

Özellikle amaşır makinalarında mile gelen radyal kuvvetler mili eğme yönünde hareket ettir. Bil bükülmesiyle birlikte özellikle bir önceki başlıkta belirtilen rulman hasarlanma mekanizmaları çalışmaya başlar. Rulman hasarıyla birlikte motor çalışmaz duruma gelir.

Diğer bir etki ise rulman hasarı sonucu motorun çalışmaz duruma gelmesinden önce; rotor stator arasındaki hava boşluğunun bükülme sonucu sıfırlanması ile stator aşırı akım çekmeye başlar ve statorun kutup sargıları aşırı akım sonucu zarar görür (Anonim 2016).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Orhan ve ark. (2003) tarafından Türkiye’de yapılan çalışmada, bilinen bir metot olan periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirerek, titreşimlerin analiz edilmesi ile rulman hasarlarının kritik hale gelmeden önce belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, gerçek çalışma şartları altında çalışan düz silindirik makaralı bir rulmanın dış bileziğinde tek noktada oluşan hasarın neden olduğu titreşimler ele alınmış, hasar makine için tehlikeli bir hal almadan önce titreşim analizi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, titreşim analizinin rulman hasarlarını belirlemede etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Arslan ve ark. (2006) tarafından Türkiye’de yapılan bir çalışmada, titreşim yöntemi kullanılarak radyal bilyalı rulmanlardaki bölgesel yüzey kusurları deneysel olarak incelenmiştir. Sistem için teorik bir model oluşturulmuş ve bu modele göre sağlam ve kusurlu rulmanları analiz edebilen bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Bu simülasyon programı, deney setinde kullanılan mil ve rulman boyutları girilerek çalıştırılmış ve farklı mil hızları için milin titreşim spektrumları elde edilmiştir. Simülasyon programından elde edilen teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında göreceli olarak bir uyum gözlemlenmiştir.

Arslan (2007) tarafından Türkiye’de yapılan bir başka çalışmada ise, titreşim analizi yöntemi kullanılarak radyal bilyalı rulman yuvarlanma elemanındaki bölgesel bir yüzey kusurunun etkisi analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla bilyalı rulman yuvarlanma elemanı çalışma yüzeyinde yapay bir bölgesel kusur oluşturulmuş ve radyal yöndeki mil titreşimleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak, deney setinden bulunan sonuçların yuvarlanma elemanındaki bölgesel bir yüzey kusurunun tespitinde ne oranda başarılı olduğunu anlamak için simülasyon programından bulunan sonuçlarla karşılaştırılmış ve göreceli olarak bir uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

Aliustaoğlu ve ark. (2007) tarafından Türkiye’de yapılan diğer bir çalışmada ise, Bir elektrik motoruna bağlı mil üzerinde bulunan rulmandan alınan veriler titreşim analizinde kullanılmak üzere toplanarak, titreşimlere neden olan bölgesel hata kaynaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bir rulman test düzeneği kurulmuş, rulmanın iç ve dış bileziklerinde

yapay kusurlar oluşturularak titreşim sinyalleri toplanmıştır. Toplanan veriler MATLAB üzerinde frekans analizi teknikleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak, titreşim işaretlerine ait frekans spektrumu incelendiğinde, hata frekans bileşenlerinin hatanın varlığını; bu bileşenlere ait genliklerin ise hatanın gelişme durumunu gösterdiği ispatlanmıştır.

Tezcan ve ark. (2008) tarafından Türkiye’de yapılan bir başka çalışmada ise, üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun (3 kW’lık) tasarımını, eşdeğer devre parametrelerinin değerlerini ve performans analizlerini yapan bir algoritma verilmiştir. Bu algoritma kullanılarak, motorun etiket değerleri ve akı yoğunluklarının programa girilmesiyle, istenilen tipte stator ve rotor oluk geometrik şekillerinin boyutları bulunmuştur. Bu boyutlar kullanılarak motorun eşdeğer devre parametreleri elde edilmiş ve bu sonuçlar boşa çalışma ve kısa devre çalışma deneyleri yapıp, hesaplanan parametrelerle karşılaştırılarak performans analizi yapılmıştır. Tasarımı yapılan motorun değerleri kullanılarak Matlab/ Simulink ortamında hazırlanan model ile elde edilen stator akım değerlerinin FFT sonuçları verilmiştir. Ayrıca boşa ve yarı yük çalışma durumlarında rotor akımları ve indüklenen momentteki harmonikler incelenmiştir.

Aliustaoğlu ve ark. (2008) tarafından Türkiye’de yapılan çalışmada, kestirimci bakım yöntemlerinde kullanılan rulman hata tespit algoritmaları incelenmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Literatürde sıklıkla kullanılan algoritmaların işlem maliyetleri, çalışma etkinlikleri ve çevrimiçi çalışmaya uygunlukları incelenmiştir. Bu amaçla bir rulman test düzeneği oluşturulmuş, rulmanın iç ve dış bileziklerinde yapay hatalar oluşturularak titreşim ve akım sinyalleri toplanmıştır. Toplanan sinyaller zaman, frekans ve zaman/frekans düzleminde istatistiksel analiz ve yapay zeka teknikleri ile işlenmiştir. Sonuç olarak, zaman ve frekans analizlerinin işlemsel yükü oldukça düşük olmasına rağmen etkin sonuçlar üretebildikleri, ancak bu tekniklerin en büyük dezavantajının deney şartlarına tamamen bağımlı oldukları, yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak kurulan algoritmaların ise etkinlik bakımından çok iyi sonuçlar üretmesine karşılık işlem maliyeti konusunda dezavantaja sahip oldukları belirtilmiştir.

Yıldırım ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım çalışması yapılmıştır. Bu maksatla fabrika çalışma ortamında bulunan

kompresör yataklarından belirli periyotlarla titreşim ölçümleri alınmıştır. Alınan titreşim ölçümleri incelendiğinde rulmanda hem dış bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında genlikler hem de iç bilezik temel hasar frekansı ve çoklu katlarında genlikler tespit edilmiştir. Yapılan bakım çalışmasının ardından rulmanda mevcut olan hasarların ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.

Aguston (2015) tarafından titreşimlerin genliği belirli bir seviyeye ulaşırsa, hataların tespit edilebileceği ve tanımlanabileceği belirtilmektedir. Çalışmada, hareket denklemleri çıkarılarak Matlab programında simülasyon yapılmıştır. Sonuç olarak, sistem davranışını frekansa göre analiz ederek, sistemdeki her türlü varyasyonda (arıza görünümü) genlik ve titreşim sinyalinde faz değişimlerinin gözlemlenebildiği ve arıza uyarıcısı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Aguston (2016) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, mekaniksel ve elektriksel arızaların, indüksiyon motorunun normal sesine karşı farklı genlik ve frekansa sahip olan sesleri ve / veya titreşimleri izlenerek tespit edilebileceğini bildirmiştir. Çalışmasında, titreşim değerlerini ölçmek ve analiz etmek için LabView ve LabWindows /CVI programları kullanılmıştır. Sonuç olarak , harmonik spektrumlarının frekans bileşenleri genliğindeki etkiler küçük bir elektrik motoru için simülasyonlar ve ölçümlerle gösterilmiştir (Aguston, 2016).

Latane ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, dönen makinelerde titreşim analizi için DSP (sayısal sinyal işlemcisi) tabanlı ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Piezoelektrik sensör vasıtasıyla titreşim sinyalleri algılanarak, motor durumu sürekli olarak izlenebilmiştir. Motorlarda oluşan arızaların tespiti için geliştirilen yöntem, titreşim analizinin frekansına dayanmaktadır. Titreşim analizinden, motorla ilgili bazı ortak arızaların, rotor hızı, elektromanyetik moment ve voltaj kondansatörü nedenlerinden meydana geldiği tespit edilmiş, MATLAB simülasyonu ile motora ilişkin belirtilen 3 parametrenin varyasyonları belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Materyal bölümü, araştırmada incelenen üniversal motorlar ve kullanılan ölçüm cihazları hakkında bilgi verildiği iki bölümden oluşmuştur.

##### 3.1.1 Üniversal Çamaşır Yıkama Makinası Motoru

Tez araştırmasında kullandığımız üniversal tip elektrik motoru yüksüz konumda 15000-20000 devir/dakika aralığında yükte ise sürüş karakteristiğine göre tamburu 700- 900- 1000-1100 devir/dakika çevirebilecek karakteristikte sürücü kartı tarafından kontrol edilmektedir. Tez kapsamında incelenen sağlam ve hasarlı motorların titreşim ölçümleri stator ve arka kapağın üzerinde yer alan rulman üzerinden alınarak çözümleme işlemleri için bilgiler toplanmıştır.



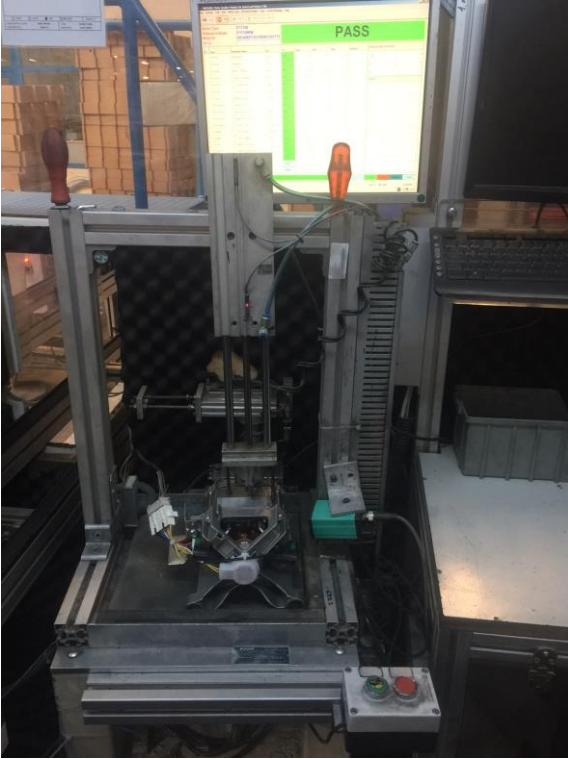
Şekil 3.1 Üniversal motorun genel görünüşü (Anonim 2016)

### 3.1.2 Motor Titreşim Test Ünitesini ve Test Ünitesini Oluşturan Bileşenler

#### 3.1.2.1 Şasi

Şasi; sistemi oluşturan tüm parçaların üzerine bağlı olduğu birimdir. Genel olarak enerji panosu, beton blok, pnömatik elemanlar ve bilgisayara taşıyıcılık yapar. Şaside yer alan beton blok görece sistemi oluşturan tüm parçaların en ağırlı olup sistemin sönümlenme elamanıdır. Şasi diğer dış ortamdaki lastik takozlu ayaklar ile ayrılmış durumdadır. Bu lastik takozlu ayaklar çevreden gelebilecek titreşimin sönümlenmesine ve sistemin kendi çalışma titreşiminin sönümlenmesine yardımcı olur. Tüm seri üretim motorlar hattan alınarak beton blok üzerinde titreşim ölçümleri yapılır. Şekil 3.2’de şasinin genel görünüşü verilmiştir.

Ayrıca şasi içerisinde yer alan bir diğer önemli bileşen ise akustik yataklardır. Bu yatak beton kaideden gelen artık titreşimleri sönümlenmekle birlikte aynı zamanda motora ölçüm işlemi sırasında yataklık etmektedir. Kullanılan “Getzner” marka izolasyon ve yataklama süngeri ile ölçüm sisteminin ölçüm yeterliliği ve tekrarlanabilirliği garanti altına alınmıştır.



Şekil 3.2 Tezgah şasisi

### 3.1.2.2 İvme Ölçer

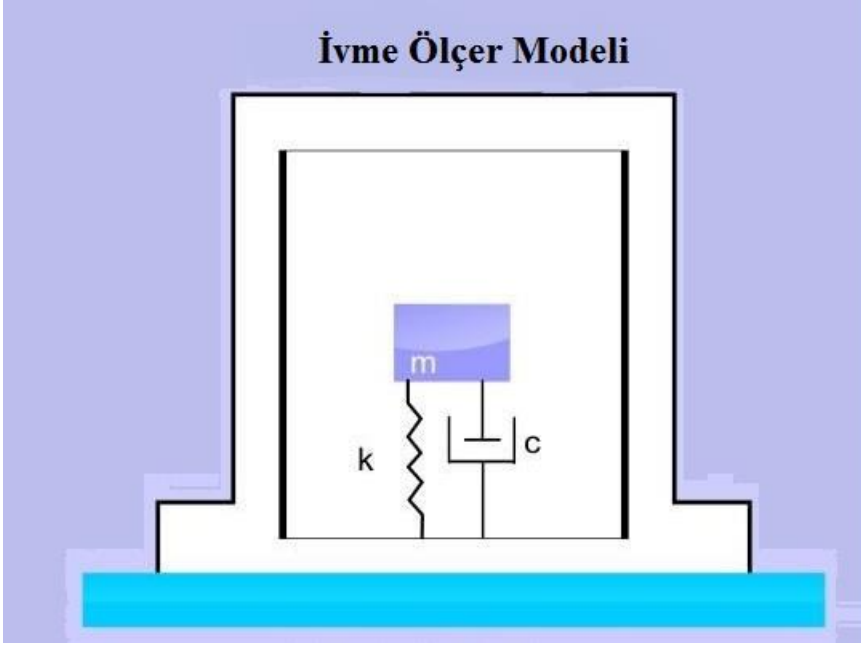
Makine tasarımı konusunda en çok karşılaşılan tasarım unsurlarından biri titreşimdir. Titreşimin günlük hayatta direkt etkisi konfor olmakla birlikte, mekanik açıdan inceleyecek olursak; titreşim makine ömrü, makine güvenilirliği (özellikle ölçüm sistemleri için düşünürsek, titreşim seviyesi yüksek bir ölçüm sistemi sürekli ve tekrarlanabilir bir ölçüm sağlayamayacaktır) ve makinanın enerji verimliliği (titreşim seviyesi yüksek bir mekanik yapının kayıpları yüksek olacağından enerji verimi de düşük olacaktır) açısından önemli bir tasarım parametresidir. Bu nedenlerden dolayı mekanik tasarım yapılırken ve mekanik tasarım sonucu yapılan üretimde optimum titreşim seviyelerinin olmasına özen gösterilir. Burada dikkat edilecek kısım özellikle “optimum” titreşim seviyesi olması kısmıdır. Çünkü minimum titreşim uygulama her zaman ekipmana fazladan ağırlık, fazladan işçilik yada fazladan komponent ekleyeceğinden tasarlanacak ekipman için optimum seviyeyi belirlemek önemlidir.

Sonuç olarak, üretilen ekipmanların titreşim seviyelerini ölçmek, bu titreşim seviyelerine neden olan parametreleri tespit etmek ve mühendislik-maliyet korelasyonu güçlü yeni ürünler tasarlamak için ivme ölçerlere ihtiyaç vardır. Şekil 3.3’te ivme ölçerin çalışma prensibini gösteren şekil verilmiştir.

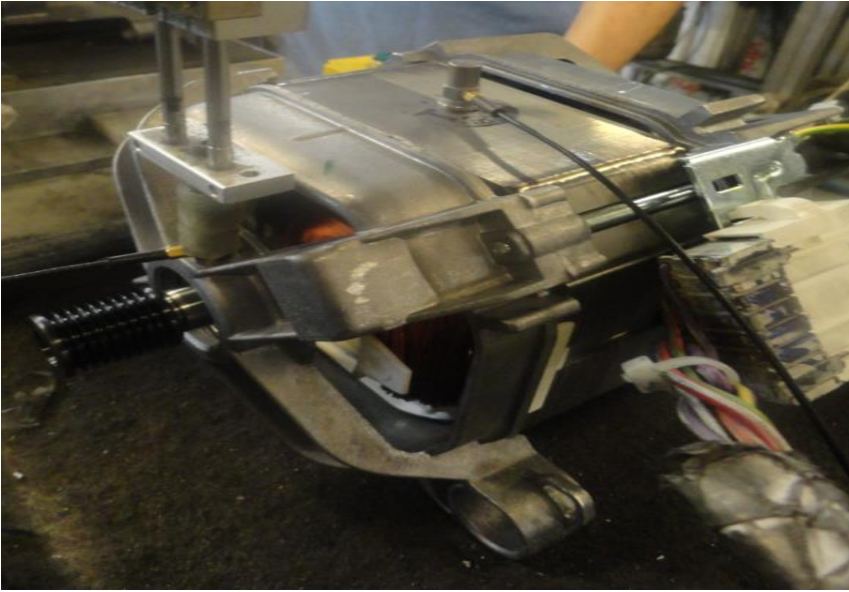
Bu çalışmada motordan veri almak amacıyla motorun iki noktasına ivme ölçer yerleştirilmiştir. Şekil 3.4’te ivme ölçerin motor üzerindeki konumunu gösteren şekil verilmiştir.

Bu çalışmada Brüel Kjaer firmasına ait “ Piezoelectric Charge Accelometer” veri toplama işlemi sırasında kullanılmıştır. Şekil 3.5’te kullanılan ivme ölçer gösterilmiştir.





**Şekil 3.3** İvme ölçerin çalışma sistematığı (Anonim 2016)



**Şekil 3.4.** Motor üzerinde ivme ölçer konumları



Şekil 3.5 İvme ölçer-temsili(Anonim 2015)

### 3.1.2.3 İvme Ölçer Kablosu

Özellikle seri üretim bantlarında çalışan birçok test sistemi, konveyör, aktarma ekipmanı, elektrik motoru, RFID sistemleri ve diğer enerji hatları çevrelerine elektriksel sinyaller yaymaktadırlar. Yayıdıkları bu sinyaller titreşim ölçüm sistemleri gibi diğer hassas ölçüm sistemlerinin ölçümlerini etkilemektedir. Bu sebeple ivmeölçer bağlantı noktası, veri kartı bağlantı noktası ve veri kablosu dışı izolasyonlu özel kablolar kullanılmaktadır, bu izolasyon ile çevreden gelebilecek manyetik gürültülerden etkilenmez. Böylece ivme ölçerin ürettiği mili volt mertebesindeki gerilimin veri kartına ulaşana kadar bozulmaması ve alınan ölçümlerin doğruluğu ve sürekliliği sağlanmış olunur.

Bu çalışmada Brüel Kjaer firmasına ait “Super Low Noise” özellikli kablolar kullanılarak ölçüm sırasında çevrede oluşabilecek elektriksel ve manyetik gürültünün minimize edilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.6’te kullanılan ivme ölçer kablosu gösterilmiştir.



Şekil 3.6 İvme ölçer kablosu(Anonim 2015)

### 3.1.2.4 Motor Sürücü Kartı

titreşim ölçüm işlemi sırasında motorun belirli devirlerde sürülmesinin sağlanması amacıyla sürücü kartı kullanılmaktadır. Sürücü kartı tasarımı motor özelinde olup çoğu motor firması kendi sürücülerini tasarlamaktadır. Titreşim verisi toplanması sırasında motorun daha önceden belirlenmiş ve çalışma koşullarını simüle eden devirlerde motorun kart tarafından sürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla; kullanılan motor sürücü kartının titreşim veri kartı ile eşlenik çalışması sağlanmış ve böylelikle optimum devirde veri toplanması sağlanmıştır. Sürücü kartları motor üretici firmalar tarafından özel olarak üretilmektedir. Şekil 3.7’de kullanılan motor sürücü kartı gösterilmiştir.

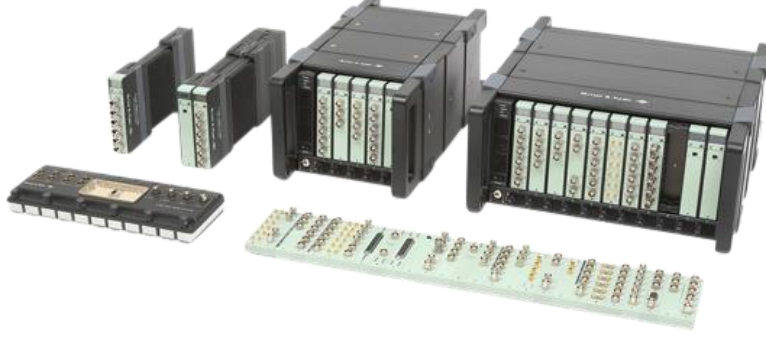


Şekil 3.7 Motor sürücü kartı-temsili(Anonim 2015)

### 3.1.2.5 Titreşim Veri Kartı

Titreşim veri kartları ölçüm sisteminin limitlerini belirleyen en önemli bileşendir. Veri ölçümü sırasında ivmeölçerden gelen sinyallerin dönüştürülmesini ve dijital veriye dönüştürülmesinde kullanılır. Ayrıca veri kartları seçilen harici bir programa bilgi çıkışı sağlayarak seçilen program ile birlikte ölçümlerin görüntülenmesini sağlar.

İvme ölçerden gelen elektriksel verilerin işlenip kullanılabilir verilere dönüştürüldüğü bu kartlar Brüel Kjaer firmasına ait kartlar olup programlama içeriği motor üretici firma özelindedir. Şekil 3.8’de ölçüm sırasında kullanılan veri kartları gösterilmiştir.

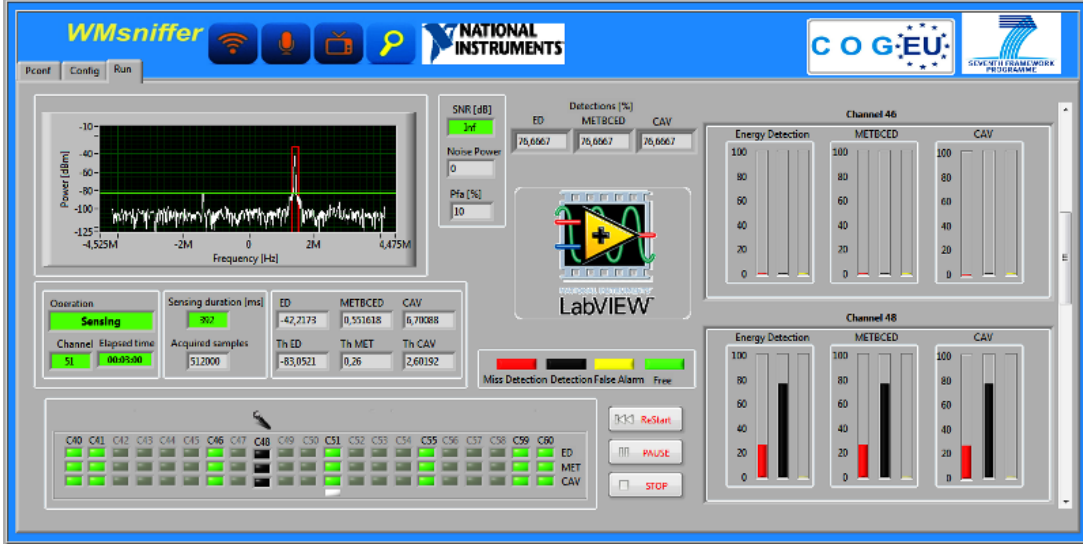


Şekil 3.8 Titreşim veri kartları(Anonim 2015)

### 3.1.2.6 Bilgisayar Programları

LabView (Laboratuary Virtual Instruments For Engineering Workbench) programı veri kartından gelen dijital verilerin matematiksel modellerle dönüştürülüp, verilerin yorumlanabilir formata dönüştürülmesini sağlayan ve diğer tüm programlama dillerinin yeteneklerine sahip veri işleme programıdır. Bu çalışma sırasında da kullanılan ve National Instruments Firması tarafından üretilmiş, LabVIEW ile entegre olarak çalışabilen çeşitli donanımlar birçok mühendislik uygulamalarında veri toplama, analizi ve sunumu aşamalarında çok hassas ölçümler yapmayı sağlar.

LabVIEW; metin tabanlı kodlama yerine tamamen sembolleştirilmiş komut setine sahiptir. Kısaca; grafiksel programlama dili teknolojisi (Şekil 3.9) ile programlama sanayi kullanımında yeni bakış açıları getirmiş ve kullanım alanları yaratmıştır.



Şekil 3.9 Labview ekran görüntüsü-temsili(Anonim 2015)

Minitab, 1972 yılında Pennsylvania State Üniversitesi araştırmacılarından Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan ve Brian L. Joiner tarafından geliştirilmiş olan genel olarak Altı Sigma yaklaşımında kalite kontrol ve deney tasarımları için sıklıkla kullanılan istatistiksel analiz programıdır. Özellikle simülasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan rassal sayı türetilmesi işlemleri Minitab programı ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Tez aşamasında ölçüm sistemimizin güvenilirliğini kontrol amacıyla kalite kontrol modülü altında yer alan proses yeterliliği özelliğın kullandığımız Minitab programı ile ölçüm sistemimizin tez çalışması için uygun olduğunu tespit ettik.

Matlab, temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performanslı bir yazılımdır. Matlab adı, MATrix LABoratory (Matrix Laboratuvarı) kelimelerinden gelir. Matlab programının kullanım alanları:

- Matematiksel hesaplama işlemleri
- Veri analizi ve grafik destekli gösterimi
- Algoritma geliştirme işlemleri
- Simülasyon (benzetim) işlemleri

Veri toplama işlemi sonrası yapılan Fourier analizinde, güç spektrumu ve güç spektrumu yoğunluğunun hesaplanması işleminde Matlab programı ile veri işleme ve analiz işlemleri yapılmıştır.

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Frekans Analiz Yöntemleri

#### 3.2.1.1 Wavelet (Dalgacık) Analizi

Fourier teorisinde bir sinyal, sonsuz bir serinin toplamı olarak ifade edilebilir. Bu toplam, aynı zamanda bir Fourier açılımı olarak da adlandırılır. Fourier açılımının büyük dezavantajı sadece frekans çözünürlüğü içermesidir, zaman çözünürlüğü içermez. Bu durum bir sinyalde bulunan tüm frekansları belirlersek bile ne zaman bulunduğunu belirleyemeyeceğimiz anlamına gelir. Bu sorunun üstesinden gelmek için; bir sinyali zaman ve frekans indislerinde inceleyebilen çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bu zaman-frekans ortak gösterimlerinin arkasındaki fikir, ilgili sinyali birkaç parçaya bölmek ve sonra parçaları ayrı ayrı analiz etmektir. Bir sinyali bu şekilde analiz etmenin zaman hakkında daha fazla bilgi vereceği belirgindir. Bir sinyalin hangi zamanda oluştuğunun belirlenmesi bir diğer soruyu akıllara getirir; “Sinyali nasıl keseceğiz?” Buradaki problem, kesilen sinyalin, sinyal ve kesme penceresi arasındaki bir konvolüsyona karşılık gelmesidir. Zaman alanındaki konvolüsyon, frekans alanında çarpma ile özdeştir ve Fourier dönüşümü, sinyalin frekans bileşenlerinin olası tüm frekanslarını içerir. Aslında bu durum standart Fourier dönüşümü ile zıttır, Çünkü bu durumda zaman verisi var iken frekans verisi kaybolmuş durumdadır (Karahana 2005).

Açıklanan olayların altında yatan ilke, Heisenberg'in belirsizlik ilkesidir. Bu ilke, sinyalde belirli bir olayın frekansını ve oluşma zamanını bilmenin imkansız olduğunu belirtir. Diğer bir deyişle, bir sinyal zaman-frekans alanında bir nokta olarak temsil edilemez. Bu belirsizlik sinyalin kesilme anının tespitinin önemini vurgular.

Dalgacık dönüşümü veya dalgacık analizi Fourier dönüşümünün eksikliklerinin tamamlamak için çözüm olacaktır. Dalgacık analizinde, tamamen ölçeklenebilir modüle edilmiş pencere kullanımı, sinyal kesme problemini çözmektedir. Pencere sinyal boyunca kaydırılır ve her pozisyon için spektrum hesaplanır. Daha sonra bu işlem, her yeni döngü için biraz daha kısa (veya daha uzun) bir pencere ile defalarca tekrarlanır. Sonuç, farklı çözünürlüklerde olan sinyalin zaman-frekans gösterimlerinin bir toplamı olacaktır. Dalgacıklar söz konusu olduğunda, normalde zaman-frekans gösterimlerinden değil, sadece zaman ölçekli gösterimlerden bahsedilir.

### 3.2.1.1.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Girişte tanımlanan dalgacık analizi sürekli dalgacık dönüşümü veya SDD olarak bilinir. Genel olarak şu şekilde yazılmıştır:

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (3.1)$$

Burada \* kompleks konjugasyonu gösterir. Bu denklem, bir fonksiyonun  $f(t)$  'nın dalgacıklar olarak adlandırılan bir dizi temel fonksiyon  $\psi_{s,\tau}^*(t)$  'ye nasıl ayrıldığını gösterir. Dalgacık dönüşümü sonrası  $s$  ve  $\tau$  değişkenleri yeni boyutlar, ölçek ve dönüşümlerdir. Çözümün devamı olan (2), ters dalgacık dönüşümü verir.

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \psi_{s,\tau}(t) d\tau ds \quad (3.2)$$

Dalgacıklar ölçekleme ve çevirme yoluyla, ana dalgacık denilen tek bir temel dalgacık  $\psi_{s,\tau}(t)$  'den üretilir:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te ölçek faktörü,  $\tau$  dönüşüm faktörü ve faktör  $s^{-1/2}$  farklı ölçeklerdeki enerji normalizasyonu için kullanılır.

Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3'te dalgacık temel fonksiyonlarının tanımlanmadığını belirtmek önemlidir. Bu tanımlar dalgacık dönüşümü ile Fourier dönüşümü arasındaki farktır. Dalgacık teorisi, sadece dalgacıkların genel özellikleri ve dalgacık dönüşümleri ile değişir.

Dalgacıkların en önemli özellikleri kabul edilebilirlik ve düzenlilik koşullarıdır ve bunlar dalgacıklara adlarını veren özelliklerdir. Kabul edilebilirlik koşulu sağlayan  $\psi(t)$  fonksiyonunun karesi integre edilebilir fonksiyonları, ilk önce bir sinyali kaybetmeden bir sinyali analiz etmek ve tekrar oluşturmak için kullanılabilir. Eşitlik 3.4'te  $\Psi(\omega)$ ,  $\psi(t)$  'nin Fourier dönüşümü anlamına gelmektedir. Kabul edilebilirlik koşulu,  $\psi(t)$  'nin Fourier dönüşümü sıfır frekansta kaybolduğu anlamına gelir.

$$\int \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < +\infty \quad (3.4)$$

$$|\psi(\omega)|^2|_{\omega=0} = 0 \quad (3.5)$$

Bu, dalgacıkların bant geçiren spektruma sahip olması gerektiği anlamına gelir. Bu, daha sonra verimli bir dalgacık dönüşümü oluşturmak için kullanacağımız çok önemli bir bulgudur. Sıfır frekansındaki bir sıfır değeri, aynı zamanda, zaman alanındaki dalgacıkların ortalama değerinin sıfır olması ve bu nedenle salınımlı olması gerektiği anlamına gelir. Başka bir deyişle,  $\psi(t)$  bir dalga olmalıdır.

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.1'de görülebileceği gibi, tek boyutlu bir fonksiyonun dalgacık dönüşümü iki boyutludur; İki boyutlu bir fonksiyonun dalgacık dönüşümü dört boyutludur. Dalgacık dönüşümü zaman-bant genişliği çarpımı girdi sinyalinin karesidir ve en pratik uygulamalar için bu istenen bir özellik değildir. Dolayısıyla; dalgacık dönüşümü ölçeklerin azalmasıyla hızlı bir şekilde azaltılması için dalgacık fonksiyonlarında bazı ilave koşullar getirir. Bunlar düzenlilik koşulları ve dalgacık fonksiyonunun hem zaman hem de frekans alanlarında bir miktar pürüzsüzlük ve konsantrasyona sahiptir. Düzenlilik oldukça karmaşık bir konsepttir ve onu ani yok olma kavramını kullanarak biraz açıklayacağız.

Dalgacık dönüşümü (1),  $t = 0$ 'da sıralı  $n$ 'ye kadar (basitlik için  $\tau = 0$  olsun) Taylor serisine açılımını yaparsak,

$$\gamma(s, 0) = \frac{1}{\sqrt{s}} \left[ \sum_{p=0}^n f^{(p)}(0) \int \frac{t^p}{p!} \psi\left(\frac{t}{s}\right) dt + O(n+1) \right] \quad (3.7)$$

Burada  $f^{(p)}$ ,  $f$  ve  $O(n+1)$  'in  $p^{\text{th}}$  türevini ifade eder ve açılımın geri kalan kısmı anlamına gelir. Eğer, dalgacık momentlerini  $M_p$  ile tanımlarsak, sonlu gelişme için Eşitlik 3.7'yi yeniden yazabiliriz.



$$M_p = \int t^p \psi(t) dt \quad (3.8)$$

$$\gamma(s, 0) = \frac{1}{\sqrt{s}} \left[ f(0)M_0s + \frac{f^{(1)}(0)}{1!} M_1s^2 + \frac{f^{(2)}(0)}{2!} M_2s^3 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!} M_ns^{n+1} + O(s^{n+2}) \right] \quad (3.9)$$

Kabul edilebilirlik koşulundan, 0'ıncı momenti  $M_0 = 0$  olduğundan, Eşitlik 3.9'un sağ tarafındaki ilk terim sıfırdır. Artık diğer anları da  $M_n$  sifira ulaştırabilirsek, dalgacık dönüşümü katsayıları  $\gamma(s,t)$  düzgün bir sinyal  $f(t)$  için  $s^{n+2}$  kadar hızlı bozulur. Bu, literatürde kaybolan anlar veya yaklaşım sırası olarak bilinir. Bir dalgacıkta  $N$  kaybolan moment varsa, dalgacık dönüşümü yaklaşım sırası da  $N$ 'dir. Anların tam olarak sıfır olması gerekmez, küçük bir değer çoğu zaman yeterince yakın sonuç verir (Karahan 2005).

### 3.2.1.1.2 Ayrık Dalgacıklar:

Artık dalgacık dönüşümü biliyoruz ve dalgacık dönüşümünü daha kolay yapmak istiyoruz. Bununla birlikte, şimdiye kadar tarif edilen dalgacık dönüşümü, doğrudan doğruya (3.1) formunda kullanılmayı zorlaştıran üç özelliğe sahiptir. Birincisi, sürekli dalgacık dönüşümünün fazlalığı. (3.1) dalgacık dönüşümü, sürekli olarak ölçeklendirilebilir bir işlevi bir sinyal üzerinde sürekli olarak kaydırarak ve ikisi arasındaki korelasyonu hesaplayarak bulunabilir. Bu ölçeklendirilmiş fonksiyonların ortogonal temelde hiçbir yere yakın olmadığı açıktır ve elde edilen dalgacık katsayıları bu nedenle çok fazladır. Çoğu pratik uygulamalar için bu fazlalığı kaldırmak istiyoruz.

Sürekli dalgacık dönüşümünün fazlalığı olmadan bile dalgacık dönüşümünde hala sayısız dalgacık var ve bu sayının daha kullanılabilir bir sayıyla azaltılması yapacağımız işlemleri daha anlaşılır kılacaktır. Elimizdeki ikinci sorun budur. Üçüncü problem, çoğu fonksiyon için dalgacık dönüşümlerinin analitik çözümleri olmadığı ve sadece sayısal olarak veya bir optik analog bilgisayar tarafından hesaplanabildiği problemdir. Dalgacık dönüşümü gücünü kullanabilmek için hızlı algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır ve aslında, dalgacık dönüşümlerini bugün olduğu yere yerleştiren bu hızlı algoritmaların varlığıdır.

Daha önce belirtildiği gibi, SDD, tek boyutlu bir sinyali, aşırı derecede fazlalı olan iki boyutlu bir zaman ölçekli ortak gösterime haritalamaktadır. SDD'nin zaman-bant genişliği çarpımı, sinyalin karesi ve çoğu uygulama için, mümkün olduğunca az bileşenle bir sinyal açıklaması istemektedir, bu verimli bir yol değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, ayrı dalgacıklar tanıtılmıştır. Ayrık dalgacıklar sürekli olarak ölçeklenebilir değildir ve çevrilebilir değildir, ancak yalnızca ayrı adımlarla ölçeklenebilir ve tercüme edilebilir. Bu, dalgacık temsilini yaratmak için değiştirerek elde edilir.

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \psi\left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (3.10)$$

Buna ayrı bir dalgacık denir, ancak normalde sürekli bir işlemdir. Eşitlik 3.10'da  $j$  ve  $k$  tamsayılar ve  $s_0 > 1$ , sabit bir açılım basamağıdır. Translasyon faktörü  $-0$  dilasyon adımına bağlıdır. Dalgacıkların bölünmesinin etkisi, zaman ölçeği alanının ayrı aralıklarla örneklenmesidir. Genellikle  $s_0 = 2$ 'yi seçeriz, böylece frekans ekseninin örnekleme çiftli örnekleme karşılık gelir. Bu bilgisayarlar, insan kulağı ve müzik için çok doğal bir tercihtir. Çevirme faktörü için genellikle  $-0 = 1$ 'i seçeriz, böylece zaman ekseninin iki yanlı örneklemesini yaparız.

Kesikli dalgacıklar sürekli bir sinyali dönüştürmek için kullanıldığında, sonuç bir dizi dalgacık katsayıları olur ve dalgacık serisi ayrıştırma olarak adlandırılır. Böyle bir ayrışma şemasında önemli bir husus tabii ki yeniden yapılanma meselesidir. İki boyutlu bir ızgarada zaman ölçeğinde ortak temsilin örnekleme çok iyi, ancak sinyali yeniden yapılandırmanın mümkün olmaması yarar sağlamayacaktır. Ortaya çıktığında, bir sinyali dalgacık serileri ayrıştırmasından yeniden oluşturmak gerçekten mümkündür. Kararlı yeniden yapılandırma için gerekli ve yeterli koşulun, dalgacık katsayılarının enerjisinin iki pozitif sınır arasında olmasıdır, ör.

$$A\|f\|^2 \leq \sum_{j,k} |\langle f, \psi_{j,k} \rangle|^2 \leq B\|f\|^2 \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11'in yerine getirildiğinde, temel fonksiyonların ailesi  $\psi_{j,k}(t)$ ,  $k \in \mathbb{Z}$  ile  $j$ , çerçeve sınırları  $A$  ve  $B$  olan bir çerçeve olarak anılır.  $A=B$  olduğunda çerçeve sıkıştırılır ve ayrı waveletler tam olarak bir ortanormal taban olarak davranır.  $A \neq B$  tam rekonstrüksiyon ikili bir çerçeve oluşturmasına rağmen hâlâ mümkündür. Çift çerçeve, ayrık dalgacık dönüşümü sırasında ayrıştırılan dalgacık yeniden yapılandırılan dalgacıktan farklıdır.

Şimdi çerçeveleri göz ardı edeceğiz ve dalgacık dönüşümü tüm fazlalıkların kaldırılması ile devam edecektir. Uygulamamız gereken son adım, ayrı dalgacıkların ortonormal hale getirilmesidir. Bu sadece ayrık dalgacıklarla yapılabilir.

$$\int \psi_{j,k}(t) \psi_{m,n}^*(t) dt = \begin{cases} 1 & j = m \text{ ve } k = n \\ 0 & \text{diğer koşullar} \end{cases} \quad (3.12)$$

Rasgele bir sinyal; dalgacık dönüşümü katsayıları ile ağırlıklandırılan ortogonal dalgacık temel fonksiyonlarını toplamak suretiyle yeniden oluşturulabilir:

$$f(t) = \sum_{j,k} \gamma(j,k) \psi_{j,k}(t) \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13 henüz görmediğimiz ayrı dalgacıklar için ters dalgacık dönüşümünü göstermektedir.

Sinyallerin temsili için ortogonalite gerekli değildir. Dalgacıkların ortogonal olması gerekmez ve bazı uygulamalarda fazlalık, gürültüye duyarlılığı azaltmaya veya dönüşümün kayma değişmezliğini iyileştirmeye yardımcı olabilir. Bu, ayrı dalgacıkların bir dezavantajıdır: elde edilen dalgacık dönüşümü artık değişmelidir. Bu, bir sinyalin dalgacık dönüşümleri ile aynı sinyalin zaman kaydırılmış bir versiyonunun birbirlerinin basitçe kaydırılmış versiyonları olmadığı anlamına gelir (Batar 2005).

### 3.2.1.1.3 Band Geçiren Filtreler:

Dalgacık dönüşümü pratik bir formda gerçekleştirmeden önce hala dönüşüme iki engelimiz var. Dalgacık dönüşümünde gerekli dalgacık sayısını azaltmaya ve sonuç olarak zor analitik çözümlerin problemini azaltmaya çalışarak devam ediyoruz.

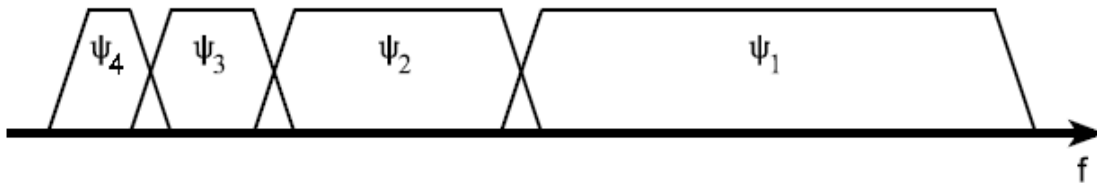
Ayrık dalgacıklarla bile, dalgacık dönüşümü hesaplamak için sonsuz sayıda ölçekleme ve çeviriye ihtiyacımız var. Bu sorunun üstesinden gelmenin en kolay yolu, sonsuz sayıda ayrı dalgacık kullanmamaktır. Elbette bu, dönüşüme ilişkin kaliteyi soruyor. Bir sinyali analiz etmek ve yine de yararlı bir sonuca sahip olmak için dalgacık sayısını azaltmak mümkün olabileceğini inceleyeceğiz.

Dalgacıkların çevirileri tabii ki incelenen sinyalin süresi ile sınırlıdır, böylece dalgacıklar için bir üst sınırimız olacaktır. Bu bizi açılım sorunu ile karşı karşıya getirir: sinyalimizi analiz etmek için kaç tane ölçeğe ihtiyacımız var? Nasıl bir alt sınır elde ederiz? Dalgacık dönüşümü farklı bir şekilde bakarak bu soruları cevaplayabildiğimiz ortaya çıkıyor (Abbak 2007).

Eşitlik 3.5'e bakarsak, dalgacık bant geçiren spektruma sahip olduğunu görürüz. Fourier teorisinden, zaman içindeki sıkıştırmanın, spektrumu uzatmaya ve yukarı doğru kaydırmaya eşdeğer olduğunu biliyoruz:

$$F\{f(at)\} = \frac{1}{|a|} F\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (3.14)$$

Bunun anlamı dalgacıkların zaman faktörünün 2 faktörü ile sıkıştırılmasının dalgacık frekans spektrumunu 2 kat arttırdığı ve tüm frekans bileşenlerini 2 faktörü kadar kaydıracağı anlamına gelmektedir. Bu bilgiler ışığında sinyalimizin sonlu spektrumunu genişlemiş dalgacıkların spektrumlarıyla, zaman alanındaki sinyalimizi çevrilmiş dalgacıklarla kapadığımız gibi kapsayabiliriz. Sinyal spektrumunun iyi bir şekilde kapsanması için uzanan dalgacık spektrumu, görünürde sürekli bir bütün gibi gözükmelidir (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10** Ana dalganın ölçeklendirilmesi sonucu oluşan dalgacıklar

Özetlemek gerekirse, eğer bir dalgacık bir bant geçiren filtre olarak görülebiliyorsa, bir dizi genişlemiş dalgacık, bir bant geçiren filtre kaynağı olarak görülebilir. Bir dalgacık spektrumunun merkez frekansı ile bu spektrumun genişliği arasındaki orana bakarsak, bunun tüm dalgacıklar için aynı olduğunu görürüz. Bu oran normalde bir filtrenin aslına Q faktörü olarak adlandırılır ve dalgacıklar söz konusu olduğunda bu nedenle sabit-Q filtre verisi konuşur (Batar 2005).

#### 3.2.1.1.4 Ayrık Dalgacık Dönüşümü:

Birçok deneysel uygulamada ve özellikle bu tezde açıklanan uygulamada, ilgi sinyali örneklenir. Şimdiye kadar elde ettiğimiz sonuçları ayrı bir sinyalle kullanmak için dalgacık dönüşümümüzü ayrık hale getirmeliyiz. Unutmayın ki ayrı dalgacıklarımız sadece zaman ayrıklığı değil, çeviri ve ölçek basamağı ayrıklığı da içermektedir.

Ölçeklendirme fonksiyonunun, eksi sonsuzdan belli bir ölçek j'ye kadar olan dalgacıklar halinde ifade edilebileceğini belirtmiştik. Ölçekleme fonksiyonu spektrumuna bir dalgacık spektrumu eklersek, birinci spektrumun iki katı genişlikte bir spektrum ile yeni bir ölçekleme fonksiyonu elde edeceğiz. Bu eklemenin etkisi, ilk ölçekleme fonksiyonunu ikinci olarak ifade edebilmemizdir, çünkü bunu yapmak için gereken tüm bilgileri ikinci ölçeklendirme fonksiyonu barındırır. Bunu Eşitlik 3.15 ile ifade edebiliriz:

$$\varphi(2^j t) = \sum_k h_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (3.15)$$

İki ölçekli ilişki; belirli bir ölçekte ölçeklendirme fonksiyonunun bir sonraki daha küçük ölçekte çevrilmiş ölçeklendirme fonksiyonları cinsinden ifade edilebileceğini belirtir. Burada karıştırmayın: küçük ölçek daha fazla ayrıntı anlamına gelir.

Birinci ölçeklendirme fonksiyonu bir dizi dalgacık yerine geçer ve bu nedenle, bu setteki dalgacıkları bir sonraki ölçekte çevrilmiş ölçekleme fonksiyonları cinsinden ifade edebiliriz. Daha özel olarak dalgacık için j seviyesinde yazabiliriz:

$$\psi(2^j t) = \sum_k g_{j+k}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (3.16)$$

Ölçeklendirme fonksiyonu ve dalgacık arasındaki iki boyutlu ilişki;  $f(t)$  sinyelimiz,  $j-1$  ölçeğine kadar genişlemiş ve çevrilmiş dalgacıklar ile ifade edilebildiğinden,  $f(t)$ 'nin bir ölçekte genişlemiş ve çevrilmiş  $j$ -ölçeklendirme fonksiyonlarıyla ifade edilebileceği sonucuna varırız:

$$f(t) = \sum_k \lambda_j(k) \varphi(2^j t - k) \quad (3.17)$$

Gösterimimizde tutarlı olmak için, bu durumda ayrı ölçeklendirme işlevlerinden söz etmeliyiz, çünkü bu dönüşüm yalnızca ayrı açılım ve dönüşümlere izin veriliyor.

$$f(t) = \sum_k \lambda_{j-1}(k) \varphi(2^{j-1} t - k) + \sum_k \lambda_{j-1}(k) \psi(2^{j-1} t - k) \quad (3.18)$$

Ölçekleme fonksiyonu  $\varphi_{j,k}(t)$  ve dalgacıklar  $\psi_{j,k}(t)$ , ortonormal olarak düşünüldüğünde;  $\lambda_{j-1}(k)$  ve  $\gamma_{j-1}(k)$  katsayıları iç çarpımlar olarak yazarsak;

$$\lambda_{j-1}(k) = \langle f(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle \quad (3.19)$$

$$\gamma_{j-1}(k) = \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle$$

$\varphi_{j,k}(t)$  ve  $\psi_{j,k}(t)$  'yi, uygun şekilde ölçeklendirilmiş ve çevrilmiş eşitlik 3.15 ve eşitlik 3.16 versiyonları ile değiştirirsek ve denklik olarak da yazılabileceğini göz önüne alırsak , aşağıdaki önemli sonuca varıyoruz:

$$\lambda_{j-1}(k) = \sum_m h(m - 2k) \lambda_j(m) \quad (3.20)$$

$$\gamma_{j-1}(k) = \sum_m g(m - 2k) \gamma_j(m) \quad (3.21)$$

Bu iki denklem, belli bir ölçekte dalgacık ve ölçeklendirme fonksiyon katsayılarının önceki ölçekten fonksiyon katsayılarının ağırlıklı bir toplamını hesaplayarak bulunabileceğini belirtmektedir.

Filtre kaynağı yinelemesi sinyal spektrumuyla başlamıştır, bu nedenle sinyal spektrumunun önceki (hayali) ölçekte bir alçak geçiren filtrenin çıktısı olduğunu düşünürsek, örneklenmiş sinyalimizi, önceki sinyal akışından gelen ölçeklendirme fonksiyonu katsayıları olarak görebiliriz. Başka bir deyişle, örneklenmiş sinyalimiz  $f(k)$ , en büyük skalada  $\lambda(k)$  'ya eşit olduğunu görebiliriz.

Şimdiye kadar, dalgacık dönüşümünü yinelenmiş sayısal bir filtre kaynağı olarak uygulamanın mümkün olduğunu kesin hale getirdik ve bundan böyle ayrı dalgacık dönüşümü veya ADD'den söz edebiliriz (Antoniadis 2001).

### 3.2.1.2 Güç Spektrumu

#### 3.2.1.2.1 Ön Bilgiler:

Hareketsiz rastgele bir sisteme ait sonlu uzunluktaki bir sinyalin frekans bandı üzerindeki güç dağılımını tahmin etme güç spektral analizinin temelini oluşturur.

Spektral analiz yaparken kullanılabilen iki farklı yol vardır. Bunlar:

- Parametrik yöntemler
- Parametrik olmayan yöntemler

Parametrik olmayan yöntemler; sadece temel tanımlar üzerinden hareket eden ve gerçek sonuçlara ulaştığımız yöntemlerdir.

Parametrik yöntemler; varsayımsal bir modelleme ile bu varsayımsal modellere uygun parametreler türeten modeldir.

Eğer sinyal önerilen model için gereken özellikleri sağlıyorsa parametrik yöntemler daha iyi performans gösterirler. Eğer böyle bir uyum söz konusu değilse parametrik olmayan yöntemler tercih edilmelidir. Parametrik yöntemler uzun süreli veri analizlerinde uygun değildir. Güç spektral analizinin sıklıkla kullanıldığı alanlar; elektromanyetik, haberleşme, tıp, ekonomi, meteoroloji, astronomi, radar ve sonar sistemleri ...vb (Taylor 1990).

### 3.2.1.2.2 Güç Spektral Yoğunluğu

Güç spektral yoğunluğu (GSY), sinyalin frekans bandı üzerindeki güç dağılımıdır. Bir sinyalin gücü sinyali oluşturan fonksiyonun karesi alınarak bulunabilir. Fourier dönüşümü olmayan bir sinyalin güç spektral yoğunluğu sinyalin bağlı olduğu  $R(t)$  fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 3.22'de güç spektral yoğunluk denklemi bulunmaktadır.

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau = F(r(\tau)) \quad (3.22)$$

Güç spektral yoğunluğunun ile spektral analiz yöntemleri arasındaki ilişkinin tanımı (3.12)'de yapılmıştır. Eşitlik 3.12'de güç spektral yoğunluğu, kovaryans dizisinin  $(r(k))$  kısa zamanlı Fourier dönüşümü olarak tanımlanmaktadır  $(\phi(w))$ .

$$\phi(W) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} r(k) e^{jwk} \quad (3.23)$$

Ayrıca GSY'nin ikinci tanımı, birinci tanımın varsayımsal ifadesi olarak eşitlik 3.23'de tanımlanmaktadır.

$$\phi(W) = \lim_{N \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N x(n) e^{-jwn} \right|^2 \right\} \quad (3.24)$$

### 3.2.1.2.3 Parametrik Olmayan Yöntemler

Parametrik olmayan güç spektral yoğunluğu (GSY) yöntemleri ikiye ayrılır:

- Korelogram
- Periodogram

Korelogram GSY'nin birinci tanımından, peridogram ise ikinci tanımından türetilmiş denliklerdir.

Eğer sinyal genişliği işlem yapılabilecek düzeyde ise bu yöntemle yüksek çözünürlükte spektral analiz yapabilmektedir. Bu yöntemlerin değişkenliği oldukça yüksektir ve sinyal



uzunluklarının artması ile değişkenlik artmaktadır. Bu durum parametrik olmayan GSY bulma yöntemlerinin daha zayıf karakteristik göstermesine sebep olmaktadır. Bunların en bilinenleri; Barlett ve Welch yöntemleridir.

Periodogram, GSY'nin ikinci tanımından yola çıkılarak türetilmektedir. Olasılığın azalması ve sonsuz toplamların bir noktadan kesilmesi ile ifade edilmektedir ve eşitlik 3.25'te gösterilmektedir.

$$\Phi_p(W) = \sum_{n=1}^N x(n) e^{jwk} \quad (3.25)$$

Korrelogram, GSY'nin birinci tanımından yola çıkılarak türetilmektedir ve eşitlik 3.15'te gösterilmektedir. Burada  $\hat{r}(k)$  otovaryans dizisi çıkarımını ifade etmektedir.

$$\Phi_c(W) = \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} r(k) e^{-jwk} \quad (3.26)$$

#### 3.2.1.2.4 Welch Yöntemi

Bu yöntemi anlayabilmek için öncelikle temelinde yer alan Barlett yöntemi ifade edilmelidir.

Barlett yöntemi, ortalama periodogram alma yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Standart periodogramlara karşın, Barlett yönteminde çözünürlüğü düşürülerek periodogramın değişkenliği azaltılmaktadır. Tüm sinyal üzerinde aynı frekansa karşılık gelen güç bileşenlerinin ortalamaları alınarak spektral yoğunluk çıkarımı yapılır. Her bir pencerenin kesik zamanlı Fourier dönüşümü alınır.

Welch yöntemi ise Barlett yönteminin geliştirilmesi ile ortaya konmuştur. Burada ise pencerelemenin yanında, her pencere üzerinde belirli oranda kesiştirme işlemi yapılır. Bu kesiştirme işlemi pencere fonksiyonunun sinyal merkezinden kenarlarına doğru ilerledikçe meydana getirdiği kayıpların minimize edilmesi için yapılmaktadır.

#### 3.2.1.2.5 Parametrik Yöntemler

Büyük sinyal uzunluklarında parametrik olmayan yöntemler iyi performans sağlarken, sinyal uzunluğu sınırlandırıldığında aynı performans sağlanmamaktadır.

Parametrik yöntemler otoregresyon temeline dayandığından otoregresif bir model seçimi ve sinyal karakteristiğinin bu modele uygunluğu analiz edilmelidir. Otoregresif güç

spektrumunun (AR) temel avantajı sinyal hakkında ön bilgi gerektirmeden karakteristiğini ifade eden spektruma erişilebilmesidir. AR modellemede sinyal dizisi  $s(n)$ , birim varyansa sahip birim gürültü ile sürülen tam kutup filtrenin çıkışı olarak düşünülmektedir. Böylece  $s(n)$  kendinden önceki verilerin ve önceki verilerden bağımsız kabul edilen beyaz gürültü bileşenlerinin ( $e(n)$ ) bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Sinyal eşitlik 3.27'deki gibi ifade edilir (Valens1999).

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a(k)s(n-k) + e(k) \quad (3.27)$$

Eğer "p" modelleme derecesi olarak alınır, güç spektrumu eşitlik 3.28'deki gibi olur.

$$P(f) = \frac{\sigma^2}{|1 + \sum_{k=1}^p a(k)e^{-j2\pi fk}|^2} \quad (3.28)$$

Burada  $\sigma^2$  ifadesi beyaz gürültü varyansı olup sabit bir değerdir. AR spektrum kestirimi korelasyonlu veya ortak etkileşimli matrislerinin çözümlerine dayanmaktadır.

### 3.2.1.2.6 Yule-Walker Yöntemi

Bu güç spektral analiz yöntemi AR modelleme temeline dayalı bir yaklaşım olarak bilinmektedir. Bu yöntemde AR parametreleri, sinyalin özilinti fonksiyonu çıkarımından elde edilir ve ileri yönde çıkarım hatasının minimize edilmesi ile çözüme gidilir. Buna bağlı olarak ortaya çıkan çözüm matrisi eşitlik 3.29'da yer almaktadır.

$$\begin{bmatrix} r(1) & r(2)^* & \dots & r(p)^* \\ r(2) & r(1) & \dots & r(p-1)^* \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ r(p) & \dots & r(2) & r(1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r(1) \\ r(2) \\ \vdots \\ r(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r(2) \\ -r(3) \\ \vdots \\ -r(p+1) \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

AR tabanlı Yule Walker yöntemi ile GSY analizi için öncelikle ortak etkili değişkenliliği hesabı yapılmaktadır. Bunun için eşitlik 3.30'daki denklem kullanılmaktadır. Denklemde  $y$  sinyal örnekleri,  $N$  örnek sayısı cinsinden sinyal uzunluğu,  $k$  ise ortak etkili değişkenliliği indeks olarak tanımlanmaktadır.

$$r(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{t=k+1}^N y(t)y^*(t-k) \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3.30)$$

Yule Walker yönteminde, GSY eşitlik 3.29'dan türetilen AR parametrelerinin eşitlik 3.31'deki denklemde kullanılması ile elde edilmektedir. Denklemde  $f_s$  örnekleme frekans,  $f$  ise fiziksel frekans olarak tanımlanmaktadır.

$$P_{AR}(f) = \frac{1}{f_s} \frac{\epsilon_p}{|1 + \sum_{k=1}^p a_p(k) e^{-2\pi j k f / f_s}|^2} \quad (3.31)$$

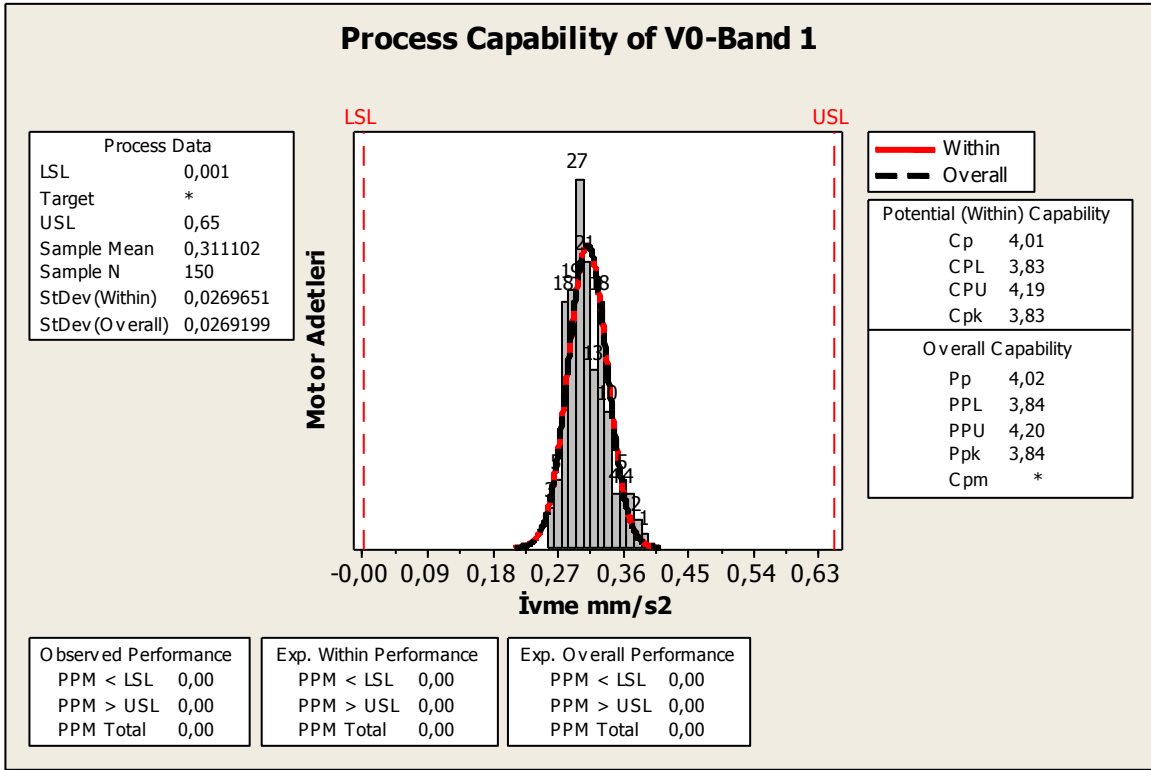
### 3.3 Ölçüm Sistem Yeterliliği Analizi

Ölçüm sistemi yeterliliği analizi, ölçüm yapacağımız sistemin;  $6\sigma$  metodolojisine göre yeterliliğini ispatlamak ve sistemin yapılacak ölçümler için kullanılabilir olduğunu göstermek için yapılmıştır. Kullanılan  $6\sigma$  metodolojisine göre bir ölçüm sisteminin seri üretim hatlarında kullanılabilir olması için; sistem yeterliliğinin  $3,8\sigma$  değerinden daha büyük olması gerekmektedir. Ölçüm sisteminin yeterlilik analizi yapılırken hatalı ve OK olan 150 adetlik motor kümesi kullanılmış ve ölçüm sisteminde yer alan 2 kanala ait toplamda 22 bandın ölçümleri test edilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

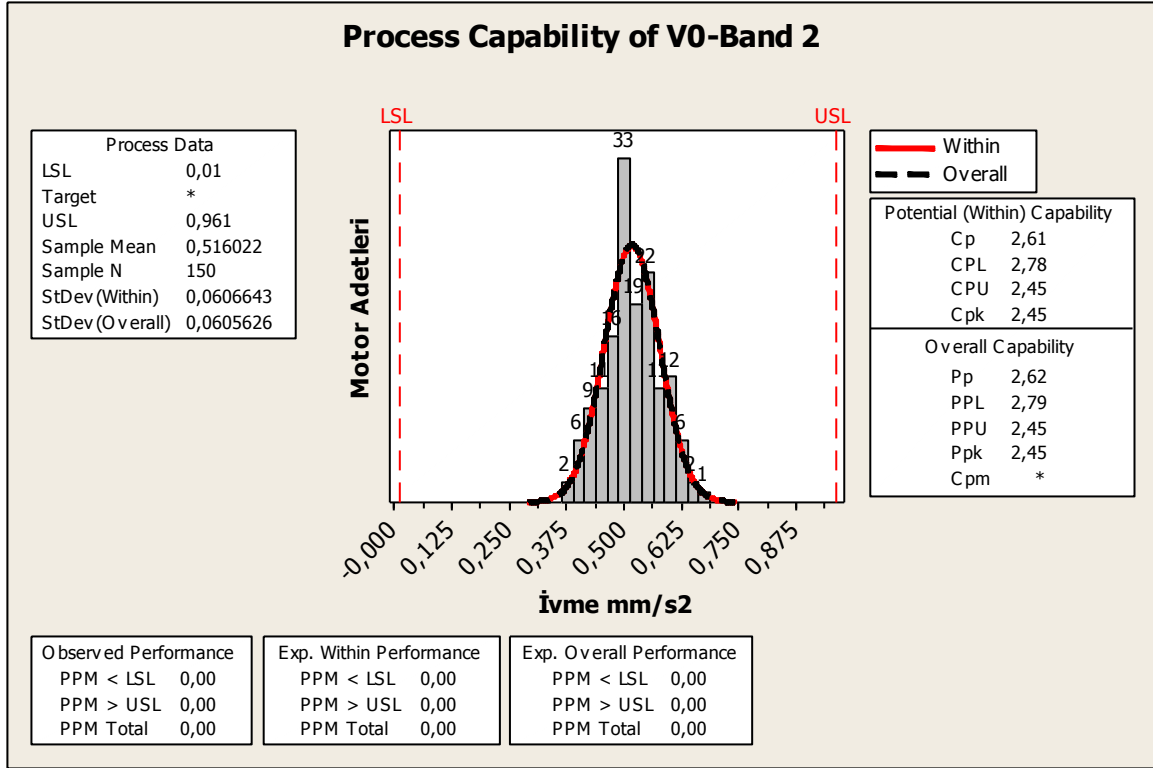
Ölçüm sistemi yeterliliği için yapılan ölçümlerin sonuçları her bir band için Minitab programında incelenmiştir. İncelemelerde grafiklerde yer alan PPL değerinin 1,33 değerinden büyük olması beklenmektedir. Çünkü; istediğimiz sigma seviyesi olan  $3,8\sigma$  değeri  $PPL > 1,33$  eşitsizliğinde sağlanabilmektedir.

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 1 için;  $PPL > 1,33$  olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 1 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,311 ve standart sapmasının 0,0269 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



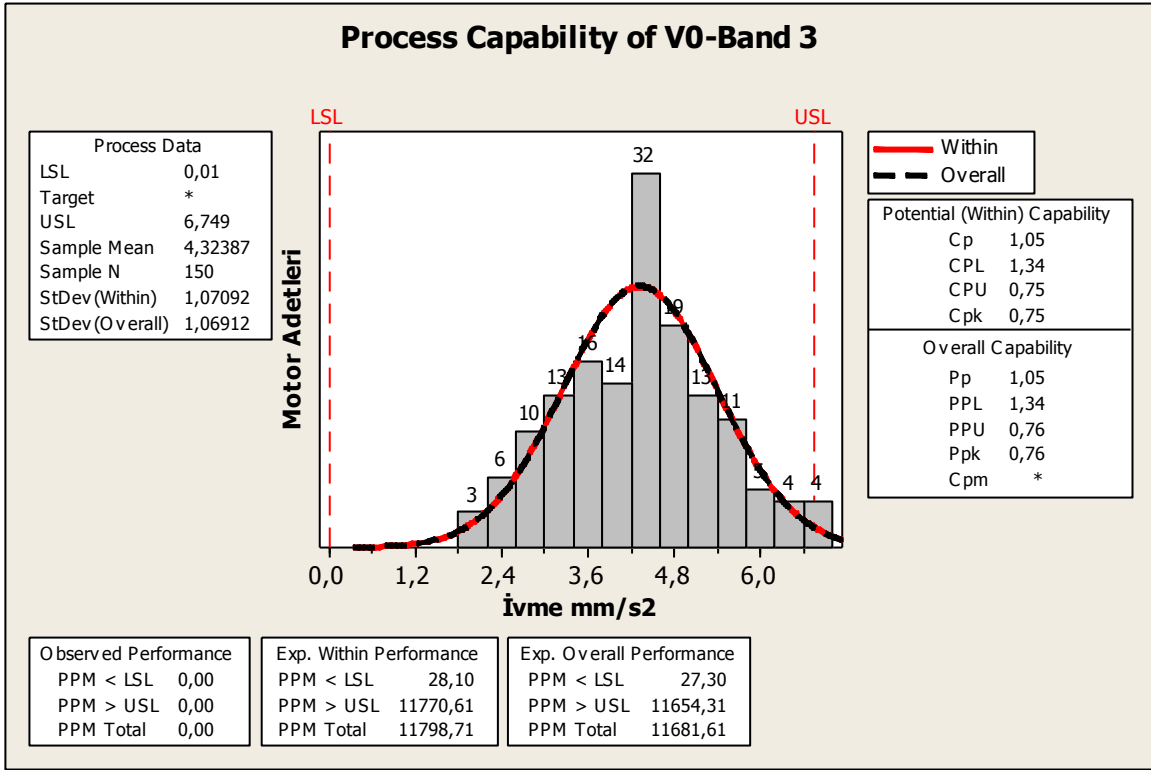
Şekil 4.1 Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 1'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 2 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 2 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,516 ve standart sapmasının 0,0606 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2).



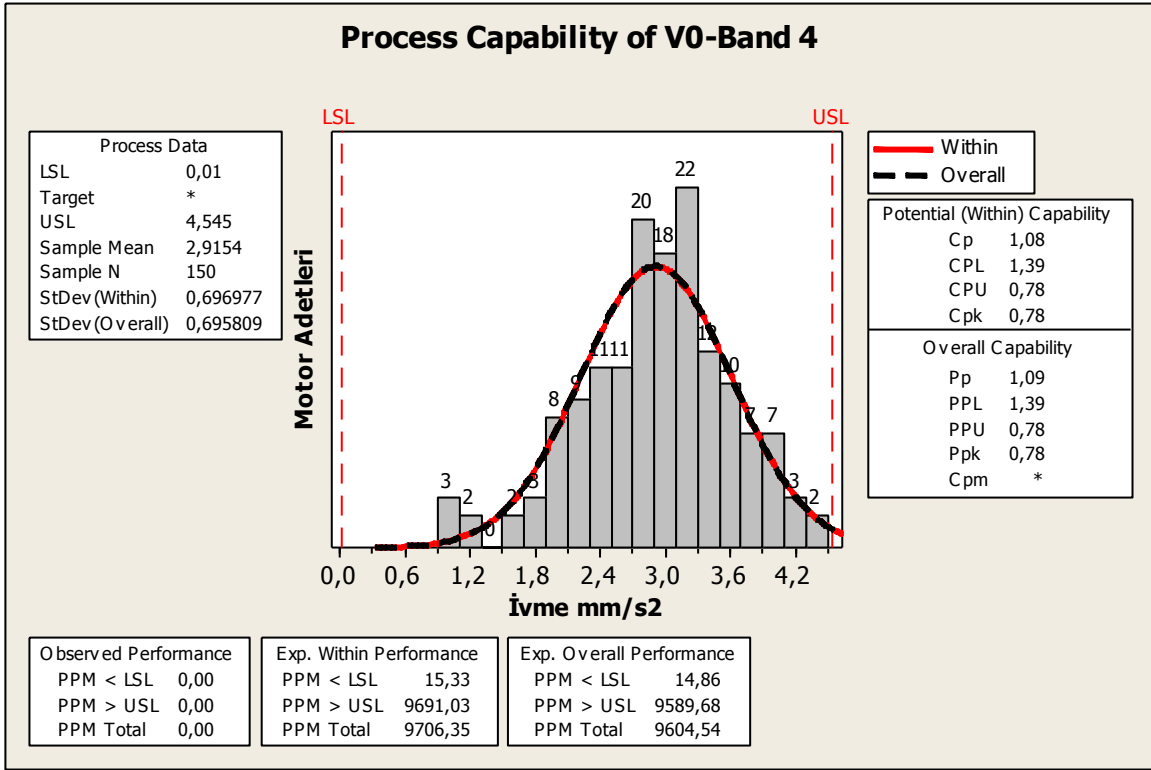
**Şekil 4.2** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 2'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 3 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 3 ölçümlerinin ortalama değerinin 4,323 ve standart sapmasının 1,0709 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3)



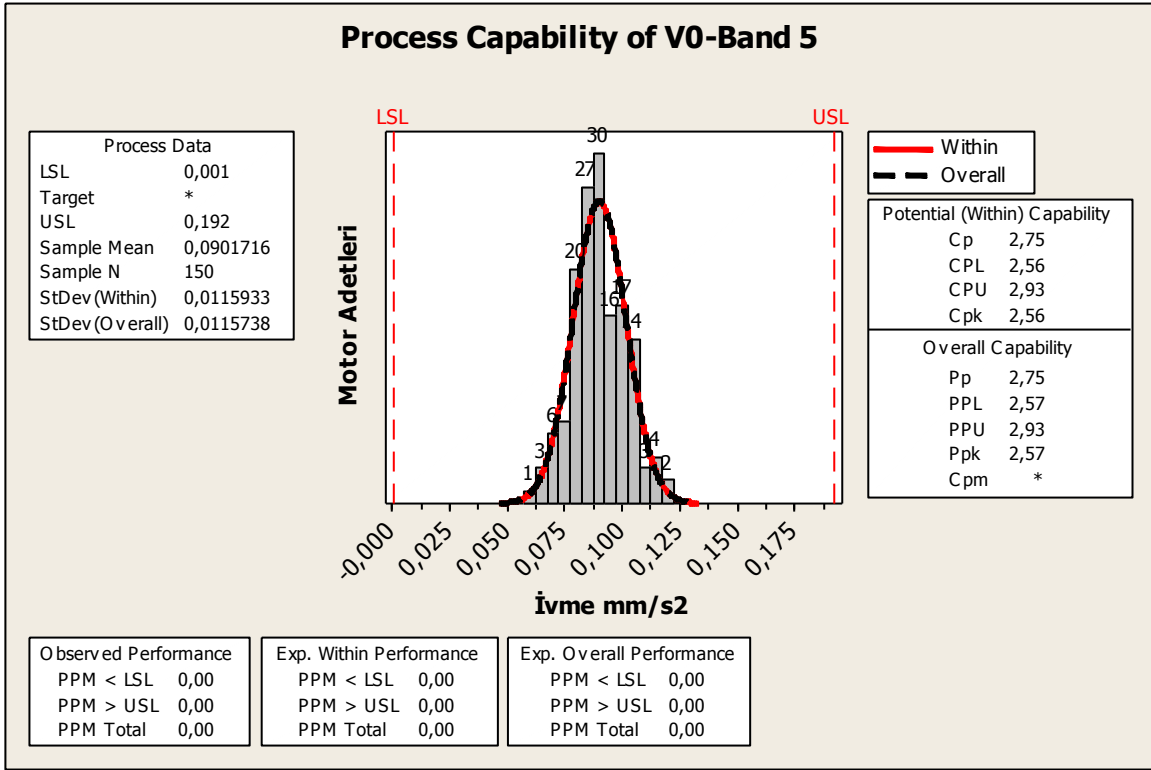
**Şekil 4.3** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 3'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 4 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 4 ölçümlerinin ortalama değerinin 2,915 ve standart sapmasının 0,696 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 4'e ait ölçüm yeterliliği

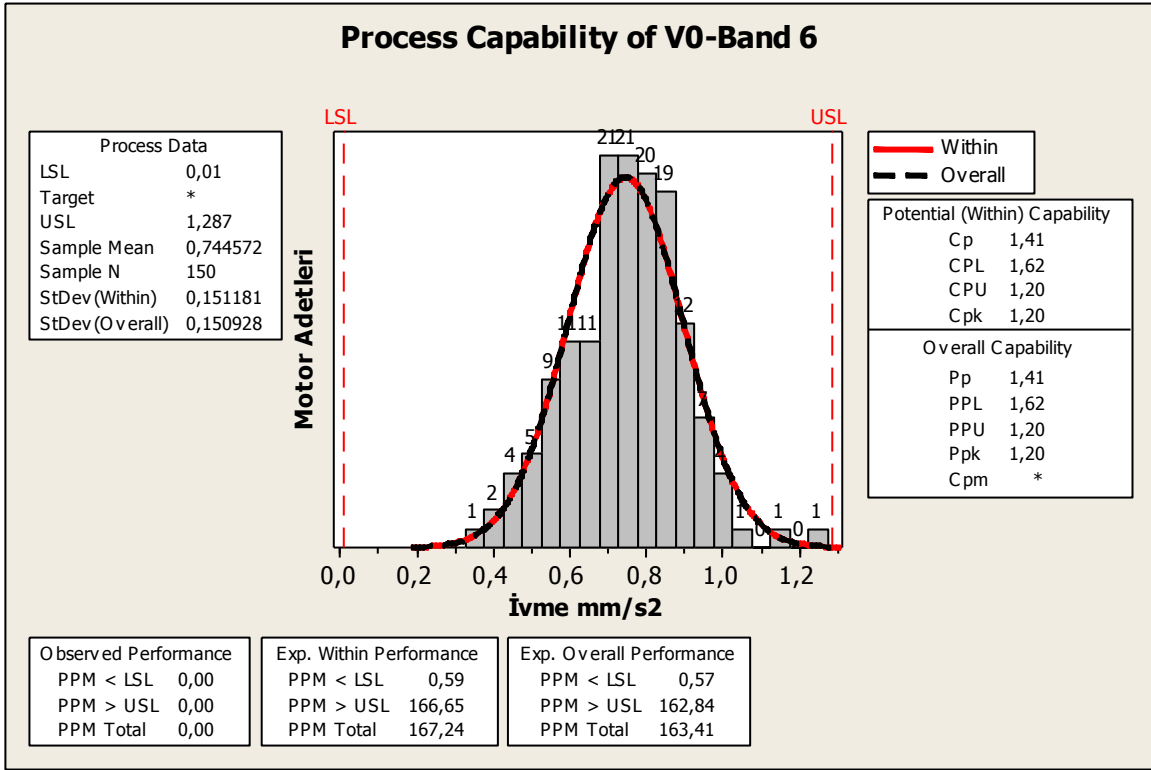
Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 5 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 5 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,09017 ve standart sapmasının 0,0115 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 5'e ait ölçüm yeterliliği

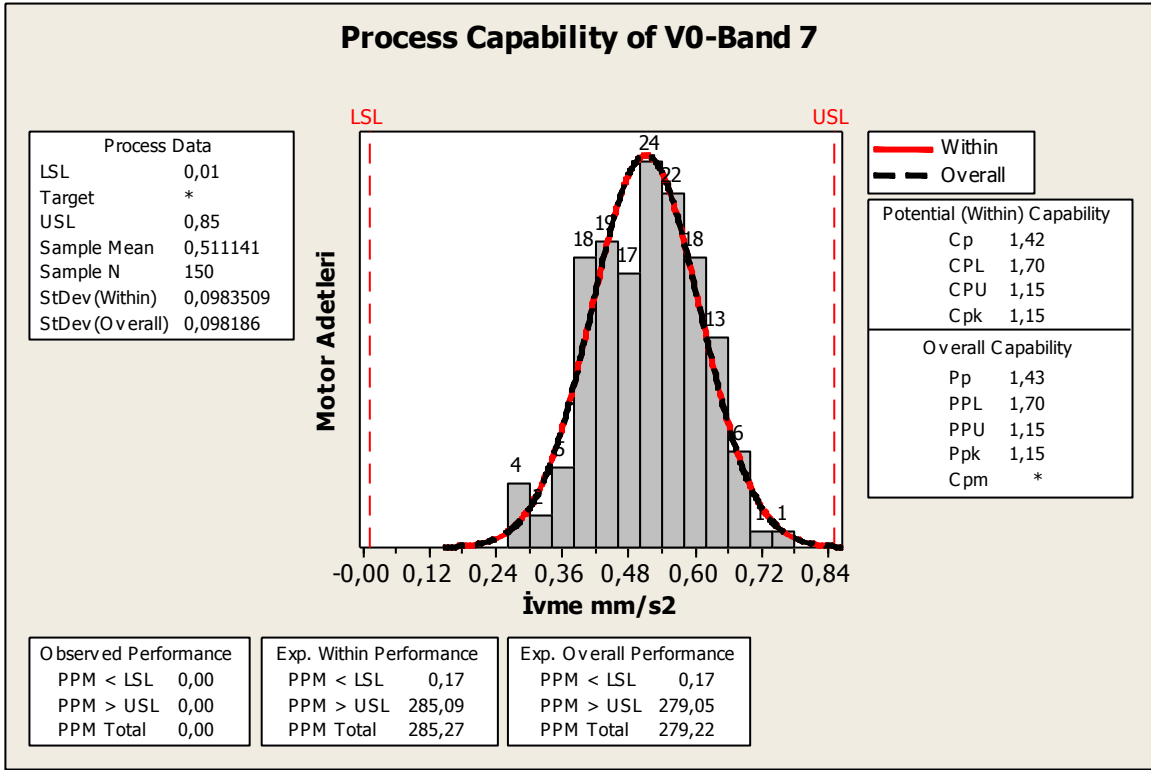
Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 6 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 6 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,7445 ve standart sapmasının 0,1511 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).





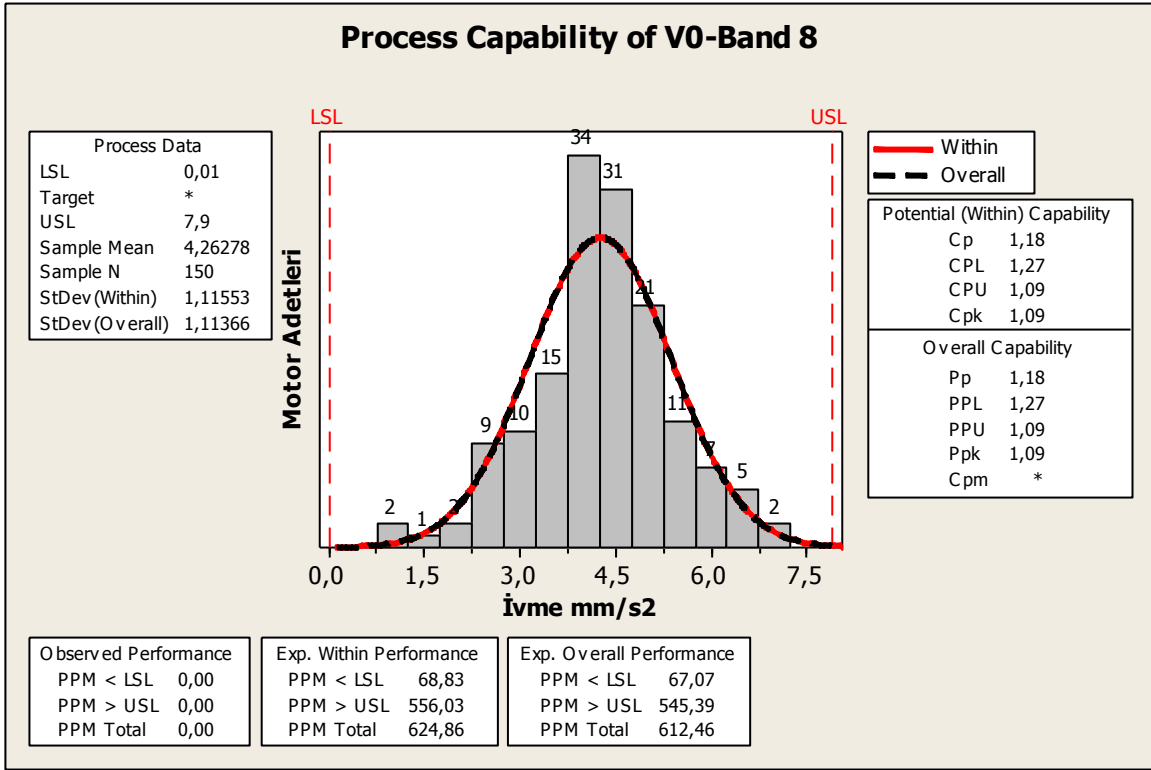
**Şekil 4.6** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 6' e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 7 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 7 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,511 ve standart sapmasının 0,0983 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).



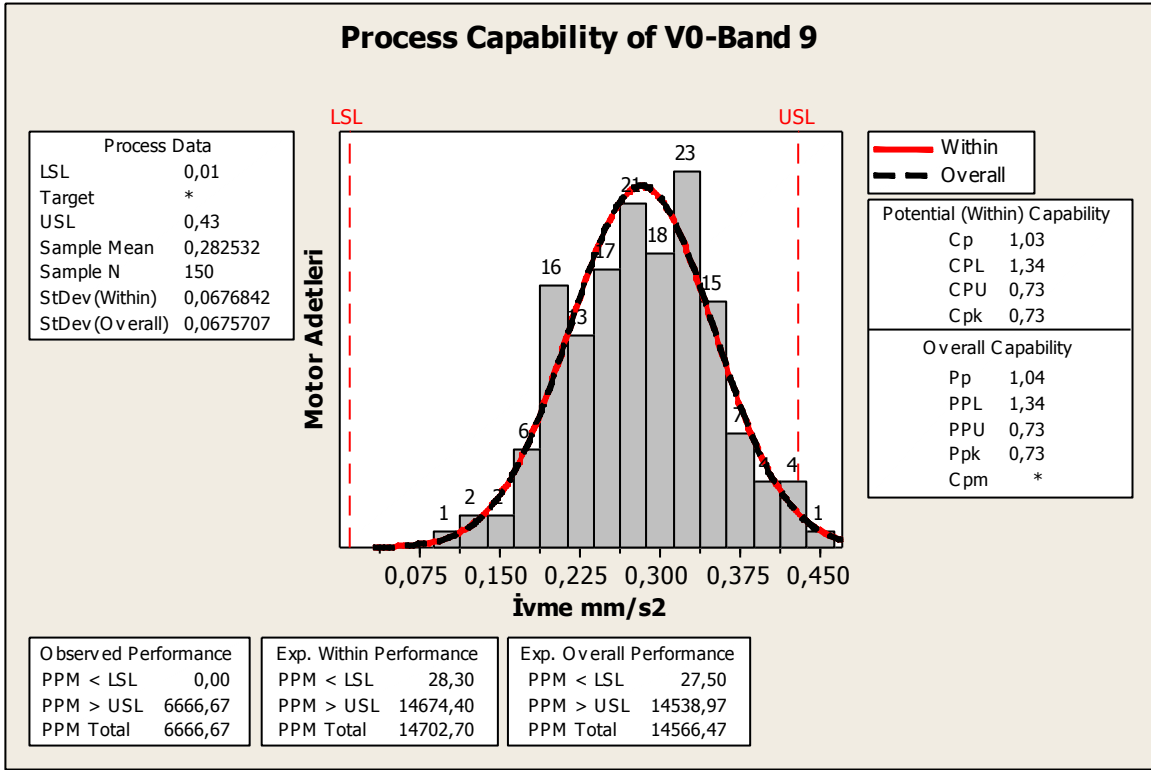
**Şekil 4.7** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 7'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 8 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 8 ölçümlerinin ortalama değerinin 4,262 ve standart sapmasının 1,115 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



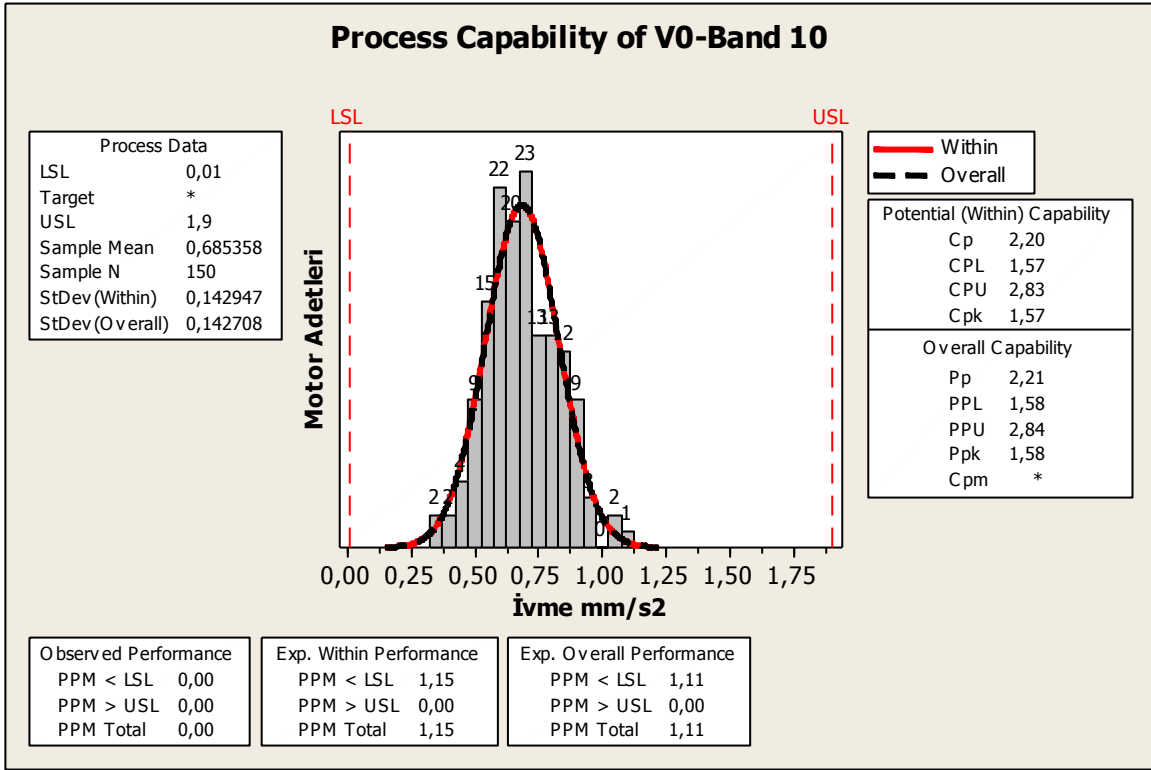
**Şekil 4.8** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 8'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 9 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 9 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,282 ve standart sapmasının 0,0676 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9).



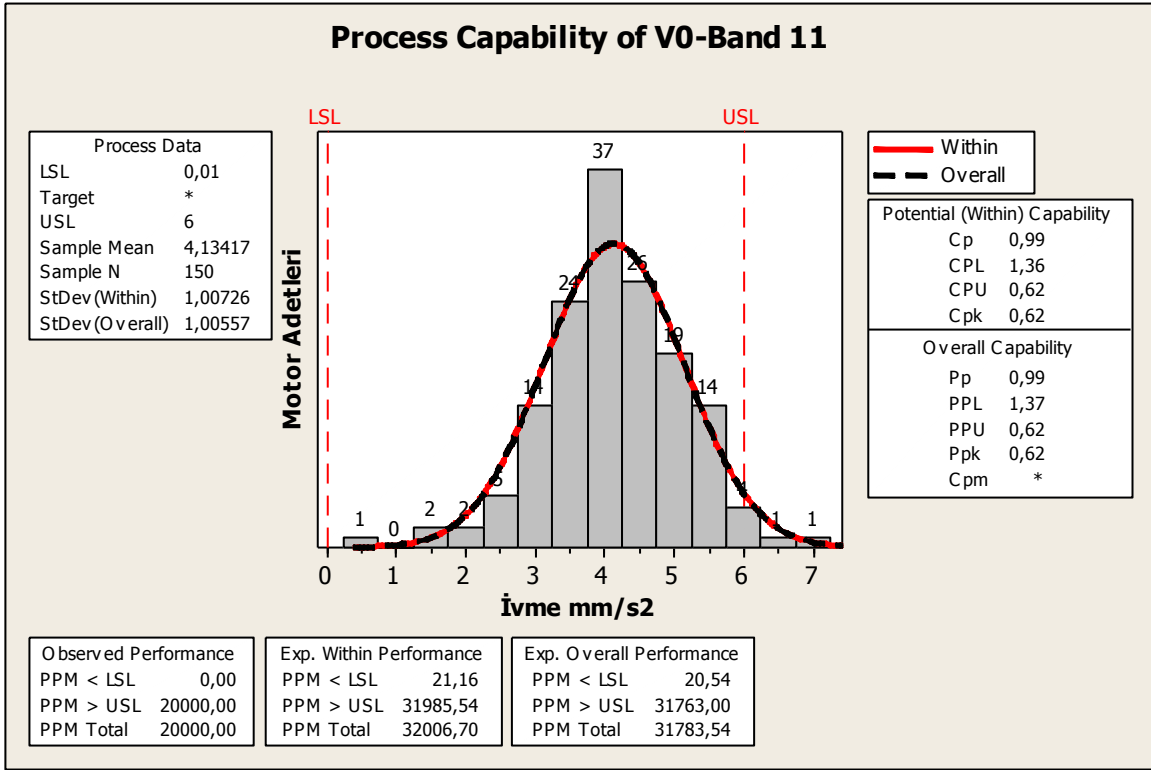
**Şekil 4.9** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 9'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 10 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 10 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,685 ve standart sapmasının 0,1429 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10).



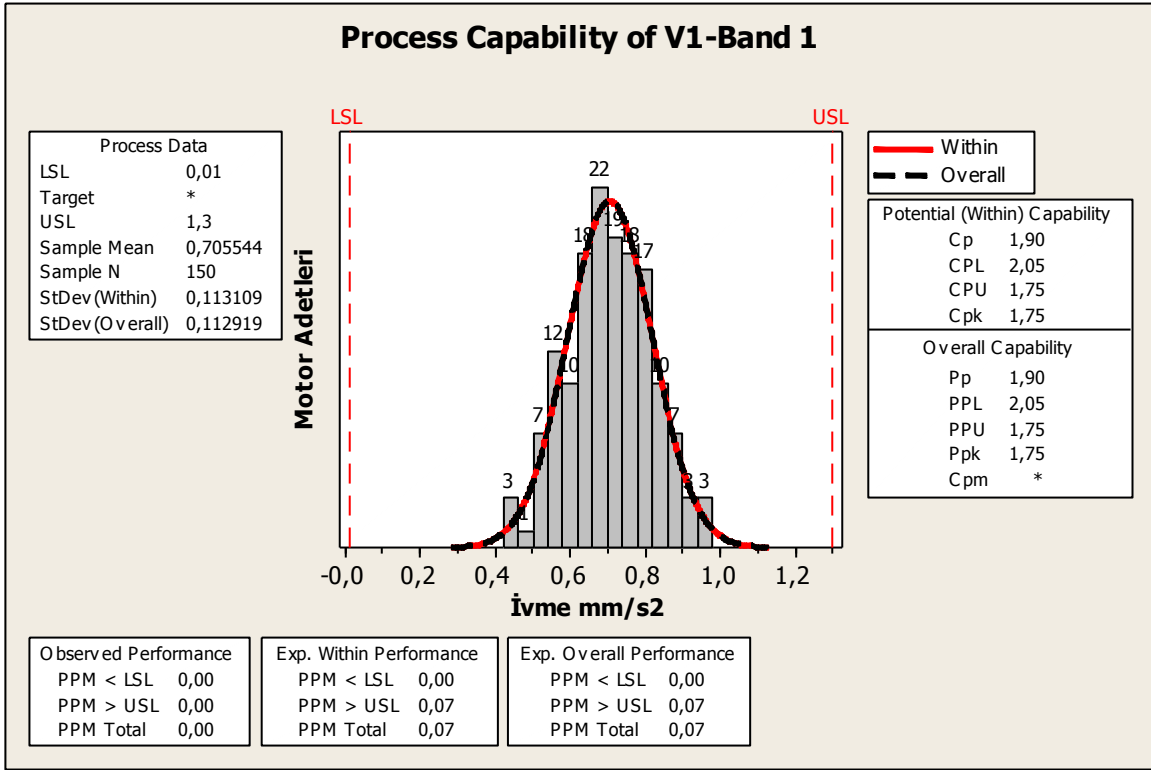
**Şekil 4.10** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 10'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V0-Band 11 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V0-Band 11 ölçümlerinin ortalama değerinin 4,134 ve standart sapmasının 1,007 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11).



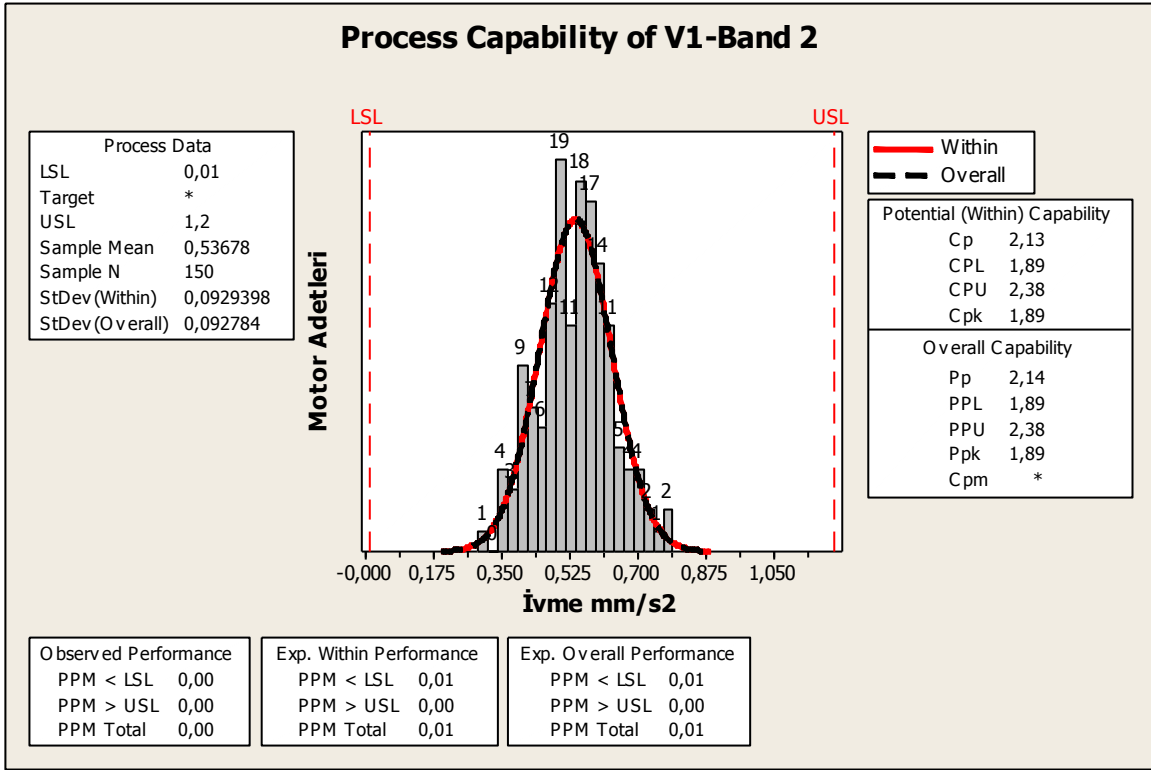
**Şekil 4.11** Titreşim ölçüm sistemi V0- Band 11'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 1 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 1 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,705 ve standart sapmasının 0,113 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12).



**Şekil 4.12** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 1'e ait ölçüm yeterliliği

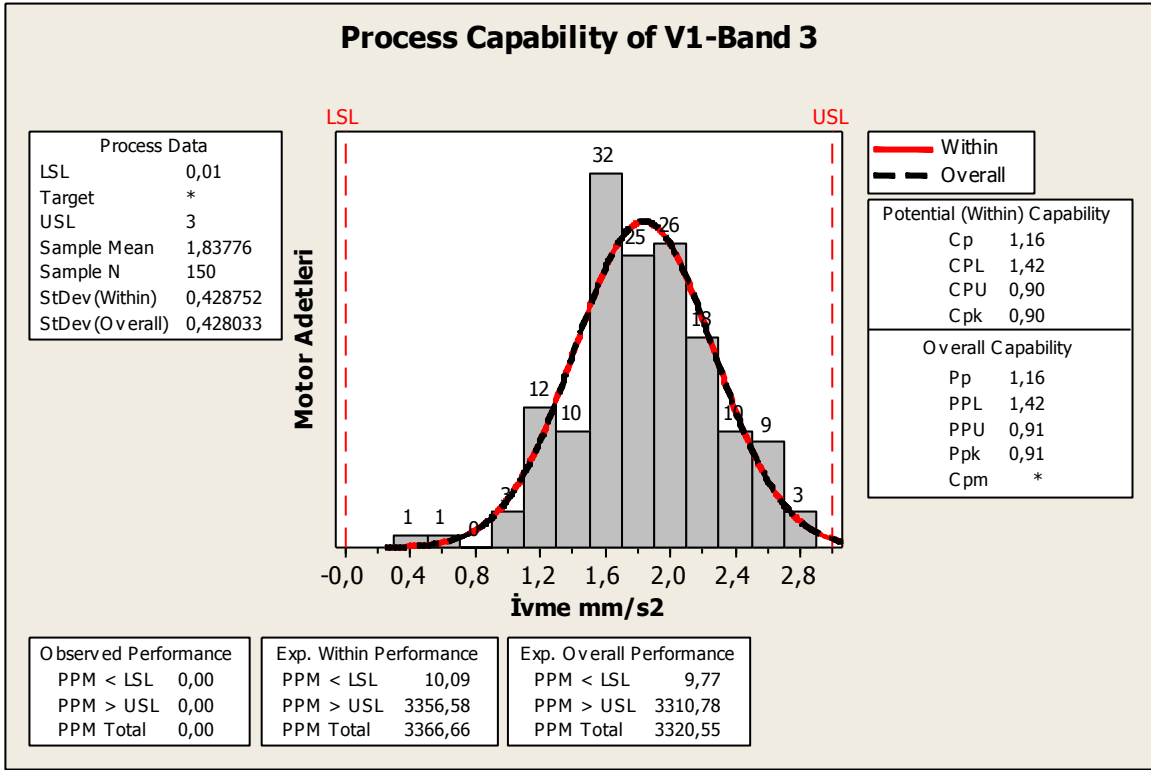
Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 2 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 2 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,536 ve standart sapmasının 0,0929 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.13).



**Şekil 4.13** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 2' e ait ölçüm yeterliliği

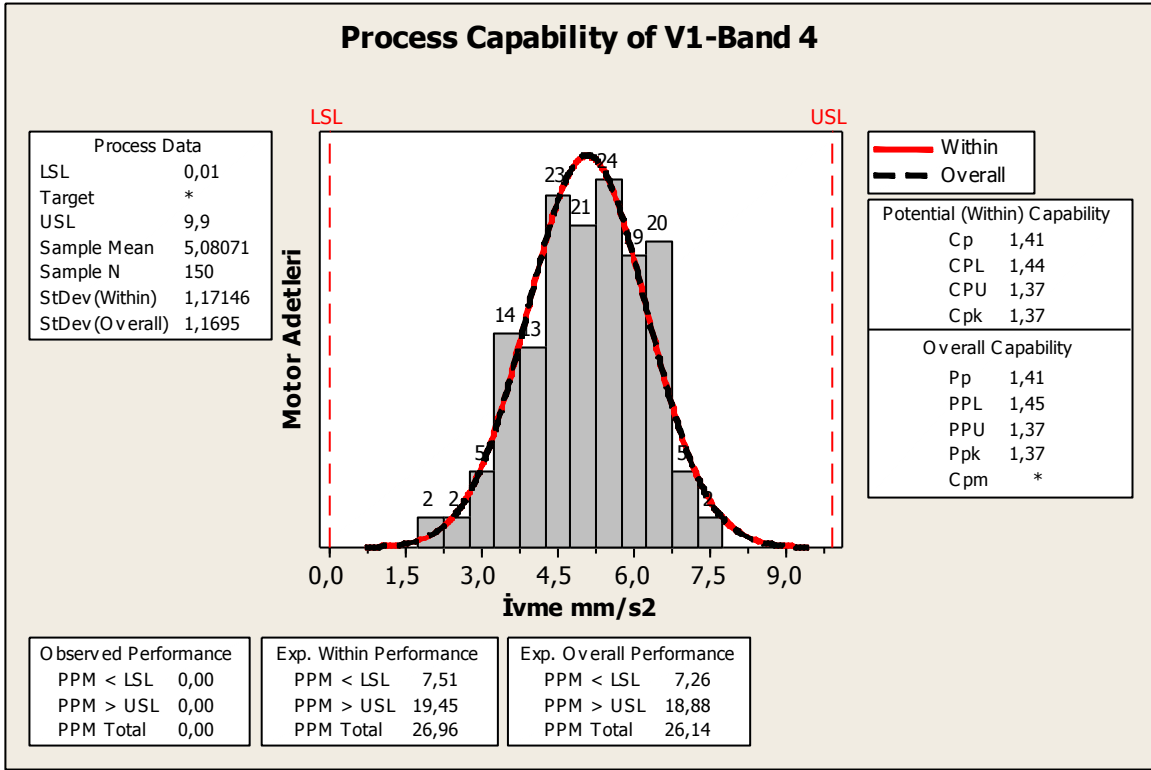
Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 3 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 3 ölçümlerinin ortalama değerinin 1,837 ve standart sapmasının 0,428 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.14).





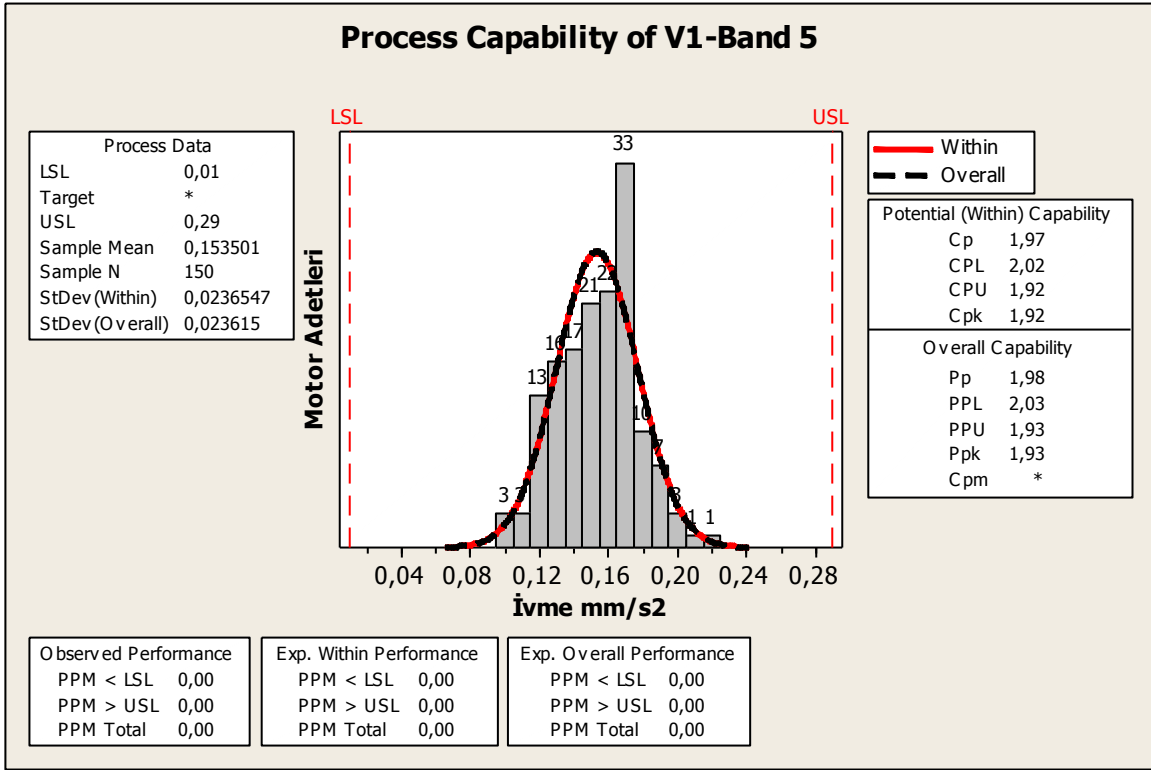
**Şekil 4.14** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 3'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 4 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 4 ölçümlerinin ortalama değerinin 5,080 ve standart sapmasının 1,171 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



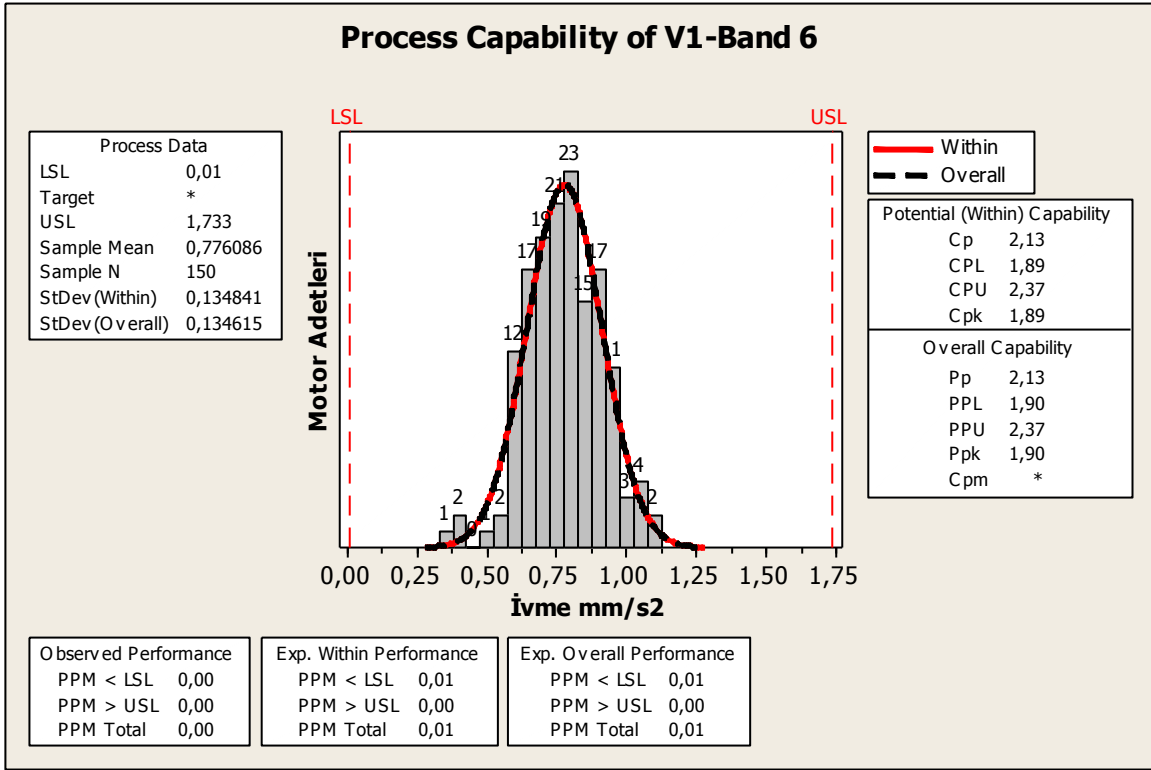
**Şekil 4.15** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 4'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 5 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 5 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,153 ve standart sapmasının 0,236 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16).



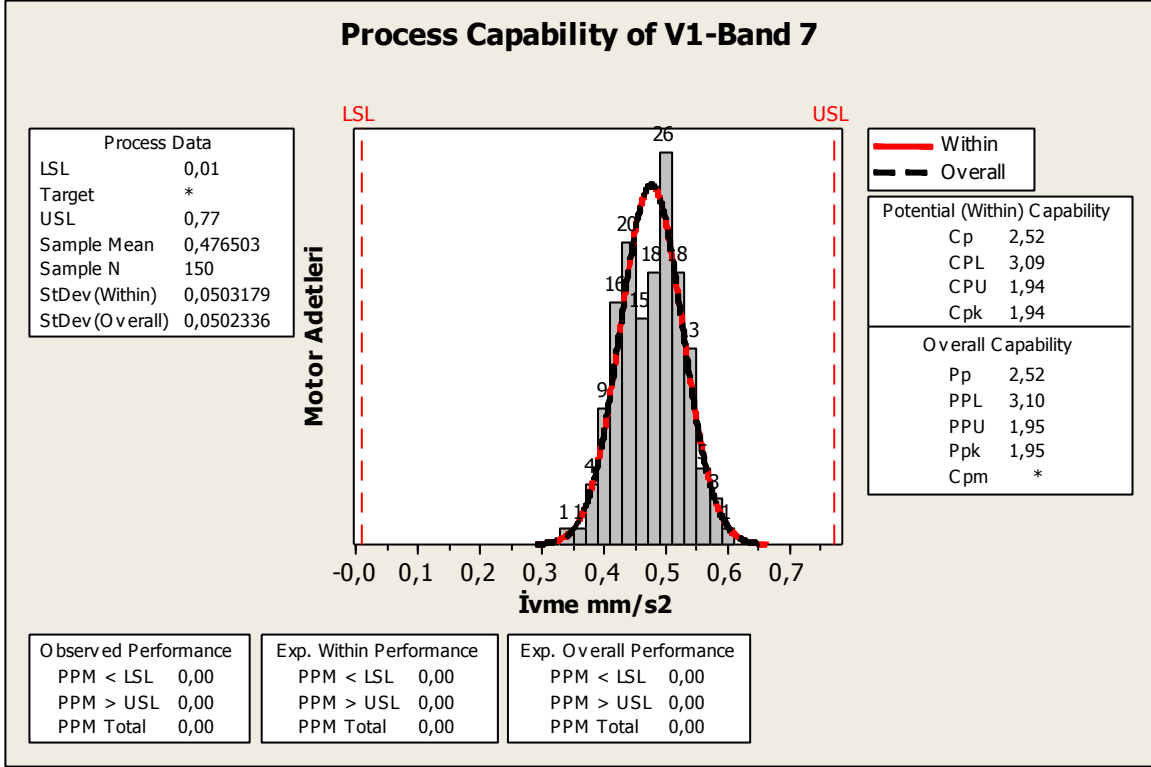
**Şekil 4.16** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 5'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 6 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 6 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,766 ve standart sapmasının 0,134 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.17).



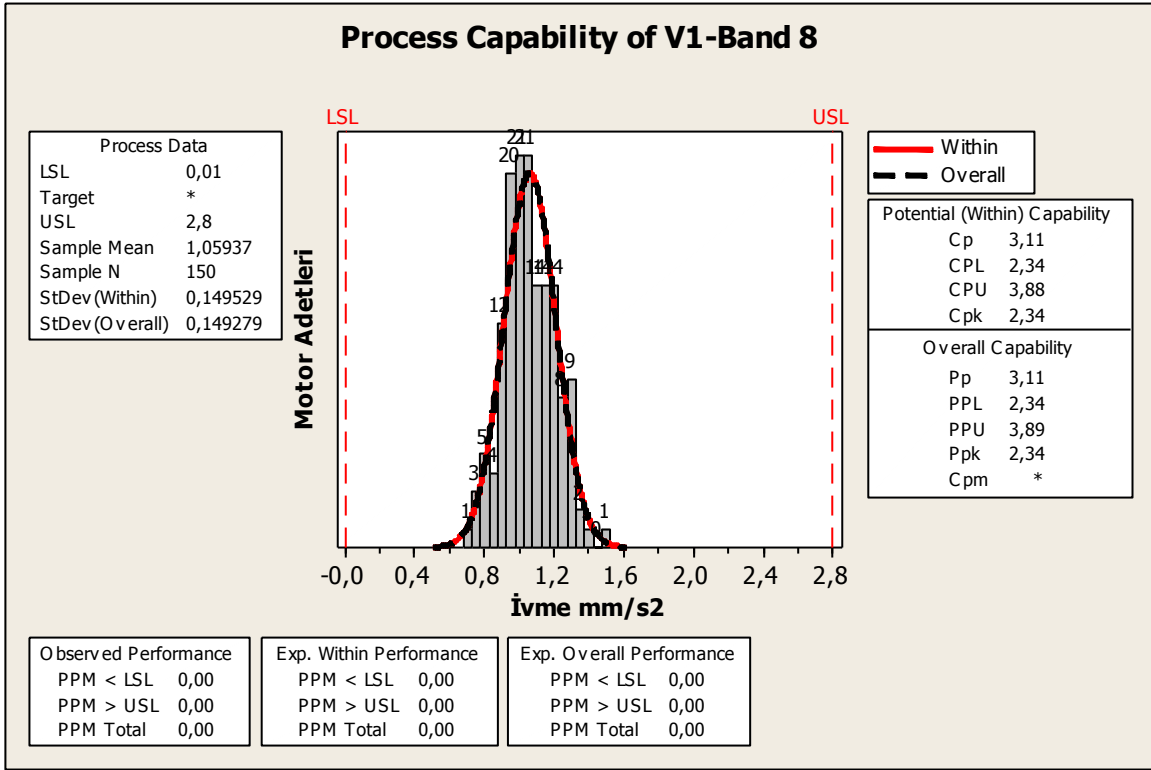
**Şekil 4.17** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 6' e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 7 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 7 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,476 ve standart sapmasının 0,0503 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.18).



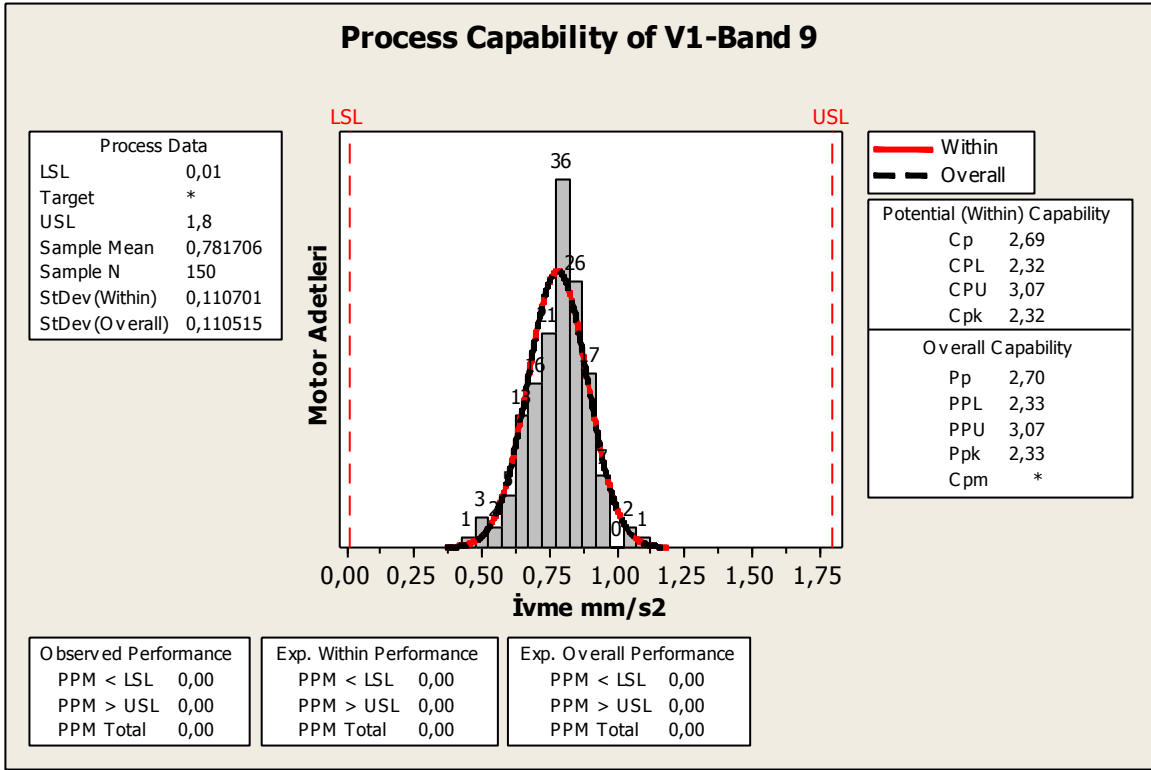
**Şekil 4.18** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 7'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 8 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 8 ölçümlerinin ortalama değerinin 1,059 ve standart sapmasının 0,149 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.19).



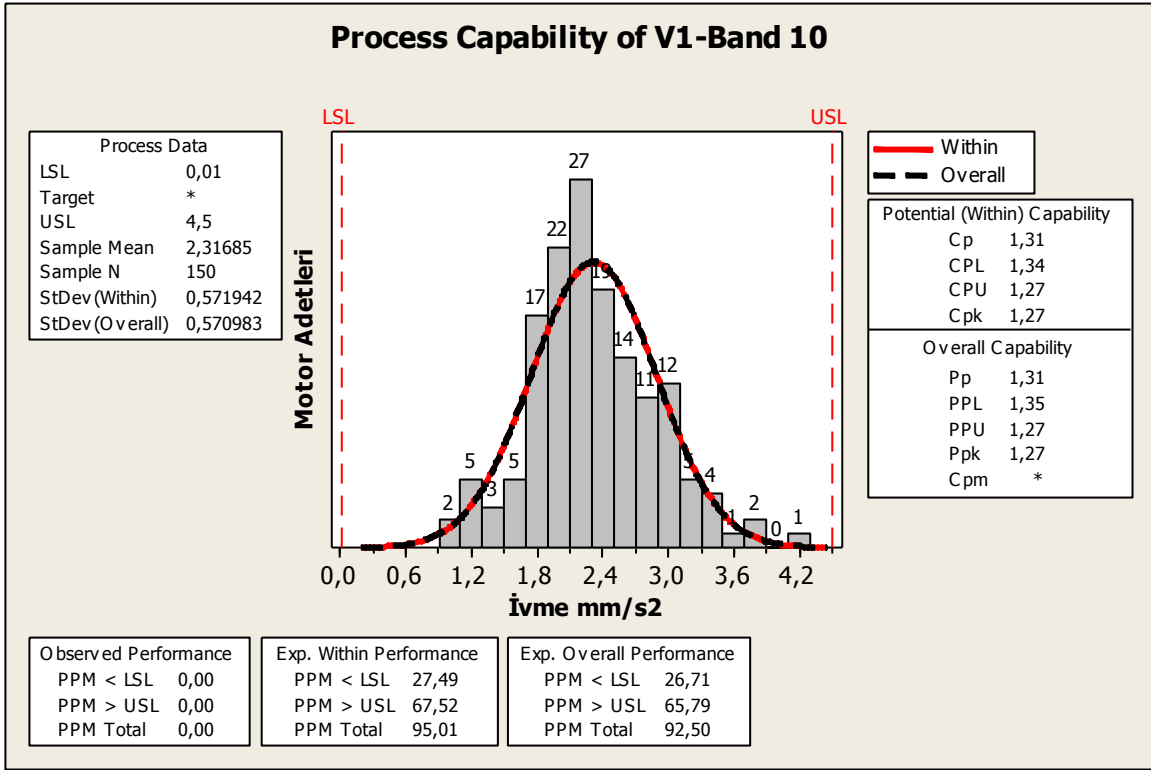
**Şekil 4.19** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 8'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 9 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 9 ölçümlerinin ortalama değerinin 0,781 ve standart sapmasının 0,110 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 9'e ait ölçüm yeterliliği

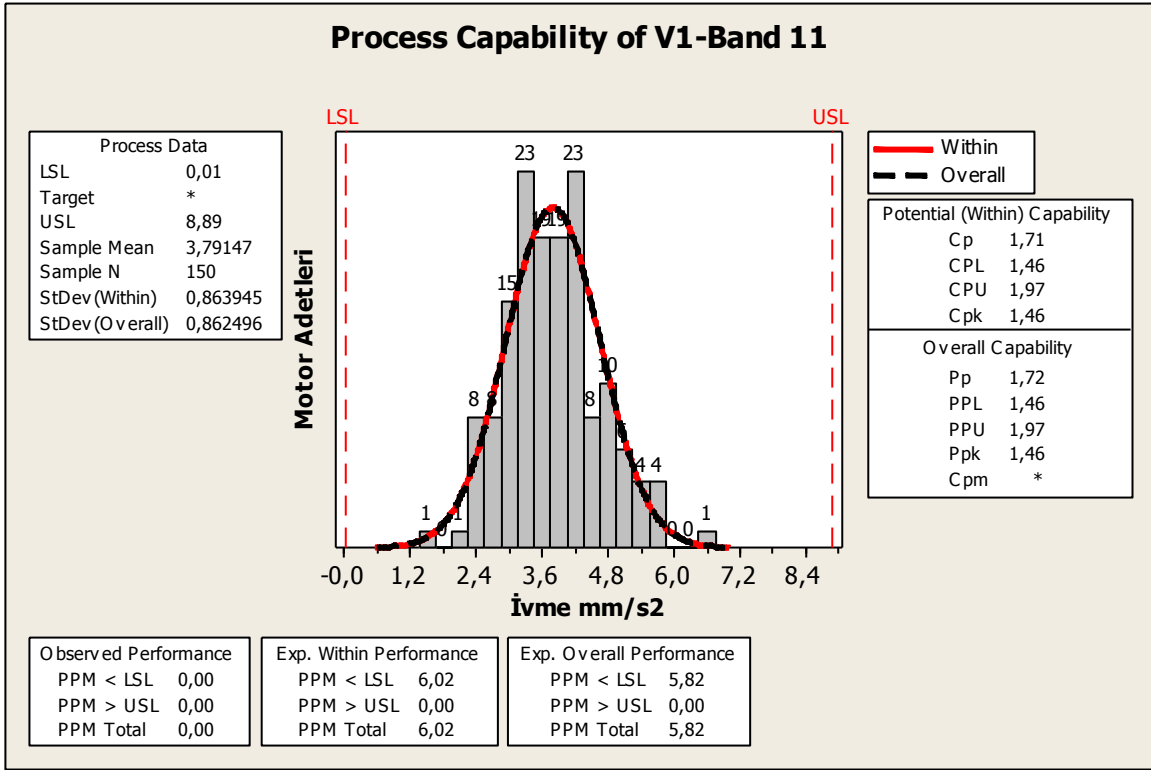
Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 10 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 10 ölçümlerinin ortalama değerinin 2,316 ve standart sapmasının 0,571 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.21).



**Şekil 4.21** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 10'e ait ölçüm yeterliliği

Yapılan ölçüm sonuçlarında alınan verilerin tümü, ölçüm sisteminde yer alan her bir kanal için uygulandığında: V1-Band 11 için; PPL>1,33 olduğundan; ölçüm sistemimizin yeterliliği deney için uygundur diyebiliriz. Ayrıca yapılan ölçümlerden; V1-Band 11 ölçümlerinin ortalama değerinin 3,791 ve standart sapmasının 0,863 olduğu analiz sonucundan görülmektedir. Ölçüm sistemi analizi 150 adet verinin toplanması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).





**Şekil 4.22** Titreşim ölçüm sistemi V1- Band 11'e ait ölçüm yeterliliği

Ölçüm sistemi yeterliliğinin sağlandığı garanti altına alındıktan sonra yapılan motorların tasarım şartlarına uygun olup olmadığının tespiti için her bir bileşenin mekanik olarak tasarım kriterlerine uygun olduğunu ispatlamamız gerekmektedir. Bu sebeple motorun temel bileşenleri olan rotor, kapak ve statorda ölçümler yaptık.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.1a 'de toplamda 100 adet rotor için yanak salgısı, paket üzeri salgı, rotor çekirdek çakma ölçüsü ve çekirdek paket boyu salgısı kontrolleri yapıldı. Yapılan tüm kontrollerde her bir rotor söz konusu 5 parametreden de OKEY olarak geçti ve deney motorlarımızın rotorlarının üretimine başlandı. Tablo 4.1 ve Tablo 4.1a'de her sütun kendi içinde renk kodları ile kodlanmış durumdadır. Bu renk kodları beyaz-yeşil arası olarak değişmektedir. Beyaz hücre rengi bize o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında minimuma yakın ya da minimumda olduğunu, yeşil hücre rengi ise o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında maksimuma yakın ya da maksimum olduğunu belirtir. Bu tanımla beraber şu yorumları yapabiliyoruz; 54 nolu rotorun ÖN-ARKA yanak salgı değerleri ve çekirdek paket boyu değeri

ortalama değerlerde, paket üzeri vergi değeri minimumda ve rotor çekirdek çakma ölçüsünün maksimumda/maksimuma yakın olduğu anlaşılabilmektedir.

Rotor Ölçümleri											
Rotor No	ÖN Yanak Vergisi	ARKA Yanak Vergisi	Paket Üzeri Vergi	Rotor Çekirdek Çakma Ölçüsü	Çekirdek Paket Boyu	Rotor No	ÖN Yanak Vergisi	ARKA Yanak Vergisi	Paket Üzeri Vergi	Rotor Çekirdek Çakma Ölçüsü	Çekirdek Paket Boyu
1	0,17	0,13	0,07	32,92	54,55	26	0,24	0,12	0,07	32,91	54,82
2	0,12	0,16	0,07	32,9	54,86	27	0,13	0,13	0,06	32,9	55,33
3	0,2	0,21	0,07	32,92	55,21	28	0,13	0,08	0,07	32,89	55,12
4	0,26	0,23	0,07	32,98	54,86	29	0,59	0,41	0,07	32,95	55,07
5	0,18	0,21	0,07	32,86	55,02	30	0,11	0,13	0,07	32,9	55,17
6	0,26	0,12	0,08	32,91	55,21	31	0,11	0,3	0,07	32,87	55,2
7	0,15	0,15	0,08	32,9	55,19	32	0,22	0,11	0,06	32,92	54,97
8	0,18	0,17	0,06	32,93	55,46	33	0,22	0,08	0,06	32,94	55,18
9	0,13	0,27	0,07	32,95	54,95	34	0,18	0,12	0,07	32,88	54,92
10	0,13	0,18	0,07	32,88	55,38	35	0,16	0,11	0,08	32,89	54,96
11	0,12	0,25	0,08	32,86	55,17	36	0,24	0,2	0,07	32,92	54,78
12	0,16	0,18	0,07	32,92	55,17	37	0,07	0,15	0,06	32,87	55,36
13	0,18	0,18	0,07	32,89	55,14	38	0,12	0,18	0,06	32,89	54,83
14	0,13	0,19	0,07	32,89	55,02	39	0,11	0,11	0,06	32,93	54,92
15	0,11	0,18	0,08	32,89	55,28	40	0,11	0,11	0,05	32,93	54,66
16	0,13	0,16	0,07	32,89	54,97	41	0,12	0,17	0,07	32,91	54,96
17	0,12	0,18	0,08	32,87	55,17	42	0,21	0,18	0,06	32,9	55,26
18	0,17	0,23	0,08	32,94	55,19	43	0,23	0,17	0,06	32,9	54,77
19	0,12	0,21	0,08	32,98	55,01	44	0,13	0,14	0,06	32,87	55,08
20	0,18	0,15	0,07	32,93	54,82	45	0,22	0,2	0,12	32,92	55,45
21	0,13	0,22	0,07	32,9	55,01	46	0,19	0,2	0,07	32,93	54,91
22	0,16	0,12	0,07	32,88	55,33	47	0,16	0,21	0,08	32,9	55,12
23	0,14	0,18	0,08	32,87	54,93	48	0,18	0,22	0,07	32,9	55,04
24	0,17	0,19	0,06	32,96	55,12	49	0,22	0,21	0,07	32,92	55,23
25	0,14	0,18	0,08	32,92	55,29	50	0,1	0,33	0,06	32,91	55,21

**Çizelge 4.1** Rotor mekanik ölçümleri 1-50 nolu rotorlar

Rotor Ölçümleri											
Rotor No	ÖN Yanak Salgısı	ARKA Yanak Salgısı	Paket Üzeri Salgı	Rotor Çekirdek Çakma Ölçüsü	Çekirdek Paket Boyu	Rotor No	ÖN Yanak Salgısı	ARKA Yanak Salgısı	Paket Üzeri Salgı	Rotor Çekirdek Çakma Ölçüsü	Çekirdek Paket Boyu
51	0,18	0,2	0,07	32,89	55,22	76	0,13	0,21	0,06	32,88	55,32
52	0,09	0,26	0,07	32,961	54,85	77	0,11	0,12	0,07	32,84	54,8
53	0,12	0,23	0,08	32,89	55,22	78	0,11	0,13	0,07	32,9	55,03
54	0,11	0,15	0,05	32,93	54,84	79	0,09	0,2	0,06	32,86	54,64
55	0,12	0,11	0,07	32,92	54,89	80	0,15	0,2	0,07	32,86	55,06
56	0,13	0,16	0,08	32,92	54,75	81	0,14	0,174	0,07	32,88	55,01
57	0,23	0,2	0,07	32,94	54,9	82	0,07	0,17	0,06	32,86	55,16
58	0,22	0,12	0,06	32,89	54,93	83	0,14	0,12	0,07	32,88	54,95
59	0,15	0,14	0,06	32,93	54,97	84	0,14	0,34	0,07	32,92	55,24
60	0,09	0,18	0,06	32,92	55,07	85	0,15	0,11	0,06	32,88	55,07
61	0,24	0,2	0,07	32,81	55,47	86	0,16	0,23	0,07	32,9	55,1
62	0,18	0,13	0,06	32,93	54,53	87	0,09	0,15	0,06	32,87	55,17
63	0,15	0,22	0,07	32,89	55,13	88	0,2	0,21	0,06	32,86	54,64
64	0,14	0,12	0,06	32,91	54,95	89	0,19	0,12	0,06	32,87	54,85
65	0,19	0,17	0,06	32,89	54,79	90	0,13	0,13	0,07	32,9	54,69
66	0,15	0,17	0,06	32,89	54,73	91	0,16	0,11	0,07	32,88	55,19
67	0,24	0,14	0,07	32,9	54,66	92	0,26	0,19	0,06	32,87	54,77
68	0,11	0,17	0,07	32,92	55,03	93	0,23	0,16	0,06	32,94	54,92
69	0,14	0,15	0,06	32,94	55,25	94	0,21	0,22	0,07	32,92	55,26
70	0,15	0,15	0,08	32,88	54,97	95	0,12	0,13	0,06	32,89	55,01
71	0,22	0,15	0,07	32,85	54,87	96	0,3	0,14	0,07	32,87	55,12
72	0,15	0,18	0,07	32,9	54,63	97	0,13	0,14	0,06	32,88	54,71
73	0,22	0,15	0,06	32,89	54,75	98	0,13	0,13	0,07	32,95	55,05
74	0,18	0,23	0,06	32,9	55,31	99	0,23	0,08	0,06	32,94	54,64
75	0,15	0,14	0,07	32,94	54,79	100	0,28	0,15	0,06	32,9	54,86

**Çizelge 4.1a** Rotor mekanik ölçümleri 50-100 nolu rotorlar

Tablo 4.2 ve Tablo 4.2a 'te toplamda 100 adet stator için paket boyu, stator paralelliği ve stator diklik kontrolleri yapıldı. Yapılan tüm kontrollerde her bir stator söz konusu 4 parametreden de OKEY olarak geçti ve deney motorlarımızın statorlarının üretimine başlandı. Tablo 4.2 ve Tablo 4.2a'te her sütun kendi içinde renk kodları ile kodlanmış durumdadır. Bu renk kodları beyaz-yeşil arası olarak değişmektedir. Beyaz hücre rengi bize o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında minimuma yakın ya da minimumda olduğunu, yeşil hücre rengi ise o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında maksimuma yakın ya da maksimum olduğunu belirtmiştir. Bu tanımla beraber şu yorumları yapabiliyoruz; 63 nolu statorun paket boyu ve stator paralelliği değerlerinin ortalamaya yakın, stator paralelliği değerlerinin birinin ortalamasının üstünde ve diğer paralellik değerlerinin maksimuma yakın geldiği görülmektedir.

Stator Ölçümleri									
Stator No	Paket Boyu	Stator Paralellliği	Stator Dikliği	Stator Dikliği	Stator No	Paket Boyu	Stator Paralellliği	Stator Dikliği	Stator Dikliği
1	60,24	0,07	0,11	0,1	26	59,93	0,09	0,1	0,12
2	60,2	0,14	0,05	0,01	27	59,86	0,15	0,03	0,07
3	60,29	0,08	0,1	0,12	28	60,08	0,06	0,09	0,12
4	60,29	0,08	0,06	0,16	29	60,02	0,11	0,05	0,02
5	60,22	0,13	0,05	0,02	30	60,08	0,13	0,14	0,11
6	59,87	0,1	0,06	0,11	31	60,18	0,1	0,1	0,13
7	59,78	0,13	0,06	0,01	32	60,23	0,06	0,1	0,12
8	60,1	0,07	0,11	0,1	33	60,15	0,12	0,02	0,05
9	60,03	0,12	0,05	0,02	34	60,19	0,11	0,12	0,1
10	59,87	0,13	0,06	0,02	35	60,11	0,14	0,02	0,06
11	59,95	0,06	0,11	0,14	36	60,17	0,06	0,11	0,1
12	60,19	0,08	0,11	0,11	37	60,08	0,14	0,03	0,06
13	60,11	0,12	0,02	0,05	38	60,11	0,07	0,1	0,11
14	60,2	0,1	0,19	0,01	39	60,05	0,13	0,05	0,02
15	60,11	0,13	0,03	0,06	40	59,97	0,06	0,12	0,11
16	59,86	0,11	0,05	0,01	41	59,88	0,13	0,02	0,05
17	59,95	0,07	0,08	0,12	42	60,02	0,08	0,1	0,13
18	60,15	0,09	0,08	0,1	43	59,93	0,11	0,05	0,02
19	60,07	0,12	0,03	0,05	44	60,11	0,05	0,11	0,1
20	59,9	0,06	0,05	0,15	45	60,02	0,11	0,05	0,02
21	59,83	0,11	0,04	0,07	46	60,06	0,09	0,11	0,1
22	60,04	0,09	0,06	0,15	47	59,97	0,12	0,04	0,02
23	59,76	0,14	0,04	0,07	48	59,82	0,11	0,05	0,01
24	60,23	0,06	0,12	0,11	49	59,92	0,05	0,07	0,13
25	60,15	0,12	0,05	0,01	50	60,17	0,1	0,11	0,09

Çizelge 4.2 Stator mekanik ölçümleri 1-50 nolu statorlar

Stator Ölçümleri									
Stator No	Paket Boyu	Stator Paralellliği	Stator Dikliği	Stator Dikliği	Stator No	Paket Boyu	Stator Paralellliği	Stator Dikliği	Stator Dikliği
51	59,9	0,11	0,09	0,05	76	59,88	0,11	0,08	0,05
52	59,87	0,11	0,19	0,01	77	59,98	0,04	0,08	0,14
53	59,8	0,11	0,08	0,04	78	59,92	0,09	0,06	0,04
54	59,94	0,11	0,13	0,12	79	59,72	0,09	0,07	0,05
55	60,14	0,06	0,1	0,14	80	59,8	0,11	0,14	0,1
56	60,04	0,1	0,06	0,03	81	59,7	0,05	0,1	0,15
57	59,82	0,09	0,08	0,05	82	59,63	0,1	0,05	0,07
58	59,92	0,09	0,08	0,04	83	59,9	0,1	0,13	0,08
59	59,57	0,08	0,08	0,05	84	59,82	0,1	0,08	0,05
60	60,02	0,06	0,1	0,12	85	60,01	0,07	0,13	0,13
61	59,63	0,11	0,07	0,04	86	59,88	0,12	0,05	0,08
62	59,65	0,09	0,12	0,1	87	59,95	0,09	0,14	0,1
63	59,75	0,07	0,12	0,14	88	59,86	0,12	0,06	0,09
64	59,82	0,05	0,12	0,11	89	59,96	0,09	0,12	0,14
65	60,05	0,08	0,12	0,1	90	59,86	0,12	0,07	0,04
66	59,96	0,09	0,08	0,02	91	59,86	0,1	0,08	0,13
67	59,92	0,08	0,13	0,13	92	59,77	0,11	0,08	0,05
68	59,84	0,06	0,06	0,12	93	59,94	0,11	0,09	0,04
69	59,87	0,05	0,12	0,11	94	59,59	0,14	0,06	0,1
70	59,75	0,12	0,05	0,04	95	59,7	0,11	0,14	0,12
71	59,97	0,08	0,11	0,08	96	59,95	0,06	0,12	0,13
72	59,87	0,1	0,06	0,03	97	59,69	0,12	0,07	0,04
73	59,71	0,05	0,09	0,14	98	59,87	0,11	0,18	0,06
74	59,63	0,1	0,08	0,04	99	59,77	0,06	0,11	0,13
75	59,99	0,12	0,09	0,16	100	59,67	0,06	0,12	0,13

Çizelge 4.2a Stator mekanik ölçümleri 50-100 nolu statorlar

Tablo 4.3 ve Tablo 4.3a 'te toplamda 100 çift kapak için stator oturma yüzeylerinin maksimum ve minimum ovalite miktarları ölçülmüştür. Yapılan tüm kontrollerde her bir kapak söz konusu 2 parametreden de OKEY olarak geçti ve deney motorlarımızın kapak gruplarının üretimine başlandı. Tablo 4.3 ve Tablo 4.3a'te her sütun kendi içinde renk kodları ile kodlanmış durumdadır. Bu renk kodları beyaz-yeşil arası olarak değişmektedir. Beyaz hücre rengi bize o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında minimuma yakın ya da minimumda olduğunu, yeşil hücre rengi ise o hücrede yer alan değerlerin toplam değerler arasında maksimuma yakın ya da maksimum olduğunu belirtir. Bu tanımla beraber şu yorumları yapabiliyoruz; 99 nolu KT kapağın ovalite minimum değerinin tüm kapaklar içinde minimumda olduğu, ovalite maksimum değerinin ise tüm ÖN kapak ovalite maksimum ölçümleri arasında minimum değere yakın olduğu görülmektedir.

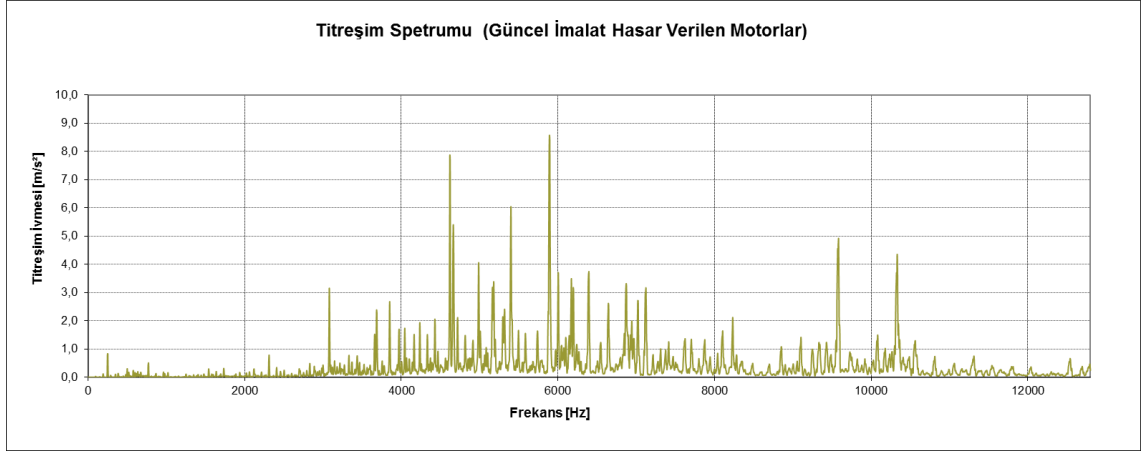
Kapak Ölçümleri															
ÖN Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ARKA Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ÖN Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ARKA Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark
1	35,00	35,01	0,003	1	35,00	35,01	0,004	26	35,00	35,01	0,003	26	35,00	35,01	0,002
2	35,00	35,01	0,003	2	35,00	35,01	0,003	27	35,00	35,01	0,003	27	35,01	35,01	0,002
3	35,00	35,01	0,003	3	35,00	35,01	0,002	28	35,01	35,01	0,003	28	35,00	35,01	0,002
4	35,01	35,01	0,002	4	35,00	35,01	0,002	29	35,01	35,01	0,004	29	35,00	35,01	0,003
5	35,01	35,01	0,002	5	35,00	35,01	0,002	30	35,01	35,01	0,003	30	35,01	35,01	0,004
6	35,01	35,01	0,003	6	35,01	35,01	0,002	31	35,00	35,01	0,004	31	35,01	35,01	0,002
7	35,01	35,01	0,002	7	35,01	35,01	0,002	32	35,00	35,01	0,003	32	35,00	35,01	0,002
8	35,00	35,01	0,004	8	35,01	35,01	0,003	33	35,00	35,01	0,005	33	35,00	35,01	0,004
9	35,00	35,01	0,002	9	35,01	35,01	0,003	34	35,00	35,01	0,004	34	35,01	35,01	0,003
10	35,00	35,01	0,002	10	35,01	35,01	0,003	35	35,01	35,01	0,001	35	35,00	35,01	0,005
11	35,00	35,01	0,002	11	35,00	35,01	0,002	36	35,01	35,01	0,003	36	35,00	35,01	0,003
12	35,01	35,01	0,001	12	35,00	35,01	0,004	37	35,01	35,01	0,001	37	35,01	35,01	0,003
13	35,01	35,01	0,001	13	35,00	35,01	0,003	38	35,00	35,01	0,002	38	35,00	35,01	0,002
14	35,00	35,01	0,003	14	35,00	35,01	0,001	39	35,01	35,01	0,002	39	35,00	35,01	0,003
15	35,00	35,01	0,004	15	35,00	35,01	0,003	40	35,00	35,00	0,002	40	35,01	35,01	0,003
16	35,01	35,01	0,001	16	35,00	35,01	0,002	41	35,00	35,01	0,003	41	35,01	35,01	0,004
17	35,01	35,01	0,002	17	35,01	35,01	0,003	42	35,00	35,00	0,002	42	35,01	35,01	0,002
18	35,01	35,01	0,002	18	35,00	35,01	0,005	43	35,00	35,01	0,002	43	35,01	35,01	0,002
19	35,00	35,01	0,004	19	35,00	35,01	0,002	44	35,00	35,01	0,002	44	35,00	35,01	0,002
20	35,01	35,01	0,002	20	35,00	35,01	0,003	45	35,00	35,01	0,002	45	35,00	35,01	0,002
21	35,00	35,01	0,003	21	35,00	35,01	0,003	46	35,00	35,01	0,006	46	35,00	35,01	0,003
22	35,00	35,01	0,002	22	35,00	35,01	0,002	47	35,00	35,01	0,005	47	35,00	35,01	0,004
23	35,01	35,01	0,003	23	35,00	35,01	0,004	48	35,01	35,01	0,002	48	35,01	35,01	0,002
24	35,00	35,01	0,003	24	35,00	35,01	0,002	49	35,00	35,01	0,004	49	35,00	35,01	0,002
25	35,01	35,01	0,002	25	35,01	35,01	0,001	50	35,004	35,006	0,002	50	35,01	35,01	0,00

**Çizelge 4.3** ÖN ve ARKA kapak mekanik ölçümleri 1-50 nolu kapaklar

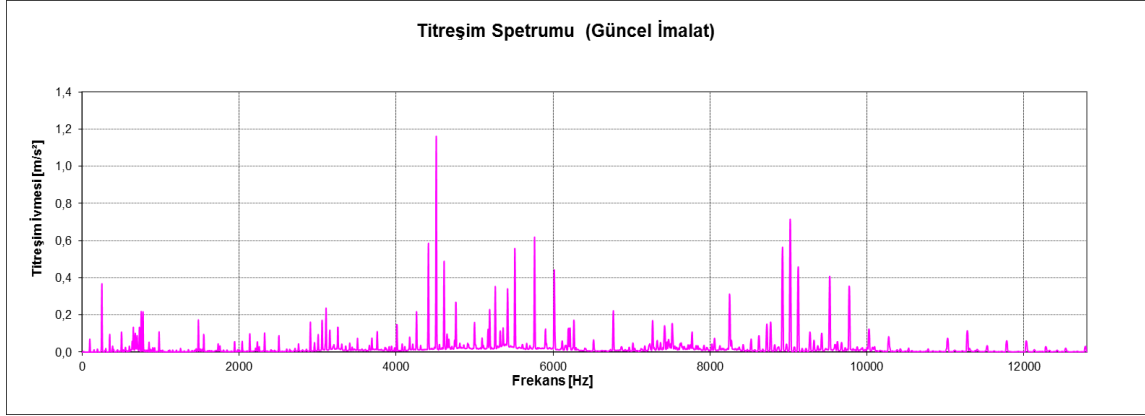
Kapak Ölçümleri															
ÖN Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ARKA Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ÖN Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark	ARKA Kapak No	Ovalite min.	Ovalite max.	Fark
51	35,00	35,01	0,002	51	35,01	35,01	0,002	76	35,01	35,01	0,002	76	35,01	35,01	0,001
52	35,00	35,01	0,005	52	35,01	35,01	0,002	77	35,00	35,01	0,005	77	35,01	35,01	0,003
53	35,01	35,01	0,002	53	35,00	35,01	0,003	78	35,01	35,01	0,002	78	35,00	35,01	0,002
54	35,00	35,01	0,002	54	35,00	35,01	0,004	79	35,00	35,01	0,003	79	35,00	35,01	0,002
55	35,00	35,01	0,001	55	35,01	35,01	0,003	80	35,01	35,01	0,003	80	35,00	35,01	0,003
56	35,00	35,01	0,004	56	35,01	35,01	0,004	81	35,00	35,01	0,004	81	35,00	35,01	0,003
57	35,00	35,01	0,005	57	35,00	35,01	0,003	82	35,00	35,01	0,003	82	35,00	35,01	0,003
58	35,01	35,01	0,001	58	35,00	35,01	0,005	83	35,01	35,01	0,003	83	35,00	35,01	0,004
59	35,00	35,01	0,003	59	35,00	35,01	0,002	84	35,00	35,01	0,002	84	35,01	35,01	0,003
60	35,01	35,01	0,002	60	35,00	35,01	0,003	85	35,01	35,01	0,001	85	35,01	35,01	0,003
61	35,01	35,01	0,003	61	35,00	35,01	0,002	86	35,00	35,01	0,004	86	35,01	35,01	0,002
62	35,01	35,01	0,002	62	35,01	35,01	0,002	87	35,00	35,01	0,004	87	35,00	35,01	0,002
63	35,00	35,01	0,003	63	35,00	35,01	0,002	88	35,00	35,01	0,004	88	35,00	35,01	0,002
64	35,00	35,01	0,005	64	35,01	35,01	0,002	89	35,00	35,01	0,003	89	35,00	35,01	0,004
65	35,00	35,01	0,004	65	35,00	35,01	0,002	90	35,01	35,01	0,003	90	35,01	35,01	0,003
66	35,00	35,01	0,002	66	35,01	35,01	0,002	91	35,00	35,01	0,003	91	35,01	35,01	0,003
67	35,00	35,01	0,002	67	35,01	35,01	0,003	92	35,00	35,01	0,002	92	35,00	35,01	0,003
68	35,00	35,01	0,002	68	35,01	35,01	0,001	93	35,00	35,01	0,003	93	35,01	35,01	0,002
69	35,01	35,01	0,002	69	35,01	35,01	0,003	94	35,00	35,01	0,003	94	35,00	35,01	0,002
70	35,00	35,01	0,002	70	35,00	35,01	0,004	95	35,00	35,01	0,002	95	35,00	35,01	0,004
71	35,00	35,01	0,003	71	35,01	35,01	0,003	96	35,00	35,01	0,003	96	35,00	35,01	0,005
72	35,00	35,01	0,004	72	35,01	35,01	0,002	97	35,00	35,01	0,004	97	35,00	35,01	0,003
73	35,01	35,01	0,003	73	35,00	35,01	0,003	98	35,01	35,01	0,002	98	35,00	35,01	0,004
74	35,00	35,01	0,003	74	35,00	35,01	0,003	99	35,00	35,01	0,003	99	35,00	35,01	0,005
75	35,00	35,01	0,004	75	35,00	35,01	0,003	100	35,00	35,01	0,002	100	35,00	35,01	0,004

**Çizelge 4.3a** ÖN ve ARKA kapak mekanik ölçümleri 1-50 nolu kapaklar

Bu çalışmada çamaşır makinalarında kullanılan üniversal tip fırçalı elektrik motorunun üretim süreci sırasında oluşan mekanik-tolerans hataların titreşim parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üniversal motorun devirleri doğru akım seri motorlarında olduğu gibi yükte değiştiği tespit edilmiştir. Boştaki devir sayısı 15000-20000 dev/dk 'ya kadar çıkabilmiştir. Boşta devir sayısını sınırlayan etmenlerin sürtünme, titreşim ve ventilasyon kayıpları olduğu saptanmıştır. Düzgün çalışan ve çeşitli deformasyonları bulunan motorların titreşim sonuçları incelendiğinde; mekanik ölçü hatalarına bağlı değişimlerin şekil 4.23'te toplam ivme değeri  $35,60 \text{ mm/s}^2$  değerinde olduğu ve hatasız motora ait verilerin aynı ölçümde şekil 4.24'te toplam ivme değerinin  $3,06 \text{ mm/s}^2$  olduğu saptanmıştır. Hatalı motorun mekanik ölçümleri normal üretimde olması gereken mekanik ölçüler ile kıyaslandığında motorun rotorunun ÖN salgı değerinin  $0,59 \text{ mm}$  olduğu görülmüştür. Bu hatanın mil çakma aparatının alt ve üst yüzeylerinin paralel olmamasında dolayı olduğu tespit edilmiştir.

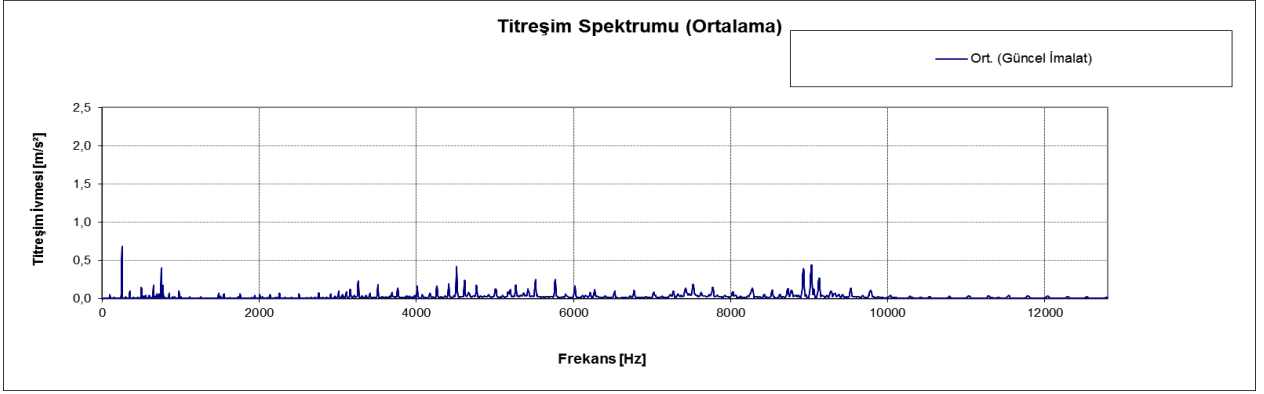


Şekil 4.23 Hatalı motorun ivme-frekans grafiği

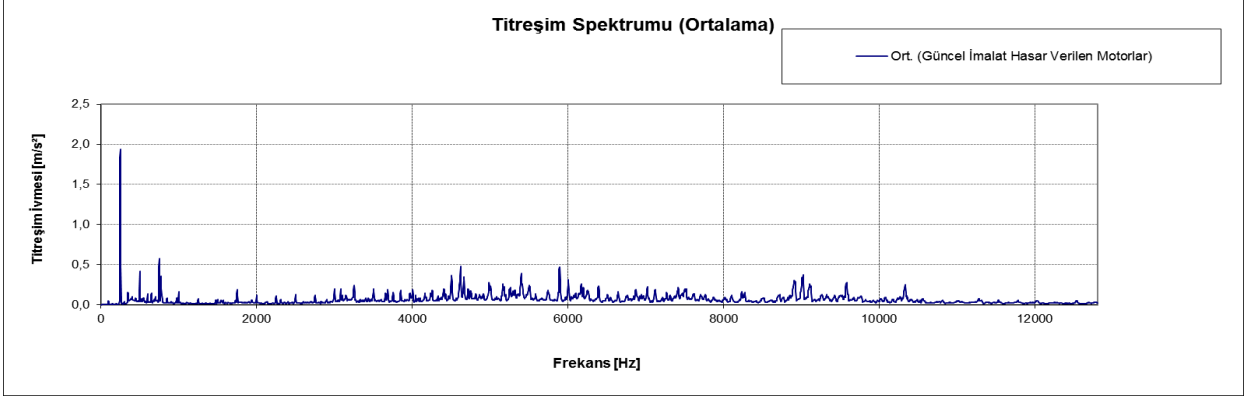


Şekil 4.24 Hasarsız Motorun İvme-Frekans Grafiği

Hasarlı ve hasarsız motor ikilisi incelendiğinde ise Şekil 4.25'te toplam titreşim seviyesi  $3.20\text{mm/s}^2$  iken şekil 4.26'da toplam titreşim seviyesinin  $7.10\text{mm/s}^2$  olduğunu görüyoruz. Motorlar birleştirilmiş halinden parçalarına ayrılıp mekanik ölçümler yapıldığında ise hatalı olan motorun rotorundaki yanak salgılarının ve çakma ölçülerinin maksimumda olduğunu gördük. Aynı zamanda hasarın 248 Hz değerinde ve  $1.84\text{mm/s}^2$  büyüklüğünde etki yarattığı Şekil 4.26'da görülmektedir.



**Şekil 4.25** Hasarsız motorun ortalama ivme-frekans grafiği  
Toplam Seviye:3.20mm/s<sup>2</sup>

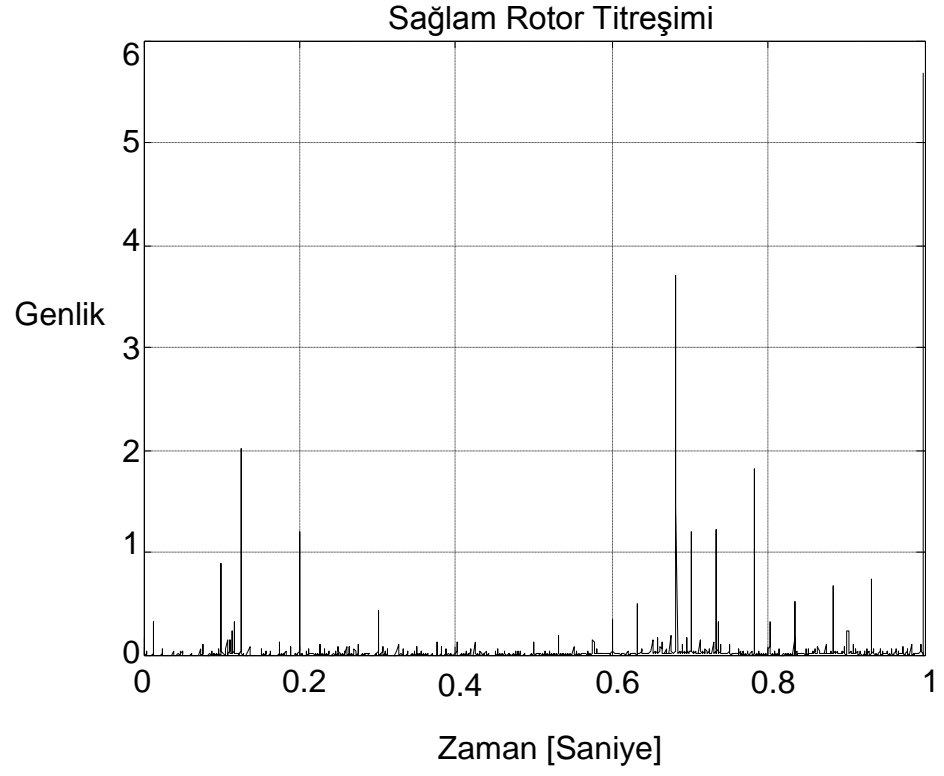


**Şekil 4.26** Hasarlı motorun ortalama ivme-frekans grafiği  
Toplam Seviye:7.10m/s<sup>2</sup>

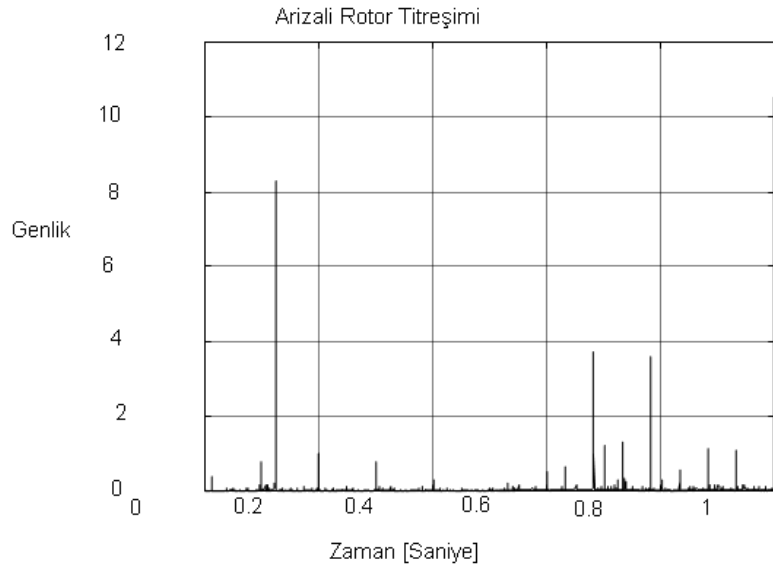
Sadece rotor arızası kaynaklı örneklem ile yola çıkılarak yapılan FFT analizi, dalgacık analizi ve güç spektrum analizleri ile hasarlı motor ile normal üretim şartlarına göre SAĞLAM motor arasındaki farklar belirgin biçimde görülmüştür.

Şekil 4.27’de sağlam rotora ait titreşim grafiği görülmekte olup, bu grafikte yer alan verileri arızalı rotorda yer alan tepe değerlerden çıkararak ya da bu grafikte elde edilen değerleri arızalı olduğu bilinen rotordaki (Şekil 4.28) titreşim verilerinden çıkararak, arızalı rotordaki belirgin titreşim farklılıklarını görebiliyoruz. Tüm titreşim verilerine uygulanan dalgacık analizi ile hasarın 0.16 sn’sinde olduğunu ve hasar sebebiyle oluşan hatanın 8.1mm/s<sup>2</sup> değerinde olduğunu görebiliyoruz.



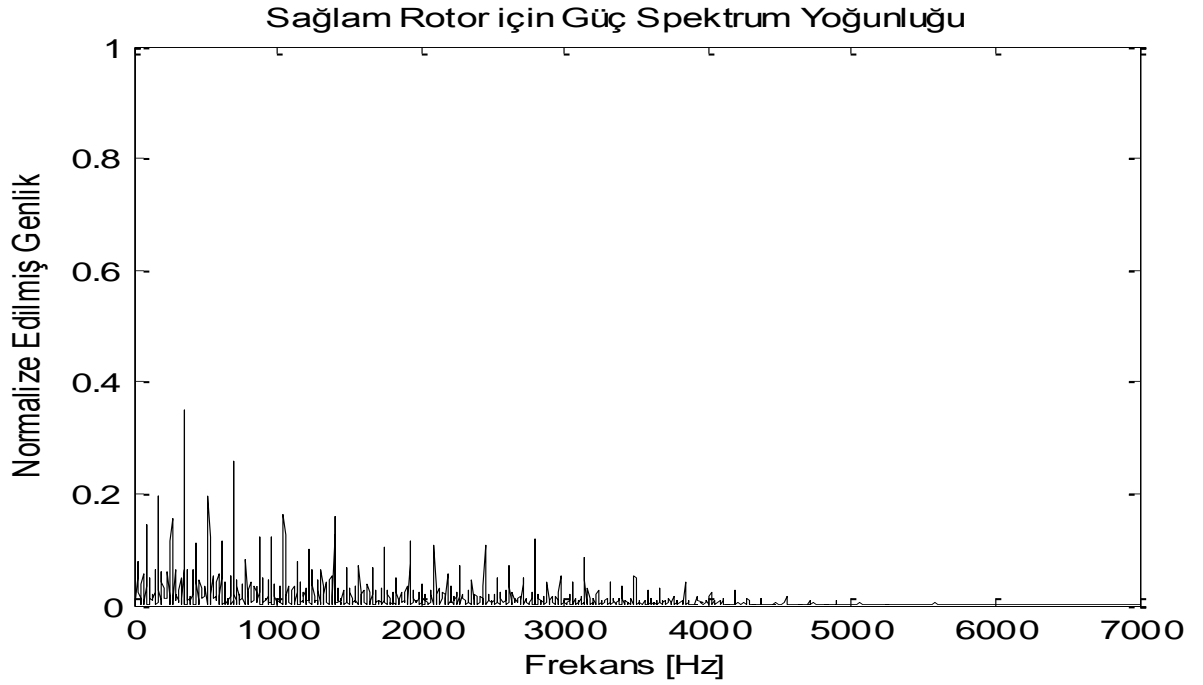


**Şekil 4.27** Sağlam rotora ait titreşim grafiği

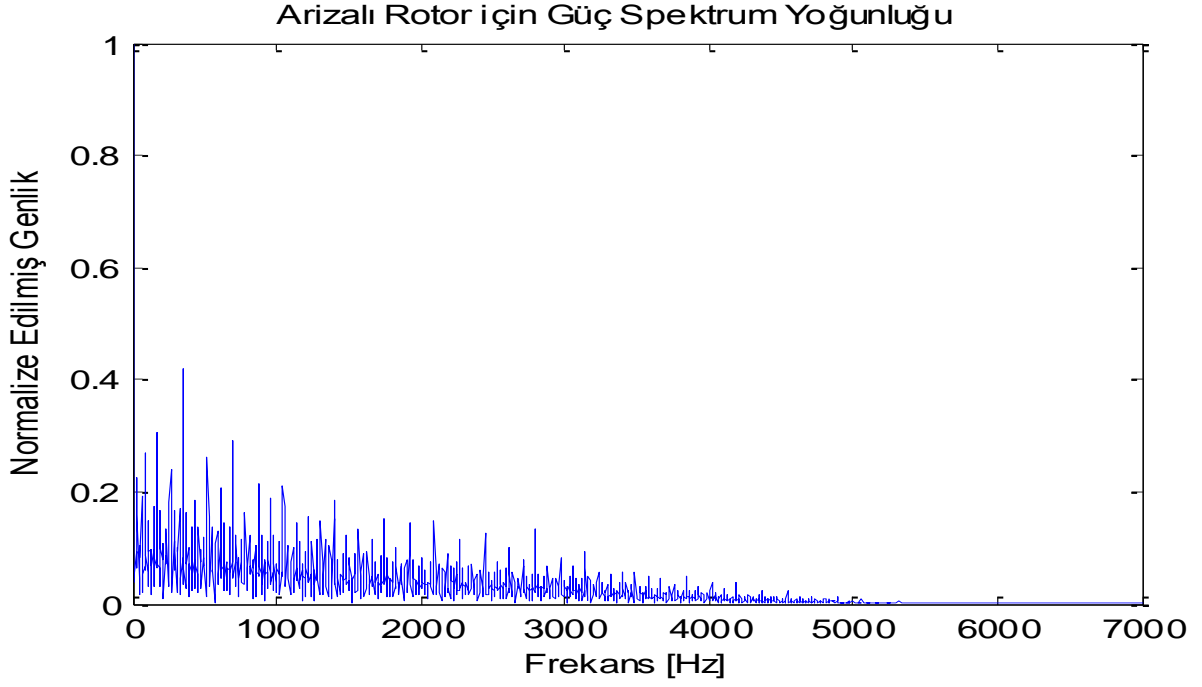


**Şekil 4.28** Hasarlı rotora ait titreşim grafiği

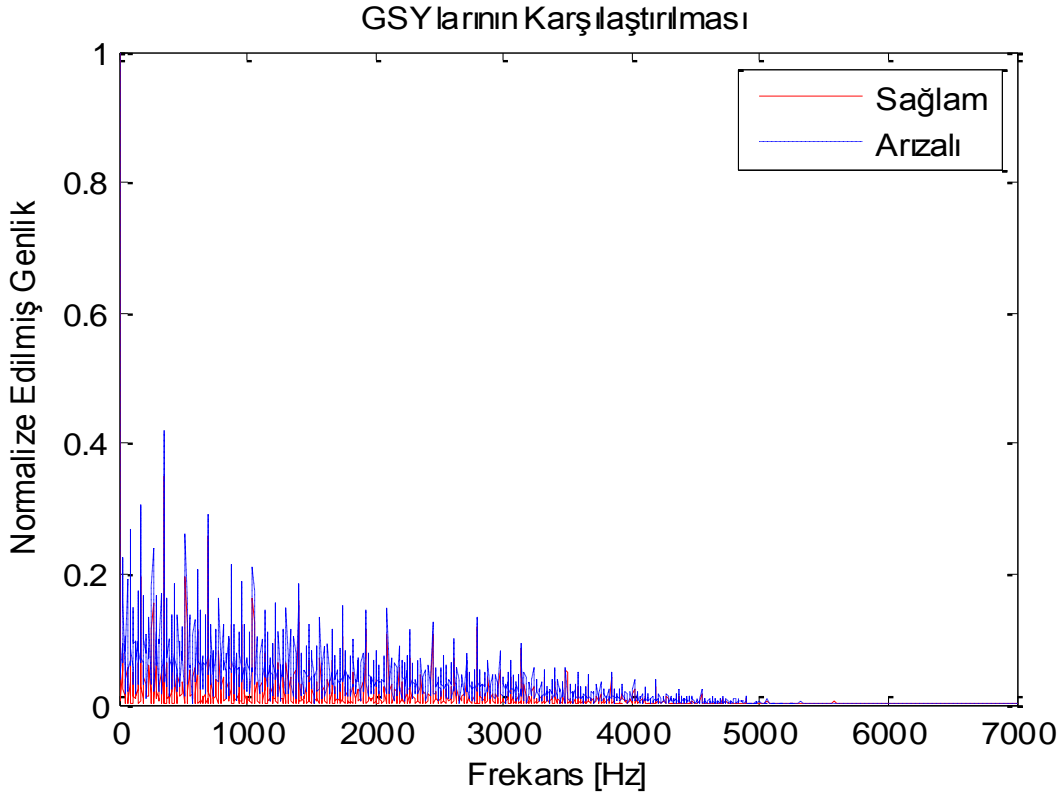
Güç spektrum yoğunluğu ile yapılan analizde ise; sağlam rotorun aynı frekans bandında oluşturduğu güç spektrumunu yoğunluğu (Şekil 4.29) ile hasarlı olduğu bilinen rotorun güç spektrumunu yoğunluklarını (Şekil 4.30) ayrı ayrı görmekle birlikte, iki rotora ait güç spektrumlarının farkını Şekil 4.31’ de görebiliyoruz. Bu grafiklerden yorumlayabileceğimiz sonuç ise; düşük devirlerde kullanılacak arızalı motorun arızalanma olasılığının rotor kaynaklı hasar riskinin yüksek olduğudur.



Şekil 4.29. Sağlam rotor için güç spektrum yoğunluğu

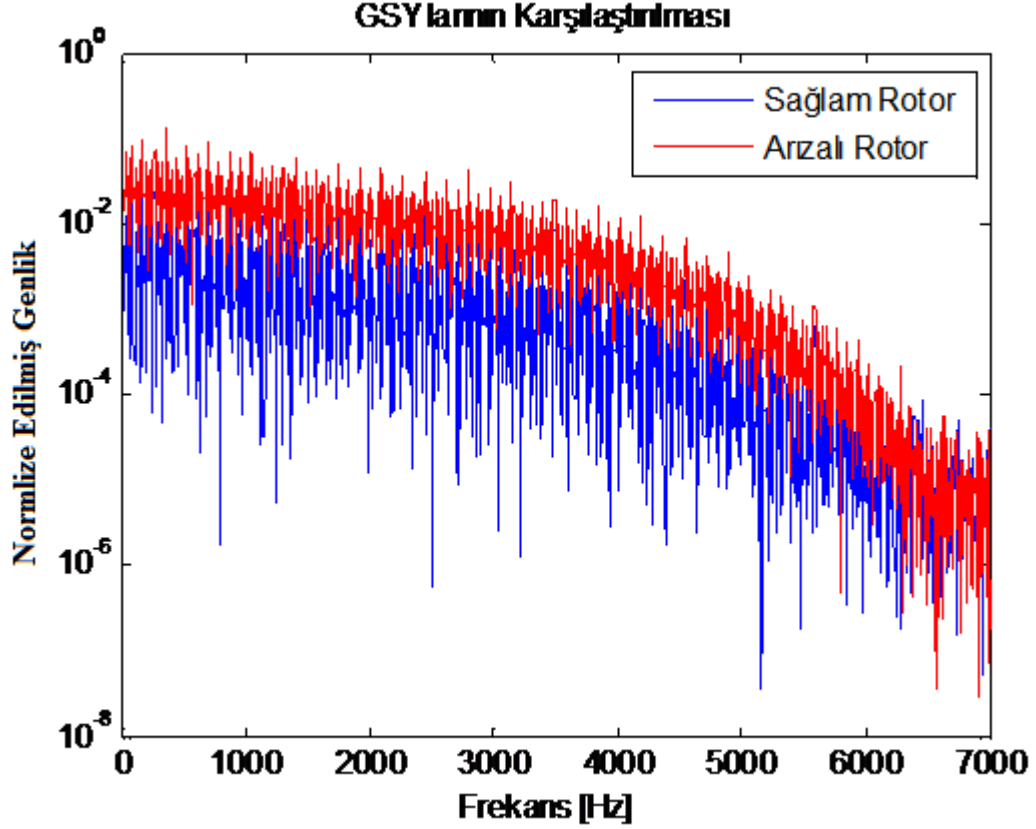


Şekil 4.30. Hasarlı rotor için güç spektrum yoğunluğu



Şekil 4.31. Sağlam ve hasarlı rotorlar için güç spektrum yoğunluğu karşılaştırması

Ayrıca Şekil 4.32’de arızalı ve sağlam rotorun güç spektrum yoğunluklarının frekans değeri arttıkça azaldığını görebiliyoruz. Bu grafikteki verilerde rotor arızası olan motorun sürekli düşük frekansta çalıştırıldığı koşullarda yüksek frekansta çalışacağı koşullara nazaran daha erken arızalanacağını göstermektedir.



Şekil 4.32. Sağlam ve hasarlı rotorlar için güç spektrum yoğunluklarının logaritmik karşılaştırması

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada elde edilen titreşim grafikleri incelendiğinde; motor üzerindeki mekanik hataların hangi motor bileşeni üzerinde var olduğunun tespit edilebildiği görülmüştür.

Titreşim grafikleri incelendiğinde hataların ağırlıklı olarak rotor üzerindeki laminasyon paketinin salgısından olduğu görülmektedir. Bu durum incelendiğinde laminasyon paketi üzerindeki salgının mil çakma operasyonundan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Diğer bir dikkat çeken hata ise motor kapakları üzerinde yer alan rotor ve stator oturma yüzeylerinin eş merkezlik hatasıdır.

Araştırmada elde edilen bulgular doğrultusunda yapılabilecek geliştirmeler aşağıda sunulmuştur;

Yapılan analiz ile seri üretim bandında genelde dar boğaz oluşturan proseslerin test süreleri, testin ilk saniyelerinde yapılacak arıza tespiti ile sonlandırılıp test operasyonunun kapasitesi arttırılabilir. Ayrıca diğer bir seçenek olarak test süresi aynı kalıp, söz konusu motorun hangi bileşenlerinin arızalı olduğu tespit edilip, üretim hattından hatalı olarak ayrılan motorun yeniden değerlendirme işlemi daha verimli hale getirilebilir.

Motor hattında üretilen motorlar tek tip kullanım amacı güdülmeyen genel amaç için üretiliyor ise; motor sınıflandırması yapıp motorların hangi devir aralığında çalışması gerektiği tüketiciye tavsiye edilebilir.

Yapılan analizler ile, hasar tespit edilen motorların hangi tip arızalar nedeniyle hattan hatalı olarak ayrıldığı takip edilerek, söz konusu yarı mamul hatlarında (rotor alın yalpası kaynaklı) hatayı oluşturabilecek operasyonlarda iyileştirmeler yapılarak montaj hattındaki hata oranları azaltılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abbak A (2007), Jeodezide Zaman Dizilerinin Dalgacık (Wavelet) Analizi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aguston K (2015). Fault detection of the electrical motors based on vibration analysis, *Procedia Technology* 19: 547 – 553.
- Aguston K (2016). Vibration detection of the electrical motor using strain gauges, *Procedia Technology* 22: 767 – 772.
- Akar M, Çankaya İ (2009). Evirici İle Sürüle Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Tespiti. 5. Uluslararası İler Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- Aliustaoğlu C, Ertunç MH, Ocak H (2008). “Arıza gözlemlemeye yönelik rulman hata tespit algoritmalarının karşılaştırılmalı analizi,” Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'08 Bildiriler Kitabı, 13-15 Kasım, ss. 130-135, İstanbul.
- Aliustaoğlu C, Ocak H, Ertunç MH (2007). “Rulman titreşim analizi ile bölgesel hataların incelenmesi,” Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'07 Bildiriler Kitabı, 5-7 Eylül, ss. 451-456, İstanbul.
- Antoniadis A, Bigot J, Stinas T (2001). Wavelet estimators in nonparametric regression: a comparative simulation study. *J Stat Softw* 6:1-83.
- Arslan A (2007). Bilyalı Rulman Yuvarlanma Elemanı Kusurunun Titreşim Analiz Yöntemiyle İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15; 151- 161
- Arslan H, Aslan E, Aktürk, N (2006). “Bilyalı rulman hasarlarının titreşim analizi yöntemiyle incelenmesi,” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 21:3, 541-552.
- Avant! Corporation, *Star-Hspice Manual*, release 1998. 25nd ed., July.
- Batar H (2005), Eeg İşaretlerinin Dalgacık Analiz Yöntemleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırılması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.*
- [docplayer.biz.tr/8713385-Doc-dr-ersan-kabalci.html](http://docplayer.biz.tr/8713385-Doc-dr-ersan-kabalci.html) (erişim tarihi, 12.08.2016).
- <http://docplayer.biz.tr/8713385-Doc-dr-ersan-kabalci.html> (erişim tarihi, 01.11.2015)
- Duyar A, Alagöz U, Yaman A, Güler Ö (2013). Model Bazlı Portatif Kestirimci Bakım Uygulaması, *Bakım Teknolojileri Kongresi*.
- [hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mechanics/motgraph.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mechanics/motgraph.html) (erişim tarihi, 12.08.2016).
- [hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/shm.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/shm.html) (erişim tarihi, 06.08.2016).
- Kalkat M, Yiğiter N (2000). Kütle Dengesizliğinden Kaynaklanan Şaft Mekanik Titreşimlerinin Yapay Sinir Ağları İle Analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4;51- 59.
- Kalyoncu M, Selçık Ü (2006). Titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi. *Mühendis ve Makina*, 552; 28- 35
- Karaçor M, Şahin C, Nil M, Onduk A, Enver A, Nil M (2014). Eğitim Amaçlı Arm Test Sistemi Tasarım Ve İmalatı. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 10.2; 79- 94
- Karahan F (2005), Titreşim Analizi İle Makinalarda Arıza Teşhisi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.*

- Latane CP, Urolgin C (2016). Fault detection in electric motors using vibration analysis and dsp processor, International journal of innovative research in science, engineering and technology , 5:6, 11590-11597.
- Orhan S, Arslan H, Aktürk N (2003). “Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi,” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 18: 2, 39-48.
- Taylor J (1990). Accurate Evaluation of Machinery Condition. The Vibration Analysis Handbook. Vibration Consultants. 111-166.
- Tezcan MM, Çanakoğlu İA, Yetgin GA, Turan M (2008). “Üç fazlı asenkron motor tasarımı ve FFT analizi”, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO-2008, 26-30 Kasım, ss. 242-246, Bursa.
- uzmzysmn.blogspot.com.tr/2012/04/frekans-ve-genlik-nedir.html (erişim tarihi, 11.03.2015)
- Valens C. (1999). ‘A Really Friendly Guide to Wavelets’, Retrieved September 12, 2016 from the World Wide Web: <http://agl.cs.unm.edu/~williams/cs530/arfgtw.pdf>.
- [www.appliancesparesonline.co.uk/cPath=22\\_96&&page=2](http://www.appliancesparesonline.co.uk/cPath=22_96&&page=2), (erişim tarihi, 17.04.2015).
- [www.electricservomotor.sell.everychina.comp-98381077-alloy-iron-electric-motor-spares-parts-motor-end-shield.html](http://www.electricservomotor.sell.everychina.comp-98381077-alloy-iron-electric-motor-spares-parts-motor-end-shield.html), (erişim tarihi, 20.06.2015).
- [www.elektrikce.com/dc-motorlarda-firca-ve-kollektor](http://www.elektrikce.com/dc-motorlarda-firca-ve-kollektor), (erişim tarihi, 15.03.2015).
- [www.en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_motor](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor), (erişim tarihi, 10.04.2015).
- [www.erayonline.com/dewalt-yedek-parca-dewalt-tipi-dw545-enduvi-p-1525.html](http://www.erayonline.com/dewalt-yedek-parca-dewalt-tipi-dw545-enduvi-p-1525.html), (erişim tarihi, 20.03.2016).
- [www.iecltd.co.uk/catalogues/abis](http://www.iecltd.co.uk/catalogues/abis), (erişim tarihi, 18.05.2015).
- [www.izmirbobinaj.com/index.php?option=com\\_k2&view=itemlist&task=tag&tag=tek%20fazlı%20C4%B1%20asenكرون%20motorlar&Itemid=238](http://www.izmirbobinaj.com/index.php?option=com_k2&view=itemlist&task=tag&tag=tek%20fazlı%20C4%B1%20asenكرون%20motorlar&Itemid=238) (erişim tarihi, 17.03.2016).
- [www.machinedesign.com/motors/drives/difference-between-asynchronous-and-synchronous-motors](http://www.machinedesign.com/motors/drives/difference-between-asynchronous-and-synchronous-motors), (erişim tarihi, 17.05.2015).
- [www.mfg.mtu.edu/marc/primers/machtool/vibration/intro.html](http://www.mfg.mtu.edu/marc/primers/machtool/vibration/intro.html) (erişim tarihi, 22.04.2015).
- [www.motorcoredie.com/induction-motor-core-lamination-c-3.html](http://www.motorcoredie.com/induction-motor-core-lamination-c-3.html)(erişim tarihi, 19.09.2016).
- [www.svseeker.com/rov\\_joystick\\_for\\_props.htm](http://www.svseeker.com/rov_joystick_for_props.htm), (erişim tarihi, 17.03.2016).
- Yaman G, Karadayı H (2014). Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma. Tesisat Mühendisliği, 140;36- 51
- Yıldırım E, Karahan FM (2015). “Titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım,” C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 11:1, 17-23.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kırklareli'de doğdu. Lise öğrenimini ise Kırklareli Anadolu Lisesi'nde yaptı.(2001-2005). 2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Zonguldak Karadeniz Ereğli'de Ereğli Demir Çelik Fabrikaları'nda Enerji Üretim Dağıtım Müdürlüğü, Mekanik Bakım Başmühendisliği bünyesinde Mekanik Bakım Mühendisi olarak iş hayatına atıldı. 2013 yılında Tekirdağ Çerkezköy'de bulunan Türkiye'nin önde gelen beyaz eşya üreticisi olan firmada Üretim Mühendisi olarak işe başladı. Halen aynı firmada Uzman Üretim Mühendisi olarak çalışmaktadır.