

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEL ÜRETİM HATTINDAKİ ÇELİK MAKARALARDA TİTREŞİM
ANALİZİ İLE BALANSSIZLIK TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf KARACA

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEL ÜRETİM HATTINDAKİ ÇELİK MAKARALARDA TİTREŞİM
ANALİZİ İLE BALANSSIZLIK TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf KARACA

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Aysun EĞRİSÖĞÜT TİRYAKİ

TEMMUZ 2023

Yusuf KARACA tarafından hazırlanan “TEL ÜRETİM HATTINDAKİ ÇELİK MAKARALARDA TİTREŞİM ANALİZİ İLE BALANSSIZLIK TESPİTİ” adlı tez çalışması 18.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr.Öğr.Üyesi Aysun EĞRİSÖĞÜT TIRYAKI (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin DAL Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. İhsan KÜÇÜKRENDECI Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

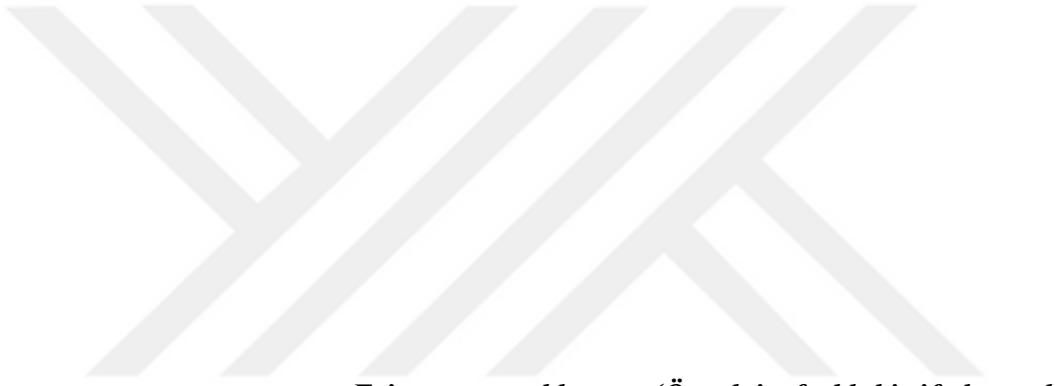
Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “TEL ÜRETİM HATTINDAKİ ÇELİK MAKARALARDA TİTREŞİM ANALİZİ İLE BALANSSIZLIK TESPİTİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(18/07/2023).

(imza)

Yusuf KARACA





Eşime ve çocuklarıma (Örnektir, farklı bir ifade yazılabilir)



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Aysun EĞRİSÖĞÜT TİRYAKİ ve Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL hocama teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sar Makine San. Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sayın Sadık SAZAN, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sar Makine San. Tic. A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı Sayın Attila OFLAZ ve Sar Makine San. Tic. A.Ş. çalışanlarına desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen aileme ayrıca teşekkür ederim.

Yusuf KARACA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ (BİRİNCİ DERECE BAŞLIK)	1
2. TİTREŞİM	7
2.1. Period (T)	7
2.2. Frekans (f)	7
2.3. Faz (Ø)	7
2.4. Genlik	8
2.4.1. Tepe Faktörü (Genlik)	9
2.4.2. Tepeler Arası Değer	9
2.4.3. Etkin Değer (RMS- Root Mean Square)	9
2.4.4. Ortalama (Average)	9
2.4.5. Yer Değiştirme (Deplasman)	9
2.4.6. Hız	9
2.4.7. İvme	9
2.5. Dalga Formu	9
2.6. Yan Bantlar	10
2.7. Basit Harmonik Hareket	10
2.8. Titreşim Analizi	15
2.8.1. Titreşim Analizi ile Arıza Tespitleri	16
2.8.1.1. Balanssızlık	17
2.8.1.2. Eksen Kaçıklığı (Kaplin Ayarsızlığı)	19
2.8.1.3. Rulman Arızaları	20
2.8.1.4. Mekanik Gevşeme	21
2.8.1.5. Rezonans	22
2.8.1.6. Dişli Hasarları	22
2.8.1.7. Titreşim Ölçüm Noktaları	22
2.8.2. Titreşim Ölçümleri Nasıl Alınır	23
2.8.3. Titreşim Ölçümlerinde Kullanılan Transdüserler	24
2.8.4. Sensör Montaj Yöntemleri	25
2.8.5. Titreşim Dünya Standartları	26
2.9. Makinelerde Dengesizlik	27
2.9.1. Statik Dengesizlik	31
2.9.2. Moment Dengesizliği	32
2.9.3. Dinamik Dengesizlik	33

3. ÇELİK MAKARA TİTREŞİM ÖLÇME DENEY DÜZENİĞİ	35
3.1. Mekanik Grubu.....	37
3.2. Elektrik Grubu.....	38
3.2.1. PLC (CPU 1214C DC/DC/DC 6ES72151AG400XB0).....	39
3.2.2. Siemens Operatör Paneli (KTP700 6AV2123-2GA03-0AX0).....	41
3.2.3. Ethernet (WAGO-852-111).....	42
3.2.4. Siemens Motor Sürücüsü (Sinamics V90)	42
3.2.5. Siemens Motor (1FL6067-1AC61-2AB1)	44
3.2.6. Lazer Mesafe Sensörü (Wenglor CP35MHT80).....	44
3.2.7. Sinyal Lambası (Emas IP 65).....	45
3.2.8. Güç Kaynağı (Omron s8vk-c06024)	46
3.2.9. Kontrol Transformatörü (Elektra ETC – 0150).....	47
3.2.10. Motor Koruma (ABB MS 116)	47
3.3. Pnömatik Grubu.....	48
3.3.1. Pnömatik Silindir (Festo DSBC-100-125-ppva-n3).....	48
3.3.2. Pnömatik Valf (Festo VUVG-118-B52-T-G-14-1P3)	49
3.3.3. Manometre (Pakkens Pressure MG 063)	50
3.3.4. Regülatör (Aventics 0821302406)	51
3.4. Titreşim Analizörü (Smart Balancer)	52
3.5. Makara.....	53
3.5.1. Çelik Makaralar.....	53
3.5.2. Tel Sektöründe Kullanılan Makara Normları.....	55
3.5.3. Makaralarda Oluşan Arızalar	59
3.5.4. Makaralarda Titreşim Arızası.....	60
3.5.5. Makaralarda Şekilsel Dengesizlik Arızası	61
3.5.6. Makara Arızasından Kaynaklanan Sarım Hataları.....	62
3.5.7. Analizi Yapılacak Makara.....	63
4. ANALİZ VE UYGULAMA.....	65
4.1. Makaralarda İç Cidar Salgı Analizi	65
4.2. Makaraların Ağırlık Durumuna Göre Dengesizlik (Balanssızlık) Analizi.....	65
4.3. Makaraların Faz Açısı Analizi.....	66
4.4. Makaralarda Titreşim Değerlerinin Spektrum Grafiklerine Göre Analizi	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
5.1. Çelik Makaralarda Dengesizlik Gidermenin Faydaları	83
5.2. Sonuçlar.....	83
5.3. Öneriler.....	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım-Alternative Current
ark.	: Arkadaşları
CPM	: Dakikada Dönüş-Cycle Per Minute
DIN	: Alman Mühendislik Normları-Deutsche Ingenieuring Normen
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü-Fast Fourier Transform
HMI	: İnsan-Makine Ara yüzü – Human-Machine Interface
HP	: Beygir Gücü-Horse Power
PLC	: Programlanabilir Mantık Kontrol-Programmable Logic Control
rpm	: dakikada dönüş-round per minute
RMS	: Etkin Değer-Root Mean Square
TMF	: Diş Kavrama Frekansı-Tooth Modulation Frequency
vb.	: ve bunun gibi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Balanssızlık Pikinin Faz Ölçümlerine Cevapları	18
Tablo 2.2. Titreşim Genliğine Göre Ölçüm Yönü ve Faz İlişkisi [16].....	20
Tablo 2.3. Dönen ve Dönmeyen Parçalara Göre Gevşeklik.....	21
Tablo 2.4. ISO 10816 Göre Makine Sınıflarının Titreşim Şiddet Kılavuzu	27
Tablo 3.1. PLC Genel Bilgiler.....	40
Tablo 3.2. Siemens KTP700 6AV2123-2GA03-0AX0 Operatör Paneli Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 3.3. Ethernet “WAGO-852-111” Genel Bilgileri.....	42
Tablo 3.4. Siemens Sinamics V90 Sürücü Teknik Özellikler	43
Tablo 3.5. Siemens Motor 1FL6067-1AC61-2AB1 Teknik Özellikler	44
Tablo 3.6. Emas Sinyal Lambası Teknik Özellikler	46
Tablo 3.7. Güç Kaynağı “Omron s8vk-c06024” Teknik Özellikler.....	46
Tablo 3.8. Pnömatik Silindirin Teknik Özellikleri.....	49
Tablo 3.9. Festo VUVG-118-B52-T-G-14-1P3 Valf Teknik Özellikleri.....	50
Tablo 3.10. Manometre Teknik Özellikleri.....	51
Tablo 3.11. Regülatör Aventics 0821302406 Teknik Özellikleri	52
Tablo 3.12. Titreşim Analizörü Teknik Özellikleri.....	53
Tablo 3.13. DIN 46395 Makara Boyutsal Normu	56
Tablo 3.14. DIN 46397 Makara Boyutsal Normu	57
Tablo 3.15. DIN 46397 Makara Bozuk Düzlükler ve Doğrusal Ölçüler Tablosu.....	58
Tablo 3.16. DIN 46397 Makara Dış Yarıçap ve Pah Ölçüleri Tablosu	58
Tablo 3.17. DIN 46397 Makara Açık Ölçü Tablosu	59
Tablo 3.18. Analizi Yapılan Makara Bilgileri.....	63
Tablo 3.19. Makara Faz Açılarının Kodlaması	64
Tablo 4.1. Makaranın İç Cidarındaki Salgı Değerler Tablosu	65
Tablo 4.2. Makaraların 10 hz (600 rpm) de Dengesizlik Bilgileri	66
Tablo 4.3. Makaraların 10 hz (600rpm) de Radyal Yatay/Dikey Balans Titreşim Genliklerinin (QXR/QYR) ve Radyal Yatay/Dikey Titreşim Genliğinin RMS (QXG/QYG) Yüzdelik Karşılaştırılması	67
Tablo 4.4. Makaranın 10 hz (600rpm)’de Ön Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması	68
Tablo 4.5. Makaranın 10 hz (600rpm)’de Ön Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması	68
Tablo 4.6. Makaranın 10 hz (600rpm)’de Arka Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması	69
Tablo 5.1. Makaranın 13 hz (800rpm)’de Spektrum Grafiğine Göre Değerlendirilmesi	85



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Özdeş Frekans ve Genlik Değerindeki İki Farklı Dalga Arasındaki Faz Gecikmesi [4].	8
Şekil 2.2. Titreşim Temel Parametreleri	8
Şekil 2.3. Yan Bant Oluşumu	10
Şekil 2.4. M Kütleli Bir Cismin Yatay, Sürtünmesiz Yüzey Üzerinde Serbestçe Hareket Edebildiği Fiziksel Sistem [4].	11
Şekil 2.5. Basit Harmonik Hareketi Gösteren Deneysel Düzenek [4].	11
Şekil 2.6. Basit Harmonik Hareket Yapan Bir Parçacık İçin Bir x-t Eğrisi [4].	12
Şekil 2.7. Basit Harmonik Hareketin Grafikselsel Gösterimi [4].	14
Şekil 2.8. Hız, İvme ve Yer Değiştirme Değerlerinin Faz ile İlişkisi [4].	14
Şekil 2.9. Tek Sayılı Frekanslarda Kendini Belli Eden Dalga Serisi [4].	15
Şekil 2.10. Makine Arıza Noktaları [16].	17
Şekil 2.11. Balanssızlığa Bağlı Dalga Formu Grafiği.	18
Şekil 2.12. Balanssızlığa Bağlı Spektrum Grafiği	18
Şekil 2.13. Açısal Ayarsızlık [16].	19
Şekil 2.14. Paralel Ayarsızlık [16].	19
Şekil 2.15. Mekanik Gevşekliğe Örnek Spektrum Grafiği	22
Şekil 2.16. Makine Parçasının Sınıfları [16].	23
Şekil 2.17. Ölçüm Noktaları [16].	23
Şekil 2.18. Sensör Montaj Kontrolü	26
Şekil 2.19. Sensör Montaj Yöntemleri.	26
Şekil 2.20. Dengesizlik Kütlelerinin Şematik Gösterimi [1].	28
Şekil 2.21. Dengesizlik Spektrum Grafiği [1].	30
Şekil 2.22. Dengesizlik Dalga Form Grafiği [1].	31
Şekil 2.23. Statik Dengesizlik ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].	32
Şekil 2.24. Moment Dengesizliği ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].	32
Şekil 2.25. Dinamik Dengesizlik ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].	33
Şekil 2.26. Dengesizlik Şekilleri [3].	33
Şekil 3.1. Deney Düzenğinde Analiz Noktalarının Şekilsel Gösterimi	36
Şekil 3.2. Makara Titreşim Deney Makinesi	37
Şekil 3.3. Çelik Makara Konik Punta Sıkıştırması	38
Şekil 3.4. Elektrik Blok Şema	39
Şekil 3.5. PLC	40
Şekil 3.6. Operatör Paneli	41
Şekil 3.7. Wenglor CP35MHT80 Lazer Mesafe Sensör Bağlantı Şekli	45
Şekil 3.8. Omron Güç Kaynağı Şekli.	47
Şekil 3.9. Elektra ETC – 0150 Kontrol Trafosu	47
Şekil 3.10. Elektra ETC – 0150 Kontaktör	48
Şekil 3.11. Pnömatik Şema	48
Şekil 3.12. Manometre	51
Şekil 3.13. Regülatör	52

Şekil 3.14. Schenck Smart Balancer	52
Şekil 3.15. Çelik Makaranın Tarih Yolculuğu	54
Şekil 3.16. Çelik Makara Resmi	54
Şekil 3.17. Çekme Makine Haddeme Resmi	55
Şekil 3.18. Makaralarda Salgı Ölçümleri	58
Şekil 3.19. Tornada İşlenmiş Çelik Makara	59
Şekil 3.20. Çelik Makara Resmi	60
Şekil 3.21. Onarılmış Çelik Makara Resmi	62
Şekil 3.22. Makara Sarım Hataları	63
Şekil 4.1. DIN ISO 1940 Hızın (rpm) İzin Verilen Dengesizlik (eper) Değer Grafiği	66
Şekil 4.2. A Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ AX) Titreşim Spektrum Grafiği	69
Şekil 4.3. A Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki ($\emptyset$ AY) Titreşim Spektrum Grafiği	70
Şekil 4.4. A Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α AX) Titreşim Spektrum Grafiği	70
Şekil 4.5. A Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α AY) Titreşim Spektrum Grafiği	71
Şekil 4.6. B Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ BX) Titreşim Spektrum Grafiği	71
Şekil 4.7. B Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki ($\emptyset$ BY) Titreşim Spektrum Grafiği	72
Şekil 4.8. B Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α BX) Titreşim Spektrum Grafiği	73
Şekil 4.9. B Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α BY) Titreşim Spektrum Grafiği	73
Şekil 4.10. C Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ CX) Titreşim Spektrum Grafiği	74
Şekil 4.11. C Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki ($\emptyset$ CY) Titreşim Spektrum Grafiği	75
Şekil 4.12. C Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α CX) Titreşim Spektrum Grafiği	75
Şekil 4.13. C Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α CY) Titreşim Spektrum Grafiği	76
Şekil 4.14. D Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ DX) Titreşim Spektrum Grafiği	77
Şekil 4.15. D Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki ($\emptyset$ DY) Titreşim Spektrum Grafiği	77
Şekil 4.16. D Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α DX) Titreşim Spektrum Grafiği	78
Şekil 4.17. D Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α DY) Titreşim Spektrum Grafiği	79
Şekil 4.18. E Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ EX) Titreşim Spektrum Grafiği	79
Şekil 4.19. E Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki ($\emptyset$ EY) Titreşim Spektrum Grafiği	80
Şekil 4.20. E Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α EX) Titreşim Spektrum Grafiği	81

Şekil 4.21. E Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α EY) Titreşim Spektrum Grafiği.....	81
--	----





TEL ÜRETİM HATTINDAKİ ÇELİK MAKARALARDA TİTREŞİM ANALİZİ İLE BALANSSIZLIK TESPİTİ

ÖZET

Tel üretim hattında kullanılan çelik makaralarda zaman içerisinde aşınma ve bozulmalar meydana gelmektedir. Makaralarda oluşan balans bozukluğu ve dengesizlik, makinelerde titreşime ve telin makaraya düzgün sarılmamasına neden olur. Bu yüzden, ani arızalar meydana gelmekte, hatalı ürünler oluşmakta ve üretim planını da aksatarak büyük maddi kayıplar oluşmaktadır. Bu durumun neticesinde makinenin kullanım ömrünü kısalır, ani arızalanmalara yol açar, üründe oluşan kayıplara bağlı olarak firmada maddi kayıplar oluşur. Bu hataların geneli, makaralarda oluşan dengesizliğin (balanssızlığın) tespit edilmesi ve giderilmesi ile engellenebilmektedir. Bu çalışmada, tel üretim hattında üretime geçmeden önce makaranın yüzeyindeki bozulmaları tespit etmek, titreşim ölçümlerini yapmak ve dengesizlik durumunu teşhis edebilmek için bir test cihazı tasarlanmıştır. Titreşim analizi yapıp spektrum faz açısı ve grafikleri vasıtasıyla hangi çeşit dengesizlik arızaları tespitinin nasıl yapılabileceği ortaya konulmuştur. Makara dengesizlik arızasını çözümlmek noktasında bu teşhise bağlı makaranın balans ve salgı durumuna göre hangi işlemin yapılması gerektiğine karar verilmiş olur. Test cihazına bağlanan makaranın Programlanabilir Mantık Kontrol-Programmable Logic Control (PLC) yardımıyla belirli hızlarda döndürülmesi esnasında titreşim analizörü ve mesafe ölçme sensörleri sayesinde titreşim ve dengesizliğe ait ölçümlerin yapılması ve tasarlanan PLC yazılımı ile eş zamanlı toplanan titreşim ve salgı verilerinin izlenmesi, raporlanması ve uyarıların oluşması hedeflenmiştir. Toplanan verilerin analiz edilmesi ve makaranın değerlendirilmesi, ISO 1940, TS ISO 1940/1, S2.19-1972, BS 6861-part 1 ve VDI 2060 balans standartları, ISO 10816 titreşim standartları ve DIN 46397 yüzey toleransın standartlara göre uygunluk durumu kontrol edilerek yapılmaktadır. Makara dengesizlik arızasını çözümlmek noktasında bu teşhise bağlı makaranın balans ve salgı durumuna göre hangi işlemin yapılması gerektiğine karar verilmiş olur. Makaradaki dengesizlik giderilerek tekrar sisteme aktarılır. Bakır tel sektöründe çeşitli üretim aşamalarında kullanılan çelik makaraların her kullanımından sonra dengesizlik durumu ölçülmelidir. Çelik makarada üretime tekrar girmeden önce dengesizlik ve sarım yüzeylerinde yapılan ölçümler doğrultusunda gerçekleştirilmelidir çünkü çelik makara dengesizliği ve sarım yüzeyindeki salgı ani duruşlar ile sarım hataları şirkete büyük maddi kayba yol açmaktadır. Makaraların dengesizlik ve salgı durumu kontrol edilip, makaranın dengesizlik durumuna göre hangi makineye bağlanacağına karar verilmelidir. Eğer dengesizlik durumuna göre tamir edilmesi gerekiyorsa salgı ve dengesizliği giderildikten sonra kullanılması gerekmektedir.



UNBALANCE BY VIBRATION ANALYSIS ON STEEL REELS IN WIRE PRODUCTION LINE

SUMMARY

Steel reels used in the wire production line wear and deteriorate over time. The unbalance and imbalance in the reels cause vibration in the machines and the wire not being wound properly on the reel. Therefore, sudden breakdowns occur, faulty products are formed, and great financial losses occur by disrupting the production plan.

As a result of this situation, the service life of the machine is shortened, it causes sudden malfunctions, and financial losses occur in the company due to the losses in the product. Most of these errors can be prevented by detecting and eliminating the imbalance (unbalance) in the reels.

In this study, a test device was designed to detect the defects on the surface of the spool, to make vibration measurements and to diagnose the imbalance condition before the wire production line goes into production. Vibration analysis was performed and it was revealed how to detect which types of unbalance faults can be made by means of spectrum phase angle and graphs.

At the point of solving the reel unbalance fault, it is decided what action should be taken according to the balance and runout status of the reel depending on this diagnosis. During the rotation of the reel connected to the test device at certain speeds with the help of Programmable Logic Control-Programmable Logic Control (PLC), vibration and unbalance measurements are made by means of vibration analyzer and distance measuring sensors, and monitoring, reporting and warning of vibration and secretion data collected simultaneously with the designed PLC software targeted. Analysis of the collected data and evaluation of the reel is carried out by checking the conformity of ISO 1940, TS ISO 1940/1, S2.19-1972, BS 6861-part 1 and VDI 2060 balance standards, ISO 10816 vibration standards and DIN 46397 surface tolerance standards.

The unbalance should be measured after each use of the steel reels used in various production stages in the copper wire industry. Before re-entering production on the steel reel, it should be carried out in accordance with the measurements made on the unbalance and winding surfaces, because the imbalance of the steel reel and the secretion on the winding surface, sudden stops and winding errors cause great financial loss to the company.

The unbalance and run-out status of the reels should be checked and it should be decided which machine to connect the reel according to the imbalance status. If it needs to be repaired according to the imbalance situation, it should be used after the secretion and imbalance are eliminated.

In copper wire production, reels deform over time due to use at various stages of production, and the balance values and runout values on the wire winding surfaces increase. When we do not know the condition of the reel, the reels with increasing

balance values increase the vibration of the machines in production. As a result of this situation, the service life of the machine is shortened, it causes sudden malfunctions and financial losses occur in the company due to the losses in the product.

By detecting and eliminating the imbalance of the steel reels used for winding the copper wire, sudden stops in production were prevented. Approximately 600 kg of copper wire is wound on a reel. Due to the unbalance of the reel, the line speed is reduced from 30 m/sec to 15 m/sec. An unbalanced reel rotates at 15 Hz (900 rpm).

A copper wire with a diameter of Ø0.7 mm and a length of 130.000 m is wound on a reel in 1.3 hours. In case the reel is unstable, copper wire with Ø0.7 mm diameter and 130.000 m length is wound on the reel in 2.6 hours. This causes loss of time and production.

In an unbalanced reel, the winding quality of copper wire also decreases. While 600 kg of copper wire is to be wound, it causes less winding. As a result of less copper winding, it causes the reel to be sent to the customer without filling its capacity. Unbalanced rollers cause unplanned stoppages as they damage the machine bearings over time. This situation causes product loss and financial loss.

Failure in a reel causes high vibrations in the machine to which it is connected. It is important that the rollers working by connecting to the machine are smooth and have low vibration values. High roller vibration values also increase the vibration of the machine and may cause undesirable results. Before connecting to the machine, it should be checked whether the balance values of the reel are at the desired level. Otherwise, an unbalanced pulley will cause the machine to vibrate excessively and damage the machine, causing the production to be interrupted.

Roller vibration can also be measured by connecting to the machine. But it has several problems. Connecting a reel to the machine takes approximately 5 minutes, including the preparation phase. If the reel is in trouble, it also causes loss of time by scrapping the copper wire wound on the reel and changing the reel by stopping the machine because the machine is started. For this reason, checking the vibration and balance status of the reel with a separate test device will provide important benefits such as being more economical and eliminating the need to stop production.

As seen in previous studies, the most common fault in rotating machines is imbalance. In this study, the unbalance problem of steel reels used for winding wire in industry has been investigated. This problem may be caused by the wear of the reels over time depending on the usage period, as well as the usage, transportation and stocking errors of the reels.

A PLC controllable test device has been developed to detect unbalance faults in the reels. The reels are connected to this test device and rotated at determined speeds. Meanwhile, vibration and surface tolerance data collected simultaneously with PLC software can be monitored and reported thanks to vibration sensors and distance measuring sensors on the device.

In the study, vibration measurements taken from rotor bearings for different pulleys connected to the test device, spectrum analysis and phase angles were examined and unbalance failure was detected. In addition, the surface tolerances of the reel were examined according to the distance values taken from four points with the sensors fixed on the machine body, and the distortions on the surface causing the unbalance were determined.

While evaluating the condition of the reels as a result of the measurements made on the reels, it is checked whether they comply with ISO 1940, TS ISO 1940/1, S2.19-1972, BS 6861-part 1 and VDI 2060 vibration standards and DIN 46397 surface tolerance standards.





1. GİRİŞ (BİRİNCİ DERECE BAŞLIK)

Titreşim analizi, dengesizlik (balanssızlık) tespiti için kullanılan, dönme hareketiyle çalışan makinelerin üretimi aksatmadan iş yapabilmeleri için uygulanan bir kalite denetim metodudur. Bahsedilen denetim yönteminde makine elemanlarının belirli dönemlerde yapılan ölçümleri sayesinde, oluşan dengesizliğin sebebi ve hangi seviyelerde olduğu üretimi aksatmadan belirlenir. Makineden alınan titreşim değerleri ve ISO 10816-1 vb. standartlarda belirtilen veya üretimden alınan bilgiler doğrultusunda değerlendirilerek yapılması gereken işlemlere belirlenir.

Uysal ve ark.'nın (2015) çalışmasında, makinelerde dönme esnasında oluşan balans arızalarının genel özelliklerini incelemişlerdir. Makinelerdeki yataklardan alınan titreşim değerleri ile balans arızasının sınıflarını özetleyerek, titreşim analizi ile faz açıları vasıtası ve spektrum grafikleri ile hangi sınıf balans arızası olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlardan arızanın titreşim analizi ile tespit edildiği görülmüştür [1].

Alp (2021) tarafından yapılan çalışmada, otomobiller üzerinde titreşime neden olan olaylar araştırılmıştır. Titreşim değerlerini düşürmek için balans değerlerinin yüksek olduğu kısımların tespitiyle bu kısımlar üzerinde deney çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde araç üzerinde titreşimin insanlara verdiği rahatsızlıklar tespit edilmiş ve bu titreşimin giderilmesi için gerekli önlemler önerilmiştir [2].

Karahan ve ark.'nın (2005) yaptıkları çalışmada, makinelerde balans durumunun titreşim analizleri ile takibi sonucu makinelerde oluşabilecek arızaları önceden belirleyip müdahale etmek için kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, makinelerdeki dönen parçalarda periyodik olarak alınan titreşim ölçümleri ile toplanan titreşim değerleri, frekans analizi yöntemiyle değerlendirilip arıza tespiti yapılmıştır [3].

Ayan (2019) tarafından yapılan çalışmada, döner makine elemanlarının balans durumunun titreşim analizleri ile takibi sonucu baca gazı fanında oluşabilecek arızaları önceden belirleyip müdahale etmek için kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir [4].

Güven (2010) tarafından yapılan çalışmada, hidroelektrik santrallerinde türbinlerin balans durumu kontrol edilmiştir. Bu hidroelektrik türbinlerin çalışma esnasında balansın etkisi ile oluşan titreşimlerin en aza indirmek için yapılacak iyileştirmeler hakkında incelemeler yapılmıştır. Titreşim sorunları ve nedenleri tanımlanmıştır. Bu yöntemlere göre türbindeki verimlilik değerleri ölçülerek olması gereken titreşim değerleri belirlenmiştir [5].

Apak (1997) tarafından yapılan çalışmada, dönen makinelerdeki mekanik titreşimler konusu incelenmiştir. Titreşimlerin nedenleri, çeşitleri, ölçülmesi, arındırılması ve güncel bilgisayar destekli titreşim izleme sistemleriyle erken uyarıcı bakım programı tanıtılmıştır [6].

Kaya (2008) tarafından yapılan çalışmada, raylı taşıtın üretimi öncesinde karar verilen taşıt sistem değişkenlerinin, raylı taşıtın çalışma hareket karakteristiğini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Vagon ve tren sisteminin titreşiminin model analizi incelenmiştir. Dinamik sistem, Matlab benzetim sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için Adams programında modellenmiş ve Adams çözücüsünden alınan modal sonuçlar Matlab sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Vagon parametresinin daha baskın olduğunu bulmak için duyarlılık analizi yapılmıştır [7].

Kumar ve ark.'nın (2018) çalışmasında, dönen Makine parçalarının farklı dakikada dönüş-round per minute (rpm) hızlarda dengeli ve dengesiz durumlarda titreşim değerleri alınmıştır. Bu titreşim değerlerinin Fast Fourier Transformation-Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile hesaplanan spektrum grafiklerinin analizleri yorumlamıştır [8].

Yamamoto ve ark.'nın (2016) çalışmasında, makinelerde dönme esnasında oluşan balans arızalarının genel özelliklerini incelemişlerdir. Makinelerdeki yataklardan alınan titreşim değerleri ile balans arızasının sınıflarını özetleyerek, titreşim analiziyle spektrum grafikleri ve faz açıları vasıtasıyla hangi sınıf balans arızası olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlardan arızanın titreşim analizi ile tespit edildiği görülmüştür [9].

Kalkat (1995) tarafından yapılan çalışmada, yüksek hızlarda çalışan makinelerde kütle dengesizliklerinden kaynaklanan mekanik sistem titreşimlerinin teorik ve deneysel araştırması yapılarak, dengelemenin söz konusu titreşimler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Döner makine şaftının yataklama bölgesinde dengelemeden önce

yüksek olan titreşim genliğinin, dengeleme işleminden sonra düştüğü görülmüştür [10].

Saleem ve ark.'nın (2012) çalışmasında, deneysel frekans spektrumları dengeli ve dengesiz koşullar altında analiz edilmiştir. Bu amaçla yapılan teorik hesaplamalarla deneysel çalışmanın değerleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Farklı çalışma hızlarında FFT elde edilen titreşim verileri incelenmiştir [11].

Sudhakar ve ark.'nın (2010) yaptıkları çalışmada, bir rotor yatak sisteminde, arıza nedeniyle sistemde tahmin edilen eşdeğer yükler ile teorik arıza modeli yükleri arasındaki fark en aza indirilerek arıza tanımlanmıştır. Bu nedenle, mevcut çalışmada minimum hata ile arıza tanımlama için kapsamlı bir yöntem denenmiştir. Bir rotor sistemindeki dengesizlik arızasının tanımlanması için iki farklı yaklaşım olarak eşdeğer yüklerin minimizasyonu ve titreşim minimizasyonu yöntemi uygulanmıştır. Dengesizlik arızası, önerilen yöntemler kullanılarak, yalnızca bir konumdaki enine titreşimler ölçülerek tanımlanmıştır [12].

Kalyoncu (2006) tarafından yapılan çalışmada, makinenin dönen rotor aksamında oluşan problemin tespit edilmesinde titreşim analizi incelenmiştir. Makine yataklarındaki rulmanlarda meydana gelen arızalar incelenerek titreşim analiz sonuçları grafiksel olarak vermiştir [13].

Vishwakarma ve ark.'nın (2016) yaptıkları çalışmada, farklı tipteki dönen makinelere uygulanan farklı titreşim özelliği çıkarma yöntemlerini incelemişlerdir. Titreşim analizinden uygun değer çıktısı elde etmek için uygun titreşim tekniklerinin seçilmesi gerekir. FFT, çeşitli zaman frekans gösterimleri ve zaman frekansı ölçeği analiz tekniklerini incelemişlerdir. Genel olarak dönen makinedeki hataları göstermede, frekans alanı özelliklerinin zaman alanı özelliklerinden daha iyi olduğunu önermişlerdir. Bunun nedeni, rezonans frekansı bileşeninin veya arıza frekansı bileşeninin, zaman alanı özelliklerine kıyasla frekans alanı özelliklerinde daha kolay tespit edilebilmesidir [14].

Taplak ve ark.'nın (2004) yaptıkları çalışmada, dönen rotor sistemlerinde dengesizliğe bağlı dinamik hareket analizi yapabilmek adına bir “Düz Bağlantılı Rotor Sistemi” üretilerek, çeşitli işletme koşullarında titreşim değişkenleri bakımından araştırmıştır. [15].

Dereoğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada, makinelerde dönme esnasında oluşan problemin tespit edilmesinde titreşim analizi kullanılması ve kestirimci bakımın faydaları hakkında analizler yapılmıştır [16].

Krishnaveni ve ark.'nın (2019) çalışmasında, asenkron motorun titreşimini ve sıcaklık değerlerini ölçmüşlerdir. Toplanan sıcaklık ve titreşim değerlerini telefona göndererek asenkron motorda oluşabilecek sorunların önceden tespit edilmesini sağlamıştır [17].

Çeven ve ark.'nın (2020) çalışmasında, bir deney düzeneğinde asenkron motorun farklı rpm'lerde dinamik titreşimlerini ölçmüşlerdir. Bu çalışmada asenkron motorun gövdesindeki "Z" eksenini doğrultusunda bağlanmış bir ivmeölçerle titreşim sinyal verileri alınmıştır. Toplanan sensör verileri FFT yöntemin dönüşümü kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır [18].

Klee ve ark.'nın (2019) çalışmalarında, titreşimi analiz etmek için doğrusal eksen hareketini stabilize ederek bir yaklaşımı araştırmışlardır. Doğrusal olarak hareket eden bir sıkıştırma kulesinde çalkalayıcı kaynaklı düşük frekanslar için titreşim değerleri türetilebileceği gösterilmiştir [19].

Mizutania ve ark.'nın (2003) çalışmasında, asılı bir silindir-motor sisteminin dengesiz titreşimini azaltmak için tekstil makinelerinde kullanılabilecek bir titreşim kontrol yöntemini ele almışlardır. Sarkan silindirin titreşimini kontrol etmek için kauçuk yaylar ve elektromıknatıslardan oluşan hibrit tip titreşim kontrol cihazına sahip bir tahrik motoru kullanılmıştır. Titreşimi önlemek için, kauçuk yayın yer değiştirme sinyalinin pozitif geri beslemesi ile elde edilen bir sertlik kontrolü önerilmiş ve sertlik kontrolünün etkinliği simülasyonlar ve deneylerle doğrulanmıştır [20].

Yaman ve ark.'nın (2014) çalışmasında, kritik pompa grubu için ilk olarak Pareto analiziyle titreşim ölçümü yöntemi ile bazı ekipmanlar üzerinden titreşim değerleri alınarak parçanın dengesizlik durumu tespit edilmiştir. Titreşim analizi ile ekipmanların ani duruş yaşanmadan evvel arıza tespiti yapılabildiği ve bazı arızaların birbiri ile alakalı olmasının belirlendiği uygulamalar ile gösterilmiştir [21].

Daha önceki çalışmalarda tespit edildiği gibi dönen makinelerde en sık rastlanan arıza dengesizliktir. Bu çalışmada ise sanayide tel sarmak amacıyla kullanılan çelik makaralarda meydana gelen dengesizlik problemi incelenmiştir. Bu problem, kullanım süresine bağlı olarak makaraların zamanla yıpranmasından kaynaklanabileceği gibi makaraların kullanım, taşıma ve stoklama hataları sebebiyle de oluşabilmektedir.

Makaralarda oluşan dengesizlik arızalarını tespit etmek için PLC ile kontrol edilebilen bir test cihazı geliştirilmiştir. Makaralar bu test cihazına bağlanarak belirlenen hızlarda döndürölmektedir. Bu esnada cihaz üzerinde bulunan titreşim sensörleri ve mesafe ölçme sensörleri sayesinde PLC yazılımı ile eş zamanlı toplanan titreşim ve yüzey tolerans verileri izlenebilmekte ve raporlanmaktadır. Çalışmada, test cihazına bağlanan farklı makaralar için rotor yataklarından alınmış titreşim ölçümleriyle spektrum analizi ve faz açıları incelenmiş ve dengesizlik arızası tespit edilmiştir. Ayrıca makine gövdesine sabitlenen sensörler ile dört noktadan alınan mesafe değerlerine göre makaranın yüzey toleransları incelenerek, dengesizliğe sebep olan yüzeyde oluşan bozulmalar tespit edilmiştir. Makaralarda yapılan ölçümler sonucu makaraların durumu değerlendirilirken ISO 1940, TS ISO 1940/1, S2.19-1972, BS 6861-part 1 ve VDI 2060 titreşim standartları ve DIN 46397 yüzey toleransı standartlarına uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir.



2. TİTREŞİM

Cisimlerin denge konumu etrafında yaptığı salınım veya yönünü birden fazla değiştirdiği tekrarlı hareket titreşim olarak ifade edilmektedir. Dönen mekanik parçalarda titreşim istenmez. Örnek olarak verecek olursak, deprem kaynaklı titreşimler binalarda hasara veya yıkıma neden olabilir. Uçak gövdesindeki titreşimler yorulmaya sebep olarak hasara yol açar. Elektrik motorları, pompalar veya dönen makine parçaları, hareket esnasında bu parçaların dengesizliğinden kaynaklı titreşimler üretirler. Bu durum dönen parçalarda zamanla arızaların oluşmasına neden olur. Bazı durumlarda titreşim hareketlerinden faydalanılabilir. Bunlara, titreşim elekleri, darbeli matkaplar, titreşimli yol silindirleri ve beton vibratörü örnek verilebilir. İki durum içinde titreşiminin analizi, ölçümü ve kontrolü gerekmektedir.

2.1. Period (T)

Bir tam hareket dalgasının oluşması için geçen süreyi ifade etmektedir. Birimi, saniye veya dakikadır. Şekil 2.1’de gösterilen periyot boyunu " T " ile gösterilmiştir.

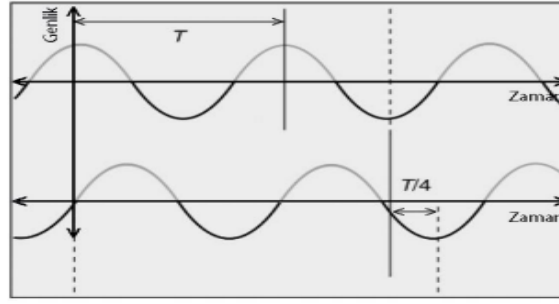
2.2. Frekans (f)

Bir olayın saniyede hangi sıklıkla tekrarlandığının ölçümüdür. Birimi hertz ’dir. $1 \text{ hz} = 60$, $T = \text{Periyod}$, Dakikada Dönüş-Cycle Per Minute (CPM)’dir. Frekansın birimi CPM dir. Bir olayın dakikada meydana geliş adedidir.

$$F = 1/T \quad (2.1)$$

2.3. Faz (Ø)

Özdeş frekans ve genlik değerine sahip iki dalganın $T/4$ birim kadar bir zaman farkına faz açısı denir. Bu durum Şekil 2.1’de gösterilmiştir. $T/4$ zamanda görülen faz açısı 90° dir.

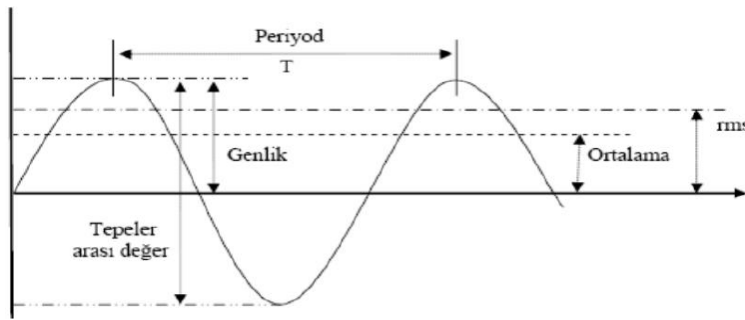


Şekil 2.1. Özdeş Frekans ve Genlik Değerindeki İki Farklı Dalga Arasındaki Faz Gecikmesi [4].

2.4. Genlik

Genlik, Şekil 2.2.'de pik değeridir. Bu grafikte dönen makine elemanlarının dalga boyları genlik değerlerini ifade eder. Genlik değeri büyüdükçe buna bağlı titreşim dalgasının ilettiği enerji büyür.

- Yer değiştirme (Displacement): mikron/mm – tepeler arası değer,
- Hız (Velocity): mm/sn – Etkin Değer-Root Mean Square (RMS) & Genlik,
- İvme (Acceleration): g (mm/sn²) - Genlik & tepeler arası değer,
- Zarflanmış İvme: gE – tepeler arası değer ölçümleri ile belirlenebilir.



Şekil 2.2. Titreşim Temel Parametreleri

$$\text{Genlik} = 1.0 \quad (2.2)$$

$$\text{RMS} = 0,707 \times \text{Genlik} \quad (2.3)$$

$$\text{Ortalama} = 0,637 \times \text{Genlik} \quad (2.4)$$

$$\text{Tepeler arası değer} = 2 \times \text{Genlik} \quad (2.5)$$

2.4.1. Tepe Faktörü (Genlik)

Dalga formunun tepe değeriyle dalga formu hızı RMS değerinin birbirine oranına denir. Bir sinüs dalga formunun tepe noktasında okunan hız değeri, aynı sinüs dalga formu RMS değerinin 1.414 katına eşittir [16].

2.4.2. Tepeler Arası Değer

Sinyal tepe noktasından, dip noktasına aldığı değerdir. Titreşim deplasmanını ifade eden kavramdır. Bir makine ya da ekipmanın titreşim toplam genliğini vermektedir. Tepe değerinin iki katıdır [16].

2.4.3. Etkin Değer (RMS- Root Mean Square)

Bir sinyalin iki zaman aralığında değerlerinin kare ortalamasının karekökü olarak ifade edilir [16].

2.4.4. Ortalama (Average)

Bir sinyalde iki zaman aralığındaki değerlerin aritmetik ortalaması olarak ifade edilir [16].

2.4.5. Yer Değiştirme (Deplasman)

Titreşime uğrayan ekipmanın yer değiştirme mesafesini ifade eder. Birimi “*micron*” veya “*mm*” dir. Düşük frekansa sahip makinelerde bu ölçme yöntemi tercih edilmektedir. 600 devir/dakika’nın altında frekanslar için tercih edilirler [16].

2.4.6. Hız

Genelde “*mm/s*” olarak ölçülmektedir. Bu birimler deplasmanın hızını gösterir. 600 ile 100.000 devir/dakika aralığında ölçümlerde uygundur [16].

2.4.7. İvme

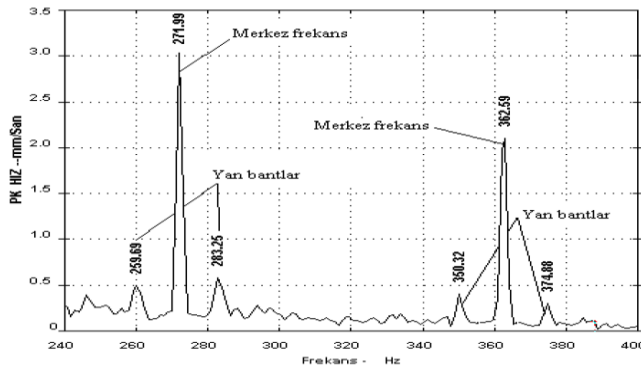
Birim zamanda hızda gerçekleşen değişim ivme olarak tanımlanır. Deplasmanın zamana göre ikinci türevi ya da hızın zamana göre birinci türevidir. Birimi m/s^2 , mm/s^2 , $mikron/s^2$, $inç/s^2$ veya g şeklinde gösterilir [16].

2.5. Dalga Formu

Yer değiştirme, hız, ivme kavramlarını sinüs veya kosinüs dalgaları biçiminde ifade edebiliriz. Dalga form hareketin zamana karşı anlık vaziyetini gösteren grafik veya görseldir [4].

2.6. Yan Bantlar

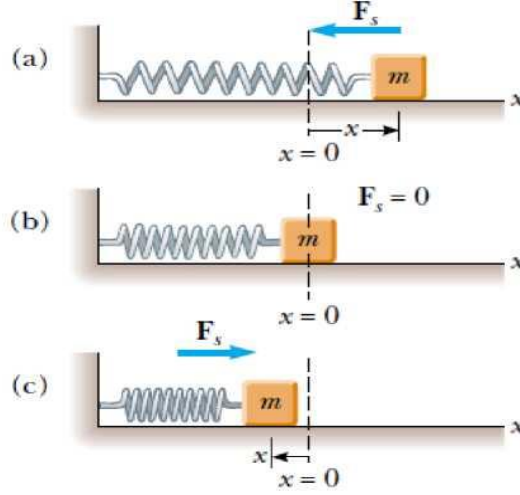
Şekil 2.3.'de gösterildiği gibi merkez frekansın sağ ve sol tarafında eşit olarak yerleştirilmiş frekans bileşenleri yan bantlar olarak adlandırılır. Uygulamada makine ve parçalarının asimetrik olmalarından dolayı yan bantlar merkez frekansa göre çok nadir simetrikler. Modülasyon frekansı yan bant olarak adlandırılır çünkü modülasyon frekansı sinyalin modülasyonu neticesinde meydana gelir. Genlik modülasyonu genellikle rulmanı yataklar, eksantrik dişliler ve eğik ya da ekseni kaçık mil dişli montajında kavramada olur. Dişlilerde yan bantların oluşum süreci rotorun dönme hızında ve onun harmoniklerindedir. Eksantrikliğe bağlı olarak yan bant genlikleri değişir. Yan bant Şekil 2.3.'de gösterildiği gibidir [16].



Şekil 2.3. Yan Bant Oluşumu

2.7. Basit Harmonik Hareket

Titreşim temelde rastgele ve sarkaç hareketi gibi periyodiktir. Bu anlamda belirli zamanda aynı hareketi tekrarlamak şeklinde ortaya çıkar. En basit ifadesiyle periyodik titreşim harmonik titreşimdir. Bir ucu sabit bir yayın diğer ucuna bağlanan m kütlesi yatay, sürtünmesiz yüzeyde serbest biçimde hareket edebilmektedir (Şekil 2.4.) Yay serbest durumda iken $x=0$ konumundadır. Sistem denge durumundan uzaklaştırıldığında, ileri ve geri hareket etmektedir. Bu sistemde sürtünme sıfır olduğu için enerjinin korunumundan dolayı mekanik enerjide bir kayıp olmaz ve konum zamana bağlı sinüs fonksiyonu ile belirlenecek biçimde titreşir.



Şekil 2.4. M Kütleli Bir Cismin Yatay, Sürtünmesiz Yüzey Üzerinde Serbestçe Hareket Edebildiği Fiziksel Sistem [4].

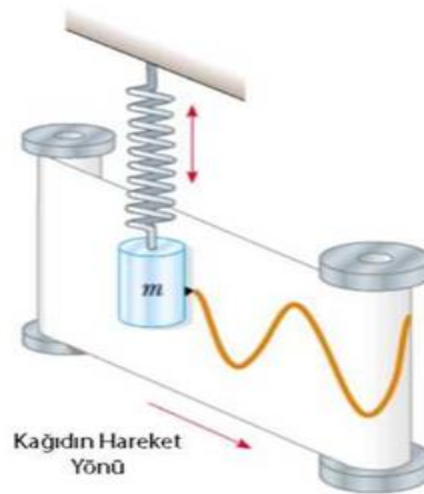
Şekil 2.4. (b) bloğunda denge durumun da iken (a) ve (c) bloğundaki gibi x uzaklığı kadar hareket ettirme ile orantılı ve aşağıda verilen Hooke Yasası ile

$$F_s = -kx \quad (2.6)$$

Şekil 2.4. F_s kuvveti uygulanarak m kütleli cismi x kadar yer değiştirme işlemidir. Kuvvet kaldırıldığı zaman cisim denge konumuna doğru geri hareket etmektedir. Şekil 2.4'e göre $x=0$ konumunda sağına gidilince yer değiştirme pozitif ve soluna doğru hareket ettiğinde yer değiştirme negatif olur.

$$F_s = -kx = ma \quad (2.7)$$

$$a = -\frac{k}{m}x \quad (2.8)$$



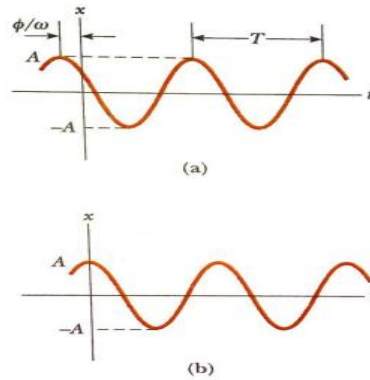
Şekil 2.5. Basit Harmonik Hareketi Gösteren DeneySEL Düzenek [4].

Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi ivme bloğun yer değiştirmesi ile orantılı ve doğrultusu yer değiştirme doğrultusuna aksi yöndedir. Burada titreşimler basit harmonik hareketleri yaparlar.

Şekil 2.5.'te gösterilen deney düzeneğinde asılı yayın ucuna m kütesine sahip cisim ve cismin ucuna kalem bağlanmıştır. Cisim hareket yaptığında kâğıt düzeneği, Şekil 2.5.'teki belirtilen yönde kaydırılırken; cisim üzerindeki kalem kâğıda harekete bağlı olarak çizer ve dalga şeklinde desen ile basit harmonik hareket görülür. Cisim basit harmonik hareketine ait konum yer değiştirmesi eşitlik (2.6)'da verilmiştir.

$$x = A \cos (\omega t + \varphi) \quad (2.9)$$

A ω ve φ değerleri sabittir. Bu sabitler Şekil 2.6'da oluşan sinüs eğrisi şeklindeki desende ölçülmektedir. Cismin $+x$ veya $-x$ yönünde en büyük yer değişim değeridir. Harmonik hareketin açısal frekansı ω ile gösterilir ve cismin radyal cinsinden bir saniye içinde taradığı açıyı gösterir. φ Sabit açısına faz sabiti veya faz açısı denir. Cismin başlangıçtaki deplasmanı ile hızından yararlanılarak sağlanır. Eğer cisim $t=0$ 'da $x=A$ maksimum konumdaysa, bu durumdaki $\varphi=0$ olur ve zamana göre yer değişim ($x-t$) eğrisi Şekil 2.6 (b)'de ifade edildiği gibi olur. Cisim $t=0$ 'da başka bir konumdaysa φ ve A sabitleri, $t=0$ anındaki yer değiştirme değerini verir. $(\omega t + \varphi)$ büyüklüğüne hareket fazı adı verilir ve iki parçacıklı sistemlerdeki hareketlerin mukayese edilmesinde kullanılır [4].



Şekil 2.6. Basit Harmonik Hareket Yapan Bir Parçacık İçin Bir $x-t$ Eğrisi [4]

X fonksiyonunda ωt 'nin her 2π radyanda periyodik olarak kendini tekrarladığı görülür. Cisim tarafından yapılan harmonik hareketinin bir tam devrini tamamlaması için gerekli olan süreye T periyodu denir. Bu tanım dolayısıyla x 'in t anında değeri,

x'in t+T anında değerine eşit olmaktadır. T kadar sürede ($\omega t + \varphi$) fazın 2π radyan fazlaştığı göz önünde tutularak,

$$\omega t + \varphi + 2\pi = \omega(t + T) + \varphi \quad (2.10)$$

Burada fonksiyonun T periyodu

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.11)$$

Olarak elde edilir.

Periyodun tersi frekans olduğuna göre; periyot ve frekans ilişkisi (2.12)'de belirtildiği gibidir.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.12)$$

Frekans birimi devir/saniye veya hertz olarak verilir. Ayrıca eşitlik (2.12)'den yararlanılarak ω açısal frekansı eşitlik (2.13)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.13)$$

Basit harmonik hareket gerçekleştirmekte olan cismin hızı, Eşitlik (2.9)'un zamana göre türevini alınarak Eşitlik (2.14)'de gösterildiği üzere bulunur.

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.14)$$

Cismin ivmesi, Eşitlik (2.14)'ün zamana göre türevi alınarak Eşitlik (2.15)'te gösterildiği gibi elde edilir.

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.15)$$

İvme, eşitlik 2.16'de gösterildiği gibi elde edilir.

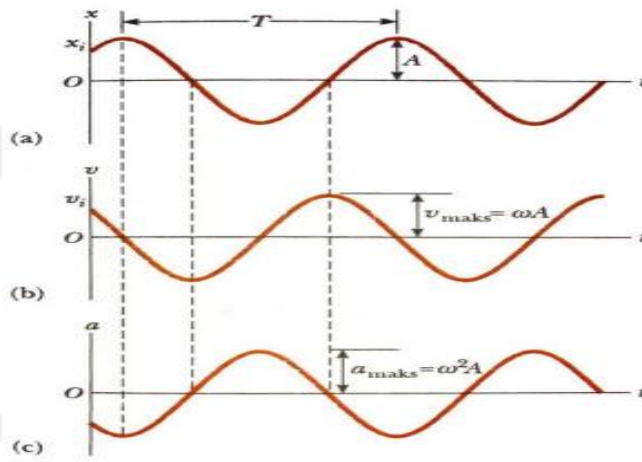
$$a = -\omega^2 x \quad (2.16)$$

Sinüs fonksiyonunun değeri ± 1 aralığında değiştiğinden ötürü, eşitlik (2.14), hız (v) en yüksek ve en düşük değerlerini $\pm \omega A$ verir. Kosinüs fonksiyonu ± 1 arasında değiştiğinden eşitlik (2.15) ivmenin (a) en yüksek ve en düşük değerlerinin $\pm \omega^2 A$ olduğunu gösterir. Bu sebeple, basit harmonik hareket yapmakta olan cismin veya parçacığın maksimum hız değeri (2.17) eşitliğinde maksimum ivme değeri eşitlik (2.18)'de gösterildiği gibidir.

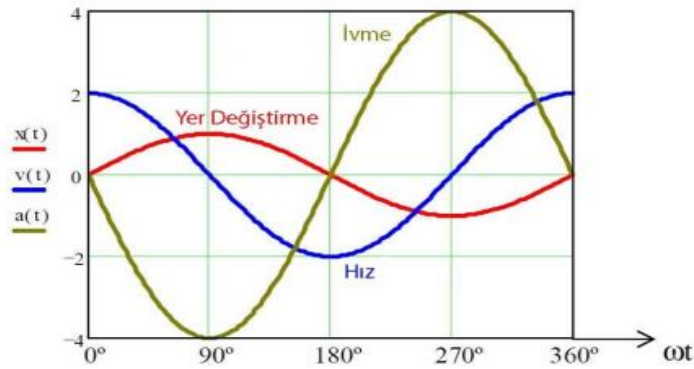
$$v_{\text{maks}} = \omega A \quad (2.17)$$

$$a_{\text{maks}} = \omega^2 A \quad (2.18)$$

Şekil 2.7.'de basit harmonik hareket grafik gösterimi verilmiştir. Şekil 2.7(a)'da rastgele bir faz sabitine dair deplasman-zaman grafiğini gösterilmektedir. Hız ve ivme fonksiyonları Şekil 2.7(b) ve Şekil 2.7(c)'de gösterilmiştir. Bu fonksiyonlar; hız fazının, deplasman fazından $\pi/2$ radyan veya 90° farklı olduğunu göstermektedir. Böylece x değeri, en yüksek veya en düşük iken hız sıfıra eşitlenir. Aynı biçimde x , 0 iken hız en yüksek değerine ulaşır. İvme fazı, deplasman fazından π radyan ya da 180° kadar farklıdır. Yani, x en tepe değere ulaştığında ivme, x 'e göre zıt istikamette en yüksek değerine erişir [4].



Şekil 2.7. Basit Harmonik Hareketin Grafikselsel Gösterimi [4].

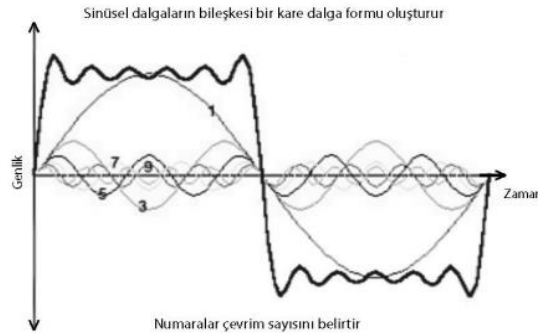


Şekil 2.8. Hız, İvme ve Yer Değiştirme Değerlerinin Faz ile İlişkisi [4].

Şekil 2.8.'deki deney düzeneğindeki gibi basit harmonik hareketteki m kütleli cismin hız, ivme ve yer değiştirme değerlerinin birbirlerine göre olan ilişkileri gösterilmiştir. Şekil 2.9.'da y eksenini deplasman ve x eksenini bir saniyelik zaman dilimi olarak kabul edildiğinde,

- 1 numarayla ifade edilen dalga, 1 saniyede 1 çevrim yaptığından ötürü frekansı 1 hz. dir.
- 3 numarayla ifade edilen dalga, 1 saniyede 3 çevrim yaptığından ötürü frekansı 3 hz. dir.
- 5 numarayla ifade edilen dalga, 1 saniyede 5 çevrim yaptığından ötürü frekansı 5 hz. dir.
- 7 numarayla ifade edilen dalga, 1 saniyede 7 çevrim yaptığından ötürü frekansı 7 hz. dir.
- 9 numarayla ifade edilen dalga, 1 saniyede 9 çevrim yaptığından ötürü frekansı 9 hz. dir.

Buradaki gibi 1, 3, 5, 7, 9, ... gibi tek sayılı frekansta kendini gösteren dalga serisine baskın frekansın tek sayılı harmonikleri denir. Eğer 1, 2, 3, 4, 5, ... hz. frekansındaki dalga formları analiz edilirse bu formlar 1 hz. frekansının harmoniğini meydana getirirler. Serilerde ilk dalgalar genelde baskın frekans şeklinde belirlenir. Tek sayı harmoniklerinin formları üst üste eklendiğinde genliklerini sönümleyerek veya arttırıp karmaşık yapıyla yeni dalga formu oluştururlar. Şekil 2.3.'te bu karmaşık yapı sahibi yeni dalga dörtgene benzemektedir [4].



Şekil 2.9. Tek Sayılı Frekanslarda Kendini Belli Eden Dalga Serisi [4].

2.8. Titreşim Analizi

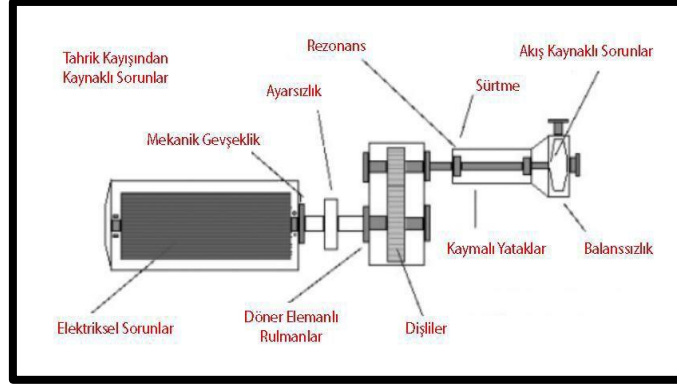
Makinelerde istenilen durum odaklı bakım yani kestirimci bakım ve proaktif yani önleyici bakım yapılabilmesi için en etkin yöntem titreşim analizidir. Bir makinenin çalışma verimliliği titreşim analizi ile tespit edilebilir. Titreşim analizinin belirli aralıklarda yapılması sayesinde, sistemde oluşabilecek büyük mali kayıplar olmadan ve istenmeyen maddi kayıplar olmadan evvel arızaların tespiti sağlanır. Ayrıca iş

gücüne ve bakıma ayrılmış olan zamanın kısıtlı olduğu durumlarda titreşim analizi etkili yaklaşımdır. Titreşim değerlerinin kontrol edilmediği durumlarda üretim hattında oluşacak ani duruşlar dikkate alındığında titreşim analizinin faydaları ortaya çıkarır. Titreşim analizi makinenin son testlerinde de kullanılır. Makinenin veya da dönen makine elemanlarının montajının düzgün yapılıp yapılmadığı kontrol edilebilir. Örneğin montajı bitmiş dönen rotların titreşim değerlerinin ISO 10816 standart değerlerinin içinde olup olmadığı kontrol edilir. Dönme hareketi ile çalışan tüm makinelerde titreşim oluşur. Makinenin oluşturduğu titreşimin frekans genlik değeri, makinenin çalışma verimi hakkında bilgiler verir. Titreşim analizi; pompalar, motorlar, buhar gaz türbinleri, kompresörler, hadde makineleri, fanlar, redüktörler benzeri birçok dönen makine elemanında kullanılmaktadır. Titreşim analizi ile rulman arızaları, dişli guruplarındaki sorunlar, mekanik geçme sorunları, yüzeylerde aşınma sorunu, bağlantı sorunları, hareket aktarma sorunları gibi benzer arızalar tespit edilebilmektedir.

2.8.1. Titreşim Analizi ile Arıza Tespitleri

Vibrasyon analiziyle ivme, hız ve deplasman aracılığıyla tespitler gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen tespitlerde frekans önemlidir [16].

- Balanssızlık,
- Eksen Kaçıklığı,
- Rulman Hasarları,
- Mekanik Gevşeme,
- Yağlama,
- Rezonans,
- Elektrik Motor Arızaları,
- Dişli Hasarları,
- Hidrolik Akış Problemleridir.



Şekil 2.10. Makine Arıza Noktaları [16].

Şekil 2.10.'da tipik bir tahrik grubu ve makine gösterilmiştir. Ana tahrik unsuru bir elektrik motorudur. Bu bazen bir buhar türbini ya da gaz türbini veya dizel motor olabilir. Motorun çıkış devri istenen makine devrine düşerken bir dişli grubu yani redüktörden faydalanılmıştır. Motor şaftının redüktör şaftına bağlanması kalplinedir. Sisteme bağlı makine bir fan, pompa, kompresör vs. olabilir. Bu donanımlardan kaynaklanması olası arıza noktaları ve arızalar Şekil 2.10.'da ifade edilmiştir [16].

2.8.1.1. Balanssızlık

Balans problemi radyal yönde ölçümlerde ağırlık merkeziyle dönme merkezi farkı neticesinde söz konusu olur. 1xrpm frekansına sabit doğrultusu aynı kalan tepedir. Balans sorunu nedenleri;

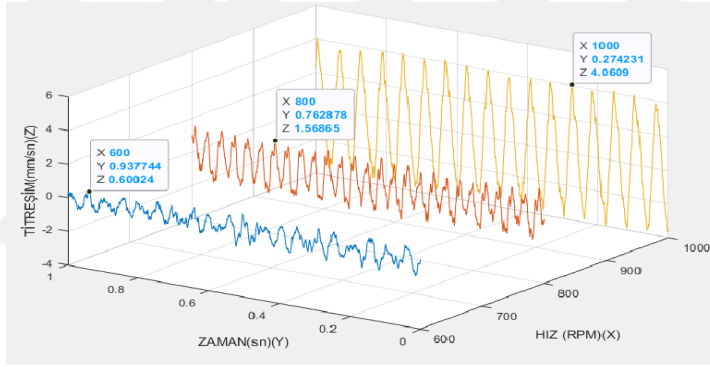
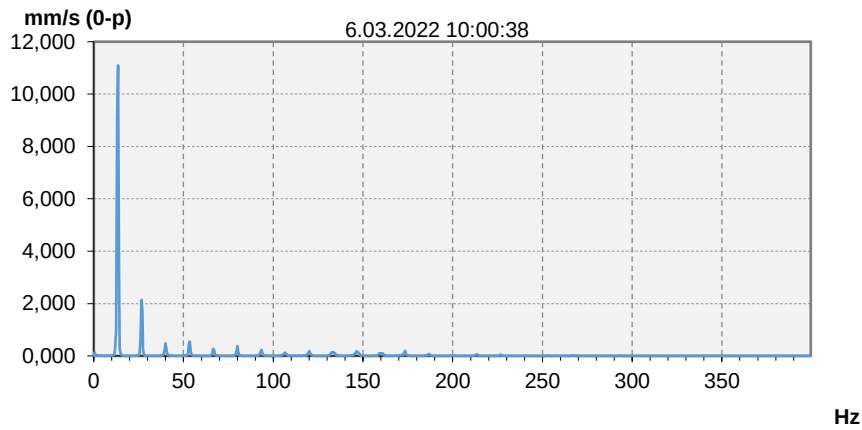
- Hatalı montaj,
- Yapışmalar,
- Aşınma,
- Kırılan ya da düşen parçalar olabilir.

Yüksek balanssızlık grafik üzerinde harmonikler ile ortaya çıkar. Tablo 2.1.'de balans sorununa pikinin faz ölçümleriyle ilgili anlamları vardır [16].

Tablo 2.1. Balanssızlık Pikinin Faz Ölçümlerine Cevapları

Titreşimin Kaynağı	Baskın Titreşimin Frekansı	Ölçüm Yönü	Faz ile İlişkisi	Genliği
Kütlelerin Dengesizliği	1x rpm	Radyal yön	Aynı noktada yatay dikey arası 90°	Sabit
Şaft Eğikliği	1x rpm	Eksenel yön	Yataklar arasında fark 180°	Sabit
Motor Rotoru Eksantrikliği	1x rpm	Radyal yön		Hareketli
Durağan Balanssızlık	1x rpm	Radyal yön	Radyal iki yatakta aynı	
Dinamik Balanssızlık	1x rpm	Radyal yön	Eksenel ve Radyal 180°	

Şekil 2.11. ve Şekil 2.12.'de balanssızlığa ait spektrum ve dalga formuna ait örnek grafikler mevcuttur. Bu grafikler Sar Makine fabrikasında makara analizi sonucu alınan grafiklerdir.

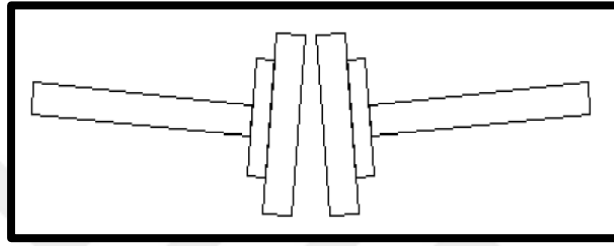
**Şekil 2.11.** Balanssızlığa Bağlı Dalga Formu Grafiği**Şekil 2.12.** Balanssızlığa Bağlı Spektrum Grafiği

2.8.1.2. Eksen Kaçıklığı (Kaplin Ayarsızlığı)

Ayarsızlık; şaft, kaplin ve rulmanların merkezlerine düzgün biçimde montaj yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Üç farklı tip ayarsızlık vardır [16].

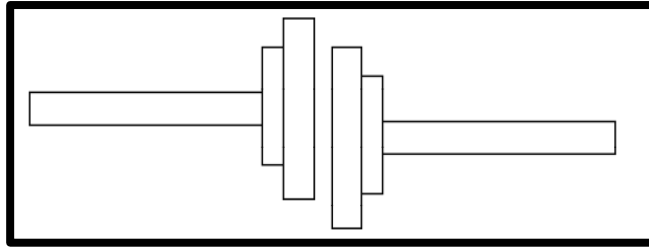
- Paralel ayarsızlık,
- Açısal ayarsızlık,
- Paralel ve açısal ayarsızlık kombinasyonudur.

Şekil 2.13'teki gibi açısal ayarsızlık şaft üzerine gelen ve şaftı eğmeye çalışan bir çeşit kuvvet nedeniyle şaftların birleşme noktasında meydana gelir [16].



Şekil 2.13. Açısal Ayarsızlık [16].

Şekil 2.14.'teki gibi paralel ayarsızlık şaft eksenlerinin paralel fakat kaçık olduğu durumlarda meydana gelir [16].



Şekil 2.14. Paralel Ayarsızlık [16].

Radyal yönde alınan ölçümlerde 1x, 2x, 3x rpm frekans tepelikleri görülmektedir. Paralel kaçıklıkta ise harmonikler 2x ve 3x rpm de de görülmektedir ancak burada tepeler 1x'te bulunan tepenin yarısından daha fazla olmalıdır. Deve hörgücü olarak ifade edilen 1x periyodunda eğik şaft, yalpalı montaj, hatalı rulman montajı, milde çatlak, makine üzerindeki gerilmeler veya total ayak benzeri problemler bu sonuçlara yol açabilir [16].

Tablo 2.2. Titreşim Genliğine Göre Ölçüm Yönü ve Faz İlişkisi [16].

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm Yönü	Faz İlişkisi	Genlik
Paralel	1x,2x,3x rpm	Radyal	Radyalda 180°	Sabit
Açısal	1x,2x,3x rpm	Eksenel	Eksenelde 180°	Sabit
Paralel ve Açısal	1x,2x,3x rpm	Radyal ve/veya Eksenel	180°	Sabit
Kaymalı yataklar	1x,2x,3x rpm	Radyal ve/veya Eksenel	Eksenelde 180°	
Bilyalı yataklar	1x,2x,3x rpm 30-60 bin rpm	Eksenel	Eksenelde 180°	

2.8.1.3. Rulman Arızaları

Rulmanlar makinelerde dönen elemanlarda yaygın biçimde kullanılır. Makinelerin problem çıkmadan görev yapabilmesi rulmanların sağlıklı çalışmasıyla direkt olarak alakalıdır. Makine yataklarından titreşim ölçülerek makinenin içyapısında gelişen olaylar hakkında bilgi edinilebilir [3].

Rulmanlı yataklarda bilyalarda ya da silindirik elemanlarda meydana gelen arızalar, arızanın ortaya çıktığı noktaya bağlı biçimde bazı darbecikler üretir. Önceleri arızalar mikroskobik ölçekte olduğundan oluşan darbeler süre bakımından kısadır ve frekanslarıysa 300 khz.'e değin geniş bir bölümü kapsamaktadır. Oluşan şok darbeleri makine gövdesinde yapısal rezonansları uyardıkları üzere piezo-elektrik transdüserlerinde rezonansları tahrik edebilirler. Bundan dolayı frekans spektrumu, bahsedilen frekanslarda üretilen darbe etkilerini içerirler [3].

Rulmanlarda maksimum metal gerilmesi, dış bilezik yük bölgesi ve yatak yüzeylerinin birkaç milimetre altında gelişirler. Bu sebeple oluşan aşınmalar genel olarak dış bilezik üzerinde ortaya çıkarlar. Rulmanlardaki aşınmaların çoğunda ilk oluşum çatlak veya boşluk olarak başlar. Çatlaklar yüksek frekans bölgesinde darbe üretmektedirler [3]. Hasar gören rulmanın sebep olduğu titreşim spektrum grafiğinde belirtiler oluşturur. Bunlar dört aşamada ifade edilebilir [3];

1.Aşama: Hasar oluşunca ilk dönemde spektrum grafiği üzerinde hasar titreşim frekansı harmonikleri meydana gelirken henüz temel hasar frekansı ortaya çıkmaz.

2.Aşama: Spektrum grafiği üzerinde hasar titreşim frekansı daha çok harmonikler oluşturur. Bozulma süreci sürdüğünde hasar titreşim frekansları mil dönme hızıyla

beraber modülasyona uğrarken yan bantlar meydana gelir. Yan bant genliği esas frekans yani merkez frekansın genliğini geçtiğinde hasarın ehemmiyeti anlaşılmalıdır.

3. *Aşama*: Spektrum grafiği üzerinde hasar titreşim frekans harmonikleri ve yan bantlara ek temel hasar frekansı oluşumu da söz konusu olur.

4. *Aşama*: Rulman bozulmayı sürdürdüğünden rulman elemanlarında bozulmayı hızlandıran iç boşlukların arttığı görülür. Oluşan boşluklarla rulman elemanları arasında çarpmalar artar. Bu çarpmalar neticesinde oluşan titreşim spektrum grafiği üzerinde geniş bant gürültüsü meydana gelir. Titreşim genlikleri azalabilirken, geniş bant gürültüsünden zor ayırt edilebilir.

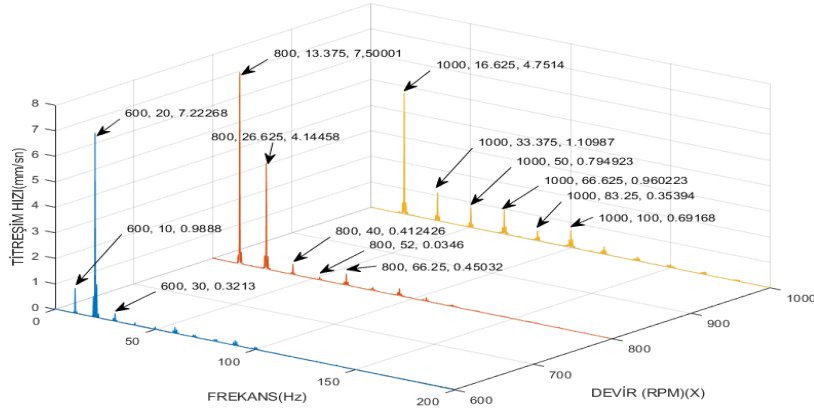
2.8.1.4. Mekanik Gevşeme

Yapı bağlantılarında oluşan çözülme, gevşeme; dönüş devrinin katlarında 8xrpm frekansına değin harmonikler üretirler. Dönen bölümlerde çözülmeler; 0,5xrpm harmoniklerinde göreceli biçimde düşük tepecikler oluşturmaktadırlar. Tablo 2.3. üzerinde mekanik çözülmelere dair dönen ya da sabit parçaların titreşim frekansı ölçüm doğrultusu ve genlikleri belirlenmiştir.

Tablo 2.3. Dönen ve Dönmeyen Parçalara Göre Gevşeklik

Titreşimin Kaynağı	Baskın Titreşimin Frekansı	Ölçümün Doğrultusu	Genlik
Rulman yatağı benzeri sabit parçalar	3-10xrpm frekansında 1x rpm harmonikleri Yarı harmoniklerinde düşük genlik	Radyal	Sabit
Rotor benzeri gibi döner elemanlar	Yarı harmonik 10xrpm değin harmoniklerde düşük genlikte	Radyal	Sabit (Her çalışma farklı genliktedir)

Şekil 2.15.'de Sar Makine tesisinin makaralarından alınan mekanik gevşekliğe örnek spektrum grafiği verilmiştir.



Şekil 2.15. Mekanik Gevşekliğe Örnek Spektrum Grafiği

2.8.1.5. Rezonans

Rezonans, sistemin doğal frekansı ile uyarıldığında oluşmaktadır ve genlik ampifikasyonu ile erken kırılmalara ve kopmaya sebep olur. Bu yüksek titreşim rotor doğal frekansının dışında, ortamdan, bağlantı yerlerinden veya kayışlardan dahi kaynaklanabilmektedir. Eğer rotor rezonans frekansında veya buna yakın frekansta ise, yüksek faz farkı (rezonansta 90° , geçerken ise yaklaşık 180°) nedeniyle balans işlemi yapmak neredeyse olanaksızdır. Genelde doğal frekans değişimi gerekir. Doğal frekansın değişimi çalışma hızı ile mümkün olmaz [16].

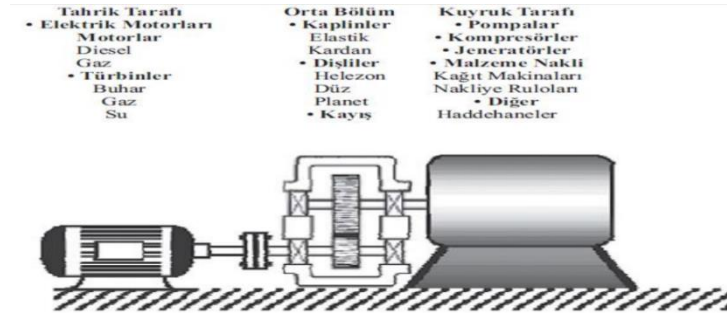
2.8.1.6. Dişli Hasarları

Dişliler yük altındayken diş deformasyonu ve değişik sayıda diş üzerinden yükün taşınması esnasında ani değişimler yüzünden, titreşim yaparlar. Diş deformasyonu etkisi, Diş Kavrama Frekansı-Tooth Modulation Frequency (TMF) ile bunun harmoniklerinde kendini göstermektedir ve çoğunlukla yüke bağlıdır [16].

2.8.1.7. Titreşim Ölçüm Noktaları

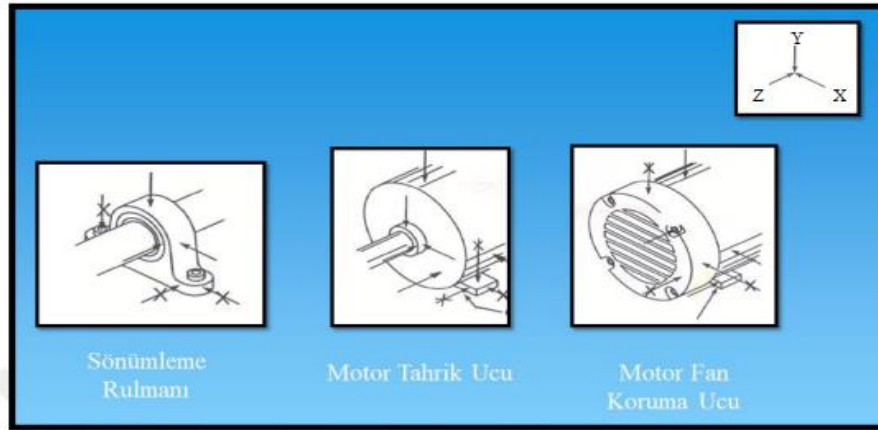
Vibrasyon ölçüm noktalarında arıza tespiti bakımından önemlidir. Bu sebeple ölçüm noktaları ve buralardaki donanımların bilinmesi gerekir. Şekil 2.16'da makine parçalarının sınıflandırması gösterilmiştir [16].

- Olanak dâhilinde dikey ve yatay eksenlere yakın ölçüm alınmalıdır.
- Eksenel yönde alınan ölçümler mile paralel doğrultuda olmalıdır.
- Rulman ve keçe yerleri karıştırılmamalıdır.
- Kapaklar ve buna benzer noktalardan ölçümler alınması uygun değildir.



Şekil 2.16. Makine Parçasının Sınıfları [16].

Şekil 2.17.'de titreşim ölçümünün üç doğrultudan yapılacağını yansıtan görseller bulunmaktadır. Motor tahrik ucu ve motor kapağı dikkate alındığında ölçüm alınması söz konusu olan toplamda altı nokta söz konusudur. Bahsedilen ölçümler yatay, dikey, eksenel yönlerdedir [16]. X : Yatay Y : Dikey - Z : Eksenel



Şekil 2.17. Ölçüm Noktaları [16].

2.8.2. Titreşim Ölçümleri Nasıl Alınır

Vibrasyon ölçümleri sensörler aracılığı ile alınır. Bu sensörler özelliklerine veya neyi ölçmek istediğinize göre farklılıklar gösterirler. Bu karakteristikler;

- Hassasiyeti (mV/g),
- Lineer frekans aralığı (hz. veya CPM),
- Ağırlık (gram),
- Dinamik çalışma aralığı (genlik),
- Gürültü tabanı,
- Çalışma sıcaklığı,
- Çevre koşullarıdır.

İvme sensörleri boyut olarak küçük olduğu gibi frekans ölçüm aralığı genişliği nedeniyle en sık kullanılan sensor türüdür. Bu sensörler piezo-elektrik prensibiyle çalışır. Piezo-elektrik, basınç altındaki kristallerin oluşturduğu akımı ifade eder. Bir kristalin üzerine bir kuvvet uygularsak, bu kuvvetle orantılı olarak kristalde akım meydana gelir. Bu akım dirençten geçtiğinde uyguladığımız kuvvetle orantılı voltaj ölçülür [16].

2.8.3. Titreşim Ölçümlerinde Kullanılan Transdüserler

Ölçüm esnasında farklı maksada hizmet eden sensörler kullanılır. Bunlar;

- Deplasman sensörleri,
- Hız sensörleri,
- İvme Sensörleri,
- Sabit sensörler,
- Portatif sensörlerdir.

İvme sensörleri hız ve deplasman sensörlerine bağlı geniş frekans aralığı, birleşik yapısı ve hafif oluşundan, geniş çalışma aralığı, kullanım çeşitliliği ve montajdan ötürü avantajlıdır [22].

- Deplasman sensörleri (Eddy Prob)

Titreşimin anlık deplasman veya hareket miktarını ölçmek amacıyla dizayn edilmiş problemlerdir. Deplasman problemleri titreşim esnasında iki tepe arası verilerini mils (0.0254 mm.) olarak kaydetmiştir. Bu veriler denge noktasında maksimum deplasmanı ifade eder. Genlik birimi olarak deplasman kullanımı düşük devirli makinelerde sağlıklı neticeler verir. 10 Hz. (600 rpm)'de çalışan mekanik sistemler için deplasman problemlerinin kullanımı söz konusudur. Deplasman problemlerinin yüksek maliyetli olması dezavantaj olarak değerlendirilebilir.

- Hız sensörler

Titreşim verilerinin elde edilmesi esnasında hız ölçümü yaygın biçimde kullanılan metottur. Bu türde titreşim transdüserleri, birçok analiz donanımına kolaylıkla takılabilirken diğer sensörlerle kıyaslanınca daha düşük maliyetlere sahiptirler. Bu sebeple hız transdüserleri çoğu mekanik sistemin titreşim ölçümlerinde ideal veri toplayıcılar şeklinde kabul edilebilir. Hız transdüserleri kullanımı 10-1000 Hz. (600-

60000 rpm) aralığında çalışan mekanik sistemlere uygundurlar. Çoğu mekanik sistemin çalışma frekans aralıkları ve hasar frekansları 10 Hz. ile 1000 Hz. arasında olduğundan bu sistemlerde hız, titreşim analizi adına en ehemmiyetli değişkendir [16].

- İvme sensörleri

İvme transdüserleri de titreşim verilerinin ölçülmesinde yaygın biçimde kullanılırlar. Bu donanımlar ufak ve hafif ancak sağlam, transdüserler olup, geniş frekans aralıklarına uygundur. Mekanik sistemlerde bilyeli rulman ya da dişli grubu benzeri malzemeler arızalı olduğunda yüksek titreşim frekansları ortaya çıkarır ve bunların titreşim ölçümünde ivme transdüserleri kullanılmaktadır [16]. Genlik biriminde ivme kullanımı yüksek devirli makinelerde sağlıklı neticeler verir. 1000 Hz. (60000 rpm) üzeri çalışmakta olan mekanik sistemler için ivme transdüserlerinin kullanımı uygundur. Zorlu kalibrasyon gerektirmeme gibi avantajları tarafları olmakla beraber piezo-elektrik kristalleri sıcaklık hassasiyetleri dezavantaj olarak görülebilir.

2.8.4. Sensör Montaj Yöntemleri

- Saplamayla montaj

Bu yöntem sürekli izleme sistemlerinde kullanılmaktadır. Frekans aralığı en fazla olan yöntemdir. Sensör bir saplama vasıtasıyla ölçüm yüzeyine sabitlenmektedir [16].

- Yapıştırarak montaj

Sürekli izleme sistemlerinde kullanılmaktadır. Yapıştırıcıyla ölçüm noktasına yapıştırılmaktadır [16].

- Önceden monte edilmiş bir diske montaj

Sürekli izleme veya periyodik ölçümde kullanılmaktadır. Makine yüzeyinde saplama yuvası açılmayan veya açılması uygunsuz durumlarda kullanılır. Ölçüm noktalarında üzerinde sensör bağlanacak saplama yuvasına hazır disk önden yapıştırılır. Sensör saplamayla diske tutturularak ölçüm alınmaktadır [16]. Şekil 2.18. ve Şekil 2.19.' da titreşim sensör montaj yöntemleri ifade edilmiştir.

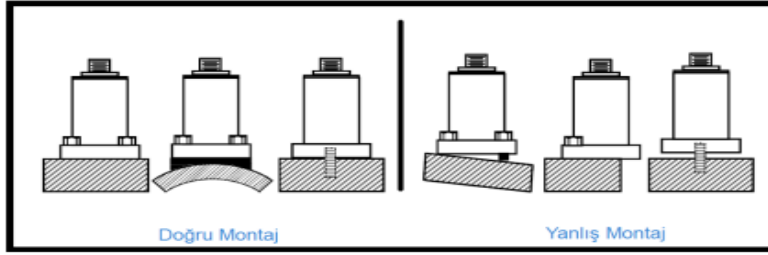
- Mıknatısla tutturma

Periyodik ölçümlerde kullanılır. Sensörün ucuna mıknatıs sabitlenmektedir. Sensör mıknatısla ölçüm noktasına bağlanır. Doğal frekansın yüksek olmasından dolayı

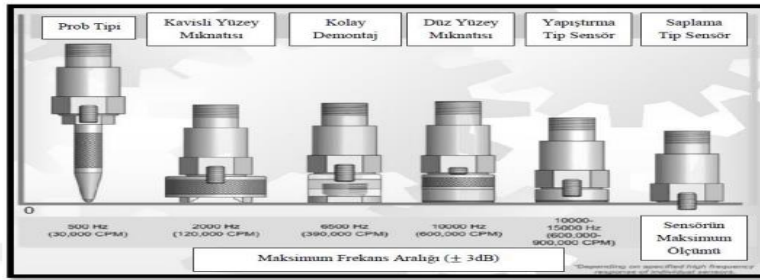
ölçüm sağlığı bakımından nispeten daha sağlıklı bir yöntem olmasına rağmen yine de ölçüm hatalarına sebep olabilir.

- Elle tutma

Uygulamada popüler olmasına rağmen düşük doğal frekansa sahip olmaları sebebiyle yanlış ölçüm veya değerlendirmeye sebep olabilir.



Şekil 2.18. Sensör Montaj Kontrolü



Şekil 2.19. Sensör Montaj Yöntemleri

2.8.5. Titreşim Dünya Standartları

Günümüzde titreşim analizi, makinelerin durumunu izlemek adına en güvenli ve pratik yöntemdir. Titreşim analizi ile makine gövdesindeki belirli noktalardan gelen titreşim sinyalleri zaman ve frekans ortamında analiz edilir. Sağlıklı olan referans değer ile karşılaştırılarak sapma derecesine göre hata durumu belirlenir. İstenen sonuç, hatanın ilk aşamasında tespit edilmesi ve hataların önlenmesidir. Makineler için izin verilen titreşim seviyeleri Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standardında belirlenmiştir. ISO 2372 (10816) Standartları, 10 ila 200 Hz. (600 ila 12.000 rpm) frekans aralığında çalışan makinelerde titreşim şiddetinin değerlendirilmesi için rehberlik sağlar. Bu tür makinelere örnek olarak küçük, doğrudan akuple, elektrik motorları ve pompalar, üretim motorları, orta motorlar, jeneratörler, buhar ve gaz türbinleri, turbo kompresörler, turbo pompalar ve fanlar verilebilir. Bu makinelerden bazıları sert veya esnek bir şekilde akuple edilebilir veya dişliler aracılığıyla bağlanabilir. Dönen milin ekseni yatay, dikey veya herhangi bir açıda eğimli olabilir.

Makine sınıfı tanımları:

Sınıf I : Motorların ve makinelerin, normal çalışma durumunda makinenin tamamına bütünüle olarak bağı münferit parçaları. 20 Beygir Gücü-Horse Power (HP) kadar olan elektrik motorları (15 kW) bu kategorideki makinelerin tipik örnekleridir.

Sınıf II :Orta büyüklükteki makineler, tipik olarak, özel temelleri olmayan 20 ila 75 HP (15-75 kW) elektrik motorları, sabit monte edilmiş motorlar veya 400 HP'ye (300 kW) kadar özel temeller üzerindeki makineler.

Sınıf III : Titreşim ölçümü yönünde nispeten katı olan rijit ve ağır temeller üzerine monte edilmiş dönen kütleleri olan büyük ana taşıyıcılar ve diğer büyük makineler.

Sınıf IV : Titreşim ölçümü yönünde nispeten yumuşak olan temeller üzerine monte edilmiş dönen kütleleri olan büyük ana taşıyıcılar ve diğer büyük makineler (örneğin, turbo-jeneratör setleri, özellikle hafif yapılı olanlar).

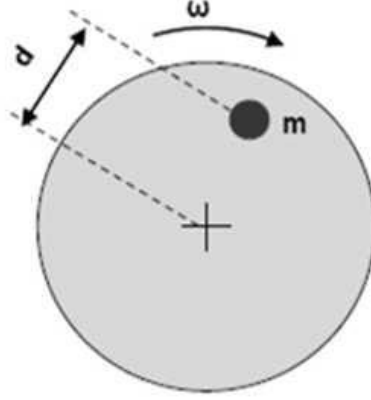
Tablo 2.4. ISO 10816 Göre Makine Sınıflarının Titreşim Şiddet Kılavuzu

				D		mm/s	inch/s	
				D		11	0,43	Mekanik titreşimler
				D		7,1	0,28	Makinedeki titreşimlerin
				D		4,5	0,18	dönme hareketi yapmayan
				C		3,5	0,14	parçalar üzerinden
				C		2,8	0,11	ölçümüyle değerlendirilmesi
				B		2,3	0,09	Titreşim hızı
				B		1,4	0,06	10-1000 hz, n > 600 min ⁻¹
				A		0,71	0,03	2-1000 hz, n > 120 mi0n ⁻¹
				A				
rijit	esnek	rijit	esnek	rijit	esnek	rijit	esnek	Temel
Pompalar radyal, aksiyel, karışık akışlı P > 15 kW orta boy makineler 15 kW < P				orta boy makineler 15 kW < P < 300 kW		büyük makineler 300 kW < P < 50 MW		
Entegre sürücülü		Dışarıdan sürücülü		Motorlar 160 < H <315 mm		Motorlar 315 mm < H		Makine tipi
Grup 1		Grup 2		Grup 3		Grup 4		Grup
A = Çok iyi durumda ; B = İyi durumda ; C = Kabul edilebilir fakat izlenmelidir; D = Kabul edilemez								

2.9. Makinelerde Dengesizlik

Döner makine elemanları, dönme eksenine geometrik merkeziyle ağırlık merkezi çakışmadığı hallerde ortaya çıkan soruna dengesizlik (balanssızlık) adı verilir. Teorik olarak tasarlanan makine mükemmel dengelenir ve titreşim oluşmaz. Ancak makine elemanları çeşitli imalat hataları nedeniyle mükemmel bir şekilde üretilmez. Bu

yüzden mükemmel dengelenmiş makine olamayacağı noktasından hareket ile tüm makineler az bile olsa dengesizdir. Dengesizliğin sebepleri elemanlardaki malzemenin homojen olmayışı, parçanın geometrik bakımdan simetrik olmayışı, çalışma koşullarından dolayı ısı genleşme, aşınma, korozyon, madde birikimi gibi değişimler ya da montaj hatalarından ötürü gerçekleşebilir (Şekil 2.20) [1].



Şekil 2.20. Dengesizlik Kütlesinin Şematik Gösterimi [1].

Denge (balans) bozukluğu veya dengesizlik, makinelerde bir eksen etrafında dönen mil gurubunun ağırlık merkezinin dönme ekseninde olmama durumudur. Böylece dengede olmayan merkezden kaçıklıkla ve ağırlık miktarı ile doğru orantılı, dönme hızının karesiyle yine doğru orantılı merkezkaç kuvveti oluşur. Balans bozukluğu, hiçbir ürünün üretiminde sıfır dengesizlik mümkün olmayacağından mutlaka oluşabilecek kabul edilebilir sınırlarda tutulması gereken tahripkâr bir kuvvet söz konusudur [3]. Yeni bir jeneratör ve motor rotoru üretiminde son aşamada kabul edilebilir sınırlar dâhilinde balans edilir fakat motor veya jeneratör çalışma ömründe üzerinde biriken pislik, toz vs. sebebiyle veya daha kötüsü bakım sebebiyle bobinaja gittiğinde geriye daha bozuk dönebilir. Bu durum da düzeltilmelidir. Bir rotorun balansını almada en sağlıklı metot yerinde balanstır zira bu yöntem balans işleminde rotor gerçek işletme koşullarında ve yükünde test edilmelidir. Bu koşullarda en ehemmiyetlisi o rotorun gerçek çalışma devrinde balans edilmesi durumudur. Oysa balans tezgâhlarında yapılan balans alma işlemlerinde rotor genellikle çalışma devrinde döndürülemez. Tezgâh üzerinde yapılan balans alma işlemleri esnasında rotor milinin esnemediği kabul edilmektedir. (Bu durum yalnız mil birinci kritik devri altında çalışıyorsa geçerlidir.) Örnek olarak 3000 devirde dönen jeneratör milinde muhakkak kritik devir (daha düşük devirlerde gerçekleşmektedir) vardır, o sebeple böyle bir rotor balans tezgâhında 300 devirde balans edilmesi esasında doğru değildir.

Bu sebeple tezgâhta balansı alınmış bazı jeneratör şaftları yerine monte edilip çalışma koşullarında yol verildiğinde balansı alınmamış gibi bozukluk gösterebilir [3]. Bir jeneratör şaftını yerinde balans edebilmek için rotorun her iki tarafında dengeleme cıvatalarının bağlanabileceği olukların ya da deliklerin olması gerekir. Kapaklarda gözleme kapağı veya deliği, cıvata deliği ya da olukları olmayan jeneratör yerinde balans işlemine tabi tutulamaz. Bu sebeple, belki alım aşamasında bunların talep edilmesi ileride oldukça sıkıntılı ve masraf çıkaracak işlemlerin yerinde yapılması bakımından iyi bir fırsattır. Bu durumda çok uzun sürebilecek rotorun balans alınma işi yerinde bir iki saat içerisinde gerçekleştirilebilir. Balansı alınmamış rotorların sadece makine yataklarına etki etmez aynı zamanda makinede titreşime sebep olur. Balanssızlık makinede geometrik oranlara ve kütle dağılımına bağlıdır. Statik balanssızlık dinamik balanssızlıktan daha ehemmiyetlidir. Bunu şöyle açıklayabiliriz farklı düzlemde iki aynı yönlü balanssızlık iki farklı yöndeki balanssızlıktan daha çok sıkıntı çıkarır. Benzer biçimde kuvvet çifti balanssızlığın özellikle problem yarattığı durumlar söz konusu olur. Yataklar arasında uzaklık (L), düzeltme düzlemleri arasında uzaklık (a), müsaade edilen kalıcı statik balanssızlık (UR), müsaade edilen kalıcı balanssızlık azalarak $[UC=UR \cdot L/2a]$ değerindeki kuvvet çifti balanssızlığı oluşturur [5].

Makine parçalarının hatasız biçimde üretilmesi maliyetleri aşırı yükselteceğinden dolayı ekonomik ve teknolojik olarak mükemmel biçimde üretilemez. Bu sebeple dönen makine parçalarında dengesizlikten ötürü merkezkaç kuvvetin etkisiyle titreşim oluşur. Mil ya da aks makine parçalarının montajıyla oluşan dönel grup rotor sistemdir. Mil ve yatak merkezini birleştiren eksenler, dönme eksenidir. Kütle merkezinden geçen dönen makinelerin dönme ekseniiyle asal atalet ekseninin çakışmaması neticesi ortaya çıkan dengesizlik sebebiyle titreşim meydana gelir.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (2.19)$$

$$F_1 = M_1 \cdot d_1 \cdot \omega^2 \quad (2.20)$$

ve

$$F_2 = M_2 \cdot d_2 \cdot \omega^2 \quad (2.21)$$

Eşitlik 2.20 deki değer merkezkaç kuvvetine eşittir.

$$U_1 = M_1 \cdot d_1 \quad (2.22)$$

ve

$$U_2 = M_2 \cdot d_2 \quad (2.23)$$

U_1 ve U_2 vektörleri, rotor düzlemindeki dengesizlik vektörleridir. Toplam dengesizlik vektör denklemi eşitlik 2.24.'de gösterilmiştir.

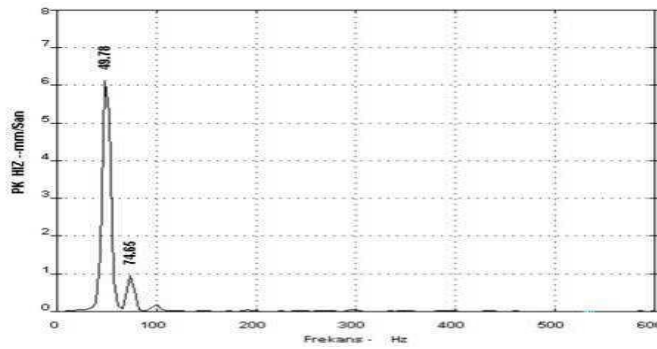
$$U = M \cdot d \quad (2.24)$$

Burada; d_1 : rotorun kütle merkezinin dönme eksenine dik düzlemde bulunan yarıçap vektörü, M_1 : rotorun kütlesidir. Statik dengesizlik halinde, F_1 ve F_2 kuvvetleri, rotorun kütle merkezine tesir eden tek bir kuvvete, yani

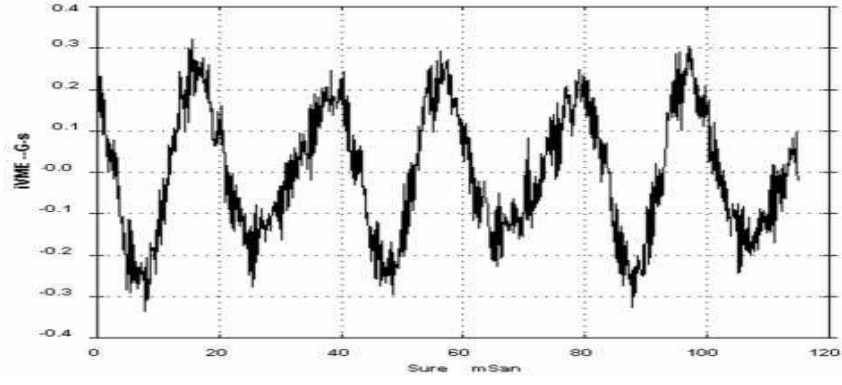
$$F = u \cdot \omega^2 \quad (2.25)$$

kuvvetine eşittir.

Dinamik dengesizlik esnasında ise F_1 ve F_2 kuvvetleridir. Yani kuvvet çifti, rotor üzerinde bulunan merkezkaç kuvvetlerin bileşkesine eşdeğer olur. Makinelerde dengesizlikler nedeni ile oluşan titreşimler, makinelerde görülen en yaygın titreşimlerdir. Dönen rotor elemanları tarafından dönmenin etkisi ile oluşturulan kuvvetlerin denge durumunda olması istenir. Bu kuvvetlerin denge durumunda olmaması titreşimin oluşmasına neden olur. Sistemdeki bu dengesizlik, spektrum grafiğinde devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \cdot \text{rpm}$) bir tepe oluşturur (Şekil 2.21). Dalga formu periyodik, basit, vuruntusuz ve sinüs deseni şeklinde Şekil 2.22.'teki gibi oluşur [1].



Şekil 2.21. Dengesizlik Spektrum Grafiği [1].



Şekil 2.22. Dengesizlik Dalga Form Grafiği [1].

Dengesizlik arızası radyal yönde titreşim spektrum grafiğinde devir sayısının eş değeri frekansta ($1 \times \text{rpm}$) baskın titreşim genliğini oluşturur. Dengesizlik arızası, statik dengesizlik, moment dengesizliği ile dinamik dengesizlik olmak üzere üç sınıfta değerlendirilebilir. Yataklardan gelen faz ölçümleri mukayese edilerek dengesizliğin hangi sınıfa dâhil olduğu teşhis edilebilir [1].

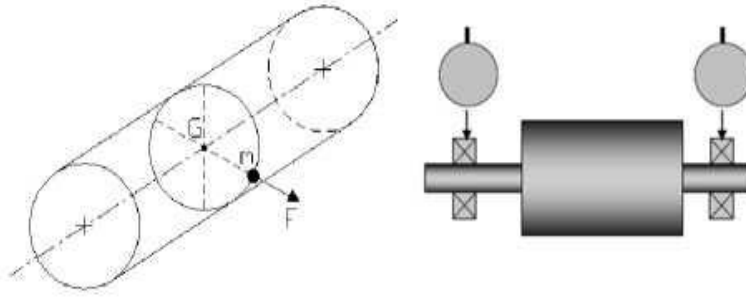
Titreşim yüksek hızlı makinelerin gelişmesi ile önemi gün geçtikçe artmaktadır. Makinelerde oluşan dengesizlik titreşime neden olmaktadır. Dengesizlik sonucu oluşan titreşimler yatakların aşınmasına ve makine elemanların kırılması ile yorulmasına neden olduğu gibi titreşim nedeni ile makinenin performansının düşmesi ile üretim kaybına da neden olur. Titreşim sonucu yüksek gürültü oluşmaktadır. Buna benzer olumsuz nedenlerden dolayı makinenin dengesizliğinin standartlar içinde olması önemlidir. DIN/ISO 1925'e göre dengesizlik, titreşim kuvvetleri veya hareketi oluşturulduğunda yataklar üzerindeki merkez kaç kuvvetinin etkisidir. Bir rotorun kütle dağılımındaki düzensizlik nedeni ile kütle merkezinin rotorun ağırlık merkezinden uzaklaşmasına dengesizlik denir. Dönen bir makinede istenmeyen atalet kuvvetleri ve moment dengesizliğinin ortadan kaldırılması işlemine dengeleme denir. Rotorun dönme eksenini ile kütle merkezinin çakıştırmaya çalışılmasıdır.

2.9.1. Statik Dengesizlik

Dönen makine parçasının ağırlık merkezi dönme eksenine çakışmaması haline kütle statik dengesizliği adı verilir. Dönen parçanın aksel boyutu radyal boyuta göre küçük ise dönen kütlenin aynı düzlemde bulundukları ve sistemin yalnızca statik bakımdan dengesizliği kabul edilir. Buna dişli çark, volan ve disk benzeri elemanlar örnek verilebilir. Bir makine parçasında statik dengesizlik olup olmadığını anlamak adına basit bir metot uygulanır. Bu metot dengesizlik dengelenmiş ve düz bir mile

tespit edilmiş parçanın (diskin) iki adet yatay rijit yay üzerinde hareketiyle tespit edilir [2].

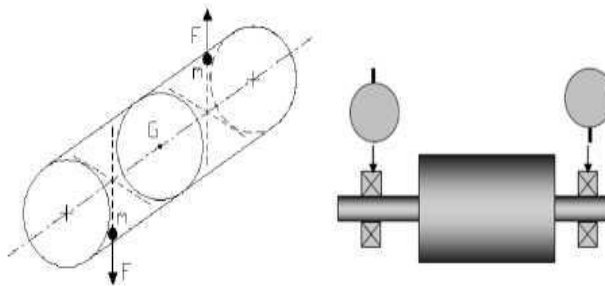
Statik dengesizliğe ağırlık merkeziyle çakışmayan dengelenmeyen kütleler sebep olur. Sadece bir nokta dengesiz olduğundan dolayı rotorun her tutunda sadece bir işaret oluşur. Statik dengesizlik radyal düşey ve yatay istikamette devir sayısının eş değeri frekansta ($1 \cdot \text{rpm}$) baskın titreşim genliği oluşturur. Genelde radyal yatay düzlem daha yüksek hareket serbestisine sahip olduğundan düşey düzleme göre ($1 \cdot \text{rpm}$) titreşim genliği daha yüksektir. Faz ölçümleri yapılarak bu durumun teşhis ve tespiti yapılabilir. Makinenin karşılıklı ön ve arka yatak düşey-düşey veya yatay-yatay alınan ölçümlerde faz kayması olmaz yani faz farkının yaklaşık 0° olması gerekir (Şekil 2.23.) [1].



Şekil 2.23. Statik Dengesizlik ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].

2.9.2. Moment Dengesizliği

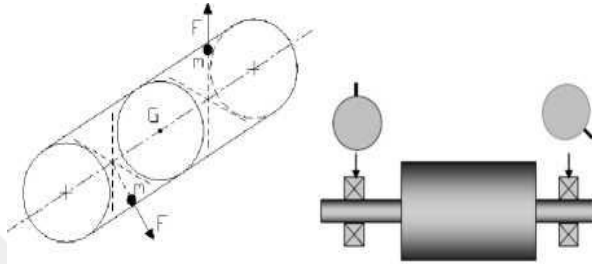
Moment dengesizliği genellikle uzun rotorların birbirine 180° açı yapacak şekilde şaftın çapraz noktalarında bulunan dengelenmemiş kütleleri sebebiyle meydana gelir. Moment dengesizliği durumunda, statik balans alınamaz. Dönüş esnasında radyal istikamette devir sayısının eş değeri olan frekansta ($1 \cdot \text{rpm}$) baskın titreşim genliği oluşturur. Faz ölçümleri vasıtasıyla teşhis konulabilir. Makinenin karşılıklı ön ve arka yatak iki yatağından alınan ölçümlerde faz farkının yaklaşık 180° olması gereklidir (Şekil 2.24.) [1].



Şekil 2.24. Moment Dengesizliği ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].

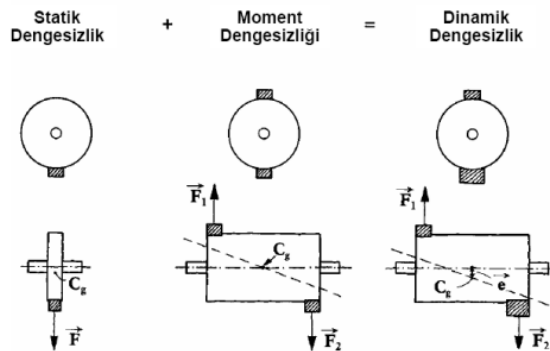
2.9.3. Dinamik Dengesizlik

Dinamik dengesizlik, statik dengesizlik ile moment dengesizliği birleşimi olarak tanımlanabilir. Pratik hayatta dinamik dengesizlik en fazla rastlanan dengesizlik türüdür. Dönme esnasında dinamik dengesizlik radyal istikamette devir sayısının eş değeri frekansta ($1 \cdot \text{rpm}$) baskın titreşim genliği ortaya çıkarır. Makinenin karşılıklı iki yatağından (ön ve arka yataklardan) alınan ölçümlerde faz farkı dengesizliği yaratan kütlelerin eksenler üzerinde var olan dağılımına bağlı olarak değişebilir (Şekil 2.25) [1].



Şekil 2.25. Dinamik Dengesizlik ve Faz Ölçümlerinin Şematik Gösterimi [1].

Moment ve statik dengesizliğin birleşiminden oluşan dengesizlik türü dinamik dengesizlik biçiminde isimlendirilir (Şekil 2.26.). Rotorlarda dengesizlik genelde bunlardan meydana gelmektedir. Dinamik dengesizlik iki düzlemde ve rotorun dönmesi esnasında yapılacak titreşim ölçümüyle düzeltilebilir.



Şekil 2.26. Dengesizlik Şekilleri [3].

Dönen makine elemanlarında var olan dengelenmemiş ufak kütleler hız arttıkça dengesiz atalet kuvvetlerinin oluşumuna sebep olur. Bu dengesiz atalet kuvvetleri titreşim oluşmasına sebep olur. Bu titreşimler sebebiyle makinenin verimli çalışması zor hale gelir. Bu titreşimler, makinenin kullanım maksadına göre yorulmaya,

gürültüye, kırılmaya dolayısıyla makinelerin kalite ve güvenilirliğini tehdit etmektedirler. Titreşimin sebepleri araştırılarak yüksek titreşim değerinin standartta istenen değerlere indirilmesi adına gereken işlemlerin yapılması lazımdır

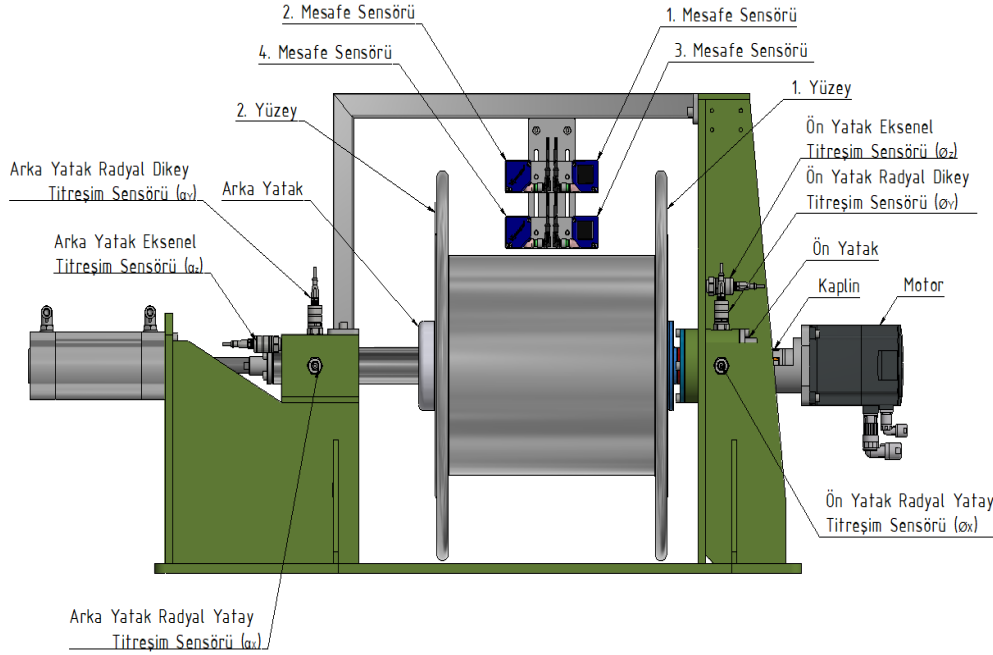


3. ÇELİK MAKARA TİTREŞİM ÖLÇME DENEY DÜZENEGİ

Makaranın dönerken oluşan merkezkaç kuvvetlerini en aza indirecek kütle dağılımına sahip olması yani balansta olması gerekir. Dengelenmiş bir makine ve makaralar incelendiğinde belirli bir dereceye kadar dengesizlik (balanssızlık) ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki; balans yapıldıktan sonra bile dönen aksamalarda çeşitli nedenlerle dengesizlik bulunacağı gerçektir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte dengesizlik çok küçük değerlere indirilmekte ancak bu maliyeti oldukça artırmaktadır. Bu nedenle üretim hattında çalışan makinelerin dönen parçalarının, dengesizlik değerleri ve titreşim değerleri için belirlenmiş standartlar dikkate alınarak müsaade edilen limitleri aşmaması yeterli olacaktır. Makinelere bağlanan makaralarda dengesizlik giderilmezse makinenin titreşim ve gürültü yapmasına neden olur. Titreşim makinenin düzgün çalışmasına engel olarak makinede üretilen bakır telde deformasyon oluşur. Bu nedenle makaralardaki balans değerleri ürün kalitesinin iyi olmasının bir göstergesidir. Üretim sürecinde amaç, daha yüksek devirlerle daha fazla ve yüksek kalitede tel üretmektir. Bu duruma balans değerleri standartlara uygun olan makaralar sayesinde ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada, Sar Makine A.Ş firmasında üretilen çelik makaraların titreşim ve dengesizlik durumunu ölçmek için yapılmış bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Bakır tel sarmak için kullanılan çelik makaralar kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde deformasyona uğramaktadır. Bunun sonucunda makaralar titreşime ve üretimde çeşitli sorunların oluşmasına neden olmaktadır. Makaraların titreşim ve dengesizlik durumunu ölçmek için geliştirilen deney düzeneği üzerindeki ölçüm noktaları Şekil 3.1.'de gösterildiği gibidir. Deney düzeneğine bağlanmış makaraların testi için yapılan işlemler aşağıda sıra ile verilmiştir;

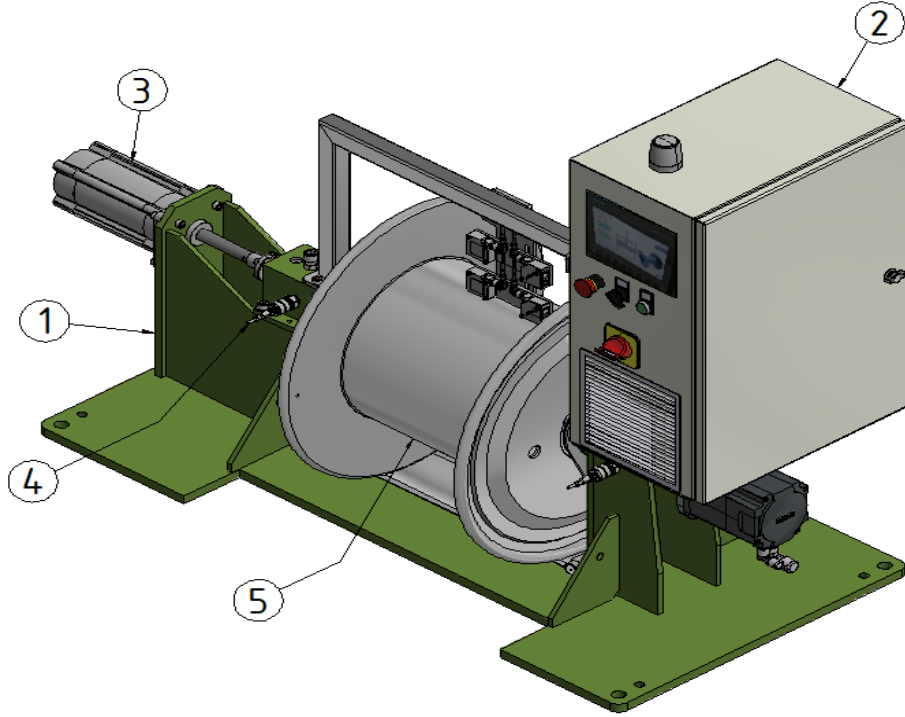
- Analiz yapılacak makaraların tartılarak ağırlıklarının belirlenir.
- Makara iç cidarı için noktasal olarak lazer mesafe ölçme sensörü ile salgı durumu kontrol edilir. Bu işlemde 360 derece 0,08 Hz. (5 rpm)'de döndürülerek salgı değerleri alınır.

- Makara 10 hz. (600 rpm) hızda döndürülerek makaranın balans değerleri ve yatakların faz açıları tüm eksenler (radyal dikey, radyal yatay ve eksenel) için alınır.
- Makara 10 hz. (600 rpm), 13,33 hz. (800 rpm) ve 16,66 hz. (1000 rpm) hızlarında döndürülür bu hızlarda oluşan titreşim değerleri alınır.



Şekil 3.1. Deney Düzeneginde Analiz Noktalarının Şekilsel Gösterimi

Çalışmada kullanılan deney düzeneği, tel üretiminde kullanılan makinelerin yataklama ve bağlantı şekilleri göz önüne alınarak, aynı şartların sağlanmasına dikkat edilerek tasarlanmıştır. Makaraların titreşim değerleri ve dengesizlik durumunu ölçmek için gerçekleştirilen düzenek elemanları ile Şekil 3.2.'de yansıtılmıştır.

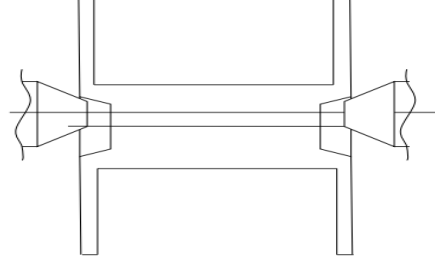


Şekil 3.2. Makara Titreşim Deney Makinesi

1. Mekanik Grubu,
2. Elektrik Grubu,
3. Pnömatik Grubu,
4. Titreşim Analizörü,
5. Makara

3.1. Mekanik Grubu

Çelik makara titreşim ölçme makinesi mekanik grubu; şase, tahrik puntası, makara sıkma puntası ve motor kaplin montajından oluşur. Konik puntalı makara, bağlantı eksenine getirilir ve sıkıştırma puntası pnömatik silindir yardımı ile çelik makarayı iki punta arasına silindirin uyguladığı basınç kuvveti ile sıkıştırır. Çelik makara iki punta arasına sıkıştırılırken konik punta yardımı ile yerle olan teması kesilir ve punta koniği kadar yerden yükselir. Bu durum Şekil 3.3.'te gösterilmektedir. Sıkıştırılan makara, titreşim ve flanşın salgı analizini yapmak için belirli hızlarda Siemens servo motor sayesinde döndürülür. Makara sıkıştırma yöntemi tel üretim hatlarında kullanıldığı gibidir. Makaranın titreşim ve salgı değerlerini ölçerken üretim hattındaki şartlara uygun olarak yapılır.

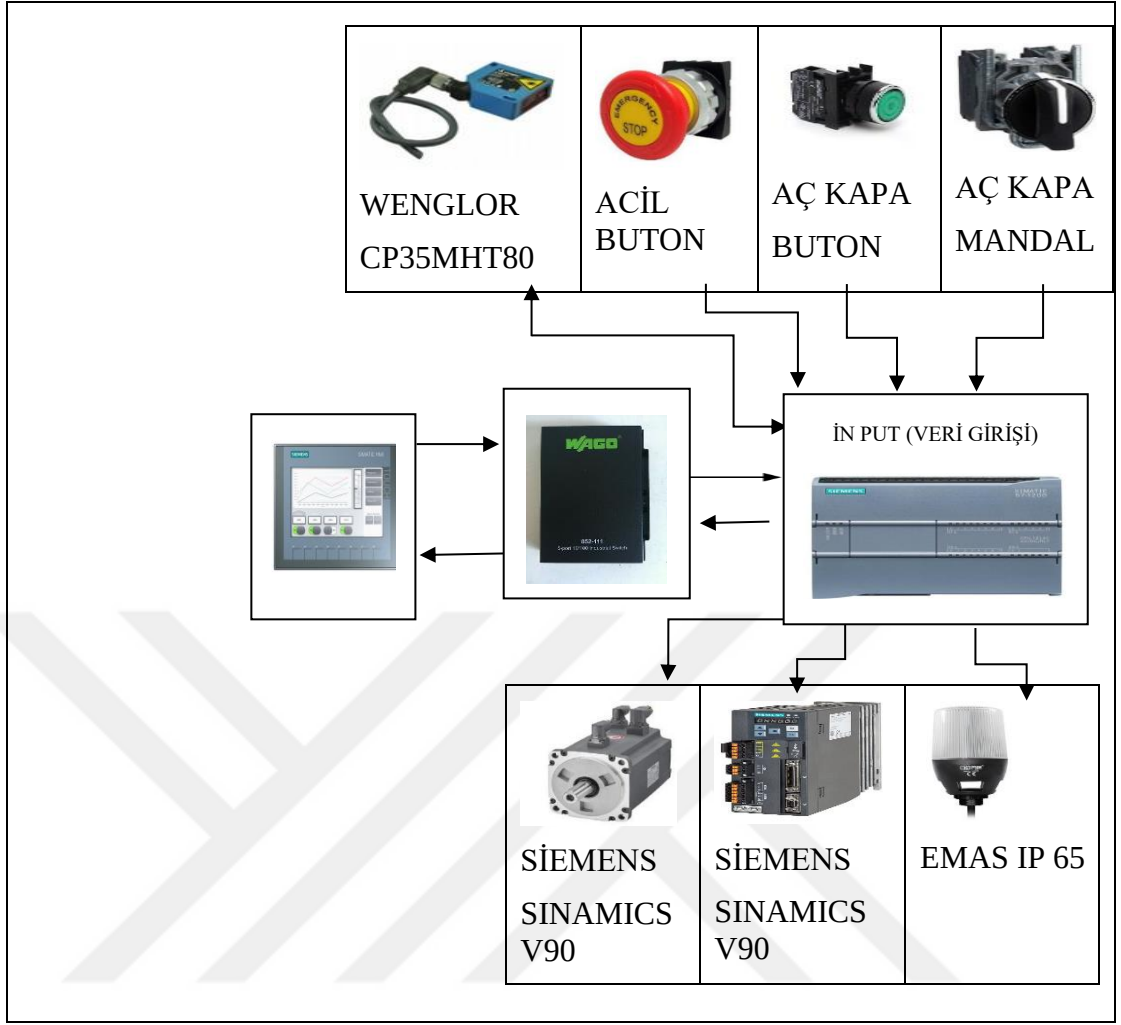


Şekil 3.3. Çelik Makara Konik Punta Sıkıştırması

Makara, makineye Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi iki konik punta arasına sıkıştırma ile sabitlenir. Konik bağlantı şekli dönen aksamda aksenal kaçıklığı ve montajda gevşekliğe neden olmaktadır. Konik bağlantıdan kaynaklanan yataklarda aksenal kaçıklık ve gevşeklik titreşimi vermektedir.

3.2. Elektrik Grubu

Deney düzeneğinde elektrik ekipmanları makaranın komutlar yardımı ile iki punta arasına sıkıştırılması ve döndürülmesi görevlerini yerine getirir. Pnömatik valf PLC'den aldığı komut ile havanın akışını sağlar ve silindirin makarayı sıkıştırmasını sağlar. Makara iki punta arasına sıkıştırıldıktan sonra dönme devri ekran paneline girilerek makara istenen devirde döndürülür ve bu esnada oluşan titreşim değerleri ölçülür. Deney düzeneğindeki elektrik ekipmanları ve PLC'nin çalışma prensiplerini anlamak için Şekil 3.4'de elektrik devre elemanları çizilmiştir.



Şekil 3.4. Elektrik Devre Elemanları

3.2.1. PLC (CPU 1214C DC/DC/DC 6ES72151AG400XB0)

PLC otomasyon sistemlerinin en temel taşlarından biridir. Endüstrinin çoğu sahasında yaygın kullanılmakta olan bir cihazdır. Bir PLC cihazı Şekil 3.5.'te gösterilmektedir. PLC, dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Merkezi İşlem Birimi (CPU),
- Giriş Birimi (IN),
- Bellek Birimi (RAM, ROM, PROM vb.),
- Çıkış Birimi (OUT) olmaktadır.



Şekil 3.5. PLC

Deney düzeneğinde kullanılan PLC'nin genel bilgileri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir. Bu deney düzeneğinde PLC aç kapa mandalından aldığı komutu pnömatik valfe aktararak pnömatik silindirin açılıp kapanmasını sağlar. Ayrıca Siemens Operatör Paneline (KTP700 6AV2123-2GA03-0AX0) girilen rpm değerinde motorun dönmesi için motor sürücüsüne komut verir.

Tablo 3.1. PLC Genel Bilgiler

Ürün tipi tanımı	CPU 1214C DC/DC/DC
Ürün Açıklaması	SIMATIC S7-1200, CPU 1214C
Ürün Ailesi	CPU 1214C
Firmware versiyonu	V4.4
Programlama paketi	STEP 7 V16 ya da yukarı
Nominal değer (DC)	24 V DC
İzin verilen aralık, alt limit (DC)	20.4 V
İzin verilen aralık, üst limit (DC)	28.8 V
Ters polarite koruması	Var
Yük gerilimi L+	
Nominal değer (DC)	24 V
İzin verilen aralık, alt limit (DC)	20.4 V
İzin verilen aralık, üst sınır (DC)	28.8 V
Giriş akımı	500 mA
Akım tüketimi (nominal değer)	1 500 mA; Tüm genişletme modülleri ile CPU
Akım tüketimi, maks.	12 A; at 28.8 V
Kalkış akımı, maks.	0.5 A ² ·s
Çıkış akımı Arka panel veri yolu için (5 V DC), maks.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Enkoder kaynağı 24 V enkoder beslemesi 24 V	L+ - 4 V DC min.
Güç kaybı, tip	12 W
Bellek İş belleği entegre	100 kbyte
Genişletilebilir	yok
Belleği yükleyin entegre	4 Mbyte
Eklenti (SIMATIC Hafıza Kartı), maks.	SIMATIC hafıza kartı ile
Belleği yükle entegre	4 Mbyte
Eklenti (SIMATIC Hafıza Kartı), maks.	SIMATIC hafıza kartı ile
CPU işlem süreleri	
bit işlemleri için, yazın.	0,08 µs; / talimat
sözcük işlemleri için, yazın.	1,7 µs; / talimat
kayan nokta aritmetiği için, tip	2.3 µs; / talimat
Giriş gerilimi	24 V
Nominal değer (DC)	5 V DC at 1 mA
"0" sinyali için	15 V DC at 2.5 mA
"1" sinyali için	

3.2.2. Siemens Operatör Paneli (KTP700 6AV2123-2GA03-0AX0)

Üretim süreçleri giderek daha karmaşık duruma gelmektedir. Üretim tesislerini kontrol altında tutmak ve izlemek için kuvvetli bir araca ihtiyaç duyulmuştur. Bir Human-Machine Interface-İnsan-Makine Ara Yüzü (HMI) sistemi, operatör ve süreç yani makine, tesis arasındaki ilişkiyi temsil eder. Süreci gerçekten kontrol eden PLC kontrolördür. Bu nedenle, operatör ile WinCC arasında bir haberleşme ve WinCC ile kontrolör arasında bir haberleşme vardır. Deney düzeneğinde kullanılan operatör panelin teknik özellikleri Tablo 3.2.'de gösterilmektedir. Ayrıca ekran aracılığıyla operatör girişi yapılabilen panel ara yüzü, operatör ekranı Şekil 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.2. Siemens KTP700 6AV2123-2GA03-0AX0 Operatör Paneli Teknik Özellikleri

Ürün Tipi Tanımı	KTP700 Basic Color DP
Ekran tasarımı	TFT geniş ekran, LED arka aydınlatma
Ekran çapraz	7 "
Ekran genişliği	154.1 mm
Ekran yüksekliği	85.9 mm
Renk sayısı	65 536
Yatay görüntü çözünürlüğü	800 pixel
Dikey görüntü çözünürlüğü	480 pixel
MTBF arka aydınlatma (25 °C'de)	20 000 h
Arkadan aydınlatmalı kısılabılır	Evet
Besleme gerilimi DC tipi	DC
Nominal değer (DC)	24 V
izin verilen aralık, alt limit (DC)	19.2 V
izin verilen aralık, üst limit (DC)	28.8 V
Akım tüketimi (nominal değer)	230 mA
Başlangıç akımı I ² t	0.2 A ² ·s
Güç Aktif güç girişi, tip	5.5 W
Hafıza, flaş	Evet
Kullanıcı verileri için kullanılabilir bellek	10 Mbyte



Şekil 3.6. Operatör Paneli

3.2.3. Ethernet (WAGO-852-111)

852-111'de her biri otomatik anlaşma ve otomatik MDI/MDI-X algılama niteliğine sahip 5 bağlantı noktası bulunur. Mevcut 10 Mbps. ağlar artık zahmetsizce daha yüksek hızlı 100 Mbps. fast ethernet ağlarına yükseltilebilir. 852-111 5 bağlantı noktalı yoğunluk, istemci tıkanıklığını azaltmak ve her kullanıcı düğümüne özel bant genişliği sağlamak için ve birden çok segment oluşturmak için kullanılabilir. Ethernet operatör paneli ile PLC arasında bağlantıyı sağlar. Wago Ethernet teknik özellikleri aşağıda verilmiştir. Ethernet genel özellikleri Tablo 3.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Ethernet “WAGO-852-111” Genel Bilgileri

• 5 bağlantı noktalı 10/100 Mbps Otomatik anlaşmalı ETHERNET bağlantı noktaları • Kapsamlı ön panel tanılama LED'leri • Auto-MDI/MDI-X 'i destekler • Her bağlantı noktası için tam/yarım çift yönlü aktarım modları • Kablo hızı alımı ve iletimi • Kaydet ve ilet anahtarlama yöntemi • Entegre adres Arama Motoru, 2K mutlak MAC adreslerini destekler • Aşırı gerilim korumasını destekler • Fullduplex için IEEE 802.3x akış kontrolü • DIN 35 rayını destekler	
Bağlantı Noktaları	5 x 10/100Base-TX (RJ-45)
Standartlar	IEEE 802.3 10Base-T, IEEE 802.3u 100Base-TX/FX, IEEE 802.3x Akış Kontrolü
LED	her cihaz, 1 x Güç (PWR): yeşil, her bağlantı noktası: 1 x Bağlantı/Etkinlik (LNK/ACT), yeşil; 1 x Hız (100 Mbps), yeşil
Besleme gerilimi	DC 18 V ... 30 V
Enerji tüketimi maks.	3W
Çalışma sıcaklığı	0 °C ... +60 °C
Depolama sıcaklığı	-20 °C ... +80 °C
Bağıl hava nemi (yoğuşmasız)	95 %
Boyutlar (mm) G x Y x U	23,4 x 73,8 x 109,2, DIN 35 rayının üst kenarından yükseklik DIN 35 rayına montaj
Ağırlık	350 gr

3.2.4. Siemens Motor Sürücüsü (Sinamics V90)

Sürücüler, (frekans konverteri, invertör, hız kontrol cihazı, frekans inverteri, drive) endüstride elektrik motorlarının aktif kontrollerine olanak veren gelişmiş elektronik cihazlardır. Elektrik motorları kontrol sürücülerinde, giriş ve çıkış terminalleri bağlantı kontrolü aşırı akım, aşırı yük, aşırı ve düşük gerilim, aşırı sıcaklık, kısa devre, tanımlanan saha çalışma şartlarının (I/O board) kontrolü vb. korumalar vardır. Belirtilen durumlar benzeri olası arıza durumunda sürücü devre dışı kalacağından

ötürü cihaz ve motor koruması yapılarak işletmeler için ekstra bakım onarım maliyetleri düşürülmüş olur. Deney düzeneğinde kullanılan Siemens Sinamics V90 sürücü teknik özellikleri Tablo 3.4.'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4. Siemens Sinamics V90 Sürücü Teknik Özellikler

Tablo 3.4. Siemens Sinamics V90 Sürücü Teknik Özellikler

Mühendislik verileri	
Anma Hızı	3000 rpm
Nominal Tork (100 K)	6.37 Nm
Anma akımı	11.6 A
Anma gücü	2.00 kW / 2.72 hp
Maks. Hız	5000 rpm
Maksimum Tork	19,10 Nm
Maks. Akım	34,8 A
Eylemsizlik momenti	2,820 kgcm ²
Fiziksel sabitler	
Tork sabiti	0,55 Nm/A
Termal sınıf	B(130 °C)
Net ağırlığı	8,00 kg
Mekanik Veri	
Motor tipi	Düşük Atalet
Motor tipi	Kalıcı-mıknatıs senkronize motor
Şaft yüksekliği	50
Enkoder sistemi	Artımlı kodlayıcı TTL, 2500 S/R (13 bit)
Soğutma	Doğal soğutma
Mil uzantısı	Geçiş anahtarı
Radyal salgı toleransı	N sınıfı
Titreşim şiddeti derecesi	A notu
Koruma derecesi	IP65
Tasarım I Koduna	IM B5 (IM V1, IM V3)
Tutma freni	
Tutma torku M _{4Br}	6.37 Nm
Anma gerilimi	24 V DC ±10 %
Açılış zamanı	90 ms
Kapanış saati	35 ms
Anma akımı	0.57 A

3.2.5. Siemens Motor (1FL6067-1AC61-2AB1)

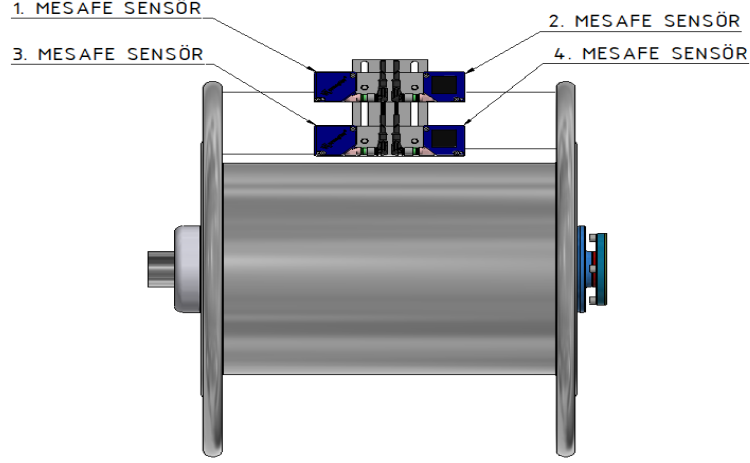
Deney düzeneğinde kullanılan Siemens servo motorun teknik özellikleri Tablo 3.5.'te verilmiştir. Motor, deney düzeneğine bağlanan makaranın istenen devirde dönmesini sağlamaktadır. Servo motorlar; çıkış, mekanik konum, ivme veya hız gibi değişkenlerin denetlendiği, özetle hareket kontrolü yapılan bir düzendir.

Tablo 3.5. Siemens Motor 1FL6067-1AC61-2AB1 Teknik Özellikler

Anma Hız	2000 rpm
Nominal Tork (100 K)	9,55 Nm
Anma Akım	5,9 A
Anma Güç	2,00 kW/2,72 hp
Maksimum Hız	3000 rpm
Maksimum Tork	78,70 Nm
Maksimum Akım	17,7 A
Statik Tork	15,00 Nm
Denge Momenti	31.000 kgcm ²
Frenleme Tork	12.00 Nm
Fren Gerilim	24 V DC $\pm$ 10 %
Fren Açma Zamanı	180 ms
Fren Kapatma Zamanı	60 ms
Fren Anma Akımı	1.50 A

3.2.6. Lazer Mesafe Sensörü (Wenglor CP35MHT80)

Deney düzeneğine yerleştirilen lazer mesafe sensörleri ile makaranın flanş iç cidar yüzeye olan mesafeleri yüksek hassasiyet ile ölçülerek yer değiştirme değerleri bulunur. Bu sayede telin sarıldığı yüzeydeki şekilsel bozukluklar ve dengesizlikler noktasal olarak tespit edilmektedir. Sensörlerin makara üzerine yerleşimleri Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Wenglor CP35MHT80 Lazer Mesafe Sensör Bağlantı Şekli

Mesafe sensörü, entegre analog çıkış, 0...10 Voltluk gerilim (10...0 V) ve 4...20 mA'lık (20...4 mA) bir akım için programlanabilmektedir. Mesafe sensörünün teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Tepki süresi: < 1250 μ s (Hız modu)
- Yüksek çözünürlük: 50 μ m
- Doğrusallık: % 0,15
- Yaklaştırma fonksiyonu
- Materyalden, renkten ve parlaklıktan bağımsız ölçüm değeri

3.2.7. Sinyal Lambası (Emas IP 65)

Sinyal lambasının yeşil, sarı, sarı flaş, kırmızı ve kırmızı flaş renk seçenekleri mevcuttur. Geliştirilen test cihazında yeşil flaş makine çalışma esnasında kullanılır. Makaraların titreşim ve salgı durumuna göre Emas sinyal ışık rengi makara bölümünde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Aşağıda Emas Sinyal Lambası Teknik Özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6. Emas Sinyal Lambası Teknik Özellikler

Çalışma Frekansı	50 hz
Çalışma Gerilimi	24V AC/DC
Ürün	LED İkaz 65mm
Kontrol	PLC Uyumlu
Montaj Şekli	M22 Vidalı
Renk	Çok Renkli
Işık	Sabit
Ses Şiddeti	90 - 105 dB
Yalıtım Gerilimi	Ui 300V
Çalışma Sıcaklığı	-25 °C /+70 °C
Koruma Sınıfı	IP65
Kablo Kesiti	Bağlantı Kablo 0,50 mm2
Seri	IF Serisi
Buzzer	Evet
Elektriksel Ömür	Min. Saat 10.000 Saat
Özellikler	Isıya dayanıklı, net görüntü veren polikarbonat sinyal modülleri tek gövdede çok renk. Aynı gövdede led ve flaşörlü led seçeneği.

3.2.8. Güç Kaynağı (Omron s8vk-c06024)

Deney düzeneğinde elektrik grubunda kullanılan cihazların çalıştırılması için güç kaynağı kullanılmaktadır. Güç kaynağının resmi Şekil 3.8.'de gösterildiği gibidir. Güç kaynağının teknik özellikleri Tablo 3.7.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.7. Güç Kaynağı “Omron s8vk-c06024” Teknik Özellikler

Product Category / Ürün Kategorisi	: DIN Rail Power Supplies / DIN Ray Güç Kaynakları
Manufacturer / Üretici firma	:Omron Automation and Safety
Commercial/Medical/ Ticari/Tıbbi	:Commercial / Reklam
Height/Yükseklik	:125 mm
Input Type/Giriş Tipi	:1-Phase / Single Phase/1-Faz /Tek Faz
Input Voltage/ Giriş gerilimi	:100 VAC to 240 VAC
Length/Uzunluk	:122.2 mm
Number of Outputs/ Çıkış Sayısı	:1 Output/1 Çıkış
Output Current-Channel 1/ Çıkış Akımı-Kanal	:5 A
Output Power/ Çıkış gücü	:120 W
Output Voltage-Channel 1/ Çıkış Gerilimi-Kanal 1	: 24 V
Product/ Ürün	:Switching Supplies/ Anahtarlama Malzemeleri
Width/ Genişlik	:40 mm



Şekil 3.8. Omron Güç Kaynağı Şekli

3.2.9. Kontrol Transformatörü (Elektra ETC – 0150)

Elektrik enerjisi aktarımını iki ya da daha çok devre arasındaki elektro manyetik indüksiyonla sağlayan bir sistemdir. Transformatörler Alternatif Akım-Alternative Current (AC) devrelerinde kullanılırlar. Transformatörler frekans değeri değiştirilmeksizin, akım ve gerilim değerlerinde istenen değişimi gerçekleştirir. Temel kullanım maksatları, elektromanyetik indüksiyonla devreler arasında enerji aktarımının sağlanmasıdır. Bu işlemi gerçekleştirirken gerilimin yükseltilmesindeki amaç özellikle elektrik enerjisinin sağlandığı yerden uzağa aktarılmasıdır. Bunun nedeni yüksek akımla iletme işleminin çok önemli seviyede güç kaybına yol açmasıdır. Güç kayıplarını engellemek adına iletim esnasında gerilim yükseltilmekte ve akım düşürülmektedir. Şekil 3.9.'da resmi görüldüğü üzeredir. Giriş ve çıkış gerilimleri : 230–400 V. Trafonun güç değeri: 150 V/450 V'tur.



Şekil 3.9. Elektra ETC – 0150 Kontrol Trafosu

3.2.10. Motor Koruma (ABB MS 116)

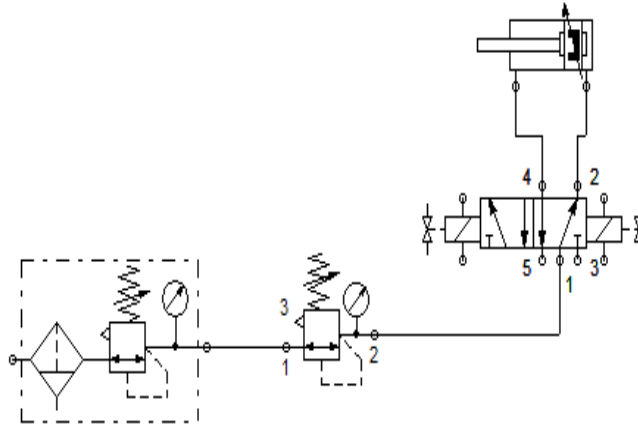
Manuel motor yol vericiler, ana devre için elektromekanik koruma cihazlarıdır. Esas olarak motorları manuel açmak/kapatmak ve kısa devre, aşırı yük ve faz arızalarına karşı daha az sigorta koruması sağlamak için kullanılırlar. Sigortasız koruma maliyetten ve yerden tasarruf sağlar ve motoru milisaniyeler içinde kapatarak kısa devre durumunda hızlı tepki verilmesini sağlar. Starter kombinasyonları kontaktörler ile birlikte kurulur. Şekil 3.10.'da resmi görüldüğü gibidir.



Şekil 3.10. Elektra ETC – 0150 Kontaktör

3.3. Pnömatik Grubu

Deneylerin gerçekleştirildiği test cihazında pnömatik olarak silindir ve 5/2 valf kullanılmıştır. Kullanılan pnömatik şema Şekil 3.11.’deki gibidir. Test cihazındaki pnömatik grubun görevi makaranın iki konik punta arasına sıkıştırılmasını sağlamaktır.



Şekil 3.11. Pnömatik Şema

3.3.1. Pnömatik Silindir (Festo DSBC-100-125-ppva-n3)

Sıkıştırılmış basınçlı havanın enerjisinden faydalanan doğruşal ve açışal hareketlerin elde edilmesini sağlayan makine elemanlarına silindir denir. Bu çalışmada pnömatik silindir makarayı iki punta arasına tutmak için kullanılmıştır. Pnömatik silindirin teknik özellikleri Tablo 3.8.’de verildiği gibidir.

Tablo 3.8. Pnömatik Silindirin Teknik Özellikleri

Özellikler	Değerler
Silindir Stroku	125 mm
Silindir Çapı	100 mm
Silindir Ön Bağlantı Dişi	M20x1.5
Standartlara Uygundur	ISO 15552
Konum Algılama	Yakınlık anahtarı aracılığıyla
İşletme Basıncı	0,04 MPa ... 1,2 MPa
İşletme Basıncı	0,4 bar ... 12 bar
Kullanım Usulü, Çalışma Şekli	Çift etkili
Korozyon Direnci Sınıfı CRC	2 - Orta düzeyde korozyon stresi
Ortam Sıcaklığı	-20 °C ... 80 °C
Uç Konumlarda Darbe Enerjisi	2,5 J
Yastıklama Uzunluğu	31 mm
Pnömatik bağlantı	G1/2
Malzemeler hakkında not	RoHS uyumlu
Malzeme kapağı	Döküm alüminyum, kaplamalı
Malzeme Piston Contası	TPE-U(PU)
Malzeme Pistonu	Dövme alüminyum alaşım
Malzeme Piston Kolu	Yüksek alaşımlı çelik
Malzeme Piston Kolu Silecek Contası	TPE-U(PU)
Tampon Conta Malzemesi	TPE-U(PU)
Yastıklama Piston Malzemesi	POM
Malzeme silindir namlusu	Pürüzsüz anotlanmış dövme alüminyum alaşım
Malzeme Somunu	Galvanizli çelik
Malzeme Yatağı	POM
Malzeme Yaka Vidaları	Galvanizli çelik

3.3.2. Pnömatik Valf (Festo VUVG-118-B52-T-G-14-1P3)

Akışkan yönlerini kontrol etmek için kullanılan malzemelere valf denir. Kullanılan valfin teknik özellikleri Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Festo VUVG-118-B52-T-G-14-1P3 Valf Teknik Özellikleri

Özellikler	Değerler
Valf işlevi	5/2 çift solenoid
Çalıştırma türü	Elektrik
Vana boyutu	18 mm
Standart nominal akış hızı	1380 l/dak
Pnömatik çalışma portu	G1/4
Çalışma gerilimi	24V DC
İşletme basıncı	-0.09 MPa ... 1 MPa
İşletme basıncı	-0.9 bar ... 10 bar
Tasarım	Pistonlu sürgülü valf
Nominal boyut	7,3 mm
Egzoz-hava fonksiyonu	Akış kontrol seçeneği ile
Pilotaj türü	Pilot kumandalı
Pilot hava beslemesi	Harici
Kucak	pozitif örtüşme
Pilot basınç	0.15 MPa ... 0.8 MPa
Pilot basınç	1,5 bar ... 8 bar
Anahtarlama zamanı geri dönüşü	11 ms
Görev döngüsü	100%
Maks. 0 sinyalli pozitif test darbesi	700 µs
Maks. 1 sinyalli negatif test darbesi	900 µs
İzin verilen voltaj dalgalanmaları	+/- %10
Çevre ve ortam sıcaklığı için kısıtlamalar	-5 ... 50°C Akım azaltma tutmadan
Korozyon direnci sınıfı CRC	2 - Orta düzeyde korozyon stresi
ortam sıcaklığı	-5 °C ... 60 °C
Ortam sıcaklığı	-5 °C ... 60 °C
Ürün ağırlığı	164 gr
Elektriksel bağlantı	Elektrik alt tabanı aracılığıyla
Montaj türü	Herhangi biri: Manifold rayı üzerinde Geçiş deliği ile
Pilot hava limanı 12/14	M5
Pnömatik bağlantı, bağlantı noktası	G1/4
Malzeme muhafazası	Dövme alüminyum alaşım

3.3.3. Manometre (Pakkens Pressure MG 063)

Gaz veya da sıvıların basıncını ölçmek için kullanılan ölçüm aletine manometre denir. Manometre genellikle kapalı bir kaptaki gazın ya da sıvının birim yüzeye uyguladığı basıncı ölçer. Bu sayede basınç değerlerinde ayarlama yapılır. Manometre Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Manometre

Bu çalışmada manometre pnömatik silindire verilen havanın basıncını kontrol etmek için kullanılır. Kullanılan manometrenin teknik özellikleri Tablo 3.10.'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Manometre Teknik Özellikleri

Ölçü Birimi	bar/psi
Ölçü Aralığı	0/10
Gövde	Plastik (ABS)
Görünüm Levhası	Polikarbonat
Mekanizma	Pirinç
Basınç Organı	Bakır Alaşımı
Bağlantı	G 1/4'' B
Kadran	Alüminyum
İbre	Plastik
Birleştirme Kaynağı	Lehim
Akışkanın Sıcaklığı	Maksimum + 60 °C
Ortamin Sıcaklığı	-40...+60°C
Çalışma Basıncı (Max.)	Tam skala değerinin maksimum %75' geçmemelidir.
Aşırı Basınç Sınırı	≤40 bar PN x 1.25
Hassasiyet Sınıfı	KL 2.5
Koruma Sınıfı	IP 41
Optimum Ölçüm Aralığı	0,1 x PN ve 0,75 x PN arasında
Depolama Sıcaklıkları	-40 ... +70 °C
Uygunluk	EN 837 - 1
Mekanik Şok Test Yüğü	15g
Mekanik Titreşim Testi	10 hz ile 150 hz -1 oktav/dk. 2s / 3 eksen

3.3.4. Regülatör (Aventics 0821302406)

Pnömatik basınç regülatörü, sistem basıncını ayarlar. Makinenyi istenen çalışma basıncına ayarlar ve sistem basıncındaki oynamalara rağmen büyük ölçüde sabit tutar. Regülatör Şekil 3.13.'te gösterildiği gibidir. Bu çalışmada kullanılan regülatörün teknik özellikleri Tablo 3.11.'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Regülatör Aventics 0821302406 Teknik Özellikleri

Qn	2000 l/min.
G	1/4 - 3/8
Çalışma basıncı min./maks.	0,5 ... 16 bar
Ortam sıcaklığı min./maks.	-10 ... 60 °C
Orta Basıncılı hava	Nötr gazlar
Regülatör tipi	Diyafram tipi basınç regülatörü
Can bloklar halinde monte edilecek	Hava çıkışı tahliye eden regülatör işlevi



Şekil 3.13. Regülatör

3.4. Titreşim Analizörü (Smart Balancer)

Dönen makinelerde mekanik titreşimlerin ölçülmesi için titreşim analizörü kullanılmaktadır. Bu deney düzeneğinde balans analizörü olarak Şekil 3.14.'te görülen Schenck firmasının ürettiği Smart Balancer cihazı kullanılmıştır. Analizörün titreşim algılayıcı sensörleri, test cihazındaki yataklara mıknatısla bağlanmıştır. Bu cihazla kullanılarak yapılan ölçümler sayesinde öncelikli olarak makaraların balans değerleri ve faz açılarına bağlı makaranın dengesizliği hakkında yorum yapılmıştır. Daha sonra titreşim genliği ve spektrum grafikleri alınarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan titreşim analizörün teknik özellikleri Tablo 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Schenck Smart Balancer

Tablo 3.12. Titreşim Analizörü Teknik Özellikleri

Yerinde Balans	Diyalog yardımı ile kullanım kılavuzu, Titreşim verilerinin vektörel gösterimi ile yazıcıdan doğrudan balans raporu çıktısı ve PC üzerinden arşiv olanağı
Balanslama devri	100 – 60.000 rpm Balanssızlık düzeltme düzlem sayısı: 1 ya da 2
Özellikler	Düzeltilme ağırlıkları özeti Sabit konumda balanssızlık düzeltme İki sabit ağırlıkta açısal pozisyon hesaplaması Pozisyonun ölçüm teybi ile doğru belirlenmesi DIN ISO 1940 a göre balans kalitesi
Ölçüm Kanalları	analog kanal 1 Lazer referans sensörü için dijital kanal
Çalışma Modu:	1 veya 2 düzlemde balanslama Titreşim ivmesi, vektörel hız, deplasman, sürat, akım, gerilim(AC/DC), sıcaklık (Rulman durumu) Sinyaller: Genlik ve zarf spektrumu, zamana göre dalga formu, genlik/faz, yavaşlatma eğrisi, darbe testi
Gösterge	TFT-LCD, 262.144 renk, 640x480 piksel (VGA) Piksel alanı 116x87 mm, aydınlatmalı
USB Ara yüzü	Printer bağlantısı için USB PC ve Laptop bağlantısı için USB
Güç Kaynağı	Şarj edilebilir batarya: Lityum li-ion batarya (7,2V/4,8 Ah) Minimum çalışma süresi 8 saat Cihaz üzerinde şarj edilebilme
Cihaz ölçüleri	180 x 160 x 50 mm (LxWxH)
Ağırlık	1,15 kg
Çevresel faktörler	Koruma sınıfı: IP65, toz geçirmez ve su jeti korumalı Sıcaklık aralığı: -10°C - +60°C

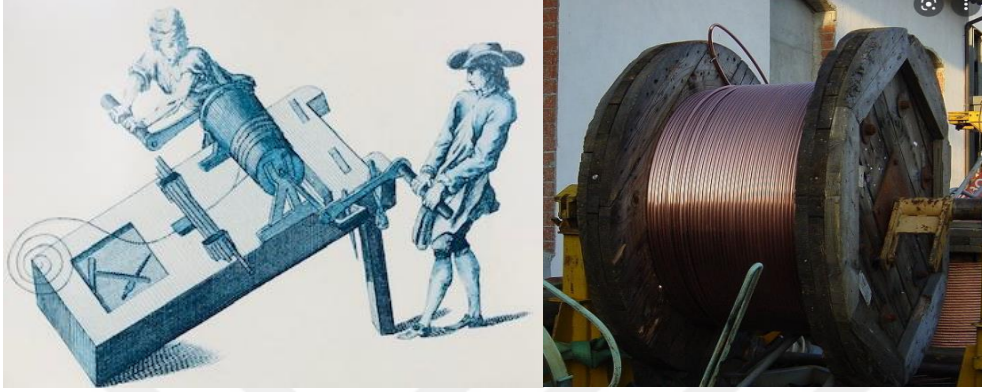
3.5. Makara

Makaralar, üzerine bükülebilir elastik elemanlar sarılabilen ve kenarları çıkıntılı flanş olan şekle sahip parçalardır. Makaralar malzeme bilgisine göre ahşap makaralar, plastik makaralar ve çelik makaralar olmak üzere üçe ayrılır. Bakır tel sektöründe tellerin sarıldığı ve stoklanmasına yardımcı olduğu çok çeşitli makaralar vardır. Çelik makaralar hassas işlerde ve yüksek devirlerde kullanıldığı için çalışmada bu makaraların analizi yapılmıştır. Analinizi yapılacak makaralar bilgisi Tablo 3.16.'da verilmiştir.

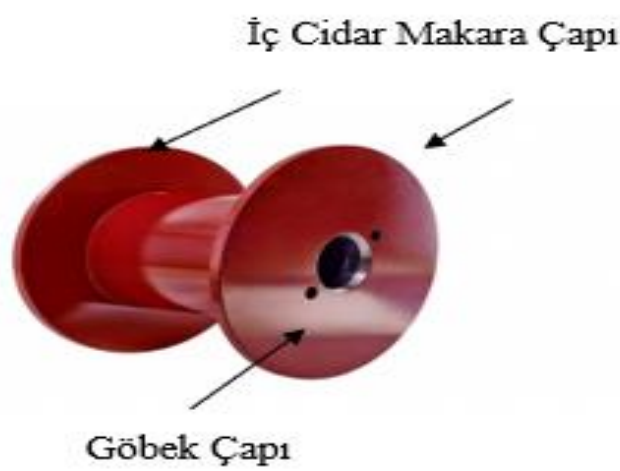
3.5.1. Çelik Makaralar

17. yüzyılın ortalarında başlayan enerji kullanımı ile enerji iletiminde kullanılan en önemli materyal bakır (Cu) iletkenler oldu. Doğadan elde edilen bakırın rafinasyon

sonrası saflaştırılması ve telin iletken haline getirilmesi ardından tel çekme ile başlayan çalışmalar bu işin olmazsa olmazı haline gelen, iletkenin sarılacağı çözüleceği makaraların gereksinimini de beraberinde getirdi. Öncelikli olarak taştan, ahşaptan mamul makaralar gelişti. Bunlar Şekil 3.15.'te gösterilmektedir. Daha sonra çelik makaralar Şekil 3.16.'daki gibi son şeklini almıştır.



Şekil 3.15. Çelik Makaranın Tarih Yolculuğu



Şekil 3.16. Çelik Makara Resmi

Sanayi devriminin geleceğe ışık tutması ile tel sektörü giderek gelişti. Zira enerji kullanımına duyulan ihtiyaçta logaritmik olarak artmaya devam etti. Bu alanda gelişen makinelerdeki sarma ve çözme hızları 1 metre/dakika dan 50 metre/saniye hat hızlarına ulaştı. Önceleri tel çekme makineleri tekli hatlardan oluşuyordu. 1970'li yıllarda başlayan gelişmeler sonucunda günümüzde aynı anda 36 hat tel çekme operasyonu, tek makinede yapılabilmektedir. Şekil 3.17.'de tel çekme makinesi gösterilmektedir. Bu hızlara uyum sağlayacak makaralar aynı zamanda küresel

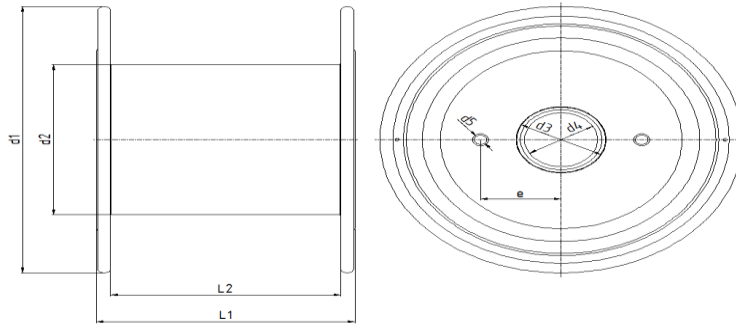
dolaşıma da başlayınca standartlaşması da zorunlu hale geldi. Zira örneğin Türkiye’de üretilen bir iletken başka bir ülkeye ihraç edildiğinde ilgi firmanın çözme makinesine mutlak uyum sağlamalıdır. Yani normlar içinde olmalıdır. Ülkemizde de 1960’lı senelerde başlayan standart makaralar önceleri ithal olarak temin ediliyordu. 1980’li yılların başı itibariyle ülkemizde de aynı standartlara uyum sağlamaya başlamış ve günümüzde ithal yerine ihraç edilen ürünler arasına girmiştir.



Şekil 3.17. Çekme Makine Haddeleme Resmi

3.5.2. Tel Sektöründe Kullanılan Makara Normları

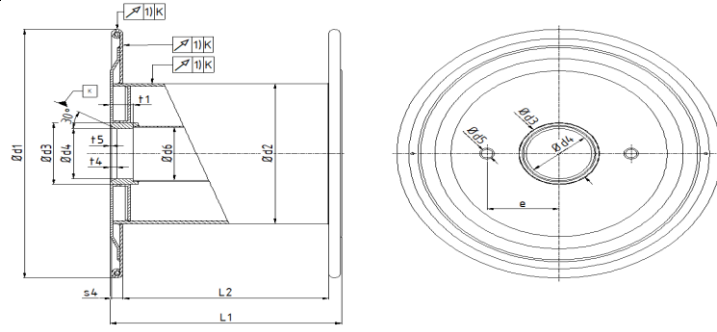
Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’de başlayan makaralarda standardizasyon hızla kabul görerek Alman Normlar Enstitüsü - Deutsche Institute für Normung (DIN) ile tüm dünyaya yayıldı. Çelik makaralarda çeşitli DIN standartları kullanılmaktadır. Bu standartlar; DIN 46395 Ø315 mm çaptan başlayıp Ø2500 mm. çapa kadar olan makaralarının boyutsal normlarıdır. Tablo 3.13.’de gösterildiği gibi makara ebatları belirlenir ve üretilir.

Tablo 3.13. DIN 46395 Makara Boyutsal Normu

DIN 46395:2018-09								
d1	d2	d3 Max.	d4	d5 a)	e	l1 b)	l2	Makara sarma Hacmi dm³
315	160	71	36	8 bis 16	112	190	160	9
355	180	112 ^{c)}	56 - 127	16 - 28		215	180	13
400	160					300	250	26
	200					236	200	19
450	224					265	224	27
500	200				140	375	315	52
	250					300	250	37
560	280					335	280	52
630	250					475	400	105
	315					375	315	73
710	355				1 60	80	28 - 40	160
800	400	600	500	189				
1 000	500	750	630	371				
1 250	630	950	800	732				
1 400	710	40 - 63	300	1 060				
1 600	800			1 180	1 000	1 508		
1 800	1 000			1 320	1 120	1 970		
2 000	1 120			1 500	1 250	2 696		
2 240	1 250			1 700	1 400	3 799		
2 500	1 500			200	100	1 900	1 600	5 027
				250	125			
		a) Tahrik pimi deliği anlaşmaya bağlıdır. b) Tüm çıkıntılı bileşenler üzerinde en büyük boyut. c) Yalnızca d4 = 56 için geçerlidir						

DIN 46397 Ø100 mm çaptan başlayarak Ø1250 mm çapa kadar olan kablo ve tel makaralarının ölçü toleransları bu normda standartlaştırılmıştır. Makaradaki tüm ölçü toleranslarının Tablo 3.14.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.14. DIN 46397 Makara Boyutsal Normu

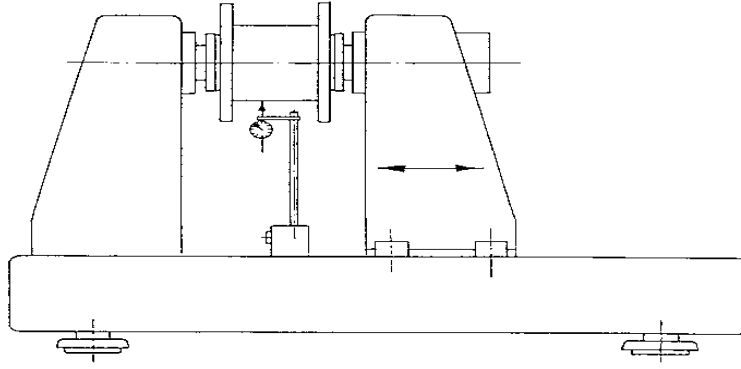


DIN 46397													
d1	d 2	d3	d 4	d5 a)	e1	d 6 min.	t1	t4 b)	t5	l1	l2 »		
100	56	—	36	—	—	39	—	8	1	80	60		
125	71		80			83		10		95	75		
160	100		100			103		12,5		118	95		
200	125		100			103		16		150	118		
250	140	160	127	16	100	130	» 40	20	2	190	160		
	160												
315	180												
	200												
355	200												
	224												
400	224												
	250												
450	250												
	280												
500	280												
560	315												
	315												
630	355												
	400												
710	355												
	400												
800	400												
	450												
	500												
1000	500	300	250	50	250	253	50	40	2,5	750	630		
	560												
	630												
1250	630												
	710												
	800									950	800		

Tahrik pimi deliği anlaşmaya bağlıdır.

$$t_4 = \frac{d_4}{6,3}$$

Makaralarda salgı kontrolü Şekil 3.18'de gösterildiği gibi yapılmalıdır. DIN 46397-31:2006-12 normuna göre salgı kontrolü sınırları belirtilmiştir.



Şekil 3.18. Makaralarda Salgı Ölçümleri

Genel toleranslar tüm ölçüler için DIN ISO 2768'e göre uygulanır. DIN ISO 2768 Tablo 3.15'de gösterildiği gibi "c" değerlerine göre üretilir ve kontrolleri yapılır. Tolerans simgesi olmayan boyutlar için DIN ISO 2768-mk' ye göre değerlendirilir. doğrusal ve açı boyutlar için genel toleranslar DIN ISO 2768 T1'dir. Bu tolerans değerleri Tablo 3.15. – 3.16. - 3.17.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.15. DIN 46397 Makara Bozuk Düzlükler ve Doğrusal Ölçüler Tablosu

Nominal uzunluklardaki aralıklar için mm cinsinden izin verilen sapmalar	f (İyi)	Tolerans sınıfı tanımı (açıklama)		v (Çok Kaba)
		m (Orta)	c (Kaba)	
0,5'ten 3'e kadar	±0.05	±0.1	±0.2	-
3'ten 6'ya kadar	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
6'dan 30'a kadar	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0
30'dan 120'e kadar	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
120'den 400'e kadar	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
400'den 1000'e kadar	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0
1000'den 2000'e kadar	±0.5	±1.2	±3.0	±6.0
2000'den 4000'e kadar	-	±2.0	±4.0	±8.0

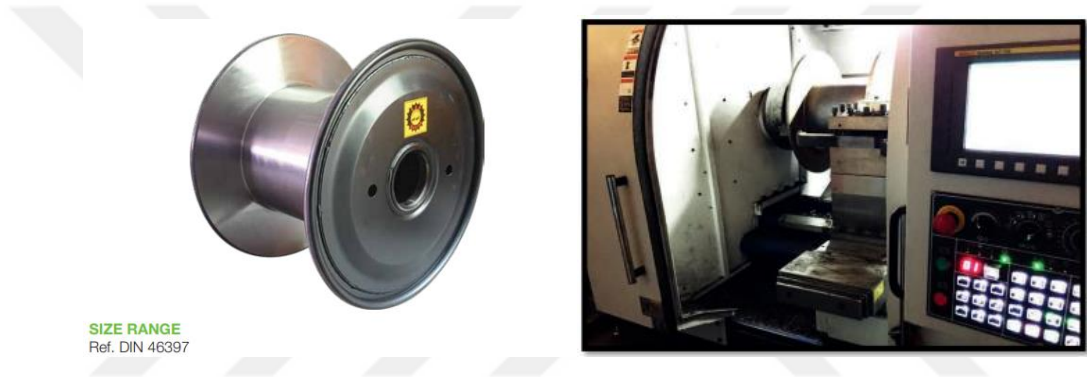
Tablo 3.16. DIN 46397 Makara Dış Yarıçap ve Pah Ölçüleri Tablosu

Nominal uzunluklardaki aralıklar için mm cinsinden izin verilen sapmalar	f (İyi)	Tolerans sınıfı tanımı (açıklama)		v (Çok Kaba)
		m (Orta)	c (Kaba)	
0,5'ten 3'e kadar	±0.2	±0.2	±0.4	±0.4
3'ten 6'ya kadar	±0.5	±0.5	±1.0	±1.0
6'dan daha büyük	±1.0	±1.0	±2.0	±2.0

Tablo 3.17. DIN 46397 Makara Açıcı Ölçü Tablosu

Nominal uzunluklardaki aralıklar için mm cinsinden izin verilen sapmalar	f (İyi)	Tolerans sınıfı tanımı (açıklama)		
		m (Orta)	c (Kaba)	v (Çok Kaba)
10'dan Aşağı Açılar İçin	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 3^\circ$
10'dan 50'ye kadar	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$
50'den 120'ye kadar	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$
120'den 400'ye kadar	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$
400'den daha büyük	$\pm 0^\circ 5'$	$\pm 0^\circ 5'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 20'$

Makaralar makinelerde 10 d/dk ila 2500 d/dk aralığında tel çap ve cinslerine göre dönerler. Şekil 3.19.'da CNC tornada işlenmiş olarak gösterilmektedir.

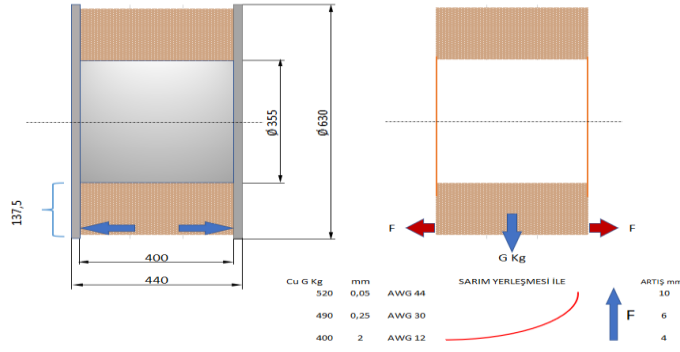


Şekil 3.19. Tornada İşlenmiş Çelik Makara

3.5.3. Makaralarda Oluşan Arızalar

Dolaşımda olan makaralarda en önemli husus yıpranmış ve kullanılamaz duruma gelme halidir. Makaradaki hasarlar gözle görülebilecek durumda ise gerekli onarım işlemleri yapılır. Gözle görülemeyecek haldeki kusurlar çeşitli ölçümler ile tespit edilebilir. Makaraların yıpranması iki şekilde olabilir. Bunlar;

- İşletmede makaraların kullanımdan kaynaklanan deformasyon vardır. Bu durum Şekil 3.20.'de gösterildiği gibidir.
- Çarpma, düşürme, devirme vb. şekilde oluşan deformasyonlardır.



Şekil 3.20. Çelik Makara Resmi

Bu tip makaraların geri dönüşümü çok önemlidir. Türkiye’de dolaşımda yaklaşık 1.000.000 adet makara vardır. Örnek olarak bir makara imalat fabrikası, (SARMAKİNE AŞ.) yılda 12.000 adet yıpranmış makarayı geri kazandırmaktadır. İşletmelerde makinelerin çeşitliliğine göre stoktan makara kullanımında zorluk çekildiği yani tereddüt yaşandığı ve genellikle az yıpranmış makaraların yanlış seçimli kullanıldığı hallerde;

- Üretim hızları düşer,
- Makine yıpranır,
- Sarım kalitesi bozulur,
- Üretim kaybına neden olur.

İşletmelerde kullanılmayan makaraların dengesizlik ve sarım yüzeyinin ölçümleri yapılarak durumu incelenir. Buna göre makaranın dengesizlik ölçümüne göre üretimde kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Üretimde kullanılmayacak makaralar onarılması mümkün ise onarılır ve tekrardan üretimde kullanılmaya devam edilir.

3.5.4. Makaralarda Titreşim Arızası

Bir makarada meydana gelen arıza bağlandığı makinede yüksek oranda titreşimlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Makineye bağlanarak çalışan makaraların düzgün ve titreşim değerlerinin düşük olması önemlidir. Makara titreşim değerlerinin yüksek olması makinenin da titreşimini yükseltir ve istenmeyen neticelerin oluşmasına sebep olabilir. Makineye bağlamadan makaranın balans değerlerinin istenilen seviyede olup olmadığı denetlenmesidir aksi halde balanssız (dengesiz) makara makinenin fazla titreşim yapması ve makineye zarar vererek üretimin de yarıda kesilmesine neden olur. Makara titreşimi makineye bağlanarak da ölçülebilir. Fakat bunun çeşitli sıkıntıları

vardır. Bir makaranın makineye bağlanması hazırlık aşaması ile birlikte yaklaşık olarak 5 dakika sürmektedir. Makara sıkıntılı ise makine çalıştırıldığı için makaraya sarılan bakır telinde hurdaya ayrılması ve makinenin durdurularak makaranın değiştirilmesi ile zaman kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle makaranın titreşim ve denge durumunun ayrı bir test cihazı ile kontrol edilmesi, daha ekonomik olması ve üretimi durdurma gereğinin ortadan kalkması gibi önemli faydalar sağlayacaktır. Dönen makaralarda titreşim standartları bağlandığı makinenin tip ve güçlerine göre değişir. Makaralarda titreşim yer değişme, hız veya ivmesinin ölçüm değerleri için Tablo 2.12.'de ISO DIN 10816-3 standartları dikkate alınır. Geliştirilen deney düzeneği Tablo 2.12.'de belirtilen makine 4. sınıfına girmektedir. Bu makine sınıfına göre, geliştirilen test düzeneğinde 13,375 Hz. (800 rpm)'de döndürülerek alınan titreşim aşağıdaki gibi yorumlanabilir.

- Makara titreşim değerleri 0–2,8 mm/sn aralığında ise iyi durumdadır. Bu makaralar süper ince tel sarma makinelerinde kullanılabilir.
- Makara titreşim değerleri 2,8–4,5 mm/sn aralığında ise kabul edilebilir durumdadır. Bu makaralar tel bükme ve orta çekme hattındaki sarma makinelerinde kullanılabilir.
- Makara titreşim değerleri 4,5–7,1 mm/sn aralığında ise sınırda kabul edilebilir durumdadır. Bu makaralar daha yavaş ve kalın tel sarma makinelerinde kullanılmalıdır.
- Makara titreşim değerleri 7,1-45 mm/sn aralığında ise kabul edilemez durumdadır. Bu makaralar makinelerde kullanılamaz. Bu makaraların tamiri mümkünse tamir edilip balans ve salgı değerleri iyileştirildikten sonra kullanılmalı ya da hurdaya ayrılmalıdır.

3.5.5. Makaralarda Şekilsel Dengesizlik Arızası

Çelik veya bakır tel sarmak için kullanılan makaralarda çeşitli nedenlerden dolayı tel sarım yüzeylerinde deformasyonlar oluşur. Bu durum makaranın düzgün taşınmaması, makaranın makineye bağlarken darbe alması veya uzun kullanımlar sonucu oluşabilir. Bu şekilsel bozukluk geliştirilen test cihazı üzerindeki mesafe sensörleri sayesinde ölçülerek makaranın standartlar içinde olup olmadığı kontrol edilir. Şekil 3.21.'de gösterildiği üzere makaranın yan cidarında şekilsel bir bozukluk mevcuttur. Bu durum gözle görülecek şekilde de olabilir veya gözle görülmeyecek kadar küçükte olabilir.

Makaralarda oluşan Bu tür hatalar makineye bağlanarak çalışan parçalar olduğu için makinenin titreşimli çalışmasına ve zamanla makinelerde çeşitli arızaların çıkmasına neden olur. Makaralardaki l toleransları, paralellikler, salėı kontrolleri, balans vb. toleranslar general tolerans DIN ISO 2768 normunu referans alır.



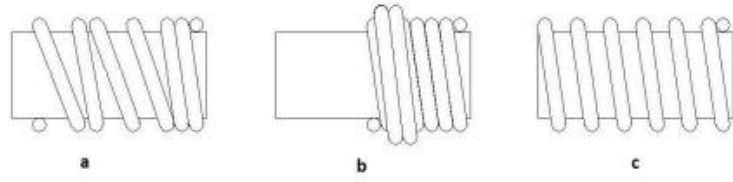
şekil 3.21. Onarılmış elik Makara Resmi

Makaralarda salėı için DIN 46397'ye göre bakılmaktadır. Yapılan test cihazında makaranın 4 noktasından noktasal olarak mesafe kontrolü yapılmak ve standartlara göre değerlendirilmektedir. DIN 46397 "c"ye göre değerlendirilir. Makaralarda lazer mesafe sensörünün makara i cidarına olan uzaklığı 30-120 mm. arasında olduğu için bu ölçünün DIN ISO 2768'e göre olması gereken salėı değerleri 0,8 mm. den büyük olamaz. İ cidardaki salėı 0,8 mm.'den küçük olan makaralar ince tel çekme hattında sarıcılarda ve tel bükme makinelerinde kullanılır. 0,8-2 mm. makaralar orta ve kalın tel çekme hattının sarıcılarında kullanılmalıdır. 2 mm.'den büyük salėılı makaralar tamir edilmelidir.

3.5.6. Makara Arızasından Kaynaklanan Sarım Hataları

Tel sektöründe kullanılan makaraların arızalı olması sonucunda sarım esnasında hatalar oluşmaktadır. Bu hatalar şekil 3.22.'de şematik olarak gösterilmektedir. Bu sarım hataları;

- a) Düzensiz sarımı göstermektedir,
- b) st üste binmiş sarım,
- c) Gevşek sarımdır.

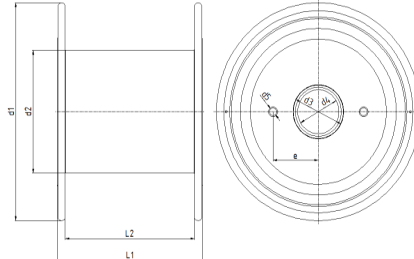


Şekil 3.22. Makara Sarım Hataları

3.5.7. Analizi Yapılacak Makara

Sar Makine’da üretilen deney düzeneğinde analizi yapılacak makara bilgileri Tablo 3.18.’de verilmiştir. Tabloda bilgileri verilen makaralardan “A” makarası sıfır makaradır. B, C, D ve E makaralarıysa kulanımdan sonra deformasyona uğramış makaralardır.

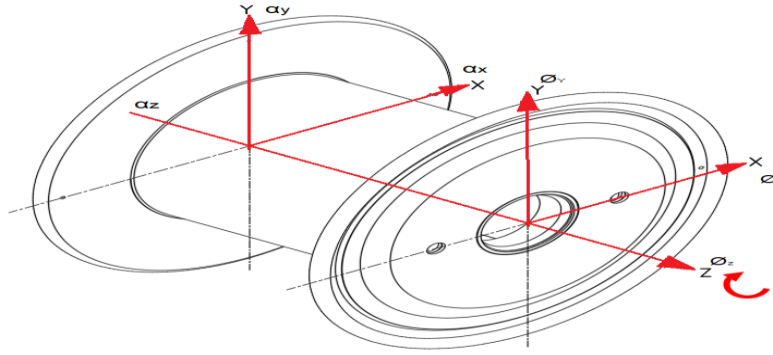
Tablo 3.18. Analizi Yapılan Makara Bilgileri



Makaralar	d1	d2	d3 Max.	d4	d5	e	l ₁	l ₂	Ağırlık (Kg)
A	Ø630	Ø315	Ø160	Ø127	Ø28	140	425	355	72,6
B	Ø630	Ø315	Ø160	Ø127	Ø28	140	425	355	71,9
C	Ø630	Ø315	Ø160	Ø127	Ø28	140	425	355	66
D	Ø630	Ø315	Ø160	Ø127	Ø28	140	425	355	73,9
E	Ø630	Ø315	Ø160	Ø127	Ø28	140	425	355	75

Bu test düzeneğinde 10 hz.(600 rpm) de ölçülen ön ve arka yataklardaki radyal yatay (θ_x ve α_x), radyal dikey (θ_Y ve α_Y) ve paralel (θ_z ve α_z) faz açıları yardımıyla makaranın dengesizlik durumu hakkında yorum yapılacaktır. Makaranın yüzeyindeki faz açıları için belirlenen eksenler Tablo 3.19.’da gösterildiği gibidir. Ön yatak tarafındaki 1. yüzey faz açıları “ θ ” ile gösterilmektedir. Arka yatak tarafındaki ikinci yüzey faz açıları “ α ” ile gösterilmektedir.

Tablo 3.19. Makara Faz Açılarının Kodlaması



Faz açıları	Makaralar				
	A	B	C	D	E
Ön yatak radyal yatay faz açısı (°)	ϕ_{AX}	ϕ_{BX}	ϕ_{CX}	ϕ_{DX}	ϕ_{EX}
Ön yatak radyal dikey faz açısı (°)	ϕ_{AY}	ϕ_{BY}	ϕ_{CY}	ϕ_{DY}	ϕ_{EY}
Ön yatak eksenel faz açısı (°)	ϕ_{AZ}	ϕ_{BZ}	ϕ_{CZ}	ϕ_{DZ}	ϕ_{EZ}
Arka yatak radyal yatay faz açısı (°)	α_{AX}	α_{BX}	α_{CX}	α_{DX}	α_{EX}
Arka yatak radyal dikey faz açısı (°)	α_{AY}	α_{BY}	α_{CY}	α_{DY}	α_{EY}
Arka yatak eksenel faz açısı (°)	α_{AZ}	α_{BZ}	α_{CZ}	α_{DZ}	α_{EZ}

4. ANALİZ VE UYGULAMA

4.1. Makaralarda İç Cidar Salgı Analizi

Makaralarda salgı ölçümü yapan mesafe sensörlerinin yerleşimi Şekil 3.7’de gösterilmişti. Makaralar 0,08 Hz. (5 rpm) hız ile bir tur döndürülerek ölçülen iç cidar yüzeylerdeki salgı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. DIN ISO 2768’e göre, ölçülen bu değerlerin 0,8 mm’nin altında olması gerekmektedir. A ve B makarasındaki dört noktadan alınan ölçüm değerleri 0,8 mm’den küçük toleransa sahip olduğu için üretimde kullanmaya uygundur. C, D ve E makarası salgı değerlerinin 0,8 mm den yüksek olduğu görülmektedir. İç cidar salgı ölçümlerine göre C, D ve E makaraların tamir edilmesi gerekir.

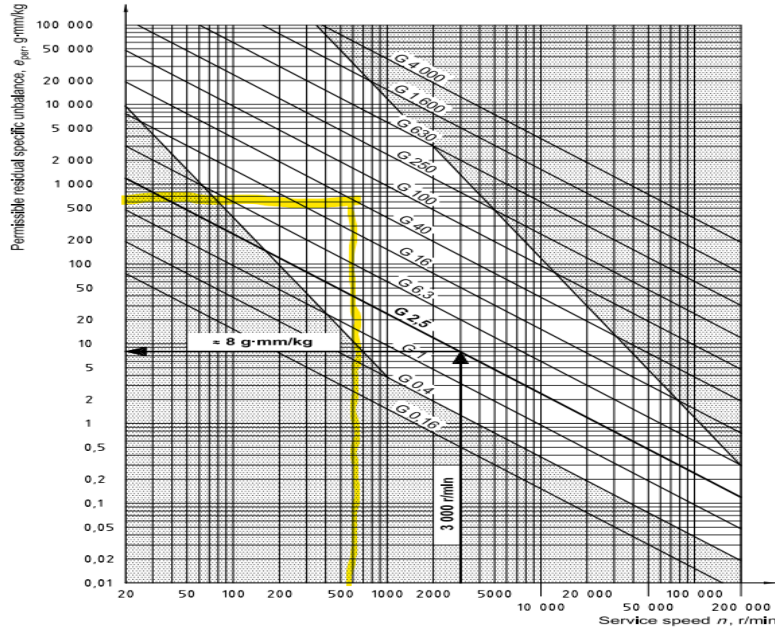
Tablo 4.1. Makaranın İç Cidarındaki Salgı Değerler Tablosu

	A	B	C	D	E
1. Sensör Salgı Değeri	0,3325 mm	0,29 mm	0,54 mm	0,61 mm	0,4933 mm
2. Sensör Salgı Değeri	0,2275 mm	0,255 mm	0,6 mm	0,6725 mm	2,1933 mm
3. Sensör Salgı Değeri	0,2925 mm	0,49 mm	2,155 mm	1,13 mm	0,37 mm
4. Sensör Salgı Değeri	0,3567 mm	0,525 mm	1,063 mm	0,3325 mm	14,5733 mm
Makaranın Durumu	İyi	İyi	Tamir	Tamir	Tamir

4.2. Makaraların Ağırlık Durumuna Göre Dengesizlik (Balanssızlık) Analizi

Çelik makaralarda izin verilen maksimum dengesizlik değerini tespit etmek için Şekil 4.1’de gösterilen ISO 1940 standart tablosu kullanılmıştır. Bu tablodan makaralar için G 40 dengesizlik değeri alınır. 10Hz. (600rpm)’de G 40 için e_{per} değeri 600 gr-mm/kg.’dır. Tablodan okunan bu değer ile makara ağırlığının çarpımı sonucu (Eşitlik 4.1) çelik makaralarda izin verilen maksimum dengesizlik değeri bulunur.

$$U_{eper} = e.m \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. DIN ISO 1940 Hızın (rpm) İzin Verilen Dengesizlik (eper) Değer Grafiği

Teste alınan makaraların dengesizlik durumu Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Bu tabloda makaraların dengesizlik değerleri ve ISO 1940’a göre maksimum dengesizlik değerleri karşılaştırılarak yapılan analizlerde “A” makarasının standartlara uygun olduğu ve makarada dengesizlik arızası olmadığı tespit edilmiştir. “B, C, D ve E” makaralarında dengesizlik değerleri ISO 1940’a göre maksimum dengesizlik değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu makaralarda balanssızlığı gidermek gerekmektedir.

Tablo 4.2. Makaraların 10 hz (600 rpm) de Dengesizlik Bilgileri

Dengesizlik Bilgileri	MAKARALAR				
	A	B	C	D	E
Makara Ağırlıkları (Kg)	72,6	71,9	66	73,9	75
1. Yüzey Radyal Yatay Dengesizlik (Balans) (gr)	6,1	26,4	29,9	32,7	145,8
2. Yüzey Radyal Yatay Dengesizlik (Balans) (gr)	2	411	61,6	34,4	86,8
Makaralarda Toplam Dengesizlik (Balans) Ağırlığı (gr)	8,1	67,5	91,5	67,1	232,6
Makaralarda ISO 1940’göre Maksimum Dengesizlik (Balans) Değeri (gr)	43,5	43	39,5	44	45

4.3. Makaraların Faz Açısı Analizi

Çelik makaralarda dengesizlik çeşitlerini ölçmek için yapılan deney düzeneği (Şekil 3.1) motor, kaplin ve konik bağlantı şeklinde olduğu için eksenel kaçıklık ve gevşeklikten kaynaklı hatalar mevcuttur. Balanssızlığa neden olan hatalar için deney

düzenindeki yataklardan alınan faz açıları değerleri ile tespit edilebilir. Makaralar 10 Hz. (600 rpm) hızda döndürülerek titreşim genlikleri ve faz açılarına ait ölçümler sonucunda dengesizlik çeşitleri ve titreşime neden olan arıza tespitleri yapılmıştır. Ölçülen titreşim genlikleri ve faz açıları değerleri Tablo 4.3, Tablo 4.4. ve Tablo 4.5’de verilmiştir. Makaralarda dengesizlik arızası olup olmadığının tespiti şöyle belirlenebilir. Öncelikli olarak 10 Hz. (600 rpm) hızda ölçülen dengesizlik titreşim genliği (QXG, QYG) ile titreşim hızı RMS (QXR, QYR) arasındaki oranın yüzdeliği hesaplanır. Bu oran (QXG/QXR(%) ve QYG/QYR(%)) ne kadar yüksek ise dengesizlik arızası olma ihtimali de o kadar yüksektir. Deney düzeneğinde yeni üretilmiş balansı alınmış ve salgı değeri düzeltilmiş olan A makarasını referans olarak alınmıştır. Deney düzeneğinde makaralarda ölçülen ve Tablo 4.3’te verilen titreşim ölçümlerine göre A makarasının radyal yatay yüzdelik değerinin radyal dik yüzdelik değerine göre yüksekliği pnömatik sıkma nedeni ile oluşan gevşeklikten kaynaklanmaktadır. Bu deney düzeneğinde konik bağlantı sebebi ile % 60 altı dengeli ve üzeri dengesiz olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.3’te verilen titreşim ölçümlerine göre yatay yüzdelik değerinin en yüksek olduğu makara C makarası ve radyal dik yüzdelik değerinin en yüksek olduğu makara ise D makarası olarak görülmektedir. Tablo 4.3’e göre A makaranın dengesizlik arızasının olmadığını ve diğer makaralarda dengesizlik arızasının olduğu söylenebilir.

Tablo 4.3. Makaraların 10 Hz (600rpm) de Radyal Yatay/Dikey Balans Titreşim Genliklerinin (QXR/QYR) ve Radyal Yatay/Dikey Titreşim Genliğinin RMS (QXG/QYG) Yüzdelik Karşılaştırılması

Makara	Ön Yatak Radyal Yatay 10Hz (600xrpm) Balans Titreşim Genliği (mm/s) (QXG)	Ön Yatak Radyal Yatay 10Hz (600xrpm) Titreşim Hızı RMS (mm/s) (QXR)	QXG/QXR (%)	Ön Yatak Radyal Dik 10Hz (600xrpm) Balans Titreşim Genliği (mm/s) (QYG)	Ön Yatak Radyal Dik 10Hz (600xrpm) Titreşim Genliği RMS (mm/s) (QYR)	QYG /QYR (%)
A	0,01	0,019	52	0,0262	0,435	6
B	1,069	1,384	77,2	0,329	0,389	84
C	0,576	0,657	87,6	0,097	0,126	76
D	1,141	1,377	82	0, 171	0,077	222
E	4,136	5,155	80,2	0,543	0,6	90,5

Aynı yatağın radyal yatay (QX°) ve radyal dikey (QY°) faz açısı ölçümleri arasında farkının (QX°-QY°) yaklaşık 90° (±30°) olup olmadığına bakılır. Eğer 60°-120° arasında bir değer ise makinede kütle dengesizlik arızası olduğu söylenebilir. Tablo

4.4' de aynı yatağın radyal yatay (QX°) ve radyal dikey (QY°) farkları ($QX^\circ - QY^\circ$) gösterilmiştir. Bu değerlere göre makaraların kütleli dengelesizlik arızası olmadığı söylenebilir.

Tablo 4.4. Makaranın 10 hz (600rpm)'de Ön Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması

Makara	QX°	QY°	$(QX^\circ - QY^\circ)$	Kütleli Dengelesizlik Durumu
A	286	315	29	Yok
B	94	121	27	Yok
C	338	204	134	Yok
D	36	355	319	Yok
E	31	88	57	Yok

Daha sonra hangi sınıf dengelesizlik arızası olduğunu belirlemede dönen rotorun ön ve arka yatak arasında radyal yatay doğrultuda faz açısı farkına ($QX^\circ - \alpha X^\circ$) bakmak gerekir. Faz açısı farkı yaklaşık $0^\circ (\pm 30^\circ)$ durumunda statik dengelesizlik var olduğu, yaklaşık $180^\circ (\pm 30^\circ)$ durumunda moment dengelesizliği olduğu, bu değerlerin dışında durumlaraysa dinamik dengelesizlikten bahsedilebilir. Dinamik dengelesizlik halinde faz açısı farkı dengelesizliği yaratan kütlelerin eksen dağılımına göre değişebilir. Tablo 4.5'te faz açılarının farkına ($QX^\circ - \alpha X^\circ$) göre hangi sınıf dengelesizlik olduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre A makarasında moment dengelesizlik ve B, C, D, E makaralarında dinamik dengelesizlik olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5. Makaranın 10 hz (600rpm)'de Ön Ve Arka Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması

Makara	QX°	αX°	$(QX^\circ - \alpha X^\circ)$	Dengelesizlik Durumu
A	286	115	171	Moment Dengelesizlik
B	94	215	121	Dinamik Dengelesizlik
C	338	116	222	Dinamik Dengelesizlik
D	36	289	107	Dinamik Dengelesizlik
E	31	268	237	Dinamik Dengelesizlik

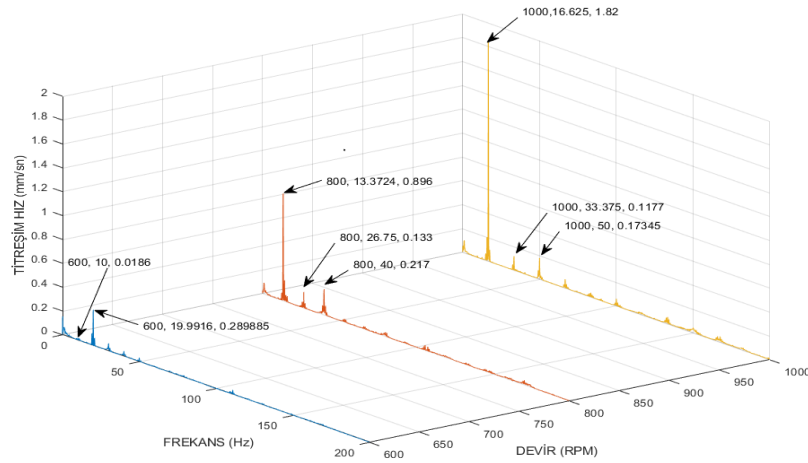
Eksenel kaçıklık arızası tespiti için eksenel yöndeki faz açısı farkına ($QZ^\circ - \alpha Z^\circ$) bakmak gerekir. Eksenel yöndeki faz açıları farkı ($QZ^\circ - \alpha Z^\circ$) $180^\circ (\pm 30^\circ)$ ise eksenel kaçıklık veya eğik şaft arızasını göstermektedir. Tablo 4.6'da görüldüğü gibi eksenel yöndeki faz açıları farkı ($QZ^\circ - \alpha Z^\circ$) makaraların sırasına göre 19° , 33° , 186° , 191° ve 205° dir. Bu duruma göre A ve B makaraları için eksenel kaçıklık olmadığı söylenebilir. C, D ve E makaraları için eksenel kaçıklık olduğu görülmektedir. Bu eksenel kaçıklıkları makara punta açılarındaki yıpranmalarından kaynaklanabilir.

Tablo 4.6. Makaranın 10 hz (600rpm)'de Arka Yatakların Faz Açılarının Karşılaştırılması

Makara	QZ°	αZ°	$(QZ^\circ - \alpha Z^\circ)$	Dengesizlik Durumu
A	311	292	19	Eksenel Kaçıklık veya Eğik Şaft Arza yok
B	323	356	33	Eksenel Kaçıklık veya Eğik Şaft Arza Yok
C	56	242	186	Eksenel Kaçıklık veya Eğik Şaft Arza Var
D	8	199	191	Eksenel Kaçıklık veya Eğik Şaft Arza Var
E	28	233	205	Eksenel Kaçıklık veya Eğik Şaft Arza Var

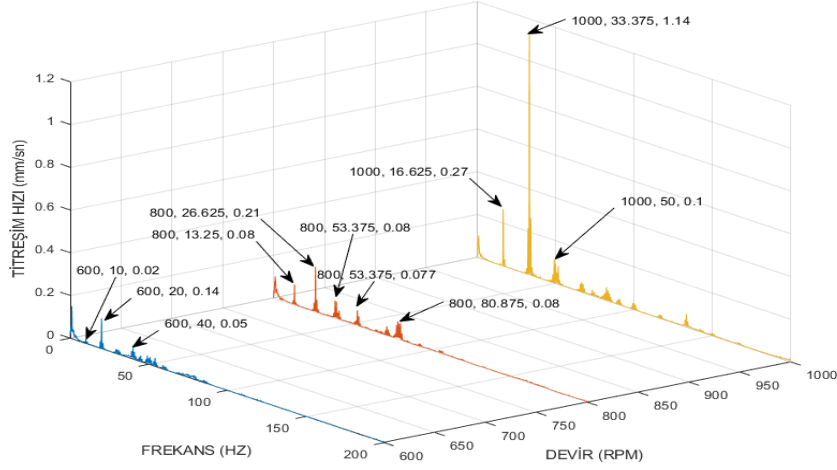
4.4. Makaralarda Titreşim Değerlerinin Spektrum Grafiklerine Göre Analizi

A makarası Şekil 4.2'de ön yatak radyal yatay yöndeki ($\emptyset AX$) titreşim spektrum grafiğini dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 hz.'de (600 rpm) 0.0186 mm/sn, 13 hz.'de (800 rpm) 0.896 mm/sn ve 16 hz.'de (1000 rpm) 1.82 mm/sn dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standart değerler ile karşılaştırıldığı zaman iyi durumda olduğu görülmektedir.



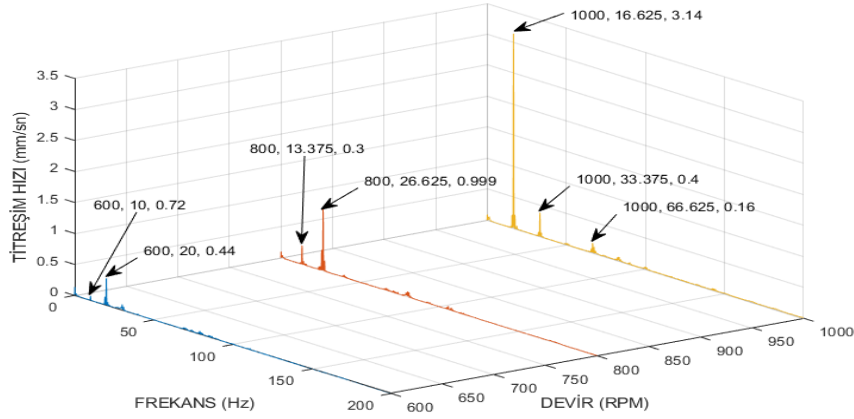
Şekil 4.2. A Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset AX$) Titreşim Spektrum Grafiği

A makarası Şekil 4.3'de ön yatak radyal dikey yöndeki ($\emptyset AY$) titreşim spektrum grafiğini dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 hz.'de (600 rpm) 0.02 mm/sn, 13 hz.'de (800 rpm) 0.08 mm/sn ve 16 hz.'de (1000 rpm) 0.27 mm/sn 'dir. Bu spektrum grafiğinde yan bant oluşmuştur. Bu durum konik sıkma sonucu oluşan eksenel kaçıklıktan kaynaklanmaktadır. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standardına göre iyi durumda olduğu görülmektedir.



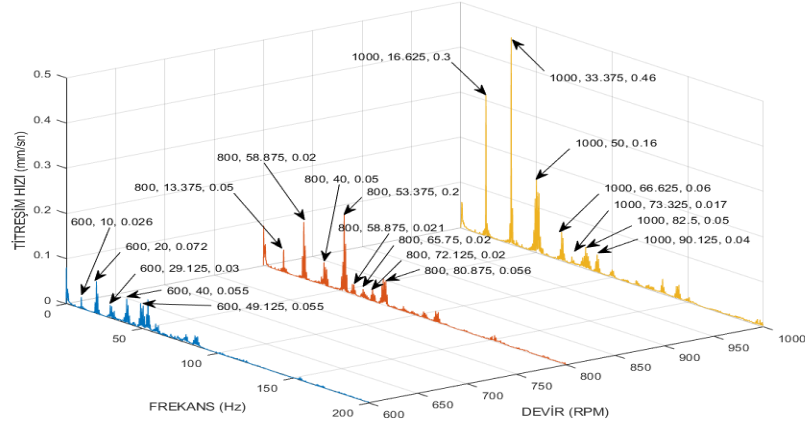
Şekil 4.3. A Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki (ØAY) Titreşim Spektrum Grafiği

A makarası Şekil 4.4'de arka yatak radyal yatay yöndeki (α AX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.072 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 0.3 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 3.14 mm/sn dir. Bu titreşim değerlerinin Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standarta göre kabul edilir durumda olduğu görülmektedir.



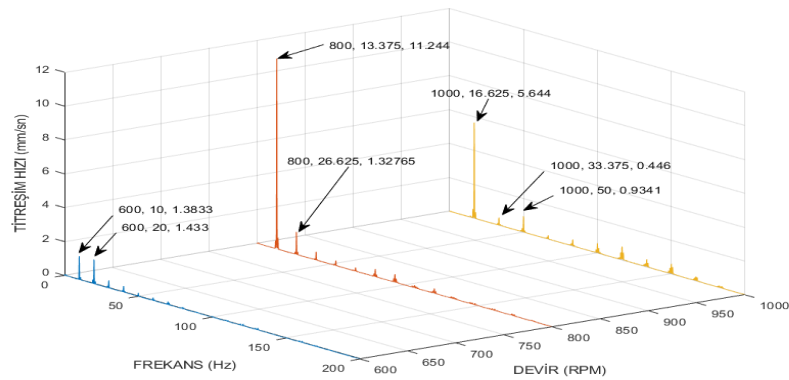
Şekil 4.4. A Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α AX) Titreşim Spektrum Grafiği

A makarası Şekil 4.5'de arka yatak radyal dikey yöndeki (α AY) titreşim spektrum grafiğinin dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.026 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 0.05 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 0.3 mm/sn'dir. Bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları aksel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standarta göre iyi durumda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. A Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α AY) Titreşim Spektrum Grafiği

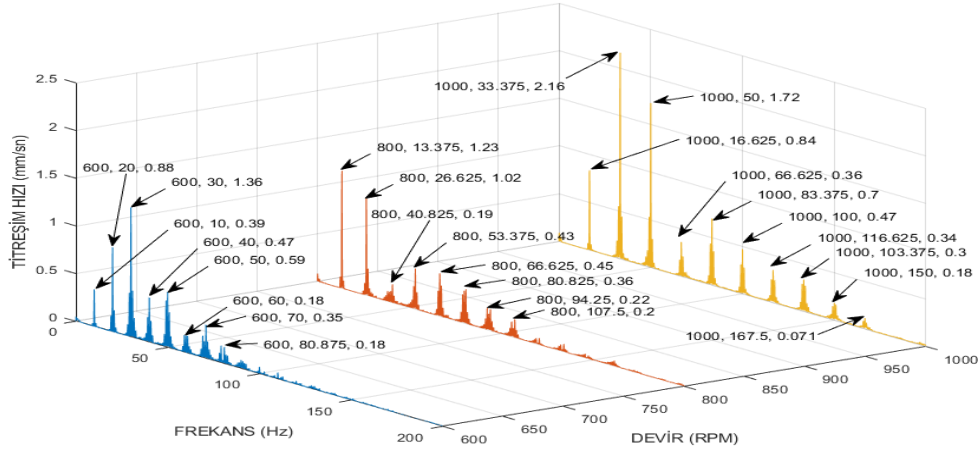
B makarası Şekil 4.6’de ön yatak radyal yatay yöndeki ($\emptyset$ BX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 1.3833 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 11.244 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 5.644 mm/sn’dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak makaranın hızı 800 rpm’e (13 Hz) ulaştığında rezonansa girdiği ve 1000 rpm’e (16 Hz.) çıktığında ise titreşim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu ölçümler titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen titreşim değerlerine göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



Şekil 4.6. B Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki ($\emptyset$ BX) Titreşim Spektrum Grafiği

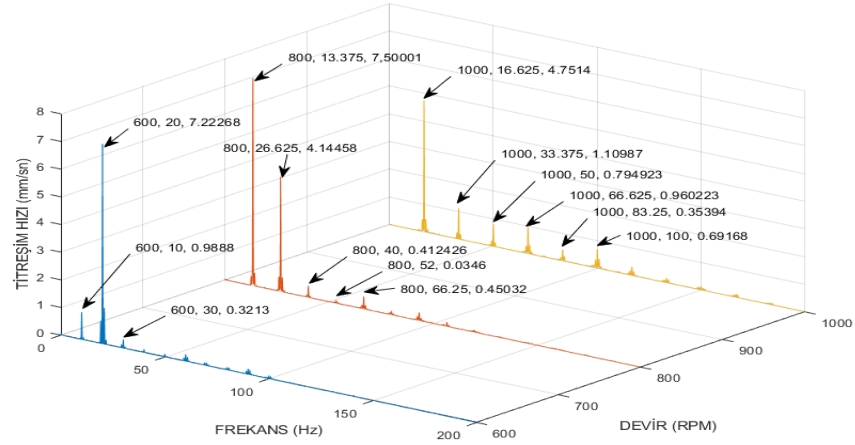
B makarası Şekil 4.7’de ön yatak radyal dikey yöndeki ($\emptyset$ BY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 0.39 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 1,23 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 0.84 mm/sn dir. Bu titreşim

değerlerinin dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Dengesizlikten kaynaklı olarak 13 Hz.'de titreşim değerlerinin çok yükseldiği fakat 16 Hz.'de düştüğü görülmektedir. Bu değerlerin titreşimden kaynaklı rezonansa girdiği görülmektedir. Ayrıca bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları eksenel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4'de verilen ISO 10816 standarta göre kontrol altında tutulması gerektiği görülmektedir.



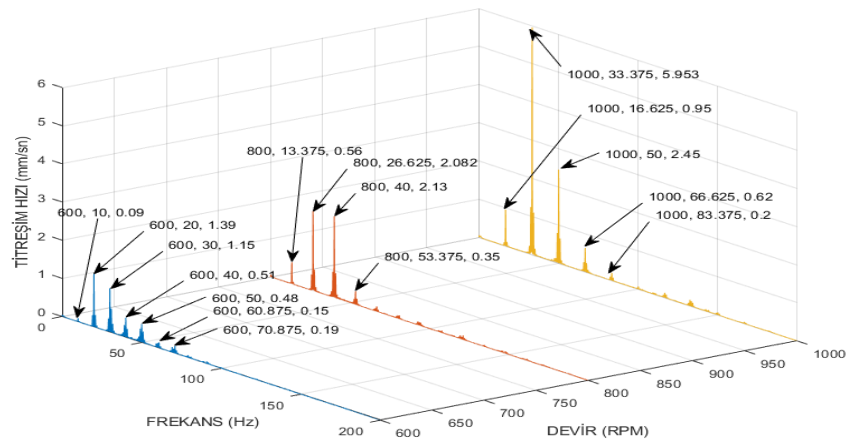
Şekil 4.7. B Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki (ØBY) Titreşim Spektrum Grafiği

B makarası Şekil 4.8'de arka yatak radyal yatay yöndeki (αBX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.9888mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 7.5 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 4.75 mm/sn'dir. Dengesizlikten kaynaklı olarak 13 Hz.'de titreşim değerlerinin çok yükseldiği fakat 16 Hz.'de düştüğü görülmektedir. Bu değerlerin titreşimden kaynaklı rezonansa girdiği göstermektedir. Ayrıca bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları eksenel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu ölçüler titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standarta verilen titreşim değerlerine göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



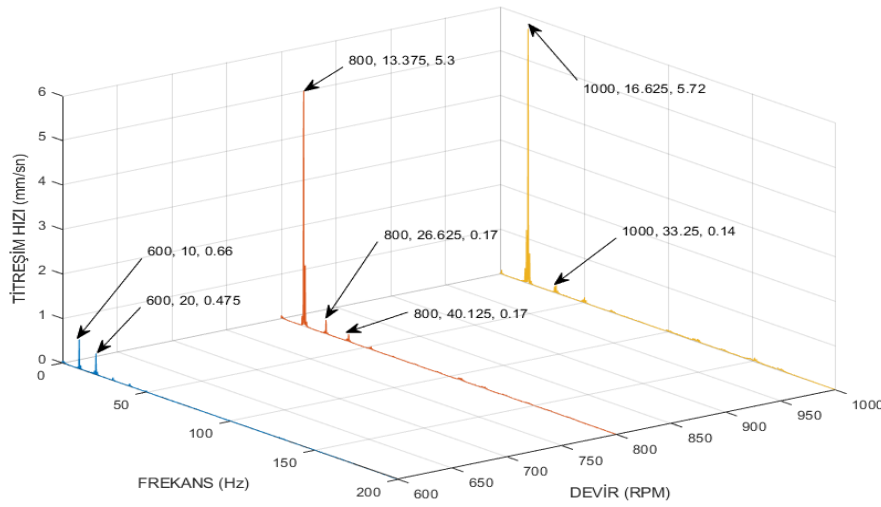
Şekil 4.8. B Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α BX) Titreşim Spektrum Grafiği

B makarası Şekil 4.9’de arka yatak radyal dikey yöndeki (α BY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 0.09 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 0.56 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 0,953 mm/sn dir. Dengesizlikten kaynaklı olarak 13 Hz.’de titreşim değerlerinin çok yükseldiği fakat 16 Hz.’de düştüğü görülmektedir. Bu değerlerin titreşimden kaynaklı rezonansa girdiği görülmektedir. Bu grafikte 2. pik noktalarının titreşim değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum eksenel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu ölçüler titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standarta verilen titreşim değerlerine göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



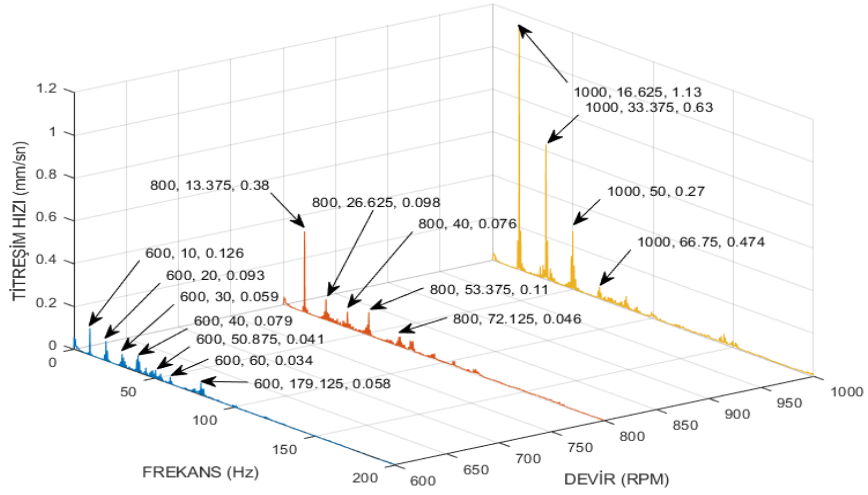
Şekil 4.9. B Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α BY) Titreşim Spektrum Grafiği

C makarası Şekil 4.10'de ön yatak radyal yatay yöndeki (ØCX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.66 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 5.3 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 5.72 mm/sn dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



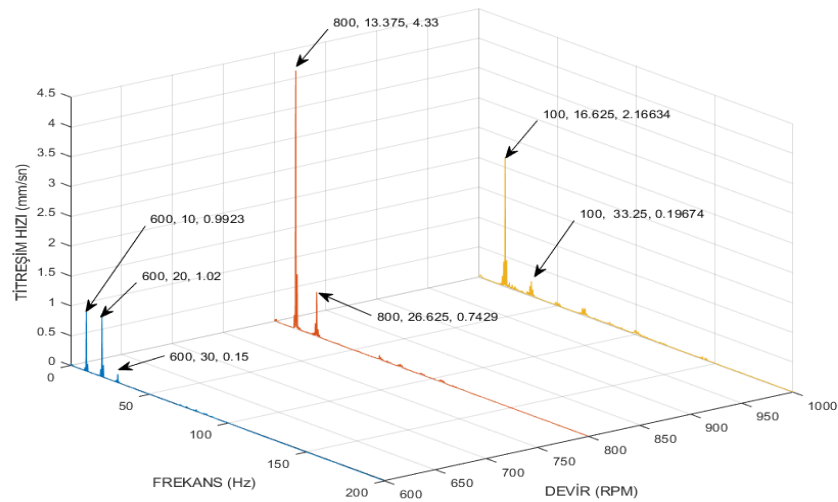
Şekil 4.10. C Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki (ØCX) Titreşim Spektrum Grafiği

C makarası Şekil 4.11'de ön yatak radyal dikey yöndeki (ØCY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.126 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 0.38 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 1.13 mm/sn'dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre uygun olduğu görülmektedir.



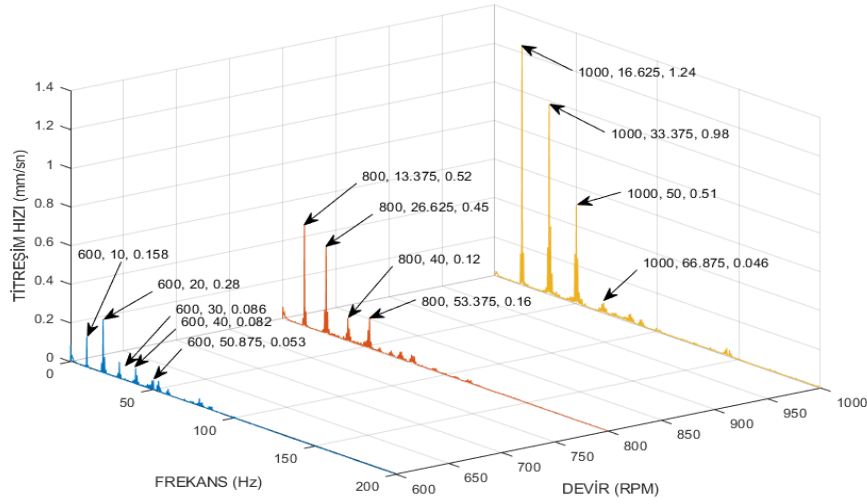
Şekil 4.11. C Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki (ÖCY) Titreşim Spektrum Grafiği

C makarası Şekil 4.12’de arka yatak radyal yatay yöndeki (α CX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 0.9923 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 4,33 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 2,16 mm/sn’dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Dengesizlikten kaynaklı olarak 13 Hz.’de titreşim değerlerinin çok yükseldiği fakat 16 Hz.’de düştüğü görülmektedir. Bu değerlerin titreşimden kaynaklı rezonansa girdiği görülmektedir. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4 ISO 10816 standarta verilen değerlere göre uygun olduğu görülmektedir.



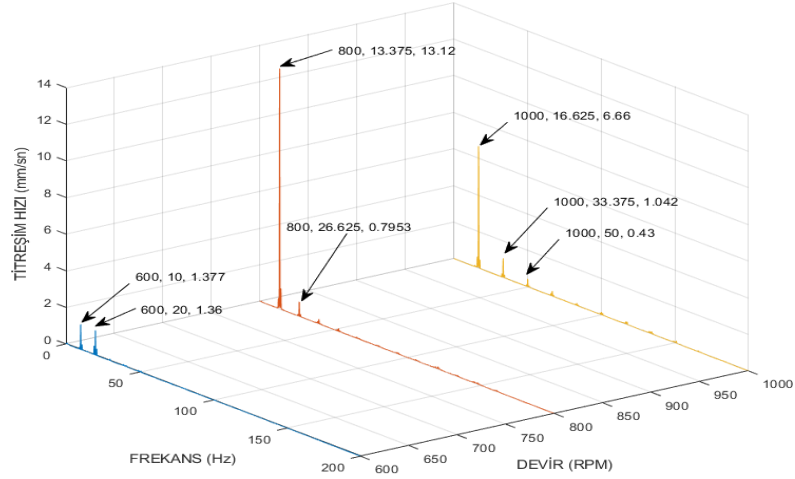
Şekil 4.12. C Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α CX) Titreşim Spektrum Grafiği

C makarası Şekil 4.13’de arka yatak radyal dikey yöndeki (α CY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 0.158 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 0.52 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 1,24 mm/sn dir. Bu değerler dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerleri Tablo 2.4 ISO 10816 standarta verilen değerlere göre uygun olduğu görülmektedir.



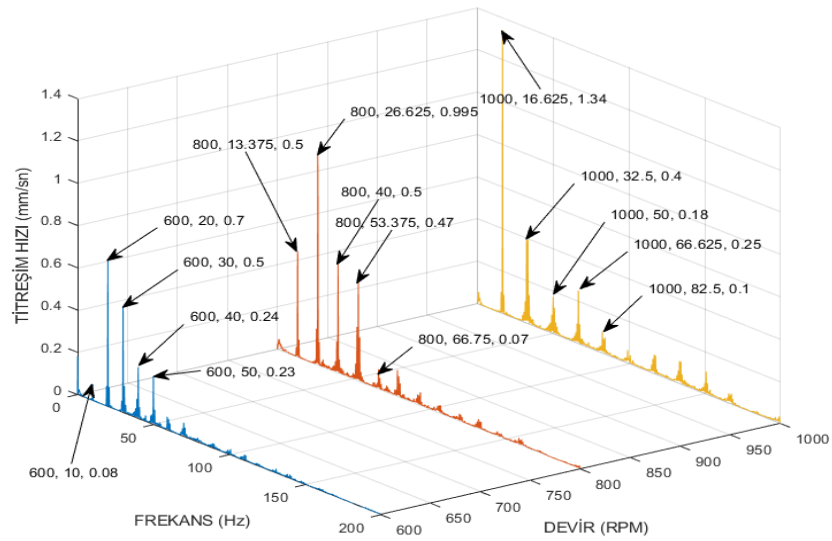
Şekil 4.13. C Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (α CY) Titreşim Spektrum Grafiği

D makarası Şekil 4.14’de ön yatak radyal yatay yöndeki ($\emptyset$ DX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 1.377 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 13.12 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 6.66 mm/sn dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak makaranın hızı 800 rpm’e (13 Hz) ulaştığında rezonansa girdiği ve 1000 rpm’e (16 Hz.) çıktığında ise titreşim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standarta verilen değerlere göre makaranın tamir edilmesi gerektiği yani arızalı olduğu görülmektedir.



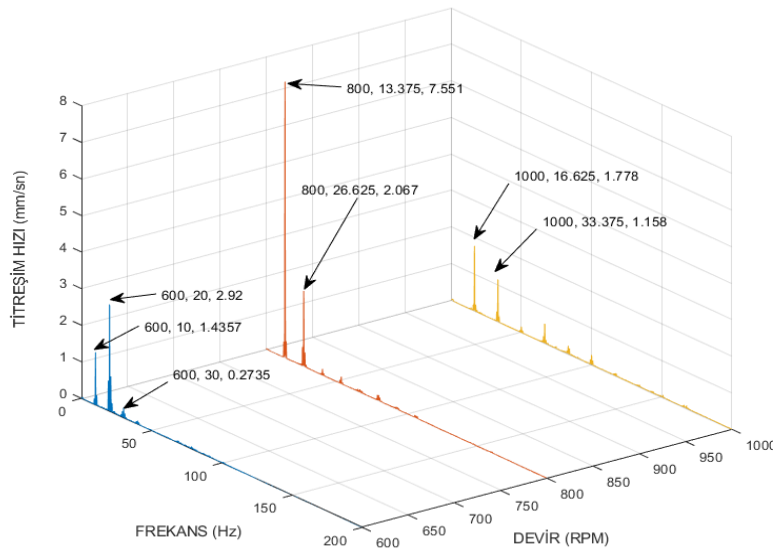
Şekil 4.14. D Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki (ØDX) Titreşim Spektrum Grafiği

D makarası Şekil 4.15’de ön yatak radyal dikey yöndeki (ØDY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 hz.’de (600 rpm) 0.08 mm/sn, 13 hz.’de (800 rpm) 0,5 mm/sn ve 16 hz.’de (1000 rpm) 1.34 mm/sn’dir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları aksel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu titreşim değerlerinin Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre uygun olduğu görülmektedir.



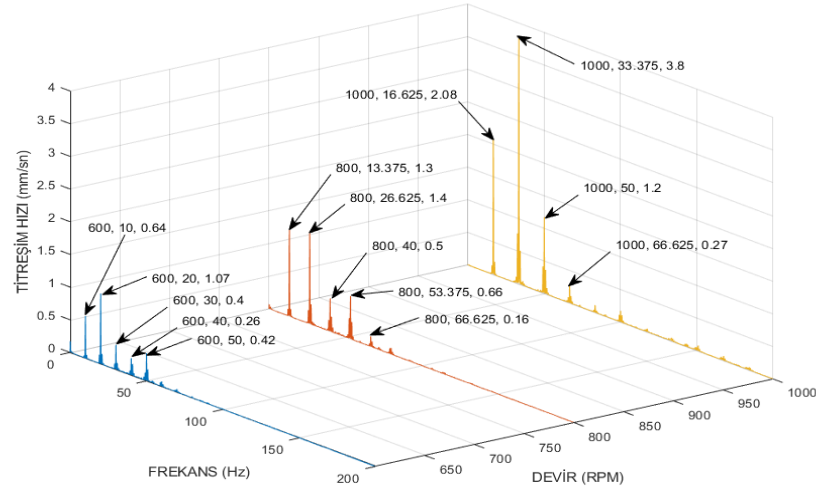
Şekil 4.15. D Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki (ØDY) Titreşim Spektrum Grafiği

D makarası Şekil 4.16'de arka yatak radyal yatay yöndeki (α DX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 1.4357 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 7.551 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 1.778 mm/sn'dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak makaranın hızı 800 rpm'e (13 Hz.) ulaştığında rezonansa girdiği ve 1000 rpm'e (16 Hz.) çıktığında ise titreşim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



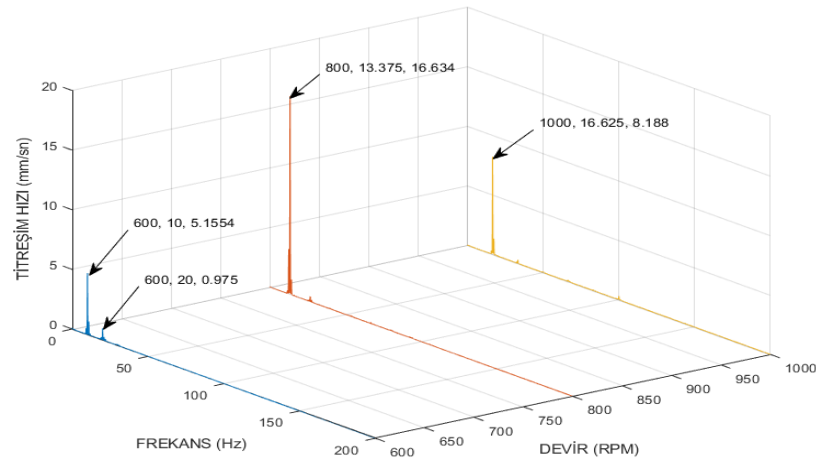
Şekil 4.16. D Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (α DX) Titreşim Spektrum Grafiği

D makarası Şekil 4.17'de arka yatak radyal dikey yöndeki (α DY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.'de (600 rpm) 0.64 mm/sn, 13 Hz.'de (800 rpm) 1,3 mm/sn ve 16 Hz.'de (1000 rpm) 2,08 mm/sn dir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları eksenel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın kontrol altında ve yavaş çalışan hatlarda kullanılması gerektiği görülmektedir.



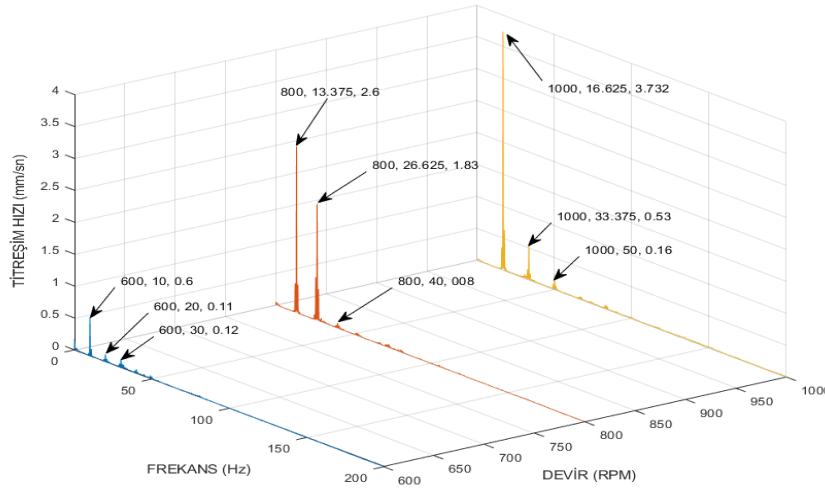
Şekil 4.17. D Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (aDY) Titreşim Spektrum Grafiği

E makarası Şekil 4.18’de ön yatak radyal yatay yöndeki (ØEX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 5.1554 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 16.634 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 8.188 mm/sn dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak makaranın hızı 800 rpm’e (13 Hz.) ulaştığında rezonansa girdiği ve 1000 rpm’e (16 Hz.) çıktığında ise titreşim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



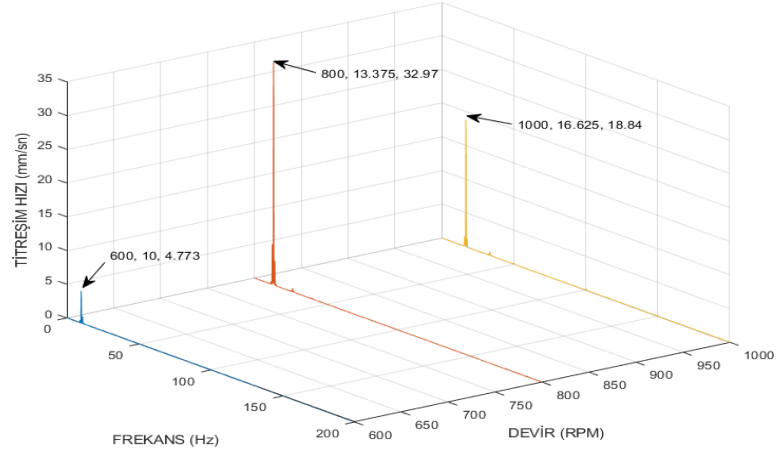
Şekil 4.18. E Makarasının Ön Yatak Radyal Yatay Yöndeki (ØEX) Titreşim Spektrum Grafiği

E makarası Şekil 4.19’de ön yatak radyal dikey yöndeki (ØEY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 0.6 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 2.6 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 3.732 mm/sn’dir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu grafikteki 2. ve 3. pik noktaları aksel kaçıklık ve gevşeklik kaynaklıdır. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın kontrol altında ve yavaş çalışan hatlarda kullanılması gerektiği görülmektedir.



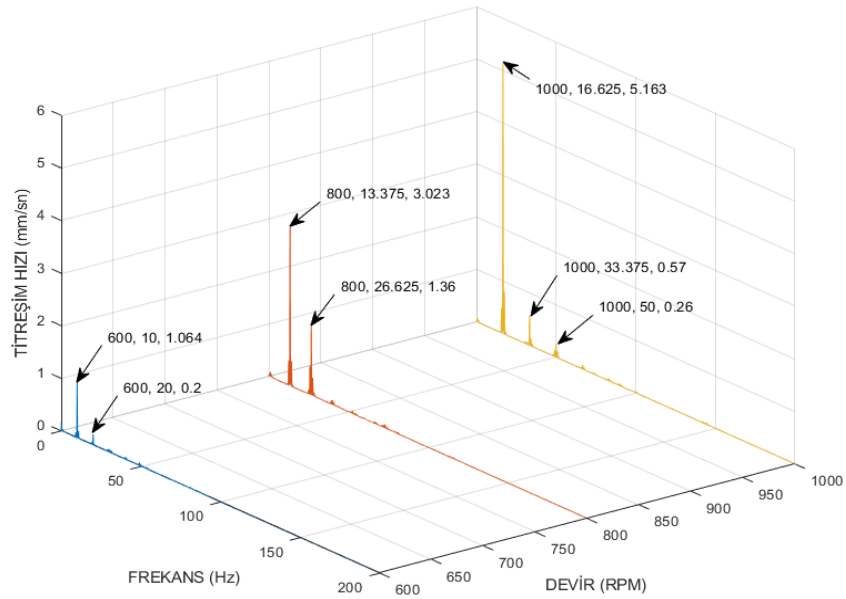
Şekil 4.19. E Makarasının Ön Yatak Radyal Dikey Yöndeki (ØEY) Titreşim Spektrum Grafiği

E makarası Şekil 4.20’de ön yatak radyal yatay yöndeki (αEX) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 Hz.’de (600 rpm) 4.773 mm/sn, 13 Hz.’de (800 rpm) 32.97 mm/sn ve 16 Hz.’de (1000 rpm) 18.84 mm/sn’dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak makaranın hızı 800 rpm’e (13 Hz.) ulaştığında rezonansa girdiği ve 1000 rpm’e (16 Hz.) çıktığında ise titreşim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



Şekil 4.20. E Makarasının Arka Yatak Radyal Yatay Yöndeki (αEX) Titreşim Spektrum Grafiği

E makarası Şekil 4.21’de arka yatak radyal dikey yöndeki (αEY) titreşim spektrum grafiğindeki dengesizlikten kaynaklı titreşim değeri 10 hz.’de (600 rpm) 1.064 mm/sn, 13 hz.’de (800 rpm) 3.023 mm/sn ve 16 hz.’de (1000 rpm) 5.163 mm/sn’dir. Bu değerlere göre hız (rpm) arttıkça titreşim değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Spektrum grafiğinde birinci pik noktalarının dengesizlikten kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu titreşim değerlerine göre Tablo 2.4 ISO 10816 standartta verilen değerlere göre makaranın tamir edilmesi gerektiği (arızalı olduğu) görülmektedir.



Şekil 4.21. E Makarasının Arka Yatak Radyal Dikey Yöndeki (αEY) Titreşim Spektrum Grafiği



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çelik Makaralarda Dengesizlik Gidermenin Faydaları

Bakır telin sarılması için kullanılan çelik makaraların dengesizliğinin tespit edilmesi ve giderilmesi ile üretimdeki ani duruşların önüne geçilmiştir. Bir makarada yaklaşık olarak 600 kg bakır tel sarılmaktadır. Makaranın dengesizliğinden kaynaklı olarak hat hızı 30 m/sn iken 15 m/sn kadar düşürülmektedir. Dengesizliği giderilmiş bir makara 15 hz (900 rpm)' de dönmektedir. Bir makaraya Ø0,7 mm. çapında 130.000 m boyunda bakır tel 1,3 saatte sarılmaktadır. Makaranın dengesiz olması durumunda makaraya Ø0,7 mm çapında 130.000 m. boyunda bakır tel 2,6 saatte sarılmaktadır. Bu durum üretim ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Dengesiz bir makarada bakır tel sarım kalitesi de düşmektedir. 600 kg. bakır tel sarılacak iken daha az miktarda sarılmasına neden olur. Daha az bakır sarılması sonucu makaranın kapasitesini doldurmadan müşteriye gönderilmesine neden olur. Dengeli makaranın sarım kalitesi iyidir. Dengesiz makaralar zamanla makine yataklarına zarar verdiği için plansız duruşlara neden olur. Bu durum da ürün kaybı ile maddi kayba neden olur.

5.2. Sonuçlar

Çelik makaralar kullanımdan kaynaklı olarak zamanla denge durumunda bozulmalar oluşur. Makaradaki denge bozuklukları makinenin titreşim değerlerinin yükselmesine neden olur. Çelik makaralardaki dengesizlik giderilmeden kullanılırsa üretimde maddi kayıplara ve yataklarda zamanla arızalara neden olmaktadır. Bu tip makaraların geri dönüşümü çok önemlidir. Türkiye de dolaşımda yaklaşık 1.000.000 adet çelik makara vardır. Bir makara imalat fabrikası, (SAR MAKİNA AŞ) yılda 12.000 adet yıpranmış makarayı düzeltme, tornalama ve balans alma işlemlerinden geçirerek tekrar geri kazandırıyor. Dengesiz makaralarda hat hızı 20 m/sn üzerine çıkıldığı zaman bakır tel kopmalarına neden olmuştur. Dengesizliği giderilmiş makaraların titreşim değerleri düşmüş ve süper ince (Ø 0,3mm) çaplarda bakır telin hat hızı 30 m/sn hızlara ulaşılmıştır. 30 m/sn hızlarda makara maksimum 900 rpm'de dönmektedir. Bu çalışmada tasarlanan ve imal edilen deney düzeneği ve önerilen yöntem sayesinde

işletmelerde bu güne kadar kullanılmayan makaraların dengesizlik ve sarım yüzeyinin ölçümleri yapılarak durumu incelenir. Buna göre makaranın dengesizlik ölçümüne göre üretimde kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Üretimde kullanılmayacak makaralar onarılması mümkün ise onarılır ve tekrardan üretimde kullanılmaya devam edilir. Makaradaki dengesizlik değerleri arttıkça makinenin bir parçası olan makaradan kaynaklı olarak titreşim değerleri de yükselmektedir. Ön yataktaki spektrum titreşim değerlerine 3.,5.,4. makaralarda titreşim arızası bölümde yapılan değerlendirmeye göre makaraların durumu Tablo 5.1’de değerlendirilerek durumları belirlenmiştir. Tabloda ön yatak yatay (ØX) spektrum titreşim değerinin maksimum durumda olduğu görölmektedir. Bu sebeple maksimum spektrum titreşim değerine göre makaraların durumu hakkında yorum yapılmıştır.

A makarasının spektrum titreşim değeri 0,9 mm/sn olduğu görölmektedir. Bu değeri 2,8 mm/sn altında olduğu için makaranın durumuna iyi olduğu görölmektedir.

B makarasının spektrum titreşim değeri 11,24 mm/sn olduğu görölmektedir. Bu değeri 7,1 mm/sn üstünde olduğu için makaranın durumuna kötü olduğu görölmektedir. B makarasının tamir edilmesi gerekmektedir.

C makarasının spektrum titreşim değeri 5,3 mm/sn olduğu görölmektedir. Bu değeri 4,5 mm/sn ve 7,1 mm/sn arasında olduğu için makaranın durumu kontrol altında, düşük hızlarda ve Ø 2 mm den büyük tel üretim hatlarda kullanılması gerekir.

D makarasının spektrum titreşim değeri 13,1 mm/sn olduğu görölmektedir. Bu değeri 7,1 mm/sn üstünde olduğu için makaranın durumuna kötü olduğu görölmektedir. B makarasının tamir edilmesi gerekmektedir.

E makarasının spektrum titreşim değeri 16,6 mm/sn olduğu görölmektedir. Bu değeri 7,1 mm/sn üstünde olduğu için makaranın durumuna kötü olduğu görölmektedir. B makarasının tamir edilmesi gerekmektedir.

Tablo 5.1. Makaranın 13 hz (800rpm)'de Spektrum Grafiğine Göre Değerlendirilmesi

Makaralar	800 rpm'DE ØX SPEKTURUM TİTREŞİM DEĞERİ			800 rpm'DE ØY SPEKTURUM TİTREŞİM DEĞERİ			800 rpm'DE αX SPEKTURUM TİTREŞİM DEĞERİ			800 rpm'DE αY SPEKTURUM TİTREŞİM DEĞERİ			Durumu
	13 hz Spt. Deg.	27 hz Spt. Deg.	40 hz Spt. Deg.	13 hz Spt. Deg.	27 hz Spt. Deg.	40 hz Spt. Deg.	13 hz Spt. Deg.	27 hz Spt. Deg.	40 hz Spt. Deg.	13 hz Spt. Deg.	27 hz Spt. Deg.	40 hz Spt. Deg.	
A	0,8	0,1	0,2	0,1	0,21	0,01	0,32	0,99	0,05	0,05	0,13	0,05	İYİ
B	11	1,3	0	1,2	1,0	0,2	7,5	4,1	0,4	0,6	2,1	2,1	TAMİR
C	5,3	0,1	0,1	0,3	0,9	0,1	4,3	0,7	0	0,5	0,4	0,1	KONTROL ALTINDA
D	13	0,8	0	0,5	0,9	0,5	7,5	2,1	0	1,3	1,4	0,5	TAMİR
E	16,6	0	0	2,6	1,8	0,1	33	0	0	3,1	1,3	0	TAMİR

5.3. Öneriler

Bu çalışmada tel sektöründe kullanılan çelik makaralardaki balans, dengesizlik ve tel sarım yüzeyi salgı durumu incelenmiştir. Bakır tel üretimi yapan Sarkuysan fabrikasında yaklaşık olarak 5.000'in üzerinde çelik makara sistemin farklı evrelerinde kullanılmaktadır. Makara bu evrelerde zamanla deforme olarak balans değerleri ve tel sarım yüzeylerindeki salgı değerleri yükselir. Makaranın durumunu bilmediğimiz zaman balans değerleri yükselen makaralar üretimdeki makinelerin titreşimini artırır. Bu durumun neticesinde makinenin kullanım ömrünü kısalar, ani arızalanmalara yol açar, üründe oluşan kayıplara bağlı olarak firmada maddi kayıplara oluşur. Bu çalışmada yapılan analizler ile makaranın telin sarıldığı yüzeyin salgı durumu ve dengesizlik arıza çeşitlerinin analizi yapılmıştır. Titreşim analizi yapılp spektrum faz açısı ve grafikleri vasıtasıyla hangi çeşit dengesizlik arızaları tespitinin nasıl yapılabileceği ortaya konulmuştur. Makara dengesizlik arızasını çözümlmek noktasında bu teşhise bağlı makaranın balans ve salgı durumuna göre hangi işlemin yapılması gerektiğine karar verilmiş olur. Makaradaki dengesizlik giderilerek tekrar sisteme aktarılır. Bakır tel sektöründe çeşitli üretim aşamalarında kullanılan çelik makaraların her kullanımından sonra dengesizlik durumu ölçülmelidir. Çelik makarada üretime tekrar girmeden önce dengesizlik ve sarım yüzeylerinde yapılan ölçümler doğrultusunda gerçekleştirilmelidir çünkü çelik makara dengesizliği ve sarım yüzeyindeki salgı ani duruşlar ile sarım hataları şirkete büyük maddi kayba yol

açmaktadır. Makaraların dengesizlik ve salgı durumu kontrol edilip, makaranın dengesizlik durumuna göre hangi makineye bağlanacağına karar verilmelidir. Eğer dengesizlik durumuna göre tamir edilmesi gerekiyorsa salgı ve dengesizliği giderildikten sonra kullanılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Veysel UYSAL, Ömer K. MORGÜL, "Döner Makinelerdeki Dengesizlik (Balanssızlık) Arızasının Titreşim Analizi ve Faz Açısı Yardımıyla Teşhisi" SAÜ Fen Bil Der 19. Cilt, 3. Sayı, 2015, ss. 245-256,
- [2] Ercan ALP, "Binek Araçların Çeşitli Kısımlarındaki Titreşimlerin Deneysel Olarak İncelenmesi" Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2021
- [3] Mehmet Fatih KARAHAN, "Titreşim Analizi ile Makinelerde Arıza Teşhisi" Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2005.
- [4] Özcan Armağan AYAN, "Döner Makine Elemanların Titreşim Analizi ile Kestirici Bakımı" Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
- [5] Yavuz GÜVEN, "Kahramanmaraş Değirmenüstü Hidroelektrik Santralindeki Ünitelerin Mekanik Titreşimlerinin Sönümlenmesi" İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.
- [6] Erhan APAK, "Döner Makinelerdeki Mekanik Titreşimler ve Bunların Arıza Parametresi Olarak İncelenmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 1997.
- [7] Ömer KAYA, "Titreşim ve Dinamik Davranışlar Dikkate Alınarak Vagon Dinamik Parametrelerinin İncelenmesi" Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008.
- [8] Md. Abdul SALEEM, G. DIWAKAR, Dr. M.R.S. SATYANARAYANA, "Detection of Unbalance in Rotating Machines Using Shaft Deflection Measurement During Its Operation" IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684 Volume 3, Issue 3 (Sep-Oct. 2012), pp. 8-20.
- [9] Guilherme Kenji YAMAMOTO, Cesar da COSTA, João Sinohara da Silva SOUSA, "A Smart Experimental Setup for Vibration Measurement and Imbalance Fault Detection in Rotating Machinery" Control and Automation Engineering, IFSP - Federal Institute of Education, SP, 01109-010, Brazil Article History: Received 20 May 2016, received in revised form 12 July 2016.
- [10] Menderes KALKAT, "Dinamik Dengesizliklerin Mekanik Sistem Titreşimlerine Etkileri" Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, 1995.
- [11] Md. Abdul SALEEM, G. DIWAKAR, Dr. M.R.S. SATYANARAYANA, "Detection of Unbalance in Rotating Machines Using Shaft Deflection Measurement During its Operation" M.Tech Student, Assoc. Professor, Mech. Eng. Dept., Prasad V. Potluri Siddhartha Institute of Technology, Kanuru, Vijayawada, Andhra Pradesh, India-520007, 2012.

- [12] G.N.D.S. SUDHAKAR, A.S. SEKHAR, "Identification of Unbalance in a Rotor Bearing System" 0022-460X/\$ - See Front Matter & 2010 Elsevier Ltd. All Rights Reserved. Doi:10.1016/J.Jsv.2010.11.028.
- [13] Mete KALYONCU, "Titreşim Analizi ile Makine Elemanları Arızalarının Belirlenmesi" Mühendis ve Makine-Cilt: 47 Sayı: 552, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,.
- [14] Manish VISHWAKARMA, Rajesh PUROHIT, V.HARSHLATA, P.RAJPUT, "Vibration Analysis & Condition Monitoring for Rotating Machines: A Review" Department of Mechanical Engineering M.A.N.I.T, Bhopal-462051, India Centre For Remote Sensing & GIS, M.A.N.I.T, Bhopal-462051, India, 2016.
- [15] Hamdi TAPLAK, İbrahim UZMAY, "Titreşim Parametrelerinin Dönen Mekanik Sistem Dinamiğine Etkilerinin Araştırılması" TEKNOLOJİ, Cilt 7, (2004), Sayı 3, 427-434
- [16] Fatih DEROĞLU, "Kâğıt Üretim Sistemindeki Kurutucu Silindir Ve Sirkülasyon Fanının Kestirimci Bakım Tekniği ile Arıza Takibi ve Titreşim Analiziyle Tespiti" Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020.
- [17] S. KRISHNAVENI, S. Senthil RAJA, T. JAYASANKAR, P. Sathish BABUD, "Analysis and Control of the Motor Vibration Using Arduino and Machine Learning Model" 2214-7853/ 2019 Elsevier Ltd. All Rights Reserved. Selection and Peer-Review under Responsibility of the Scientific Committee of the International Conference on Advances in Materials Research, 2019.
- [18] Süleyman ÇEVEN, Raif BAYIR, "Bir Asenkron Motorun Mekanik Titreşim Sinyallerinin Ölçülerek Arıza Analizinin Yapılması" European Journal of Science and Technology, (Special Issue), 312-322, 27 Haziran 2020.
- [19] Benedikt KLEE, Leo FLOHR, Marcel PARTH, Maximilian KLEINERT, Jürgen FLEISCHER, "Vibration Analysis of Moving Machine Tool Axes Based on Phase Information in Video Data" Wbk Institute of Production Science, Karlsruhe Institute of Technology, Kaiserstrasse 12, 76131 Karlsruhe, Germany 19 July 2019.
- [20] Kazuki MIZUTANIA, Katob KAZUMICHI, Fujiib TAKAYOSHI, "Vibration Control for an Overhung Roller in Textile Machine Considering the Stiffness of Control Device Stand" Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mie University, 1515 Kamihama-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan, 16 January 2003.
- [21] Gülsen YAMAN, Halil Murat KARADAYI, "Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma" Tesisat Mühendisliği, Sayı 140 , Mart/Nisan 2014.
- [22] Osman ÖZENÇ, "Bir Makara Sarım Makinesinin Modellenmesi, Benzetimi ve Gergi Kontrolü" 2018.
- [23] Dr. Nurdan BİLGİN, "MAK 308 Makine Dinamiği"

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yusuf KARACA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2008-2022 yılları arasında Sarmakina San. Tic. A.Ş.'de Proje Mühendisi olarak çalıştı.
- 2022 yılında beri ATM Isı Trasferi A.Ş.'de Tasarım ve İmalat Müdürü Olarak Çalışmaktayım.

DİĞER ESERLER: