

153106

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKİNALARDA YAPAY SİNİR AĞI (YSA)
TABANLI TİTREŞİM ESASLI KESTİRİMCİ BAKIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Hüseyin DAL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. VE İMALATI
Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Ömer K. MORGÜL

Temmuz 2004

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKİNALARDA YAPAY SİNİR AĞI (YSA)
TABANLI TİTREŞİM ESASLI KESTİRİMCİ BAKIM**

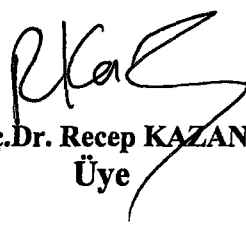
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Hüseyin DAL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. VE İMALAT

Bu tez 06 / 08 /2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Ömer K. MORGÜL
Jüri Başkanı


Doç.Dr. Recep KAZAN
Üye


Yrd.Doç.Dr. Nejat YUMUŞAK
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli fikir ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışma süresince her türlü fedakarlığı gösteren bilgi ve tecrübesiyle çalışmama ışık tutan saygıdeğer hocam Yrd.Doç.Dr. Ömer Kadir MORGÜL' e teşekkür ederim. Çalışmamın yapay sinir ağları aşamasında değerli fikir ve tecrübelerini esirgemeyen, Yrd.Doç.Dr. Nejat YUMUŞAK ve Yrd.Doç.Dr. Feyzullah TİMURTAŞ' a ve grafik aşamalarında yardımlarından dolayı değerli arkadaşım Bahadır PELTEK'e şükranlarımı sunarım.

Emekleri ile bu aşamaya gelmemi sağlayan, maddi ve manevi destek ve ilgilerini esirgemeyen değerli ailemin bireylerini şükran ve minnet duygularıyla anmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
TÜRKÇE ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TEMEL TİTREŞİM KAVRAMLARI.....	6
2.1. Titreşim	6
2.2. Titreşimlerin Sınıflandırılması.....	6
2.2.1. Periyodik Titreşim Hareketi ve Temel Kavramlar.....	7
2.2.2. Rastgele titreşim hareketi.....	11
BÖLÜM 3.	
TİTREŞİM ANALİZİ.....	12
3.1. Giriş.....	12
3.2. Dalgaformların Ayrıştırılması.....	13
3.2.1. Dalgaformundan FFT Spektruma Geçiş.....	15
3.2.2. Zaman Genlik İlişkisi.....	16
3.3. Ölçüm ve Analiz Yaklaşımları.....	17
3.3.1. Değişken Ağırlık Merkezi.....	17
3.3.2. ODS (Operation Deflection Shape) Dinamik Davranış Biçimi...	18
3.3.3. Modal Analiz	19
3.3.4. Mertebe (Order) Analizi.....	20

3.3.5. Darbe Testiyle Rezonans Frekansları.....	20
3.3.6. Tepe Değer İzlemesi (Peak Vue)	21
3.3.7. Tepe (Crest) Faktörü.....	23
3.3.8. Vuru Frekansı (Beat Frequency).....	25
3.3.9. Koherens (Coherence) (Frekans uyumluluğu).....	26
BÖLÜM 4.	
KESTİRİMCİ BAKIM VE ARIZA TİPLERİ.....	28
4.1 Giriş.....	28
4.2. Durum İzlemeye Dayalı Bakım (Kestirimci Bakım)	29
4.2.1. Dalgaform grafiklerinin karşılaştırılması.....	31
4.2.2. Spektrum grafiklerinin karşılaştırılması.....	32
4.2.3. Trend Grafikleri.....	34
4.3. Arıza Tipleri.....	38
4.3.1. Balanssızlık (Balanssızlık).....	39
4.3.2. Eksenel Ayarsızlık, Kasma, Kasıntı.....	41
4.3.3. Mekanik Gevşeklik-Çözülme.....	42
4.3.4 Pompalarda Mekanik Hasarlar.....	44
4.3.5. Rulman Arızaları.....	46
4.3.6. Dişli Arızaları.....	51
4.3.7. Kaymalı Yatak Arızaları.....	53
4.3.8. Elektriksel Problemler.....	54
4.3.9. Kayış/Kasnak Sistemleri.....	55
4.3.10. Diğer bazı sistemlerin karakteristik özellikleri	57
4.4. Genel Hata Karakteristikleri ve Titreşim Analizi Yönlendirme Tabloları.....	60
BÖLÜM 5.	
YAPAY SİNİR AĞLARI.....	61
5.1. Giriş.....	61
5.2. YSA'ların Tarihi Gelişimi.....	62
5.3. Geri Yayılımlı YSA'nın Yapısı.....	63
5.4. Geri Yayılımlı YSA'da Kullanılan Transfer Fonksiyonları.....	64
5.5. Geri Yayılımlı YSA'da Öğrenme.....	67
5.6. Geri Yayılımlı YSA Denklemleri.....	68
5.7. YSA'nın Uygulama Alanları.....	71

BÖLÜM 6.

TİTREŞİM DATALARININ HAZIRLANMASI VE YSA'YA UYGULANMASI

6.1. Eğitim İçin Verilerin Hazırlanması.....	73
6.2. Eğitim İçin Yapay Sinir Ağının Kurulması.....	77
6.3. Yapay Sinir Ağında Eğitim Sonuçları.....	78
6.4. Gizli Katman Nöron Sayılarına Göre Simülasyon Sonuçları.....	78
6.4.1. Gizli Katman Nöron Sayısı 75 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	81
6.4.2. Gizli Katman Nöron Sayısı 50 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	82
6.4.3. Gizli Katman Nöron Sayısı 25 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	83
6.4.4. Gizli Katman Nöron Sayısı 15 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	84
6.4.5. Gizli Katman Nöron Sayısı 10 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	85
6.4.6. Gizli Katman Nöron Sayısı 5 Alındığında Simülasyon Sonuçları.....	86
6.4.7. Gizli Katman Nöron Sayılarına Göre Eğitim Sonuçlarının Tek Grafikte karşılaştırılması.....	87
6.4.8. Gizli Katman Nöron Sayısının Değişimine Göre Hata Oranı Grafiği.....	87

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR.....

7.1. Çeşitli Nöron Sayıları İçin Test Sonuçları İle İstenen Sonuçların Karşılaştırılması.....	90
6.1.1. Çeşitli Nöron Sayıları İçin Test Sonuçlarının Grafikleri.....	91

BÖLÜM 8.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....

KAYNAKLAR.....

ÖZGEÇMİŞ.....

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Titreşim Genliği
a	: İvme
B_d	: Bilye Çapı
c	: Sönüm Katsayısı
D_k	: Kasnak Çapı
D_t, D	: Yer Değiştirme
F	: Kuvvet
f	: Frekans
f_n	: Doğal Frekans
h	: Yükseklik
k	: Yay Katsayısı
L_k	: Kayış Uzunluğu
m	: Kütle
N	: Diş
N_b	: Bilya veya Yuvarlanan Eleman Sayısı
P_d	: Yuvarlanma Dairesi Çapı (Pitch Daimeter)
T	: Periyot
t	: Zaman
V_t	: Hız
x	: Yol
X, x	: İlgili Devir Sayısı Çarpanı
ϵ, θ	: Faz Açısı
ω	: Dairesel Frekans

ω_d	: Sönümlü Tabii Dairesel Frekans
ω_n	: Tabii Dairesel Frekans
BPFI	: İç Bilezik Çalışma Frekansı
BPFO	: Dış Bilezik Çalışma Frekansı
BSF	: Bilya Çalışma Frekansı
CPM	: Cycle Per Minute (Dakikadaki Titreşim Sayısı)
DÇF	: Dişli Çalışma Frekansı
DD	: Dış Dikey
DE	: Dış Eksenel
DY	: Dış Yatay
FFT	: Fast Fourier Transformation (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FTF	: Kafes Çalışma Frekansı
GMF	: Dişli Çalışma Frekansı
Hz	: Hertz
İY	: İç Yatay
KE	: Kinetik Enerji
KF	: Kayış Frekansı
ODS	: Operating Deflection Shape (Dinamik Davranış Biçimi)
Order	: Ana mil Devir Sayısı Katları
Ort	: Ortalama
PDM	: Predictive Maintenance (Kestirimci Bakım)
PE	: Potansiyel Enerji
Pk	: Peak (Sinyal Tepe Noktası Yüksekliği)
Pk-Pk	: Peak to Peak (Zıt Yönlerdeki Tepeler Arası Yer Değiştirme)
RMS	: Root Mean Square (Karelerin Ortalamasının Karekökü)
RPM	: Round Per Minute (Dakikadaki Dönüş Sayısı)
RPS	: Round Per Second (Saniyedeki Dönüş Sayısı)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Harmonik bir hareketin kütle ve yayla temsili.....	7
Şekil 2.2	Periyodik hareketin gösterimi.....	7
Şekil 2.3	Faz ilişkisi.....	9
Şekil 2.4	RMS, Pik, Pik-Pik faktörlerinin gösterimi.....	9
Şekil 2.5	RMS parametrelerinin gösterilmesi.....	10
Şekil 2.6	Rasgele titreşimler.....	11
Şekil 3.1	Titreşimlerin grafik üzerinde gösterimi.....	14
Şekil 3.2	Ayrıştırılmış dalgaformları.....	15
Şekil 3.3	FFT sinyal işlemesi.....	15
Şekil 3.4	Frekans tabanı gösterimi.....	16
Şekil 3.5	Değişken merkez temsili.....	17
Şekil 3.6	Sistemin dinamik davranış biçimi.....	19
Şekil 3.7	Modal analiz grafiğinin şematik görünümü.....	20
Şekil 3.8	Vuruş testine örnek grafikler.....	21
Şekil 3.9	Spektrum ve dalgaform grafikleri.....	22
Şekil 3.10	PeakVue grafikleri.....	23
Şekil 3.11	Crest faktörünün tanımlanması.....	23
Şekil 3.12	Örnek crest faktör.....	24
Şekil 3.13	Peak Vue ve crest faktörü.....	25
Şekil 3.14	Vuru görüntülü titreşim.....	26
Şekil 3.15	Koherens grafiği.....	27
Şekil 4.1	Makina çalışma eğrisi.....	29
Şekil 4.2	Dalgaform grafiklerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.3	Tekli spektrum.....	33
Şekil 4.4	Çoklu spektrum.....	34
Şekil 4.5	Trend eğrisi ve spektrum grafiği.....	37
Şekil 4.6	Çoklu trend grafiği.....	38

Şekil 4.7	Tek taraftan yataklanmış ve yataklar arası makineler için balanssızlık etkilerinin doğrultularının şematik	40
Şekil 4.8	Tek taraftan yataklanmış rotorlar için balanssızlık spektrumları ...	40
Şekil 4.9	İki yatak arasında çalışan makinalar için balanssızlık spektrumu...	40
Şekil 4.10	Paralel eksen kaçıklığı ve eğik şaft etkilerinin doğrultularının şematik gösterimleri	41
Şekil 4.11	Paralel eksen kaçıklığı spektrumu.....	41
Şekil 4.12	Eğik şaft spektrumu.....	42
Şekil 4.13	Şaft veya mil yatağı kaçıklığı spektrumu.....	42
Şekil 4.14	Dönüş devri katlarındaki gevşeklik spektrumları.....	43
Şekil 4.15	Mekanik gevşeklik spektrumunda 0.5*RPM harmonikteki görüntü.....	43
Şekil 4.16	Mekanik gevşeklik spektrumunda alt harmonik görüntüleri.....	44
Şekil 4.17	Dikey pompa.....	45
Şekil 4.18	Kanat sayısı 5 olan pompaya ait tipik arıza spektrumu.....	45
Şekil 4.19	Santrifüj pompa ve tipik arıza spektrumu.....	45
Şekil 4.20	Rulman hasarlarının ilk belirtileri.....	46
Şekil 4.21	Rulman elemanlarının ileri frekanslardaki harmoniklerinin gözükmesi.....	47
Şekil 4.22	Rulman hasar frekansları ile harmoniklerinin yan bantlarıyla gözükmesi.....	47
Şekil 4.23	Dönen elemanların yüksek çalışma hızlarındaki spektrumu	48
Şekil 4.24	Rulman kesit ve montaj resmi.....	48
Şekil 4.25	Rulman arızasına örnek dalgaform ve spektrumu.....	50
Şekil 4.26	Ana dişli ve pinyon dişliler.....	51
Şekil 4.27	Hasarlı dişli spektrumu ve DCF etrafındaki yanband görüntüsü...	53
Şekil 4.28	Dişli sinyali bulunan bir spektrum örneği.....	53
Şekil 4.29	Yüksek pik ve belirsiz enerjiler.....	54
Şekil 4.30	Yatak boşluğunun fazla olması durumunda spektrum.....	54
Şekil 4.31	Yağ filmi kopukluğunda spektrum.....	54
Şekil 4.32	Rotor kesiti ve arıza spektrumları.....	55
Şekil 4.33	Değişik kayış-kasnak hataları.....	56
Şekil 4.34	Bir kayış için arıza spektrumu.....	57

Şekil 4.35	Eksantrik kasnak için arıza spektrumu.....	57
Şekil 4.36	Fan kanadı için arıza spektrumu.....	57
Şekil 4.37	Dönmeyen rotor için arıza spektrumu.....	58
Şekil 4.38	Rotor şaftı eğilmesi arıza spektrumu.....	58
Şekil 4.39	Rotorun manyetik merkezden sapmasını gösteren spektrum.....	58
Şekil 4.40	Pistonlu makina arızası spektrumu.....	59
Şekil 4.41	Vuruntu yapan bir makina spektrumu.....	59
Şekil 4.42	Zemin titreşimleri spektrumu.....	59
Şekil 4.43	Doğal frekanslar.....	60
Şekil 5.1	Nöronun temel yapısı.....	63
Şekil 5.2	Tek katmanlı YSA.....	64
Şekil 5.3	Çok katmanlı YSA.....	64
Şekil 5.4	Log-sigmoid transfer fonksiyonu.....	64
Şekil 5.5	Tan-sigmoid transfer fonksiyonu.....	65
Şekil 5.6	Lineer transfer fonksiyonu.....	65
Şekil 5.7	Üç katmanlı yapay sinir ağı.....	69
Şekil 6.1	YSA Eğitim modelinin yapısı.....	78
Şekil 6.2	Gizli katman nöron sayısı 75 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	81
Şekil 6.3	Gizli katman nöron sayısı 50 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	82
Şekil 6.4	Gizli katman nöron sayısı 25 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	83
Şekil 6.5	Gizli katman nöron sayısı 15 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	84
Şekil 6.6	Gizli katman nöron sayısı 10 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	85
Şekil 6.7	Gizli katman nöron sayısı 5 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği.....	86
Şekil 6.8	Çeşitli nöron sayılarındaki grafiklerin tek grafik üzerinde karşılaştırılması.....	87
Şekil 6.9	Gizli katman nöron sayısının değişimine göre hata oranı değişim grafiği.....	88

Şekil 7.1	Gizli katman nöron sayısı 5 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	92
Şekil 7.2	Gizli katman nöron sayısı 10 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	93
Şekil 7.3	Gizli katman nöron sayısı 15 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	93
Şekil 7.4	Gizli katman nöron sayısı 25 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	94
Şekil 7.5	Gizli katman nöron sayısı 50 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	94
Şekil 7.6	Gizli katman nöron sayısı 75 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği.....	95



TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1	Alarm uyarı seviyeleri.....	35
Tablo 4.2	Örnek titreşim analizi karakteristik tablosu.....	60
Tablo 6.1	Genel makina titreşim değerlendirme tablosu (ISO–2372).....	73
Tablo 6.2	Giriş verilerinin hazırlanması.....	75
Tablo 6.3	Giriş verileri.....	76
Tablo 6.4	Test dosyası.....	77
Tablo 6.5	104 İterasyon için çıkış verileri.....	79
Tablo 6.6	503466 İterasyon için çıkış verileri.....	80
Tablo 6.7	75 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	81
Tablo 6.8	50 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	82
Tablo 6.9	25 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	83
Tablo 6.10	15 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	84
Tablo 6.11	10 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	85
Tablo 6.12	5 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu.....	86
Tablo 6.13	Nöron sayısı-hata oranı tablosu.....	87
Tablo 7.1	Nöron sayısı 5 iken test sonuç ve tablo değerleri	90
Tablo 7.2	Nöron sayısı 10 iken test sonuç ve tablo değerleri	91

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Kestirimci bakım, titreşim analizi, yapay sinir ağları, geri yayılım algoritması.

Bir makineden en yüksek verimi almak ve bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunlardan biri, “durum izlemeye dayalı bakım”, “erken uyarıcı dinamik bakım” ya da “kestirimci bakım (predictive maintenance)” denilen yeni bakım anlayışıdır. Bu bakım anlayışında, makinelerin durumu periyodik veya sürekli ölçüm yapılarak tespit edilir. Ölçüm ve kontroller ile üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilir. Bu kontrollere göre uygun zamanlarda makineler bakıma alınır. Toplanan datalar üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri öğrenilir. Böylece makinelerin en yüksek verimde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır.

Bu çalışmada kestirimci bakım ve titreşim analizi için “ISO-2372 orta ölçekli makinaların titreşim değerlendirme standartları” tablosu kullanılarak oluşturulan eğitim seti yapay sinir ağını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. Bunun için önce giriş, bir gizli ve çıkış katman olmak üzere üç katmanlı yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Bu ağı eğitmek için ISO-2372 tablosundan 720x9'luk veri matrisi oluşturulmuştur. Test işlemi içinde gene eğitim setinin içinden 200x5'lik veriye sahip bir matris oluşturulmuştur. Eğitme işlemi gizli katman nöron sayısı 5, 10, 15, 25, 50 ve 75 olan ağların ayrı ayrı eğitimi gerçekleştirilmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi sonucu veren ağ yapısı bulunmuştur. Eğitme esnasında geri yayılım (Back-Propagation) algoritması kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminden sonra elde edilen çıkış değerleri gerçek tablo değerleriyle karşılaştırılarak kestirimci bakımda kullanılan trend grafiklerine uyarlanmaya çalışılmış ve kullanılabilirliği saptanmıştır.

PREDICTIVE MAINTANENCE FUNDAMENTAL VIBRATION BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AT MACHINERY

SUMMARY

Key words: Neural Network, Back-Propagation, Predictive Maintenance, Vibration Analyze

Since some approaches are approved in order to get the max yield benefit and production wastes for machinery. One of this approache is the maintenance based on monitoring situation or called as early notice dynamic maintenance or as predictive maintenance . With this respect, machinery conditions are determined by periodically and continuous measurements. Previously the breakdown period depends on manufacturing is determined by measurment and control. Considering to the controls, machines are maintenance at proper times. The reason and improvement of the breakdown is trained by the analysis obtained from data. Thus prevent the unexpected breakdown stopsa re provided.

In this study, training set was composed using ISO-2372 which is the evaluation standards of medium measure machines and was applied for training of Artificial Neural Networks (ANN). Networks consist of three layers which are an input layer, a hidden layer and an output layer. First data matrix which size is 720x9 was composed the table of ISO-2372 for the network training. Nevertheless a test matrix which is 200x5 size was composed from the training set. Training was tested by changing different types of hidden layers which were consist of 5,10,15,25,50 and 75 neurons. Test results were compared with each others and the best performance was found. Back-Propagation was used in training. Suitability was determined with comparing result valuiues and real table values. Finaly result graphics were obtained using output values.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde bakım yönetiminin ilk amacı ekipmanlarda malzeme aşınmalarını etkin şekilde kontrol altında tutarak güvenilirliğini yükseltmek ve arızaları önlemektir. Bugün için çoğunlukla kabul edilen dönen makinalardaki hasarlar, genellikle titreşimin aşırı yüksek seviyelerinde oluşmaktadır. Dönen makinaların bulunduğu bir çok sanayi tesislerinde istenmeyen titreşimlerin oluşturduğu mekanik hasarlar ve maliyetleri ile ilgili araştırmalar çok yüksek zararların oluştuğunu göstermektedir. Titreşim analizi ile sistemde oluşabilecek arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Titreşim analizi yapılarak toplanan bilgiler kullanır ve olabilecek muhtemel arızalardan dolayı makina duruşları planlanarak gereksiz duruşların sebep olduğu aşırı maliyet artışı önlenabilir. Bu şekilde yüksek maliyetli büyük arızalar önceden kestirilerek planlı duruşlarla önüne geçilebilir.

Kestirimci bakım, makinalar üzerinden alınan fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makina sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir. Gelişen teknikler değişik branşlarda farklı farklı isimlendirilmekte, birbirlerine etkileşimleri tam olarak bilinmediği için de farklı tanımlar kullanılmaktadır.

Makinaların çalışma koşulları altında yaydıkları titreşim, onların durumları hakkında fikir vermektedir. Bu özellik sayesinde, tesis içerisinde yer alan makinaların titreşim değerlerinin periyodik olarak kontrol edilerek olası bir hatanın önceden fark edilmesi bakım alanında avantaj sağlamaktadır. Bozulması beklenen makina veya parçaların yedeklerinin temin edilerek, zamanında değiştirilmesi sayesinde fabrika üretimi en az kayba uğramış olur. Günümüzde bu yöntemle rulman, elektrik motoru, kompresör, jeneratör, pompa fan, dişli kutusu, redüktör, türbin, şaft ve diğer dönen aksama sahip makinalarda bakıma yönelik titreşim ölçümleri yapılmaktadır. Bu makinalar da problemin ne olduğunu anlayabilmek için frekans analizi yapabilen ölçüm

cihazlarına ihtiyaç vardır. Bu cihazlarla yapılan bakım yöntemlerinden biri, bilgisayar programı üzerinde tanımlanan tesis yapısı üzerinde ölçülecek makinalar ve ölçüm noktaları belirlenerek, veri toplama cihazına transfer edilmektedir. Daha sonra, veri toplama cihazı açıldığında üzerinde hangi makinanın hangi noktasında ne ölçümü yapılacağını görülebilmektedir. Kullanıcı bu ölçümleri tamamladıktan sonra toplanan data tekrar bilgisayar transfer edilir. Bilgisayardaki veri tabanında her noktada yapılan ölçümlerin kayıtları saklanmaktadır. Bu sayede, aynı noktada daha önce elde edilmiş ölçüm sonuçları ile yenileri karşılaştırılarak herhangi bir hata oluşup oluşmadığı anlaşılabilmektedir. Kritik makinaların izlenmesi için ise kullanılan diğer bir yöntemin tarzı sürekli izleme ve analiz sistemlerini beraber kullanmaktır.

Gerek sürekli gerekse aralıklı yapılan ölçümlerin analiz ve değerlendirmelerinde, bir çok algoritma bilgisayar aracılığıyla kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de YSA(Yapay Sinir Ağları) dır.

Yapay sinir ağları(YSA), birbirlerine belirli ağırlık değerleri üzerinden bağlanmış bir çok elemanın oluşturduğu bütünsel paralel bir yapıdır ve biyolojik sinir sisteminin anlaşılmasından sonra oluşturulmuştur. Bir yapay sinir ağı, örnekleri, dağıtılmış kodlama ile saklar ve eğitilebilir lineer olmayan dinamik bir sistem oluşturur[8]. Ayrıca bir yapay sinir ağı, insan beyninin çalışma sistemine benzediğinden, bilgisayarın daha hızlı ve yüksek performansla cevap vermesini sağlar[7],[8]. Yapay sinir ağlarının ortaya çıkan günümüz teknolojisi, sınıflandırma, kontrol, işaret işleme, arıza erken tanısı gibi birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Yapısal olarak sinir ağları, ileri besleme ve geri besleme olarak ikiye ayrılır. İleri beslemeli sinir ağlarında nöronlar gizli katmanlardan oluşur. Bir katmandan bir sonraki katmana ağırlıklarla bağlantılar yapılır. Değişik isimlerde bir çok ileri beslemeli sinir ağları mevcuttur. İkincisi, geri beslemeli sinir ağlarıdır. Bu ağlar dinamik sinir ağları olarak ta isimlendirilir. En popüler olanı Hopfield ve Elman ağıdır. Geri beslemeli ağların en önemlisi Hopfield ağıdır. Bizim çalışmada ileri beslemeli geri yayılımlı (backpropagation) ağ yapısı kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarında kullanılan lineersizliği belirleyen aktivasyon fonksiyonları için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan fonksiyonlardan birisi sigmoid

fonksiyonudur. Çok değişkenli bir sürekli fonksiyon bir sigmoid fonksiyonunun süperpozisyonları ile yaklaşık olarak ifade edilebilmektedir[11].

Titreşim analizi ve kestirimci bakım üzerine bu güne kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada titreşim analizi, kestirimci bakım, yapay sinir ağları ve titreşim alanında kullanılması ile faydalanılan ilgili çalışmalardan bazılarına aşağıda kısa kısa değinilmiştir.

TOPRAK, T., BELEK, H.T., “Endüstriyel Tesislerde Makina Performansının İzlenmesi ve Bilgisayar Destekli Bakım Planlaması Kurs Notları” isimli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada sırasıyla, bakım türleri titreşim teorisi anlatıldıktan sonra makinalarda titreşim analiziyle arıza teşhisi konusu ayrıntılı bir şekilde örneklerle anlatılmıştır.

Orhan, S. ve Aktürk N. çalışmalarında, dişlilerde oluşan hataların neden olduğu titreşimlerin analizi ile uygulanan erken uyarıcı bakım konusunda özet bilgi vermiş ve bir kompresör dişli kutusunda yapılan uygulama çalışmasının sonuçlarını sunmuşlardır. Titreşimlerin dişli kutusu hatalarını belirlemede, etkili bir araç olduğu belirlemişlerdir[29].

Orhan, S., Arslan, H. ve Aktürk, N. çalışmalarında, mevcut olan titreşim analizi metodu ile rulman arızalarının belirlenmesini ele almışlardır. Rulman titreşimleri, ölçümü ve analizlerini özet olarak vermiş, silindirik tip yuvarlanma elemanına sahip bir rulmanda oluşan dış bilezik hasarının titreşim analizi ile belirlenmesini açıklamışlardır. Literatürde de belirtildiği gibi rulman dış bileziğinde oluşan tek nokta hasarının neden olduğu titreşimin, dalga formu grafiğinde frekansı dış bilezik bilye geçiş frekansına eşit olan darbe sinyalleri oluştuğunu, spektrum grafiğinde ise rulman arıza frekansının katlarında frekanslar oluştuğunu belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlardan, titreşim analizinin rulman hasarlarını belirlemede etkili bir şekilde kullanılabileceğini görmüşlerdir[28].

Barutçu B., Şeker S., Ayaz E. ve Türkcan E. çalışmalarında, Hollanda-Borssele Reaktöründe 2001 yılı Eylül ayında kullanılmaya başlanan iki yeni işaret işleme ve

analiz sistemine ilişkin verilerin kullanılmasıyla, reaktör soğutma pompalarının titreşimi ve bunun nötron akısıyla ilişkisini incelemişlerdir[3].

Çağlayan, İ.H. çalışmasında, pompalarda titreşim analizi ile arıza kaynaklarını bulmak ve dolayısıyla arızalara, bu arızalar gelişip ikincil arızalar oluşturmadan müdahale etmenin mümkün olduğuna, pompalar üzerinde yapılan genellikle titreşim ivmesi ölçümünün ve FFT yöntemleriyle pompanın titreşim imzasının elde edilmesinin, arızaların kaynaklarını bulmada büyük kolaylık sağlamasına, titreşim ölçüm teknikleri ve balans bozukluğu, kaplin ayarsızlığı, şase gevşekliği/ankraj zayıflığı, rulman arızası, akış problemleri, kavitasyon gibi bir pompa da karşılaşılabilecek arızaların titreşim imzalarının analiz tekniklerine değinmiştir[5].

Kumaraswamy. S., Rakesh. J. Ve Amol Kumar N. çalışmalarında, ISO 2372 (10-1000 Hz frekans arasındaki RMS hızları) ve Kanada standartları (10-1000 Hz frekans arasındaki RMS hızları) gibi mevcut titreşim standartlarının makina elemanlarının gerçek titreşim değerlerini tam karşılamadığı pompa, motor, jeneratör gibi genel amaçlı kullanılan makineler için genel olarak bir fikir verdiği ancak çeşitli makina parçaları (elemanları) için yeterli olmadığı ve birbirleri arasında bazı farklar bulunduğu konusuna değinerek deneysel sonuçlarla bunları kanıtlamışlardır[25].

Bunların yanı sıra, arıza belirlenmesinde YSA algoritmalarına literatürde çok az rastlanmıştır. Bu çalışmada ise, YSA algoritmalarının kestirimci bakım otomasyonunda kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışmanın devam eden bölümleri aşağıda belirtilmiştir;

İkinci bölümde, genel titreşim terimlerine kısaca değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, kestirimci bakımın temelini teşkil eden çok titreşim analizi konusu işlenmiştir. Bu bölümde titreşim analizinin kullanıldığı yerler, analiz teknikleri, uygulanış biçimleri vb. anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde, kestirimci bakım konusun işlenmiştir. Burada ayrıntıya fazla girilmeden bakım türleri, kestirimci bakımın tanımı, kavramları işlendikten sonra arıza tipleri ve karakteristikleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, Geri yayımlı YSA kısaca anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, ISO titreşim standartlarının YSA ağına uygulanabilir hale getirilmesi, eğitim setinin ağı sunulması, eğitim işleminin tamamlanması, hata oranlarının elde edilmesi, hata oranı iterasyon sayısı grafiklerinin elde edilmesi ve sonuçlarla istenen değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Eğitim setine en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Yapay sinir ağlarının titreşim analizi ve kestirimci bakımda kullanılabilirliği saptanmış ve elde edilen sonuçların değerlendirmeleri yapılmıştır.



BÖLÜM 2. TEMEL TİTREŞİM KAVRAMLARI

2.1. Titreşim

Titreşim bir sistemin hareketini en az bir kere tekrarlaması olarak tarif edilebilir. Örneğin muylunun sabit yatağa göre rölatif hareketi veya rulmanın sabit rulman yuvasına göre rölatif hareketi titreşim olarak tanımlanır. Bu çalışmada bahsi geçen titreşim; mekanik titreşimler kavramı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca bundan sonraki anlatımlarda mekanik titreşim kavramı olarak sadece “titreşim” ibaresi kullanılacaktır. Bir cisim bir kuvvetin etkisi altında titreşim hareketine maruz kalmışsa, bu hareketin davranışı;

- Kuvvetin büyüklüğüne ve frekansına
- Cismin kütesine ve şekline,
- Cismin ve dış ortamın sönümleme gücüne, bağlıdır.

Bu üç faktörün etki derecesine göre, titreşimin etkisi zamanla artabilir, azalabilir veya sabit kalabilir

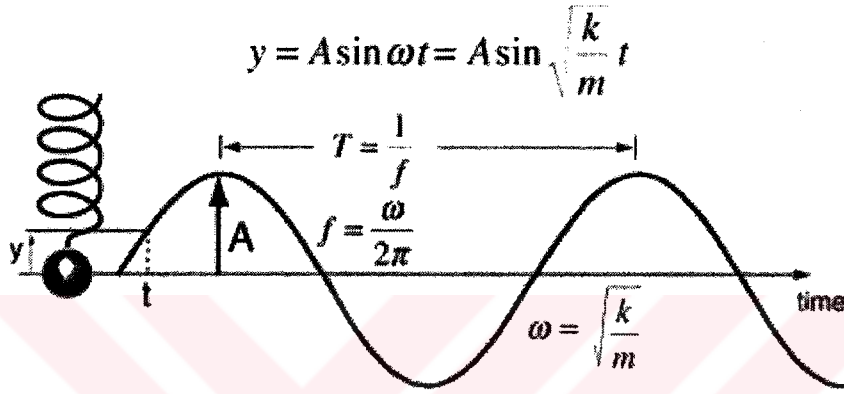
2.2. Titreşimlerin Sınıflandırılması

Titreşimin konusu akademik bir yaklaşımla ele alındığında, bütün titreşimlerin aynı karakterde olmadığı görülür ve bunlar farklı kriterlere göre farklı şekilde sınıflandırılır. Kestirimci bakımın ilgi alanına giren titreşimleri ise başlıca iki gruba ayırmak mümkündür.

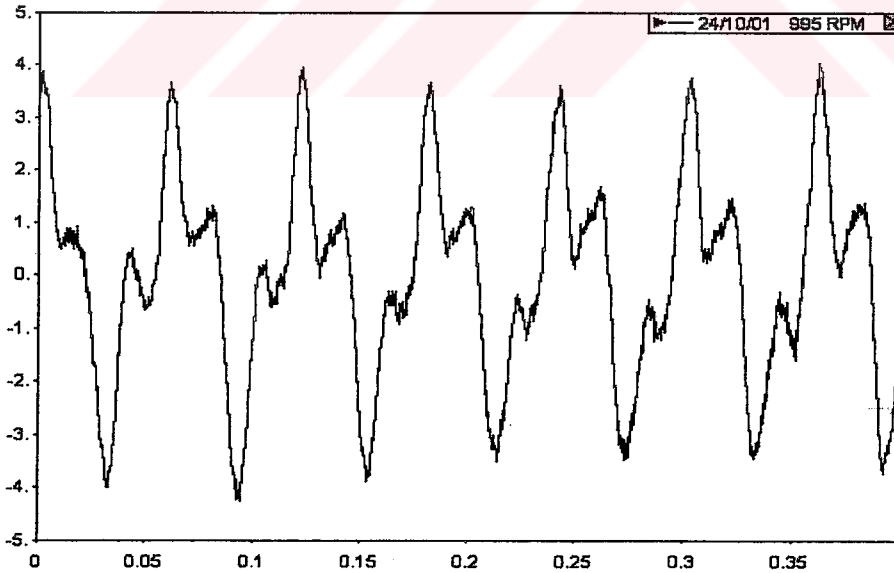
- Harmonik titreşimler
- Periyodik titreşimler
- Rasgele (Random) titreşimler

2.2.1. Periyodik titreşim hareketi ve temel kavramlar

Kütlesi “m” olan bir cismin, esneklik katsayısı “k” olan bir yayın ucuna asılmış olduğu varsayalım. Cisim bir başlangıç şartıyla hareket halinde serbest bırakıldığında, eğer sönüm yoksa, statik denge konumu etrafında sürekli salınım hareketi yapacaktır. Bu hareket kayıt altına alındığında zaman ekseninde bir sinüs yada kosinüs fonksiyonu şeklinde eğrinin çizildiği görülecektir Şekil 2.1.



Şekil 2.1 Harmonik bir hareketin kütle ve yayla temsili



Şekil 2.2 Periyodik hareketin gösterimi

Buna benzer olarak belirli ve eşit zaman aralıklarında bütün özellikleri ile aynen tekrarlanan titreşime, periyodik titreşim denmektedir. Şekil 2.2 995 dev/dak ile

çalışan bir makinadan alınmış periyodik bir titreşimi göstermektedir. Şekilde yatay eksen saniye cinsinden zamanı göstermektedir. Buna göre bu titreşimin frekansı ve periyodu aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$f=n/60=995/60=16.583 \text{ Hz}$$

$$T=1/f=1/16.583=0.06 \text{ sn}$$

Periyodik hareketin özel hali olan, harmonik hareketin ifadesine ait Sinüs eğrisinin parametreleri aşağıda açıklanmıştır.

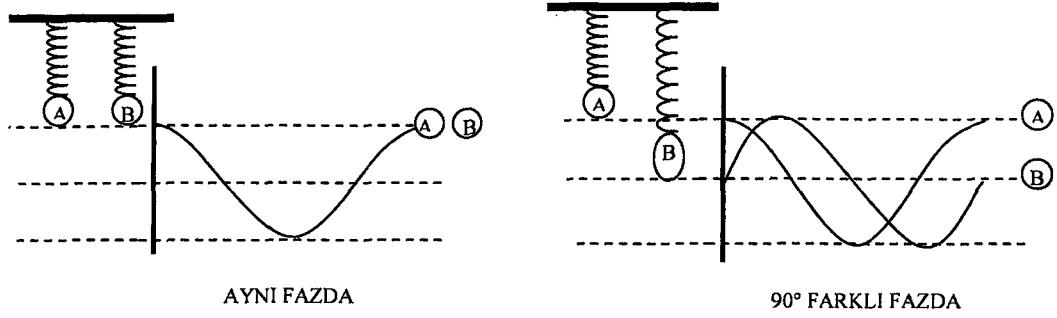
Periyod (T): Titreşim sinyalinin bir tam tekrarının kaç saniye içinde gerçekleştiğinin ölçüsüdür. Birimi “saniyedir” dir. Örnek olarak, sürekli bir hareket her 20 ms (milisaniye) de bir defa tekrarlanıyorsa, bu hareketin periyodu 20 ms dir denir. Periyod yerine bazen cycle (sayıl) da denmektedir.

Frekans (F): Sinyalin birim zamanda kaç defa tekrarlandığının ölçüsüdür. Periyot ve frekans, birbirlerinin tersi olan terimlerdir. Buna göre $F = 1 / T$ ve $T = 1 / f$ dir. Titreşim terminolojisinde frekans Hz veya CPS (Cycle Per Second) ve CPM (Cycle Per Minute) iki değişik birimde ifade edilmektedir.

Açısal Frekans (ω): Dönme hareketi yapan bir cismin birim zamanda kat ettiği yolun (taradığı açının) raydan açı derecesi cinsinden değeridir. Birimi, Rad/san

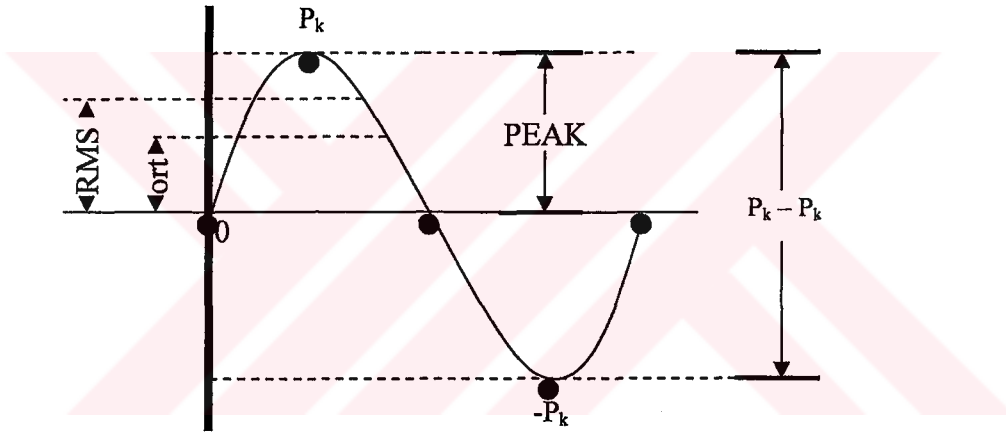
$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 / T$$

Faz: İki olay arasındaki, referans yada başlangıç noktasına bağlı olan aralıktır. Olay veya hareketlerden birinin diğerine göre ne kadar önce veya sonra meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi, açı birimi (derece veya raydan) dir. $0-360^\circ$ veya $0-2\pi$ raydan arasında değerler alır. Dönel cisimlerde faz açısı hesaplanırken, referans noktasından itibaren dönüş yönünün tersi pozitif yön olarak kabul edilir. A ve B kütlelerinin bir defa aynı fazda, bir defa da 90° farklı fazda yaptıkları iki sinüzoidal hareket'te Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3 Faz ilişkisi

Genlik: Harmonik bir titreşimin şiddetini ifade eder. Eğri üzerindeki 0 noktası ile tepe noktası arasındaki veya +/- iki tepe noktası arasındaki mesafedir. Bu parametreler Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 RMS, Pik, Pik-Pik faktörlerinin gösterimi

Peak (Pik); Rasgele titreşimler için genlik yerine kullanılan 0' dan tepeye olan uzaklık veya sinyalin bir yönde eriştiği max. değerdir.

Pik-Pik; Sinyali + (pozitif) tepeden - (negatif) tepeye kadar aldığı değer.

$$\text{Pik-Pik} = 2 * \text{Pik}$$

Pik, RMS ve ortalama değerler harmonik olarak değişen bir hareket için aşağıdaki bağıntılar kullanılarak birbirlerine çevrilebilirler.

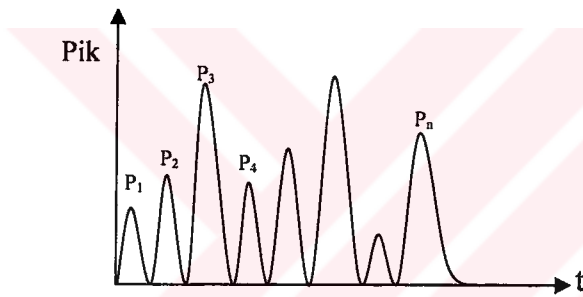
RMS; Bir sinyalin t_1 - t_2 zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür. Bu nedenle karesel ortalama değer (Root Mean Square), etkin değer, efektif değer adları ile de anılır.

$$RMS=0.707*P_{ik}$$

$$P_{ik}=1.414*RMS$$

Genel bir hareket için ise Şekil 2.5'de görülen P_i ifadesi titreşimin i 'inci pik değeridir. n ise titreşimin pik değerlerinin sayısı olarak ifade edersek

$$RMS = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + P_4^2 + \dots + P_n^2}{n}} \quad \text{olur.}$$



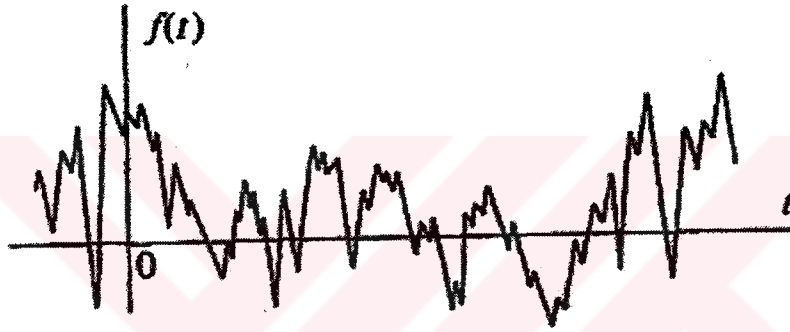
Şekil 2.5 RMS parametrelerinin gösterilmesi

Titreşim sinyalinin RMS değeri titreşim genliğinin önemli kriteridir. RMS değeri dalga formunda güç ve enerjiye ilişkin bütün hesaplamalarda kullanılması yararlı olmaktadır. Makinaların titreşim seviyeleri tanımlanırken, mümkün ise RMS değeri kullanılmalıdır.

Ortalama (Averaj); Bir sinyalin t_1 - t_2 zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır. Hesaplanan bu değerler yalnız harmonik titreşim için doğrudur. Ortalama= $0.637*P_{ik}$ [27],[30],[31].

2.2.2. Rasgele titreşim hareketi

Rasgele titreşimler yön ve şiddetlerini sürekli olarak değiştirirler. Zamanla azalırlar, çoğalırlar, bir ara kaybolur gibi olur sonra yeniden ortaya çıkarlar. Bunlar genellikle prosesteki dalgalanmaların ve/veya çevre koşullarının neden olduğu geçici hareketlerdir tanımlı bir fonksiyon ile matematiksel olarak ifade edilmesi zordur Şekil 2.6. Rasgele titreşimlerin özel bir hali, geçiş rejimi titreşimleridirler. Geçiş rejiminde makinanın ilk çalışma anı tanımlayamadığımız faktörlerden dolayı gelişigüzel olabilir. Genellikle çok kısa olan bu süre, makinanın normal çalışma rejimine girmesi ile sona erebilir[27].



Şekil 2.6 Rasgele titreşimler

BÖLÜM 3. TİTREŞİM ANALİZİ

3.1. Giriş

Günümüzde bakım yönetiminin ilk amacı ekipmanlarda malzeme aşınmalarını etkin şekilde kontrol altında tutarak güvenilirliğini yükseltmek ve arızaları önlemektir. Genellikle dönen makinalardaki hasarların çoğu genellikle, titreşimin yüksek seviyelerde seyretmesinden meydana gelmektedir. Döner makinalarda çalışma sırasında ortaya çıkan dinamik kuvvetler, malzeme yorulması nedeniyle çeşitli arızalara neden olmakta, bu durum yüksek yedek parça, işçilik ve bazen de üretim duruşuna neden olmaktadır. Düzenli olarak titreşim ölçüm analizi yapılması ile bu sorunları önlemek veya erken teşhis etmek mümkündür.

Döner makinaların bulunduğu bir çok sanayi tesislerinde istenmeyen titreşimlerin oluşturduğu mekanik hasarlar ve maliyetleri ile ilgili araştırmalar çok yüksek zararların oluştuğunu göstermektedir. Titreşimin bir problem olmadığı ancak var olan problemin ortaya çıkan sonucu olduğunu ifade edilebilir. Titreşim analizi ile sistemde oluşabilecek arızalar rahatlıkla tespit edilebilir. Titreşim analizi teknikleri kullanılarak balanssızlık, eksen kaçıklığı, gevşeklik, rulman arıza uyarıları ve eksen kaçıklıkları şeklindeki arızalar teşhis edilebilir ve düzeltilebilir. Yüksek maliyetli büyük arızalar önceden kestirilerek planlı duruşlarla bunların önüne geçilebilir.

Makinalar işletme şartlarında çalışırken, sistemin uygun noktalarından titreşim ölçü aleti ile sistemin frekansları ve ilgili genlikleri belirlenerek makina sağlığı hakkında kararlar verilir.

Dalga formu grafiklerinin FFT dönüşümü ile oluşan frekans tabanlı spektrum grafikleri incelenerek :

- Balanssızlık
- Mekanik gevşeklik
- Eksen kaçıklığı
- Kaymalı yatak problemleri
- Yatak yağlama problemleri
- Redüktörlerde dişli arızaları
- Motor rotorlarındaki çeşitli problemler
- Kayış kasnak problemleri
- Elektriksel problemler vs tespit edilebilir.

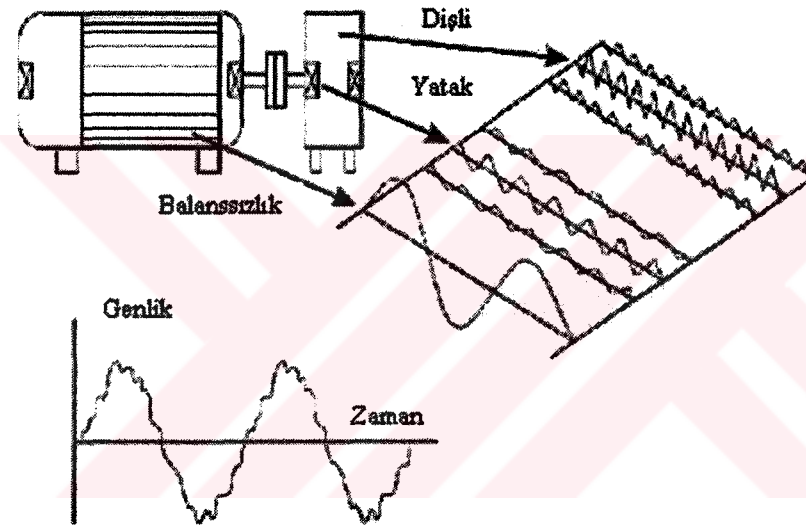
Titreşim, bir makinanın mekanik aksamalarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği bir davranıştır. Farklı noktalardan alınan titreşim sinyalleri, farklı problemler nedeniyle kompleks bir dalga formu verirler. Bu dalga formunu yorumlamak genellikle zordur. Belirlenen seviyelerin aşılması durumunda planlanan duruşlarda sisteme müdahale edilerek arızalanmış parçalar bulunur tamir edilir veya değiştirilir. Makinalar belli bir hasara maruz kaldıklarında, bu hasarlara yönelik uyarı sinyalleri verirler. En iyi uyarı sinyalini de titreşim verir[2],[20],[34].

3.2. Dalgaformların Ayrıştırılması

Makina arızaları analizine yönelik aygıtlar, FFT (Fast Fourier Transformation – Hızlı Fourier Dönüşümü) yöntemiyle bulunan frekansların titreşim kaynağının teşhis edilmesine yardımcı olur. Titreşim sinyallerinin bütünü, genlik-zaman eksenlerine sahip “dalgaformu” grafiğiyle algılanır. Bu grafik üzerine FFT uygulanarak, genlik-frekans eksenlerine sahip “frekans spektrum” grafiğine erişilir. Benzer şekilde; dalgaformu, tüm radyo kanallarının birbirine karıştığı bütünün grafiğidir denilebilir. Böyle bir durumda hangi kaynaktan geldiği belirlenemeyen bir gürültü kaynağıyla karşılaşılır. Bu, tıpkı makina başında hissedilen titreşimin bir bütünüdür. Frekans spektrumu bu ayrıştırılmış titreşimlerin genlik frekans ilişkisinin gösterilmiş halidir. Arıza nedeniyle makinanın yaptığı titreşim, bazı arızalar için makinanın devir

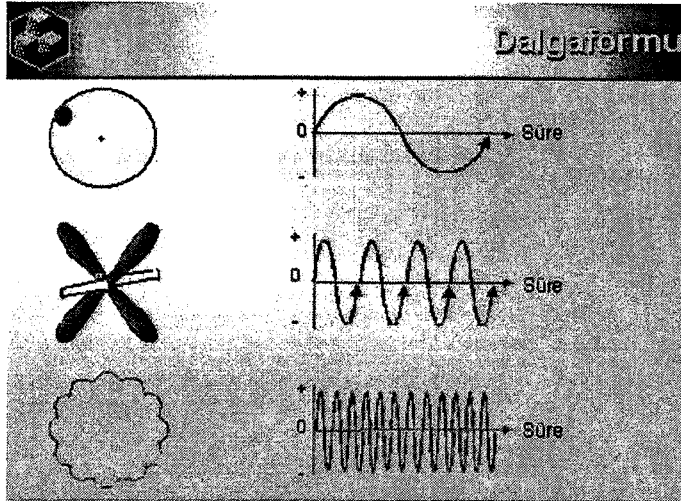
sayısının ilgili katlarında tepeler şeklinde görülür. Hedef arıza kaynağını belirleyebilmek olduğundan yapılacak şey tekrar eden sinyallerin ayrıştırılması ve bunların frekans ve şiddetlerinin belirlenmesidir. Bu amaç için kullanılan FFT yöntemi istatistik tabanlı bir uygulama olup, ölçülen gürültü yumağını ayrıştırır ve hangi frekansta ne derecede bir titreşimin var olduğunu belgeler.

1822 yılında Baron Jean Baptiste Fourier kompleks dalga formlarının basit sinüs dalga formlarına ayrılabilirliğini ispat etti. Bu basit dalga formlarının genliklerinin frekans bandına taşınması ile spektrumlar ortaya çıkar Şekil 3.1, Şekil 3.2. [4],[10], [12],[17].



Şekil 3.1 Titreşimlerin grafik üzerinde gösterimi[16]

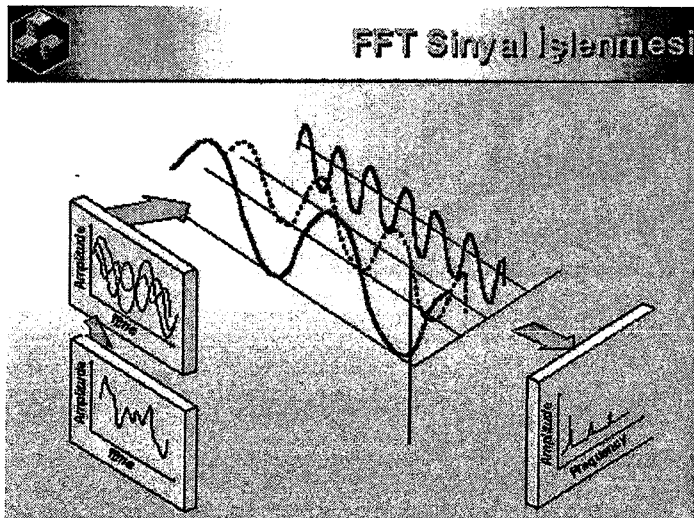
Her fiziksel kaynak farklı frekans da yayın yapar. Milin devri ana değerlendirme kaynağıdır. Mil üzerindeki balanssızlık noktası, her devirde bir kere kendini tekrarlar. Örneğin; Mil üzerinde yer alan 4 kanattan kaynaklanan bir sorun var ise, bu her devirde 4 kere kendini tekrarlar. Dişlide 12 diş var ise ve bu dişlide bir sorun var ise, her devirde 12 kere kendini tekrarlar. Bunların hepsi mil bir kere döndüğünde ortaya çıkacaktır. Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Ayrıştırılmış dalgaformları [17]

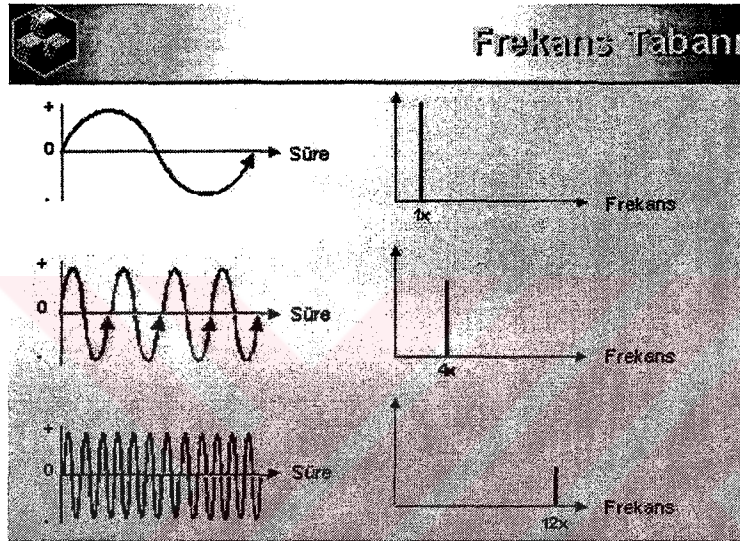
3.2.1. Dalgaformundan FFT spektruma geçiş

FFT Titreşim analiz cihazları ile öncelikle titreşimin dalgaformu dijital olarak algılanır. En çok bilgi bu dalgaformu grafiği üzerindedir. Zaman eksenindeki dalgaformunu daha anlaşılır hale getirmek için üzerine FFT uygulanır. Ve dalgaformunda sinüs desenlerine ayrıştırılır. Bu sinüs desenlerinin frekansları ve genlik şiddetleri belirlenir. Çıkan bu sonuçlar frekans/genlik grafiğine yerleştirilir. Çıkan bu grafiğe FFT Spektrum grafiği denilmektedir. Şekil 3.3’de dalgaformundan frekans spektrumuna geçiş görülmektedir.



Şekil 3.3 FFT sinyal işlemesi [17]

Makinalar hep dakikadaki dönüş devirleri (RPM) ile anıldığından frekans birimi endüstriyel titreşim analizinde Hz (1/saniye) yerine CPM (1/dakika) olarak kullanılmaktadır. Frekans spektrumunda yer alan her tepeliğin bir yayın kaynağı olmalıdır. Bunlar sorgulanarak makinaların sorunları belirlenebilmektedir. Her makinanın bir imzası vardır. Bu imzadaki değişim bir arıza ile karşı karşıya kalındığını ifade edecektir. Şekil 3.4’de değişik harmonik hareketlerin frekans ekseninde görünüşleri verilmiştir.



Şekil 3.4 Frekans tabanı gösterimi [17]

3.2.2. Zaman genlik ilişkisi

Alınan spektrum grafiğinde görünecek her tepeliğin, makinanın dinamik yapısına bağlı bir vericisi olmalıdır. Yapılacak şey, ayrıştırılan sinyallerin hangi frekanslarda olduğunu incelemek ve makinanın hangi dinamik elemanının bu sinyali üretebileceğini, kaynağın ne olabileceği, analiz etmektir. Bu analizde genellikle temel referans, makinanın ilgili dönüş devri frekansıdır.

Her makinanın arızadan dolayı gelebilecek titreşimlere ek, kendine has karakteristik titreşim vericileri bulunabilir. Bunlar tasarım hatası, üretim hatası, montaj hatası ve uygulama hatasından kaynaklanabilir.

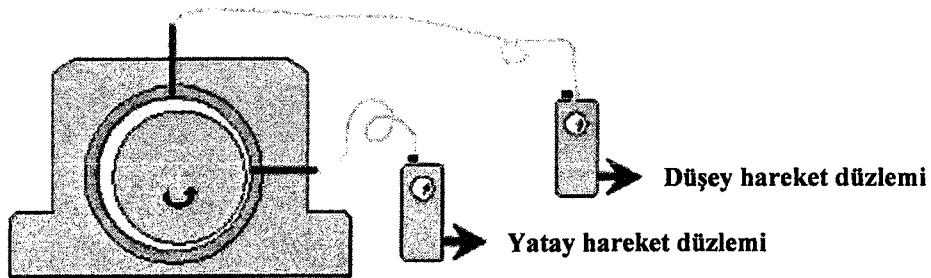
Bunun içindir ki makinalardan bir kerelik ölçüm alınarak arıza nedenini belirlemek, deneyim ve bilgi gerektirir. Kestirimci bakım bu ayrıştırmayı istatistiksel yöntemlerle kolaylaştırmıştır. Kestirimci bakımda öncelikli hedef, arızanın belirlenmesidir. Bir arıza oluşuyorsa alınan ölçümlerde bir artış olmalıdır. Bu artış, ölçüm periyodu ve ölçülen değer eksenlerinde çizilecek eğilim izleme eğrisiyle izlenebilir. Bu eğrinin, ölçümlerin artmasıyla göstereceği özellikler, bizi arıza gelişimi hakkında bilgi sahibi yapar[17].

3.3. Ölçüm ve Analiz Yaklaşımları

3.3.1. Değişken ağırlık merkezi

Makinalarda, hareketli parçalar var ise, bu parçalar nedeni ile denge merkezi değişebilir. İyi bir mühendislik ile, ek ağırlık merkezleri oluşturularak denge merkezinin hareketli parçalar nedeni ile değişmesinin önüne geçilir. Örnek olarak pnömatik kol hareketi, bir araba, arabada denge merkezi, yaylar nedeni ile yükselir ise virajlarda araç devrilir. Dönen makinalarda, değişken denge merkezi teorik olarak olmaz. Pratikte ise olabilmektedir.

Bu titreşim analizinde balanssızlık olarak görülebilir. Bu balanssızlığın oluşturan neden, makinanın her duruş kalkışında farklı yerlerde kümelenerek, yerinde balansa imkan tanımaz. Balansı yapıp, 1*RPM frekansındaki balanssızlık şiddeti düşürdükten sonra makina durdurulup tekrar çalıştırıldığında, yeniden çok yüksek balanssızlık sinyali alınabilir. Bunun nedeni, değişken denge merkezidir Şekil 3.5.



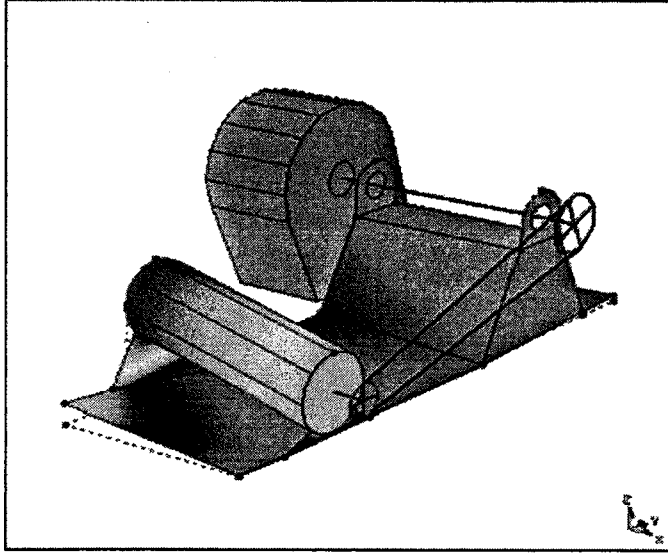
Şekil 3.5 Değişken merkez temsili

Oluşma nedenleri; Dönen kısımda bulunan hücrelere (içi boş üstü kapalı koni gibi - içi boş fan kanatları gibi) toz dolabilir, yoğunlaşmış su dolabilir. Akışkan şeklindeki bu malzeme, makina durduğunda yer çekimi nedeni ile en alt kısımlarda birikir. Makina çalıştığında büyük bir balanssızlık oluşturur. Bir süre sonra, merkez kaç kuvveti ile yayılıp başka yerlere kayabilir. Hep aynı karakteri göstermeyeceğinden her seferinde, balanssızlık vuruntusunun faz açısı değişir. Bunun çözümü bu tür malzemenin dolabileceği yerleri temizlemek boşaltmak olacaktır.

Bir diğer neden, rulman yataklarına, dış bileziğe basacak şekilde konan 360 derece olmayan ringler olabilir. Yataklar arasında bir çökme yada dönen kısımda bir yalpa var ise, dış bilezik kayma yapmak isteyecek ve bileziğe basacaktır. Bu baskı 3/4 lük bir alanda olacaktır. Bu ringlerin aralıklarla döndüğü bilinen bir gerçektir. Her keresinde açık bölge farklı yerde olabileceğinden değişken denge merkezi oluşturabilecektir.

3.3.2. ODS “Operation Deflection Shape” (Dinamik Davranış Biçimi)

ODS “Operating Deflection Shape” tanımının kısaltılmışıdır. “dinamik davranış biçimi” anlamına gelen bu yöntemde, makina ve şase üzerinde belirlenen noktalardan 3 yönde bir frekansta (genelde 1*RPM frekansı seçilir - FFT Spektrumlarında baskın olan diğer frekanslarda da işlem yapılabilir) titreşim genlik şiddeti ve faz açısı ölçülür. Makina durumu ve büyüklüğüne bağlı olarak 50 ile 100 arasında ölçüm alınır. Tek kanallı cihazlarda, belirlenen konumlardan titreşim değerleri ölçülür. Çift kanallı cihazlarda sensörlerden biri bir noktada sabit bırakılır, diğer sensör değişik noktalara dokundurularak ölçümler alınır. Ölçümler her noktada x-y-z konumlarında yapılır. Bu veriler, programa manuel yada cihaz aracılığı ile aktarılabilir. Program, makina hareketini ekranda animasyonunu yaparak zayıf ve sorunlu noktaların detaylıca görülmesini sağlamaktadır. Periyodik yapılan ölçümlerde o noktaya yada yatağa bağlı lokal bilgi alınabilirken, ODS analizinde tüm yapı analizinin yapılması mümkündür. Periyodik ölçümler ile yapılan iyileştirmeler bir noktaya kadar olabilmektedir. ODS analizi daha öteye taşıyacak metoddur. Şematik olarak belirlenmiş sistemin dinamik davranış biçimi Şekil 3.6’da verilmiştir. Farklı renk tonları deplasman farklılıklarını tanımlar.



Sekil 3.6 Sistemin dinamik davranış biçimi[17]

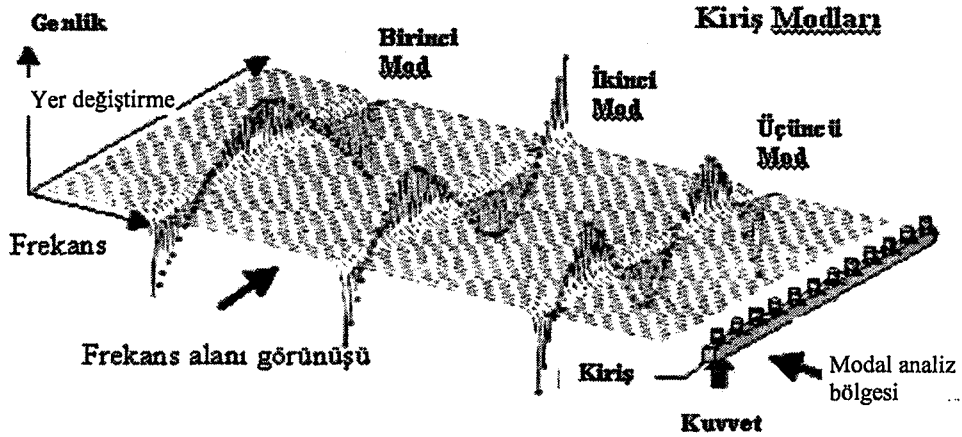
3.3.3. Modal analiz

Tüm malzemeler, fiziksel özelliklerinden kaynaklanan rezonans frekanslarına sahiptirler. Rezonans frekanslarının ve bu frekanslardaki sönümlenme değerlerinin ne olduğunun bilinmesi ürün tasarımı açısından önemlidir.

Bir malzemeye rezonans frekansında çok küçük bir tahrik kuvveti uygulayarak, yüksek titreşimler elde edilebilmektedir. Modal analiz, malzemelerin ;

- Doğal frekans (natural frequency)
- Sönüm (damping)
- Mod biçimi (mode shape)

değerlerini ortaya çıkarmak için yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada, malzeme üzerinde belirli noktalardan (çekiç veya sarsıcı ile) tahrik kuvveti uygulanır ve malzemenin cevabı ölçülerek aradaki transfer fonksiyonu (FRF) elde edilmeye çalışılır. Uygulanan tahrik kuvveti bir kuvvet transdüseri ile, cevap ise ivme transdüserleri (tek veya üç eksenli) ile ölçülmektedir. Modal analizin bir başka amacı da elde edilen verilerin, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanan model ile karşılaştırılabilmesidir Şekil 3.7, [16].



Şekil 3.7 Modal analiz grafiğinin şematik görünümü

3.3.4. Mertebe (Order) analizi

Tahrik frekansının sürekli değişim halinde olduğu durumlarda (kalkış, duruş veya ivmelenme gibi) elde edilen frekans spektrumları incelendiğinde, gerek tepe noktaların keskinliğini kaybettiği (smearing) gerekse de iki spektrumun üst üste konularak karşılaştırılamadığı ortaya çıkmaktadır. Bu tarz uygulamalarda frekans eksenini yerine ana tahrik frekansının veya ilgilenilen parçanın devir sayısının katları (mertebeleri, order) olarak seçmek daha faydalı olabilmektedir. Bu analiz için diğer ölçüm sensörlerine ek olarak, devir bilgisini kaydeden bir takometreye de gereksinim duyulmaktadır[17].

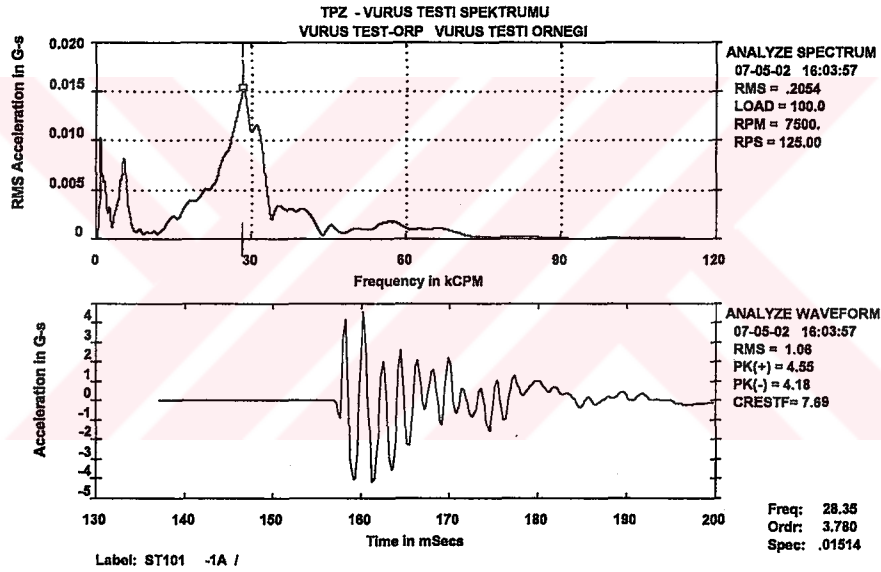
3.3.5. Darbe testiyle rezonans frekansları

Rezonans frekanslarının belirleme yöntemlerinden biri olan darbe yönteminin aşamalarını şu şekilde ifade edebiliriz.

- Sensör yerleştirilir.
- Teflon yada plastik, metal olmayan bir çekiçle, vuruş yapılır.
- Vuruş en az 30 cm uzaktan tek vuruş olarak ölçüm yönünde yapılır.
- Ölçüm yönü hem yatay, hem dikey olabilir.
- Rulman yatağı üzerinden alınan ölçüm o yatağın o yöndeki hakim frekans rezonans frekansıdır.

Diğer yönden genliği en yüksek harmonik bileşenin frekansı sistemin rezonans frekansı olarak isimlendirilir. Bilinen odur ki, hareketin diğer harmonik bileşenlerinin frekansları da, sistem bu frekanslar da tahrik edildiğinde rezonansa geldiği frekanslardır.

Şekil 3.8 de vuruş (darbe) testi spektrumu ve dalgaformu grafikleri görülmektedir. Spektrum grafiğinden elde edilen rezonans frekansının yaklaşık 500 Hz civarı olduğu görülmektedir. Rezonans frekansındaki genlik şiddeti diğer frekanslardaki genliklere göre maksimum seviyededir. Diğer belirgin tepelerin olduğu frekanslar da sistemi rezonansa getiren frekanslardır. Bu frekansların dışında göze çarpan tepeler görülmemektedir.



Şekil 3.8 Vuruş testine örnek grafikler[17]

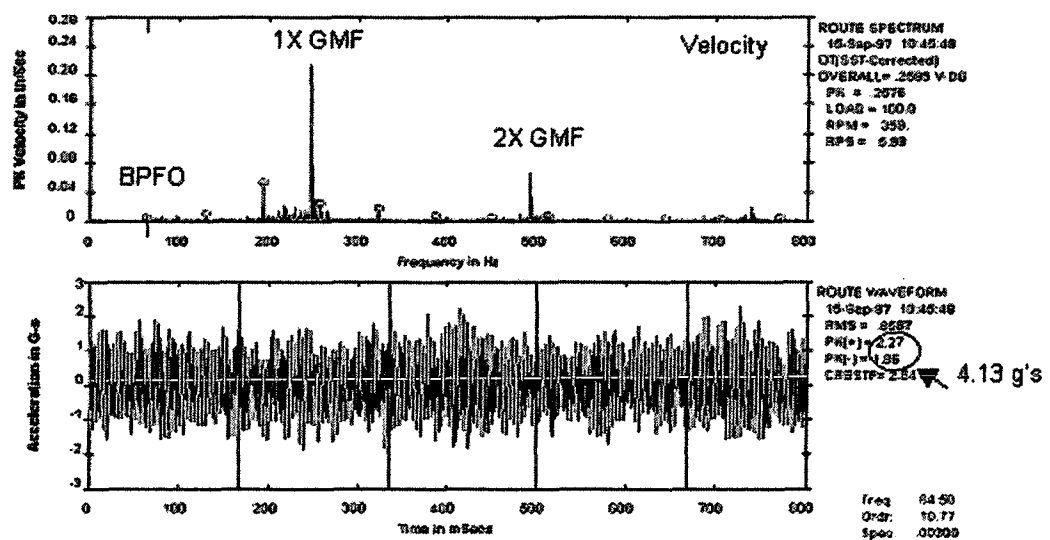
3.3.6. Tepe değer izlemesi (PeakVue)

PeakVue, rulman analizleri için kullanılan, Dr. Robinson tarafından geliştirilen [17], bazı ölçüm cihazlarında mevcut bir teknolojidir. Bazı cihazlarda farklı isimlerle de anılmaktadır. PeakVue makinada oluşan gerilme dalgalarını algılar. Gerilme dalgası, depremde fay hattının hareket ettiğinde ürettiği dalga gibidir. Arızalı rulmanların çalışmalarında bazı hareket sınırlamaları oluşmakta. Bu sınırlanan hareketler değişik

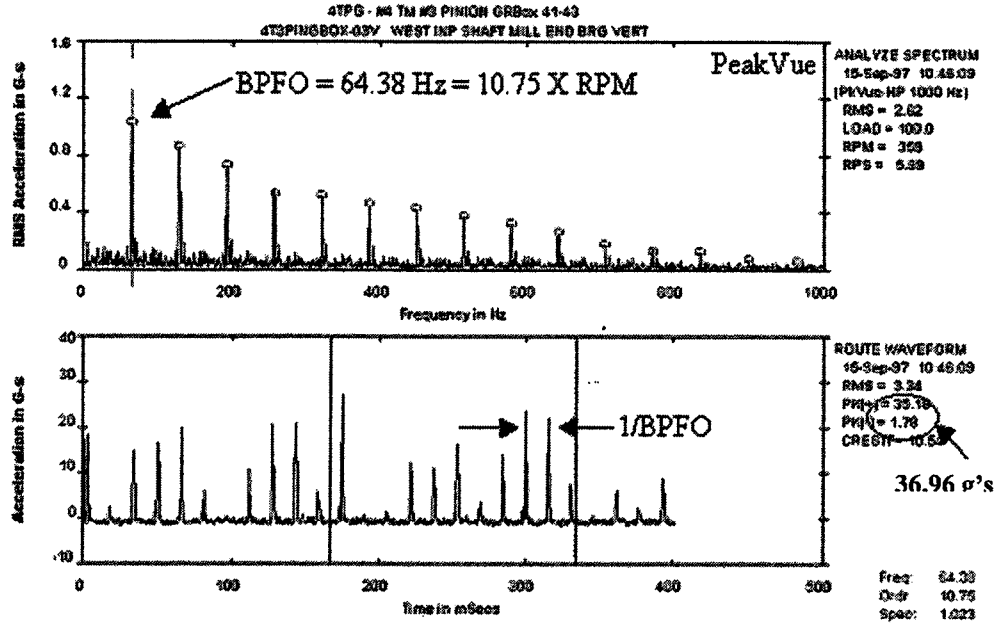
sürtünmelere neden olmakta, bunlarda stres dalgası üretmektedir. Bu sinyalin algılanması için cihazın ölçümleme hızının yüksek olması gerekmektedir.

PeakVue dalgaformu grafiklerinde, rulman arızası var ise vuruntu sinyalleri alınmaktadır. PeakVue spektrum grafiğinde de, BSF (bilya geçiş frekansı), FTF (kafes geçiş frekansı), BPFO (Dış bilezik geçiş frekansı), BPFI (İç bilezik geçiş frekansı) ve $1 \times \text{RPM}$ (mil devir sayısına eşit olan) frekansında arıza tipine göre tepcikler oluşur. PeakVue spektrumu standart ölçüm spektrumları ile aynı kapsamda değildir.

Normal FFT spektrumunda, dişli arızası gibi görünen sorun, peakvue analizinde gerçekte rulman arızası olabilmektedir. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 aynı noktadan alınmış, normal ölçüm ve peakvue ölçümlerini göstermektedir. Şekil 3.9'daki, ilk grafikteki spektrum analizinde, dişli arıza frekansları ($1 \times \text{GMF}$ (Dişli çalışma frekansı) ve $2 \times \text{GMF}$) çok baskındır. Bu nedenle sorun dişli ile ilgilidir denilirken, Şekil 3.10'daki peakvue ölçümünde, rulmanda sürtünmelerin olduğunu gösteren birçok tepciklerin (BPFO) var olması asıl sorunun rulman dış bilezikten kaynaklandığını göstermektedir. Şekil 3.9'da rulman dış bilezik frekansı neredeyse hiç görülmemektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi peakvue, titreşim analizinde, arızanın teşhisinde çok önemli yer teşkil etmektedir.



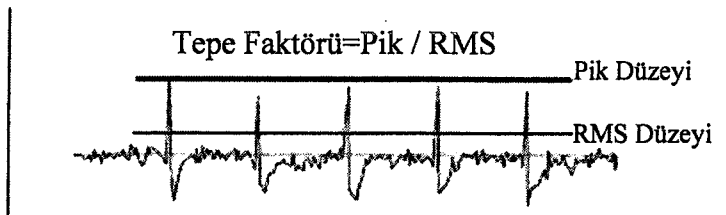
Şekil 3.9 Spektrum ve dalgaform grafikleri



Şekil 3.10 PeakVue grafikleri[17]

3.3.7. Tepe (Crest) faktörü

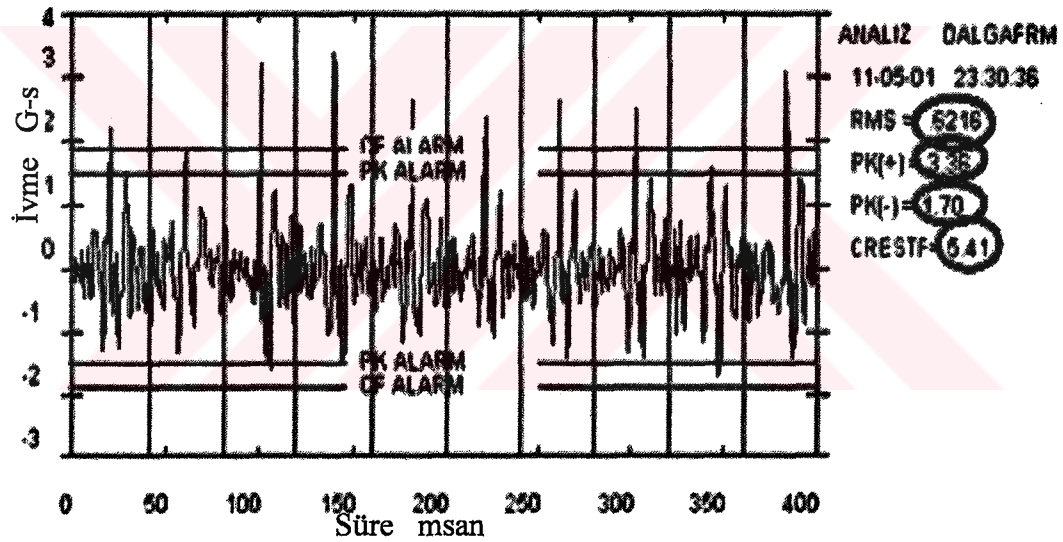
Titreşim dalgaformu grafiğinde okunan ortalama pik (tepe) değerinin RMS değerine bölümü sonucu belirlenen değere ‘crest (tepe) faktörü’ denilmektedir. Gerçek hayatta titreşim dalgaformları sinüs deseni dışında genel periyodik titreşimlerde farklı desen gösterir. Pik değerinin yüksek olması, sürekli tekrarlanmayan ani vuruntuların olduğu işaretidir. RMS (root mean square) karelerinin ortalamasının karekökü ile hesaplandığından, bu ani vuruntular genel toplamda gözükmezler ve kararlı bir genel değere erişilmeye çalışılır. Bu iki değer arasındaki farkın açılması, enstantane vuruntu şiddetinin artışı anlamına gelecektir. Bundan dolayı bu tepelerin karar vermede tanımlı olarak sayısallaştırılması için; titreşimlerde crest faktörünü ayrıca hesaplamak gerekir Şekil 3.11 [1].



Şekil 3.11 Crest faktörünün tanımlanması

Ayrıca dalgaformunda; $Pik(+)-RMS > 5$ eşitliği acil önlem gerektiren rulman arızası işareti anlamına gelmektedir.

Crest faktörü, uzunca bir süredir kullanılan bir değer olup, bu tür vuruntulara neden olabilecek rulman gibi arızaların ön belirtisinin yakalanması, erken uyarı için önerilmektedir. Örnek olarak bir fandan alınmış spektrum ve dalgaformu Şekil 3.12 'de görülmektedir. Dalgaformunda sağ kolonda crest faktör değeri görülebilir. Dalgaformu grafiği üzerinde de crest faktörüne yönelik alarm sınırı çizilmiştir. Genel anlamda, rakamsal yaklaşıldığında crest faktörünün "5" değerini geçmesi bir problem olduğu işaretidir. Ancak konuya kestirimci bakım mantığında, periyodik ölçümler ile crest faktörünün trendinin izlenmesi yerinde olacaktır.

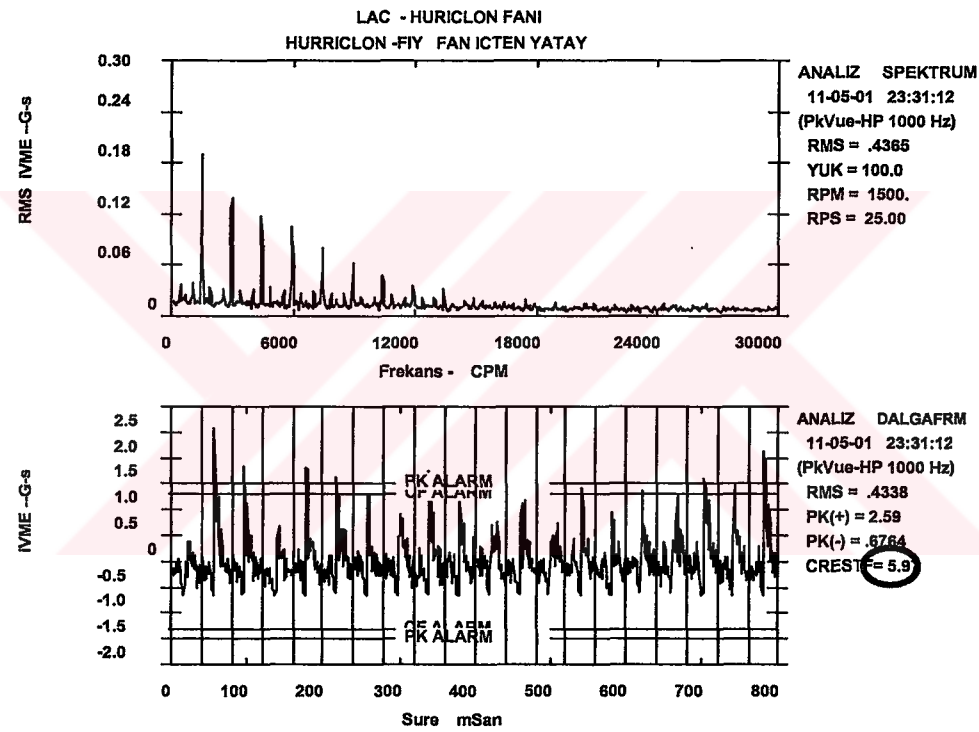


Şekil 3.12 Örnek crest faktör

Bir örnek olması için Şekil 3.13'de crest faktörü örneği verilen yerden peakvue ile alınan ölçüm dalgaformu ve spektrumu sunulmaktadır. Peakvue grafiklerinin ne derece belirgin görüntü verdiği bu örnekte açıkça görülmektedir. Eğer peakvue ölçümleri alınmazsa, crest faktörü normal ölçümlere dahil edilir. Alınan ölçümde makina başında crest faktörünün alarm verdiği görülür ise, hassas spektrum ile peakvue ölçümleri alınarak o ölçüm noktası adresine, bu ek bilgi eklenebilir. Bu şekilde arıza analizi daha net ve güvenilir şekilde yapılır. Peakvue, hem yüksek

devirlerde hem de çok düşük devirlerde oluşan rulman veya dişli analizlerinde kesine yakın bilgi vermektedir. Peakvue, sürtünmeden kaynaklı kesme gerilmelerinden oluşan titreşimleri algılayabilir.

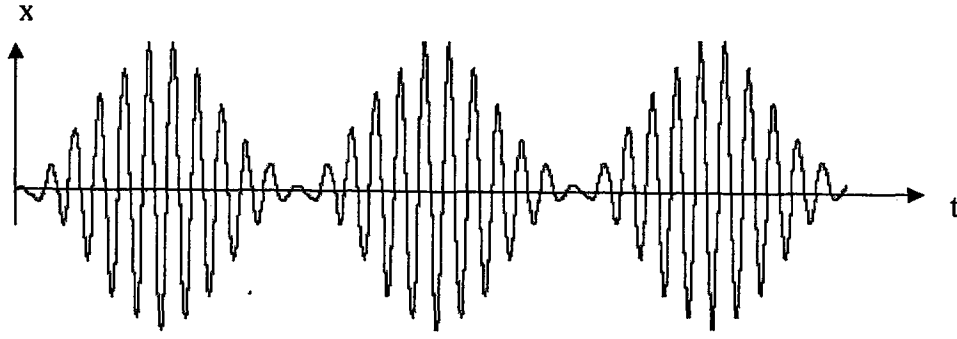
Şekil 3.13’de dalgaformu grafiğindeki crest faktörünün 5,97 olduğu görülmektedir. Ayrıca crest faktörünün durumu grafik üzerinde de alarm çizgisi olarak verilmiştir. Crest faktörünün 5’ten büyük olması bir arıza işareti olarak algılandığından arıza durumu daha net görülebilmesi için peakvue spektrum grafiği alınmıştır. Peakvue grafiğinde arıza daha net gözükmemektedir.



Şekil 3.13 PeakVue ve crest faktörü

3.3.8. Vuru frekansı (Beat frequency)

Beat frequency (vuru frekansı), iki yada daha fazla temel frekans kaynağının aynı frekansta (aynı yerde, aynı zamanda) yığılması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu frekansların toplamı ve farkı ile yığılma frekansları oluştuğu belirtilmektedir.



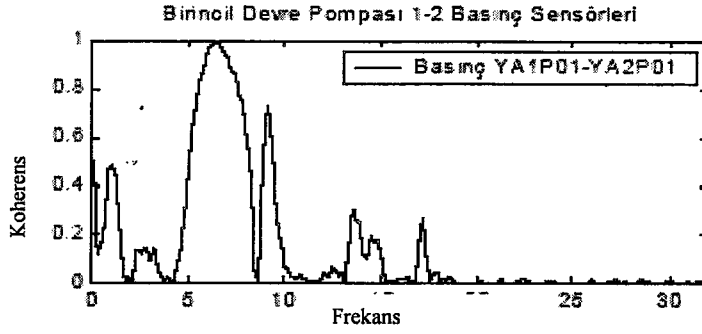
Şekil 3.14 Vuru görüntülü titreşim

Bu tür oluşumlar dalgaformu analizlerinde desen tanıma ile kendini ritmik tekrarlayan desenler şeklinde görülebilmektedir Şekil 3.14. Bu da rezonans frekansının vuru frekans kaynaklarından biri olduğunu düşündürmektedir. Bu durumda spektrum grafiğinde hayalet tepesi diye anılan, sıfırdan yükselmeyen tepelik ortaya çıkmaktadır. vuru bir temel frekans üzerinde taşıyor ise, taşıyıcı frekansın yan bantları oluşacaktır. Dişli rulman arızası bu tür özellikler taşımaktadır[14].

3.3.9. Koherens (Coherence) (Frekans uyumluluğu)

Koherens 2 kanallı dinamik analiz cihazları ile yapılabilen bir ölçümleme tekniğidir. Koherens ismiyle de kullanılmaktadır. Amaçlardan biri; ölçüm alınan 2 farklı noktanın birbirine etkileşimini görmektir. Örnek olarak, bir makina üzerinde hissedilen titreşimin yandaki makinadan mı kaynaklandığı görülmek istenirse, baskın tepeliklerin bulunduğu frekanslarda alınan koherens ölçüm değeri, 1 yada 1'e yakın bir değer ise, cevap evet olacaktır. Amaçlardan ikincisi; aynı makinadan değişik noktalardan ve konumlardan alınan ölçümlerin kalitesini görmektir. Eğer frekans karşılıkları 1 değerine yakın ise ilintili ölçümler alınıyor demektir. Kimi makinalarda makina içi ve yatağın nerede olduğu tam kestirilememektedir. Yada yatağa dokunan mekanik bir ortamdan mı yoksa bir muhafaza üzerinden mi ölçüm alındığı bilinmemektedir. Bu durumlarda eğer koherens 1'e yakın ise olumlu yerden ölçüm alınıyor demektir. Koherens grafiğinde yatay eksen frekans eksen, dikey eksen koherens kat sayısını ifade eder. Değer 1'den büyük olamaz. Titreşim genliği ve faz

açısı değerlendirilerek koherens grafiğine erişilir. Şekil 3.15 Koherens grafiğini bir diğer kullanıldığı alanda bir makinada birbiriyle uyumlu olarak çalışması gereken parçalardan çalışmayan parçayı tespit etmektir[13].



Şekil 3.15 Koherens grafiği[3]

BÖLÜM 4. KESTİRİMCİ BAKIM VE ARIZA TİPLERİ

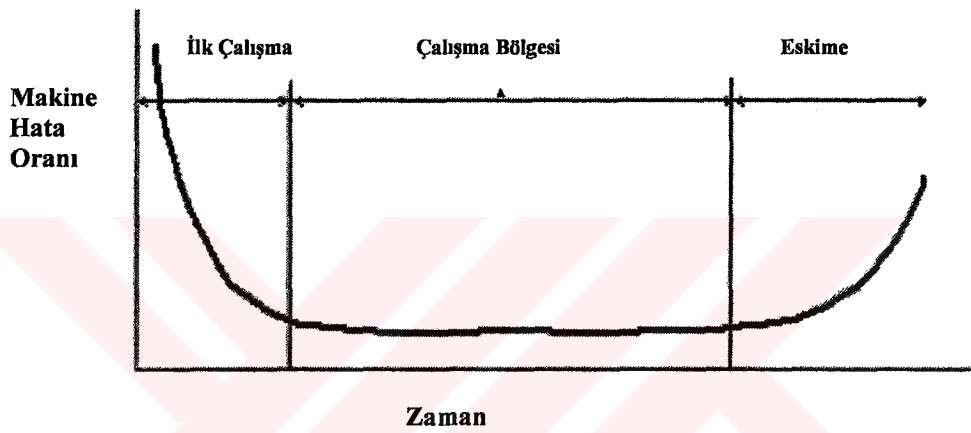
4.1. Giriş

Reaktif Bakım - Proaktif Bakım : Yapılan bakım sonucunun bir kriter ile değerlendirilmediği uygulamaya “reaktif bakım” denilmektedir. Parça değiştirildikten sonra işlem doğru yapılmış mıdır kontrol edilmeden, kişisel tecrübelerle dayanılarak, bilimsel temellere dayandırılmadan yapılan bakım tanımı içine girmektedir. Reaktif bakımın tersi “pro-aktif bakımdır”. Bakım öncesi ve sonrası, makina durumunu belirleyecek metotlar kullanılarak ölçümlemeler yapılır. Bu ölçümlerde, odaklanan arızayı, ifade edebilen parametreler bulunmalıdır. Bakım sonrası, arızayı ifade eden parametreler tekrar ölçülür. Sorunun gerçekten çözülüp çözülmediği belirlenir ve çözüldü ise onay verilir. Yapılan işlemler artsa da, bakım sonrası kısa zamanda çıkabilecek artçı arızaların önüne geçilmesi gerçek anlamda zaman, malzeme, işçilik ve sonuç olarak maliyet tasarrufu getirecektir. Sistem güvenilirliği artacaktır.

Kestirimci Bakım : Beklenmeyen arızalarda bakım ve onarım uzun sürer, yedek parça bulmak zorlaşır, bu arada da üretim kayıpları ve maliyetler de artar. Bir makinadan en yüksek verimi almak ve bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunlardan biri de, “durum izlemeye dayalı bakım”, “erken uyarıcı dinamik bakım yada “kestirimci bakım (predictive maintenance)” denilen yeni bakım anlayışıdır. Bu anlayışın benimsendiği uygulamalarda, bakım maliyetlerinde çok önemli iyileştirmeler kaydedilmiştir. Bu iyileştirmeler ortalama; arıza bakım ve yedek parça maliyetlerinde % 27, koruyucu bakım maliyetlerinde % 74, toplam duruş sürelerinde % 40’tır[20],[21].

4.2. Durum İzlemeye Dayalı Bakım (Kestirimci Bakım)

Makinaların durumu periyodik veya sürekli ölçüm yapılarak tespit edilir. Ölçüm ve kontroller ile üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilir. Buna göre uygun zamanlarda makinalar bakıma alınır. Toplanan datalar üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri tahmin edilir. Böylece makinaların en yüksek verimde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır.



Şekil 4.1 Makina çalışma eğrisi[34]

Makine ve ekipmandaki arızalar aşınma, yorulma, deformasyon vb. sonucu ortaya çıkar. Kestirimci bakım programlarında bunların sorun haline gelmeden önce saptanıp analiz edilmesi ve düzeltilmesi için bazı parametreler (titreşim, sıcaklık, akım gibi) seçilir, ölçülür ve önceden belirlenen sınır değerler ve trendler kullanılarak karşılaştırılır. Bu yaklaşımla makina ve ekipmanların hem geçmişleri izlenir, hem de şu andaki ve gelecekteki durumları ile ilgili tahminler yapılır.

Geleneksel bakım tekniklerinden koruyucu bakımın temel ilkesi geçmiş kayıt ve karar tabanını kullanarak değişmesi gereken parçaları belirlemek iken karşı olarak kestirimci bakımda zaman tabanlı tahminlerde bulunarak aşınan eskiyen parçalar planlanan duruşlarda kontrol edilerek veya değiştirilerek duruş sayısı azalır. Bu şekilde beklenmeyen duruşlarda ortadan kalkar. Uygulamada fabrika elemanları ile birlikte, üretimin sürekliliğini sağlayan makinalar sırayla tespit edilir. Bu makinalar

devir sayıları, bağlantı şekli ve tiplerine göre sınıflandırılarak kullanılan kestirimci bakım programında veri tabanı oluşturulur. Veri tabanında her makina için sınıfına bağlı olmak üzere alarm limitleri ve analiz parametreleri belirlenir. Ünite ve makina bazında ölçüm sırası belirlenir. Bu ölçüm sırası bilgisayardan ölçüm cihazına yüklenir. Ölçümler alınır, alınan ölçümler anında analiz edilebileceği gibi ileride trend oluşumunu gözlemek için bilgisayara kayıt edilir. En az üç ölçüm sonrasında belirlenen analiz parametreleri ve alarm limitlerine göre makinanın trend eğrileri alınabilir.

Bu tür sistemlerde izlenecek makinalar için şu bilgilerin dikkate alınması gerekir;

- Makinenin üretim açısından kritikliği
- Makinenin çalışma prensibi
- Makinenin tipi
- Sürekli veya aralıklı çalışma durumu
- Devir
- Tahrik tipi
- Yataklama biçimi ve yatağın özellikleri
- Muhtemel arıza ve problemler
- Arıza veya problemin oluşum sıklığı
- Makinenin çalışma ve çevre şartları
- Proje bilgileri
- Makinenin yükü
- Makinenin özellikleri

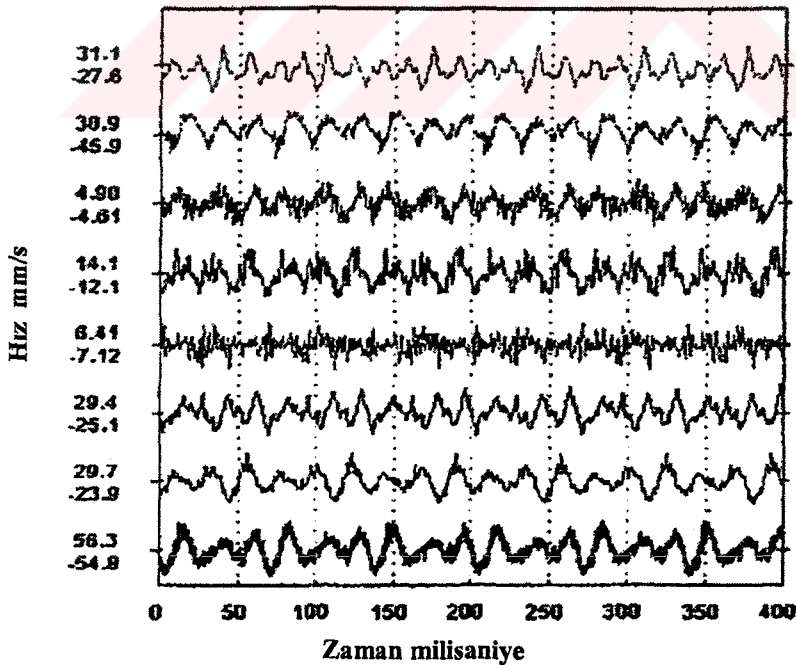
Kestirimci bakım işlemleri şu aşamalardan oluşur;

- Ölçüm yapılacak makinaların ve ölçüm kriterlerin belirlenmesi,
- Makinelerden ölçümlerin alınması,
- Ölçümlerin analizi ve varsa problemin tespiti,
- Tespit edilen problemin düzeltilmesi.

Bu problemler arıza oluşana kadar, titreşim artışı, sıcaklık artışı, gürültü artışı, aşırı akım vb. çeşitli belirtiler gösterirler. Kestirimci bakım, bu belirtilerin ölçülüp değerlendirilmesiyle yapılır. Bu arızaların belirlenmesinde titreşim ölçümü ve değerlendirilmesi kararın daha sağlıklı ve hızlı olmasını sağlar. Çünkü makinalar hasar gördüklerinde verdikleri en iyi uyarı sinyali titreşimdir. Her mekanik problemin, kendine özgü bir titreşim karakteristiği vardır. Bu nedenle, titreşimin büyüklüğünün ve karakteristiğinin incelenmesi problemin büyüklüğü ve kaynağı hakkında fikir verir[21],[22],[34].

4.2.1. Dalgaform grafiklerinin karşılaştırılması

Titreşim analizinin temeli, alınan titreşimin dalgaformu grafiğidir. Bu grafiğin analiziyle makina sağlığı hakkında bilgi sahibi olunur. Ancak bu analiz bir deneyim gerektirmektedir. Konuyla ilgili karar veren bir uzman, yalnız dalgaformu grafiğini inceleyerek ancak genel bilgi verebilir. Bir makinanın değişik noktalarından alınmış dalgaform grafikleri toplu olarak Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2 Dalgaform grafiklerinin karşılaştırılması

Belirlenen sorunun bir arıza işareti olup olmadığı, aynı noktadan aynı şartlarda belirli zamanlarda alınan dalgaform grafiği ile karşılaştırılması sonucunda belirlenir. Yöntem bir karşılaştırmadır. Eğer bir değişim ve artış gözleniyorsa bir arıza olabilir.

Karakteristik sorunlar, artış olmaksızın aynı özelliği tüm ölçüm periyotlarında alınan dalgaformlarda aynı şiddette gösterir. Ancak bir arıza sürecine girildiğinde, arıza özelliğine yönelik değişimler dalgaformda belirgin olarak gözlenir.

Kestirimci bakım yönteminin güncellik kazandığı 1990'ların başında, dalgaformu analizleri ikinci planda kalan bir özellikti. Ancak, uygulamaların değerlendirilmesi ulaşılan noktalardan daha iyiye gitmek için neler yapılabileceği çerçevesinde araştırmalar, arıza teşhisinde çoklu dalgaform grafiklerinin de kullanılması gerekliliğini göstermiştir.

Dalgaformu analizinin temeli desen tanımadır. Arızalar özelliklerine göre dalgaformunda değişik desenler gösterirler. Örnek olarak; genlik birimi hız seçildiğinde, saf sinüs eğrisi dengesizliği, deve hörgücü eksenel kaçıklığı, dalga boylarının her dönüş periyodunda tutarsızlık göstermesi de mekanik çözünürlüğü işaret etmektedir. Genlik birimi ivme seçildiğinde, melek balığı deseni rulman arızası işareti olacaktır[20].

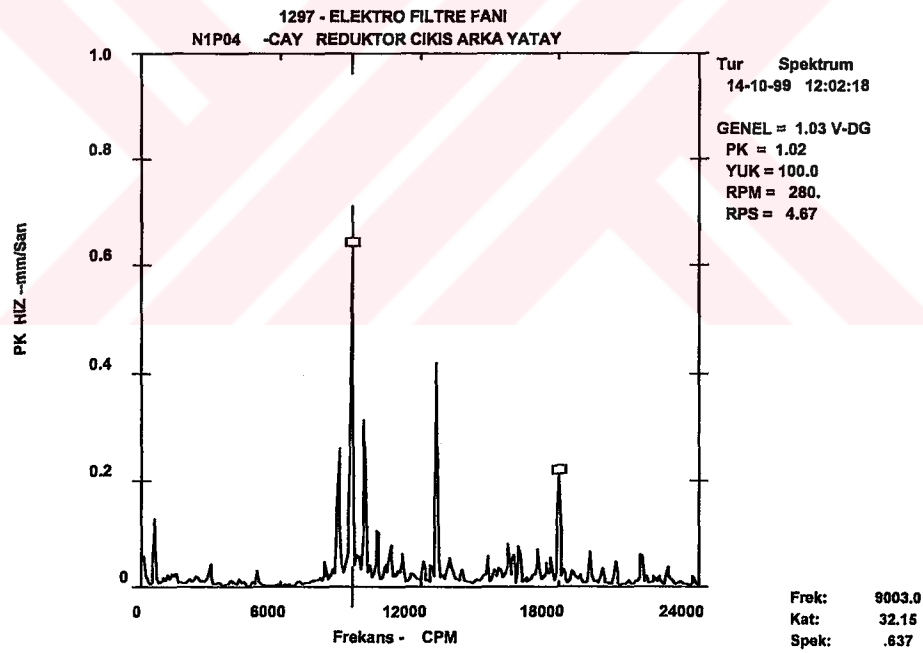
4.2.2. Spektrum grafiklerinin karşılaştırılması

Kestirimci bakım yönteminin 1980'lerin ikinci yarısından itibaren hızlı bir gelişim göstermesi, veri toplama amaçlı aygıtların FFT özelliğine kavuşmasıyla olmuştur. FFT ile erişilen ve aygıt ekranında gösterilebilen spektrum grafiği, dalgaform grafiğinin matematiksel bir işlemle daha anlaşılır hale getirilmesidir. Yapılan işlem dalgaformunda tekrar eden periyotlardaki sinyallerin, frekanslarına göre ayrıştırılarak, frekans/genlik grafiğinde gösterilmesidir.

Yapılacak işlem, ölçüm alınan noktalarda, hangi frekanslardan gelen sinyallerin baskın olduğunu belirlemektir. Bu, spektrum grafiğinde kolayca belirlenebilir. Ancak baskın tepelik arıza işaretimidir? Bu sorunun cevabı, tıpkı dalgaformu analizinde

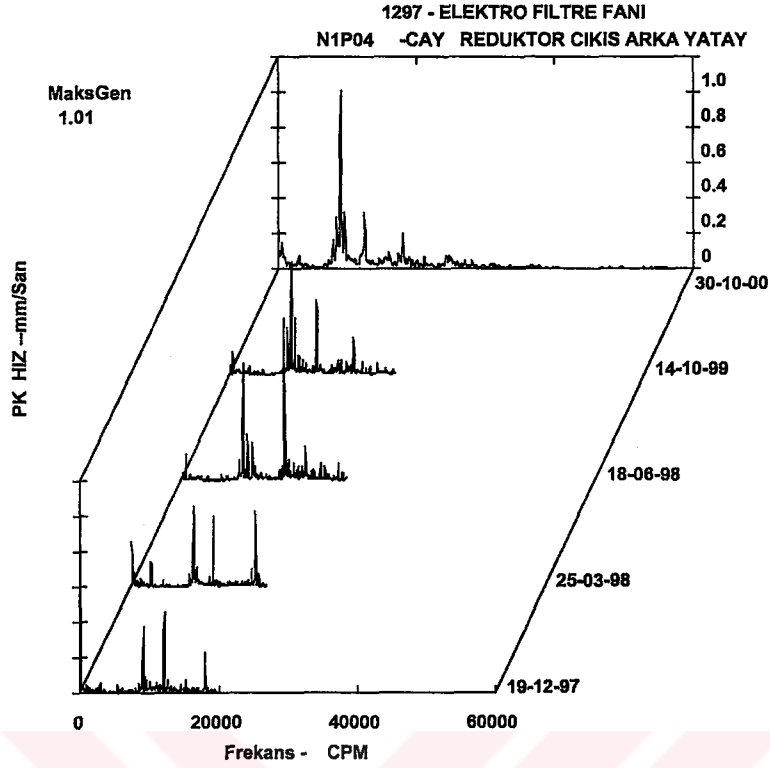
olduğu gibi karşılaştırmayla verilebilir. Aynı noktalardan periyodik olarak alınan ölçüm grafikleri birbirleriyle karşılaştırılır, genlik şiddeti artmakta olan frekanslar belirlenir. Bu frekansta hangi makina elemanının arıza nedeniyle titreşim kaynağı olabileceği araştırılarak, daha makina çalışma koşulundayken ne tür bir arızanın gelişmekte olduğu belirlenir. Buna göre plan ve ön hazırlıklar yapılarak bakım organize edilir. Karşılaştırmalı spektrum analiziyle erişilen sonuç, karşılaştırmalı dalgaformu analiziyle doğrulanır, teşhisinin güvenilirliği artırılır. Yapılan çalışmaların tümü bir kestirimdir, yanılma payı olacaktır. Analizciye düşen görev, arıza teşhisine yönelik tüm parametrelerin önceden hata yapmaksızın sisteme girilmiş olmasıdır[17],[20].

Tekli Spektrum: Analiz için bir spektrum seçilir. Sorun görünen tepecik bölgesi büyütülür ve detaylıca incelenir Şekil 4.3.



Şekil 4.3 Tekli spektrum

Çoklu spektrum: Geçmişten gelen durumu karşılaştırmak için periyodik alınan spektrum grafiklerine bakılır. Amaç, makina imzasındaki değişimleri görmektir Şekil 4.4.



Şekil 4.4 Çoklu spektrum

4.2.3. Trend grafikleri

Tamamen yeni bir makina çalışacağı yere monte edildiği andan itibaren, henüz çalışmaya başlamadığı halde bile, bir takım hataları bünyesinde toplamış durumdadır. Bu hatalar;

- Tasarım hataları
- Üretim hataları
- Montaj ve uygulama hataları olarak sıralanabilir.

Makine çalışmaya başladıktan sonra, bu potansiyel arızalara ek olarak, parçaların, doğal yaşlanmaları sonucunda da bazı hatalar belirir. Ayrıca makinanın yanlış çalıştırılmasından kaynaklanan birtakım işletme hatalarının neden olduğu arızalarda bunlara eklenir. Bu arızaların nasıl geliştiği ve makinanın sağlığını nasıl etkilediği, belirli periyotlarda alınan ölçüm sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılması

sonucunda ortaya çıkar. Bu olay, kestirimci bakımda (predictive maintenance), trend izleme olarak adlandırılır[17].

Trend grafikleri, yatay ekseninde ölçüm periyodu dikey ekseninde ölçüm değeri şeklinde oluşmaktadır. Statik limitler; Alarm C ve Arıza D şeklindedir. Bu statik limit değerler ISO 10816 gibi standartlardan yada makina imalatçılarından alınabilir. Dinamik limitler; uyarı B şeklindedir. Kendi içinde B_r (referans uyarı limiti) ve B_s (istatistiksel uyarı limiti) olarak ikiye ayrılır. Alarm limiti olarak genelde 4 tip uyarı seviyesi belirlenir Tablo 4.1.

Tablo 4.1 Alarm uyarı seviyeleri

A	Erken uyarı başlamıştır.	Sonraki ölçümde izlenir.
B	Erken uyarı limiti aşılmıştır.	Arıza başlayabilir. Kontroller sıklaştırılmalıdır.
C	Arıza uyarısı başlamıştır.	İlk planlı duruşta müdahale edilmelidir.
D	Arıza limiti aşılmıştır.	Acil duruş yapılarak müdahale edilmelidir.

Bir referansa göre uyarı limiti; ölçülen frekans bandına karşılık gelecek sayısal değer (f_1-f_2) frekansları arasında kalan spektrum eğrisinin altında kalan alan) önceden belirlenmiş bir yüzde ile çarpılması şeklindedir. Örneğin, bu frekans bandındaki değişimin yüzde elliye aşması durumunda uyarı alarmı istenirse o zaman bu çarpan 1.5 olacak, referans ölçülen değer 1.5 ile çarpılarak B_r uyarı limiti belirlenecektir. Kullanıcı ister ise ileride bu referans ölçümü değiştirebilir, yada belli bir ölçüm sonrası ortalama değeri referans olarak atar.

Buradan anlaşılacağı üzere, ilk ölçüm makinanın tam arıza gelişimi sırasında alınmış ise; B_r uyarı limitinin, alarm C yada arıza D sınırının üstünde çıkmasına neden olabilir. B_r normal olarak C 'nin altında olması beklenirken C 'nin üstünde olabilir. Bu durumda, alarm sınırı ötelenmiş olur. Yeni sınırlar ikinci ölçümde eğilimin hızla arttığı izlenimi oluşturur ve makinada bir onarım uygulama kararı alınır. Fakat bu durum daha sonraki ölçümler için daha duyarsız bir izlemeyi doğurur. Bu onarımdan sonra alınacak ölçüm referans değer olarak alınınca B_r uyarı sınırı C sınırının altına

inecektir. Duyarlı ölçümler için bu nokta bilinerek B_r 'nin hesaplanmasında katsayı tekrar gözden geçirilmelidir.

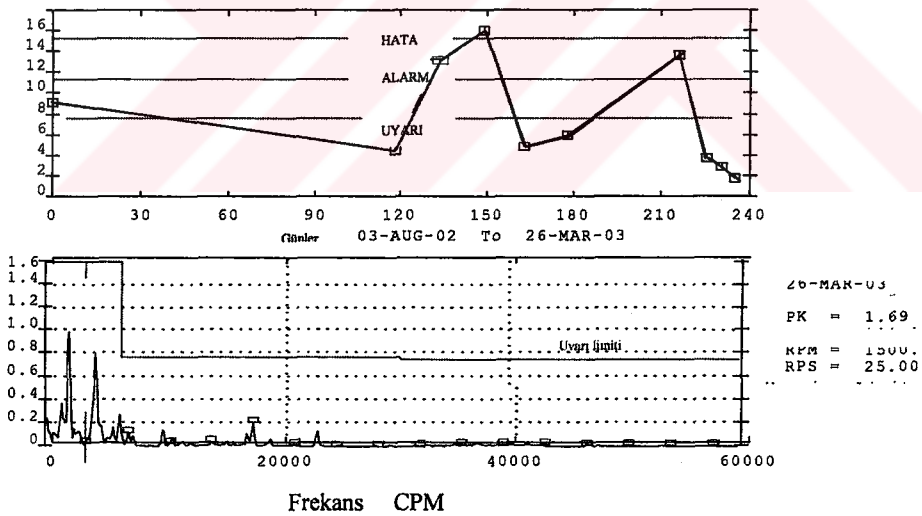
Diğer bir uyarı limiti, B_s istatistiksel uyarı limitidir. Bu uyarı limitinin belirlenebilmesi için istatistiksel ortalama değer ve standart sapmadan faydalanılmaktadır. İstatistiksel yaklaşım, makine sağlığının kavranması için belli sayıda ölçümlerin alınıp izlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kıyas için minimum 2 grafiğin yeterli olması düşünülebilir. Ancak arıza teşhisine yönelik mantıklı istatistiksel yaklaşımda minimum 3 ölçüm hedeflenmeli, artışın bir süreklilik içerip içermediği incelenmelidir. Bir arıza var ise 3 ölçümde artış eğiliminde olmalıdır. Buna karşılık makine sağlığını tam olarak kavrayabilmek için minimum 12 ölçüm hedeflenmelidir. Onun için sağlıklı alarm değerlerinin belirlenebilmesi için 12 ölçümün tamamlanması beklenir. Ortalamaların standart sapma değeri aşılsa, B_s istatistiksel uyarı limiti olarak alınacaktır. Bu yöntemle belirlenen alarm limiti, sistemin kendi gerçeğini yansıtacağından en geçerli alarm tipi olacaktır. Sistem hangi uyarı limiti B_r yada B_s önce gelirse onu B uyarı alarmı olarak tanıyacaktır.

Sadece genel değer trendi izlenmesi yeterli değildir. Arıza kaynaklarına yönelik frekans bandlarının trendleri de izlenmelidir. Bu uygulama, kestirimci bakımı diğer bakım türlerinden ayıran uygulamadır.

Örneğin; 1*RPM frekansı balanssızlık sorununu işaret eder. Periyodik ölçümde balanssızlık trendi izlenecek ise, 0.8 - 1.2*RPM frekansları arasında kalan tepecik altında kalan alan sayısal olarak izlenir. 2*RPM frekansı kasıntı-eksenel kaçıklık anlamına gelecektir. Küme - bölge olarak 1.2-2.5*RPM frekans bandı sayısal olarak bu amaç için izlenebilir. Trend analizi, hızlı şekilde makinalarda gelişen arızaların ayrıştırılmasına yardımcı olur. Yüzlerce spektruma arka arkaya bakmak yerine, sadece trendi artan noktaları incelemek, harcanacak zamanın en efektif şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Her arıza olasılığına göre izlenecek frekans bandı trendi, kendisi arızayı ifade edebilecektir.

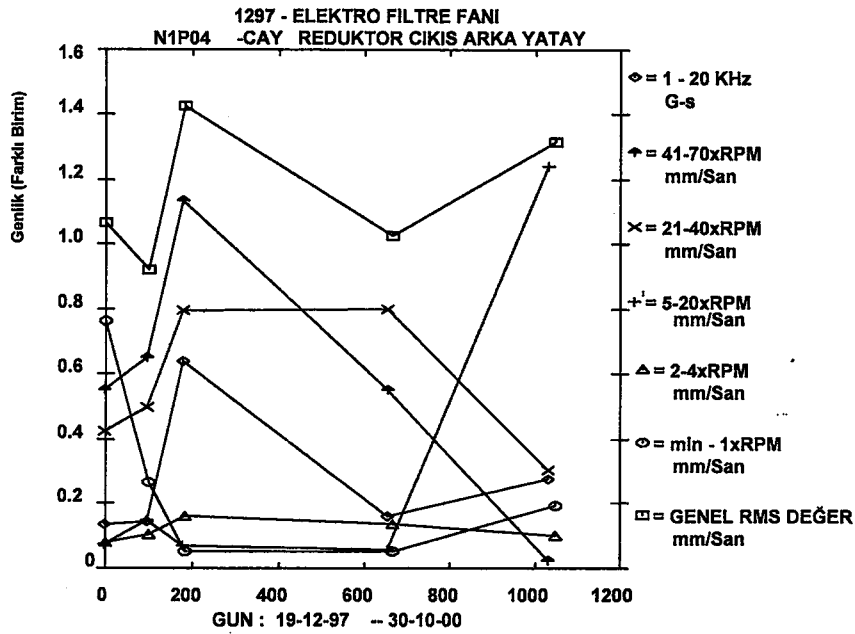
Sadece genel değerin trendinin izlenmesi yeterli olmamaktadır. Örnek olarak rulman arızlarından oluşan tepecikler, genel değerde belirgin artışa neden olmamaktadır. Buna karşın rulman arıza frekansı trendi tek başına izlenir ise, genel ölçüm trendinde bir artış olmadan da rulman arızası belirlenebilir. Trendde ilgilenilecek frekans bandlarındaki tepeler, spektrumdaki maksimum frekans ile sınırlı değildir. Eğer daha yüksek frekans değerlerine kadar ölçüm aralığımızı artırdığımızda da yeni tepeler gözlenebilir.

Makina arızalarının zamanla artma eğilimi göstermesinden dolayı, trendlerde hep artış beklenir. Ancak proseste bir değişkenlik var ise, yükte azalma yada artış, devirde değişim gibi değerlerde düşmeler olabilir Şekil 4.5. Titreşim değerinin düştüğü bir durumda, yükteki ve devirdeki değişkenlik izlenmelidir. Düşmeler ve artışlar bu nedenle oluşur. Kimi arızalarda örneğin rulman gibi, kimi frekans bandlarında trend artarken birden düşüşe geçebilir. Buna karşın diğer bir frekans bandında hızla artış oluşur. Dişlilerin alıştırma sürelerinden sonra da iyileşme gözlenebilir.



Şekil 4.5 Trend eğrisi ve spektrum grafiği

Sistem çoklu trendle izlenmelidir Şekil 4.6'da bir makinanın değişik frekans aralıklarındaki değerlere ait eğriler görülmektedir. Yüksek değişimlerin görüldüğü bölge seçilerek, zaman içindeki değişime trend grafiği ile bakılır[16],[17].



Şekil 4.6 Çoklu trend grafiği

Trend izlemede, ISO normlarına uygun olan titreşim ölçme cihazları, 10 Hz- 1000 Hz aralığındaki titreşim sinyallerinin bütün değerlerini sayısal olarak okurlar. Bu sayıların standartlara göre büyüklüğü makinanın durumu hakkında genel bir fikir verir. Okunan sayısal değerler, önceden belirlenen değerlerle karşılaştırılarak sürecin ne yönde olduğu belirlenir. Süreç, artma eğiliminde ise, daha sık ölçü alınması ve daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir.

4.3. Arıza Tipleri

- Balanssızlık
- Eksenel ayarsızlık, kasma, kasıntı
- Mekanik gevşeklik
- Dikey pompada mekanik gevşeklik
- Rulman hasarları
- Dişli hasarları
- Kaymalı yatak arızaları
- Elektriksel problemler
- Kayış kasnak sistemleri vs.

4.3.1. Balanssızlık (Dengesizlik)

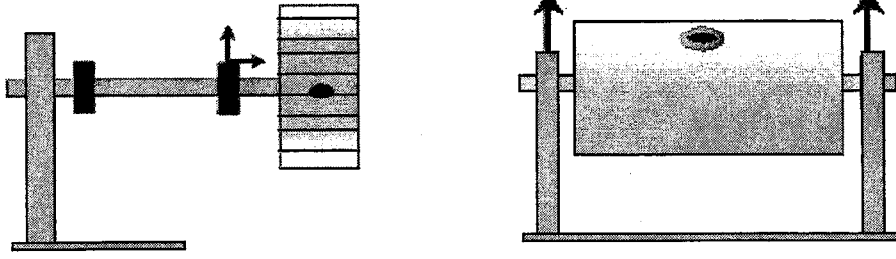
Dönen makinalar üzerinde oluşan dengelenmemiş kuvvetler şiddetli titreşim yaratarak taşıyıcı gövdeyi ve temellerini zorlarlar. Dengelenmemiş kuvvetler kendilerini devir hızında ortaya çıkarır ve radyal doğrultuda etkiye yol açarlar. Dengeleme (balans) işlemi basit anlamda, makina üzerindeki dengelenmemiş kütlenin, karşı bir dengelenmemiş kütle ile dengelenmeye çalışılmasıdır.

Makinalarda meydana gelen arızaların temel nedenlerinden biri kütle dağılımı dengesizliği (balanssızlık) diğeride, eksenel ayarsızlıktır. Bu amaca yönelik olarak kullanılacak cihazlar, rulman ve salmastra (yumuşak yada mekanik türleri olup sızdırmazlık sağlayan parçalar) ömrünü uzatacak, enerji tasarrufu sağlayacak ve duruş arıza sürelerini kısıltacaktır.

Dönen cisimlerde cismin ağırlık merkezi dönme eksenini üzerinde değilse, balanssızlık problemi oluşur. Bir başka ifade ile ağırlık merkezi ile geometrik merkezin aynı olmaması, balanssızlık meydana getirir. Balans bozukluğu, mekanik problemler içinde önemli bir yer tutar. Meydana geliş sebebi, geometrik merkez hattı ile milin kütle merkez hattının birbiriyle çakışmamasıdır.

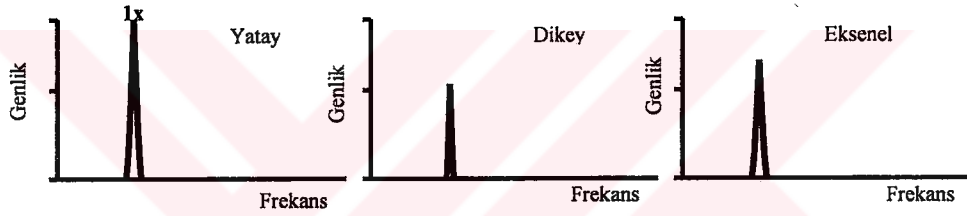
Statik balanssızlık durumunda iki yataktaki titreşim aynı fazda ve sabittir. Titreşim genliği devrin karesiyle orantılı olarak artar. 1n dev/dak spektrumunda her zaman mevcuttur ve baskındır. Rotor ağırlık merkezine koyulacak tek bir balans kütlesi ile düzeltilebilir.

Tek taraftan yataklanmış ve yataklar arasındaki makineler Şekil 4.7 de görülmektedir. Tek taraftan yataklanmış makinelerde, rotor balanssızlığı, 1n dev/dak'da hem radyal hem de eksenel yönlerde yüksek titreşimler gözükür. Tek taraftan yataklanmış rotorlar genellikle hem dinamik hem statik balanssızlık gösterirler, dolayısıyla her ikisinin de düzeltilmesi gerekir.



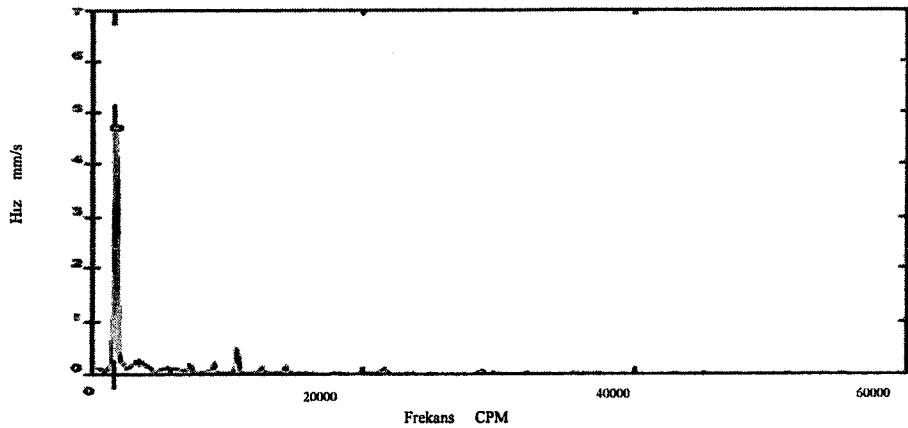
Şekil 4.7 Tek taraftan yataklanmış ve yataklar arası makineler için balanssızlık etkilerinin doğrultularının şematik gösterimleri

Tek taraftan yataklanmış rotorlar için titreşim sinyalinin belirgin özellikleri; Radyal ve eksenel ölçümlerde, $1 \times \text{RPM}$ de yüksek tepecik verir. Harmonikler çok düşüktür veya hiç yoktur Şekil 4.8.



Şekil 4.8 Tek taraftan yataklanmış rotorlar için balanssızlık spektrumları[18]

İki yatak arasındaki makinalar için titreşim sinyalinin belirgin özellikleri; Radyal ölçümlerde, $1 \times \text{RPM}$ de yüksek tepecik verir. Eksenelde de $1 \times \text{RPM}$ genliği diğerlerine nazaran yüksektir. Harmonikler çok düşüktür veya hiç yoktur Şekil 4.9.



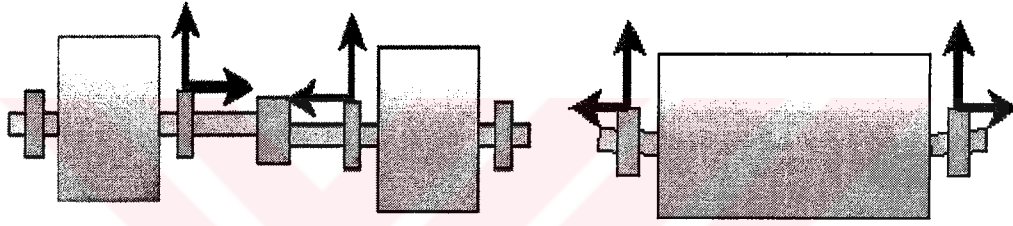
Şekil 4.9 İki yatak arasında çalışan makinalar için balanssızlık spektrumu

Balanssızlığa genellikle makine parçalarının uyumsuzluğu, malzeme birikmesi, aşınma, kırılmış veya kopmuş parçalar neden olabilir[13],[15],[16],[18],[34].

4.3.2. Eksenel ayarsızlık, kasma, kasıntı

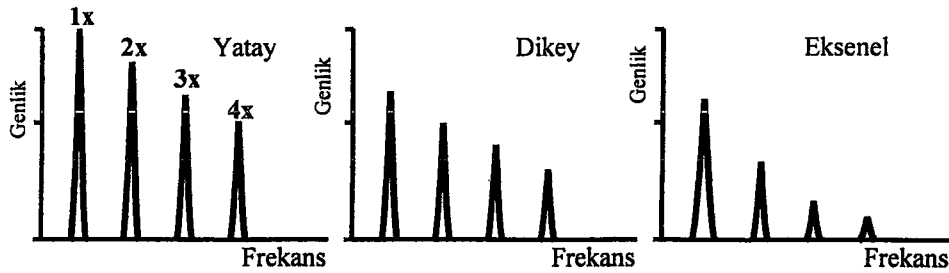
Nedenleri olarak, açısal kaçıklık, eksantriklik (off-set), kaymalı yatak ayarsızlığı, rulman yataklama hatası, kasnak milleri ayarsızlığı vb. sayılabilir.

Bu nedenlerden açısal kaçıklık, yüksek eksenel titreşim ve kaplinin iki tarafında 180° faz farkı ile kendini gösterir Şekil 4.10.



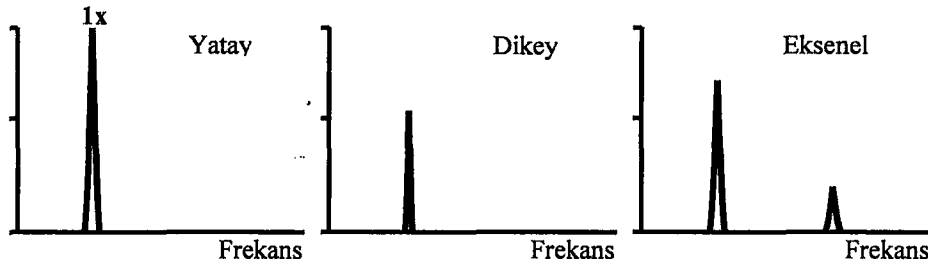
Şekil 4.10 Paralel eksen kaçıklığı ve eğik şaft etkilerinin doğrultularının şematik gösterimleri

Bir diğer neden paralel eksen kaçıklığında, titreşim sinyalinin karakteristik özellikleri; Eksenel ve radyal ölçümler arasında 180° faz farkı vardır. 180° 'ye varan faz farkı yüksek radyal titreşimler oluşturur. Radyal ölçümlerde 1*RPM, 2*RPM' de bazen de 3*RPM 4*RPM' de yüksek tepecikler oluşur. Eksenel doğrultudaki titreşimler de 1*RPM' de yüksek genlikler meydana gelir. Eksenlerin kaçıklığı kontrol edilmelidir Şekil 4.11.



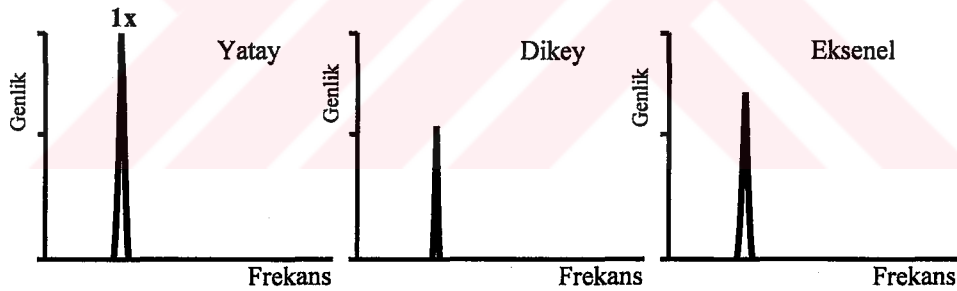
Şekil 4.11 Paralel eksen kaçıklığı spektrumu

Eğik şaftın karakteristik özellikleri ise; radyal ölçümlerde $1 \times \text{RPM}$ ' de yüksek genlik, aksel ölçümlerde bazen $2 \times \text{RPM}$ ' de genlik görülür. Şaft kontrol edilmelidir Şekil 4.12.



Şekil 4.12 Eğik şaft spektrumu

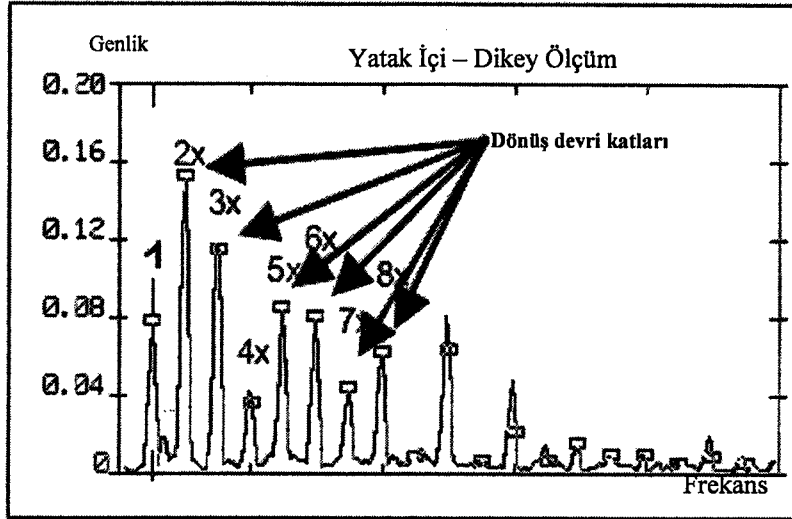
Yatak kaçıklığı karakteristik özellikleri; Radyal ve aksel ölçümlerde $1 \times \text{RPM}$ ' de yüksek genlik, görülür. Bu durum balanssızlık etkisi oluşturmaktadır. Yatakların uyumluluğu kontrol edilmelidir Şekil 4.13.[13],[15],[18],[34].



Şekil 4.13 Şaft veya mil yatağı kaçıklığı spektrumu

4.3.3. Mekanik gevşeklik-çözülme

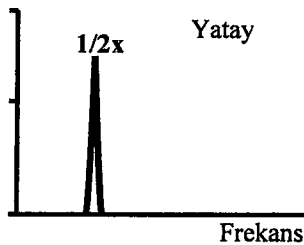
Dönüş devri katlarında (1-8) harmonik tepecik ailesi mevcut ise bağlantılarda mekanik gevşeklik olasılığı vardır. $2 \times \text{RPM}$ ' de yüksek tepecik verir Şekil 4.14.



Şekil 4.14 Dönüş devri katlarındaki gevşeklik spektrumları

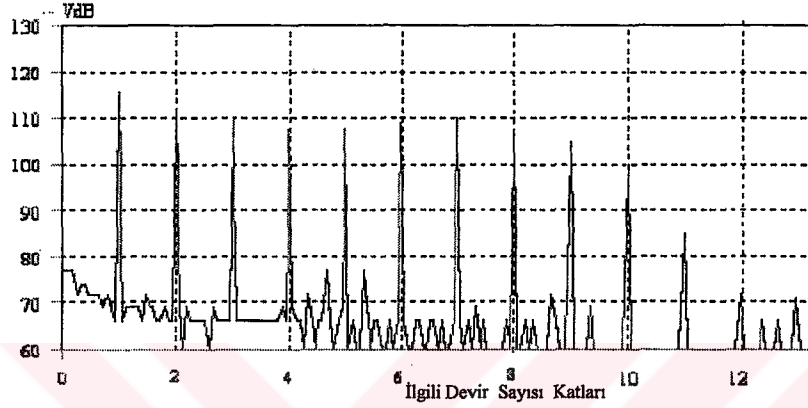
Dönen kısımların yataklarında çözülme; Dönüş devri yarı katlarında tepecikler alınıyor ise, genlik şiddetine bakılmaksızın dönen kısımda mekanik çözülme sonucuna gidilmelidir.

0.5*RPM' de tepecik; Dönen kısımda mekanik çözülme içinde değerlendirilir. Eğer shaft üzerinde serbest dönen bir ring, halka, kanat varsa bu elemanlar hasar görmüş, yoksa, rulman iç bilezik dönmesi olabilir. Rulman iç bilezik dönmesi yatak sıcaklığını artırarak kendini belirginleştirir. Geç kalınırsa rulman kilitlenmesine, elektrik motorlarında motor yanmasına neden olur Şekil 4.15.



Şekil 4.15 Mekanik gevşeklik spektrumunda 0.5*RPM harmonikteki görüntü

Faz farkı genellikle düzensizdir ve bir ölçümden diğer ölçüme büyük miktarda değişim gösterir. Bu özellikle, gevşek elemanın çalıştırmalar esnasında yer değiştirmesinden kaynaklanabilir. Mekanik gevşekliğin titreşimi, yöne çok bağlıdır ve bir rulman üzerinde 30 derecelik farklarla alınan ölçümlerde büyük farklar bulunabilir. Gevşeklik aynı zamanda alt harmonik katlarında titreşimlere de neden olabilir ($1/2$, $1/3n$ dev/dk veya $0,5n$, $1,5n$, $2,5n$ dev/dk gibi) Şekil 4.16.

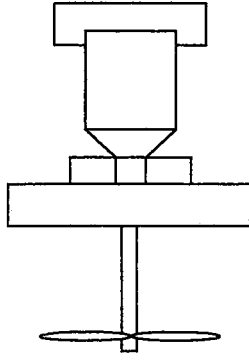


Şekil 4.16 Mekanik gevşeklik spektrumunda alt harmonik görüntüleri

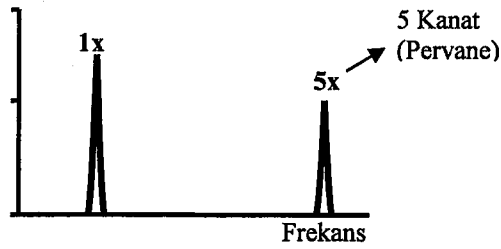
Titreşim sinyalinin belirgin özellikleri: Çok sayıda harmonik vardır. Dönüş devrinin alt harmonikleri de $[(0-1)*RPM \text{ bölgesinde}]$ mevcut olabilir. Yarı harmonik $(0.5-1.0-1.5-2.0-2.5-3.0-3.5 \dots)*RPM$ sinyaller de olabilir. Üç doğrultudaki ölçümler arasında genlik farklılıkları vardır[13],[17],[18],[34].

4.3.4. Pompalarda mekanik hasarlar

Yapılan tespitler; Hasarlar genelde $1*RPM$ frekansında radyal da algılanır. Kasıntı ve diğer problemler ikinci planda kalmaktadır. Problemler genelde $1*RPM$ frekansında etkin olmaktadır. Hedef pompanın ömrünü uzatmaktır. Dikkatlice teşhis yapılmalı ve maliyeti yüksek olabilecek onarımla gereksinimlerinde dikkatli olunmalıdır. Pompalarda bir sorun olduğunda, kanat sayısı ile dönüş devri frekansının çarpımı katlarında tepecik beklenmektedir. Örneğin Şekil 4.17'deki dikey pompanın beş kanatlı olduğu farz edilirse $5X$ frekansında arıza sinyali görülecektir Şekil 4.18.



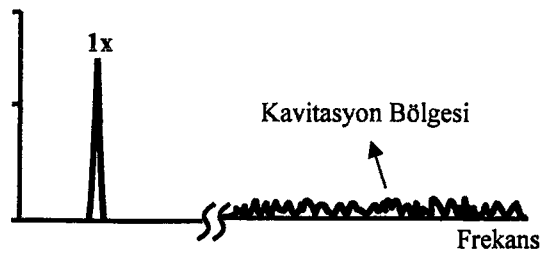
Şekil 4.17 Dikey pompa



Şekil 4.18 Kanat sayısı 5 olan pompaya ait tipik arıza spektrumu

Ancak, yönlendirici kanat var ise; sabit kanat sayısı*yönlendirme kanat sayısı*RPM frekansında tepecik görülmektedir. Kimi pompalarda bu dizayn hatası olarak sürekli kalıcı akışkanlar mekaniği sorunu şeklinde görülmektedir. Zaman ile bu tepecik türer ise, yönlendirme kanatları kontrol edilmelidir.

Pompalarda (santrifüj) en sık rastlanan olaylardan biride kavitasyon olayıdır. Kavitasyon olayı pompalarda yüksek titreşimler ve sonucunda da hasarlar meydana getirmektedir. Kavitasyon sonucu oluşan arızalar yüksek ve geniş (yaklaşık 1 kHz) frekans aralıklarında meydana gelmektedir. Burada da radyal de 1*RPM frekansında yüksek genlik görülür. Yüksek frekanslarda da rasgele arıza titreşimleri kendini gösterir Şekil 4.19.



Şekil 4.19 Santrifüj pompa ve tipik arıza spektrumu

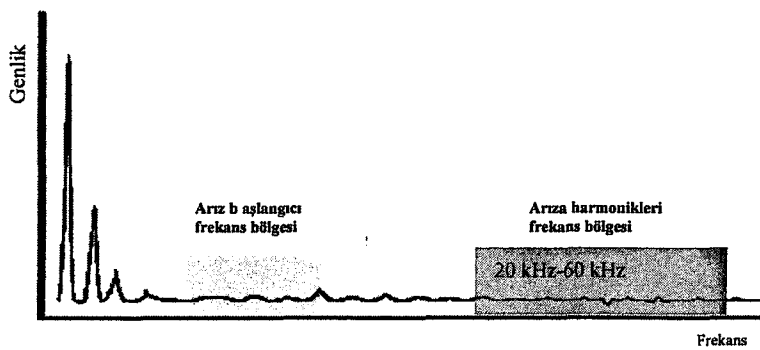
Bu frekans bölgesindeki genliklerin görüntüsü ile tanımlı bir titreşim ifade edilemez. Bu durum sargı ve rotor sıcaklığını 90°C veya üzerine çıkmasına sebep olabilir ve sargılar kavrulma noktasına gelir. Rulmanlar gres yağlamalı ise gres akıcı hale gelir ve akar. Rulmanda yağsızlık oluşur, bunun neticesinde rotorun sıcaklığı artar, rotorda genleşme meydana gelir, rulman ve gevşeklik frekanslarındaki piklerde değişimler oluşur. Bu değişim spektrumunda ve dalgaformlarda belirgin olarak görülür. Uygun ölçme periyodu ve termal kamera ile böyle bir sonuç engellenebilir.

Mekanik gevşeklik: Bu arıza eksen doğrultusundan alınan ölçüm sonucunda; $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$ frekansında tepe görünür. Eğer $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$ deki tepecik $1 \times \text{RPM}$ frekansındaki tepenin yarısını geçerse, mekanik gevşeklik problemi vardır diyebiliriz [5],[18],[34].

4.3.5. Rulman arızaları

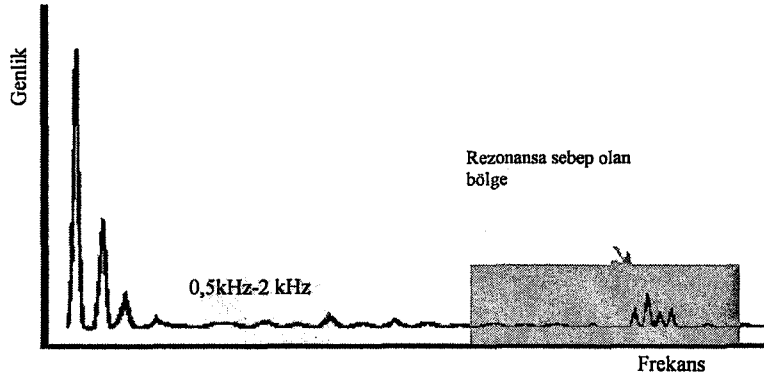
Arıza başlangıcında spektrumun düşük frekans bölgesinde sinyaller görülür. Fakat bunu rulman arızası olarak yorumlamak zordur. İleri arıza durumunda sinyaller yüksek frekans bölgesinde de gözüktür. Bu andan itibaren; Rulman hasarlarının belirtilerinin izlenmesinde dört aşamayı tanımlayabiliriz.

1. Rulman hasarlarının ilk belirtileri 20 kHz- 60 kHz gibi ultrasonik frekanslarda görünür Şekil 4.20.



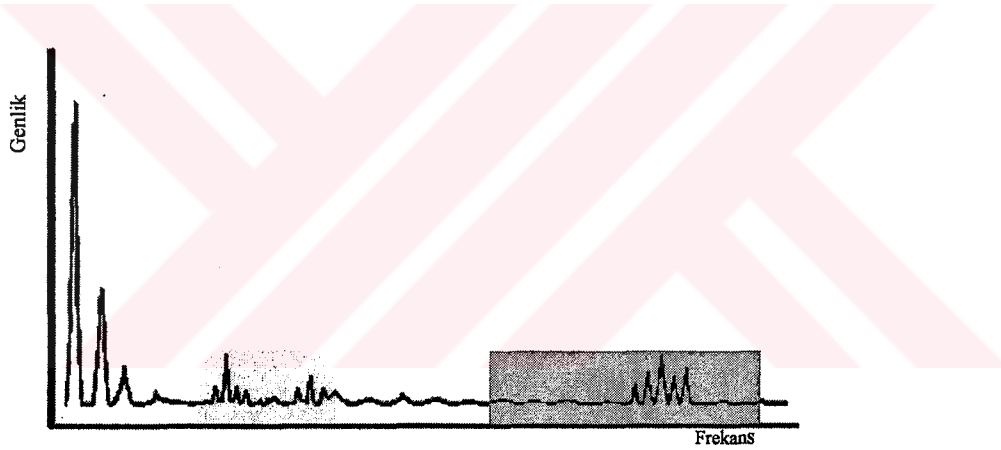
Şekil 4.20 Rulman hasarlarının ilk belirtileri

2. Rulman elemanlarının (bilya, kafes, bilezik) geçiş frekansları olan 500 Hz – 2000 Hz de belirtiler netleşir Şekil 4.21.



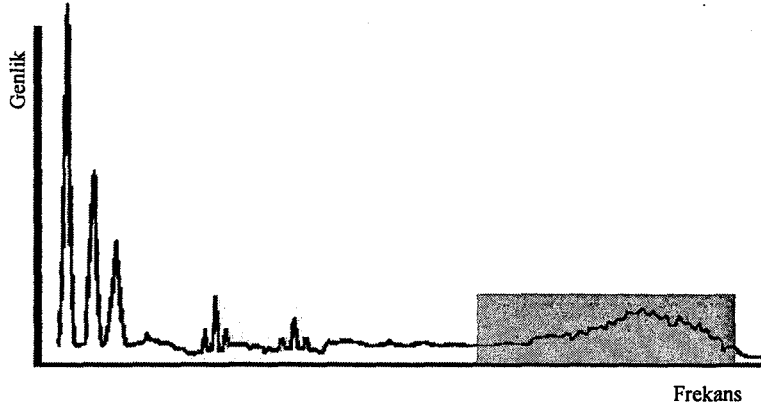
Şekil 4.21 Rulman elemanlarının ileri frekanslardaki harmoniklerinin gözükmesi

3. Rulman hasar frekansları ve harmonikleri yan bantları ile görülmeye başlar. Özellikle yan band oluşumları rulman hasar frekanslarına eşlik ettiği zaman hasar gözle görülür seviyeye gelmiş demektir. Bu aşamada rulman değiştirilmelidir Şekil 4.22.



Şekil 4.22 Rulman hasar frekansları ile harmoniklerinin yan bantlarıyla gözükmesi

4. Dönen elemanların yüksek dönme hızlarında tepeler daha fazla yükselir. Bu hızlarda rulman hasar frekansları artık dağınık ve geniş band gürültü frekansları görüntüsündedir Şekil 4.23.



Şekil 4.23 Dönen elemanların yüksek çalışma hızlarındaki spektrumu

Bu aşamadan sonra, rulman elemanlarının arızalarının geçiş frekanslarının izlenmesi gerekmektedir. Rulman elemanların arıza izleme frekansları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir;

Kafes $FTF = f/2 [1-(Bd/Pd)\cos\theta_k]$

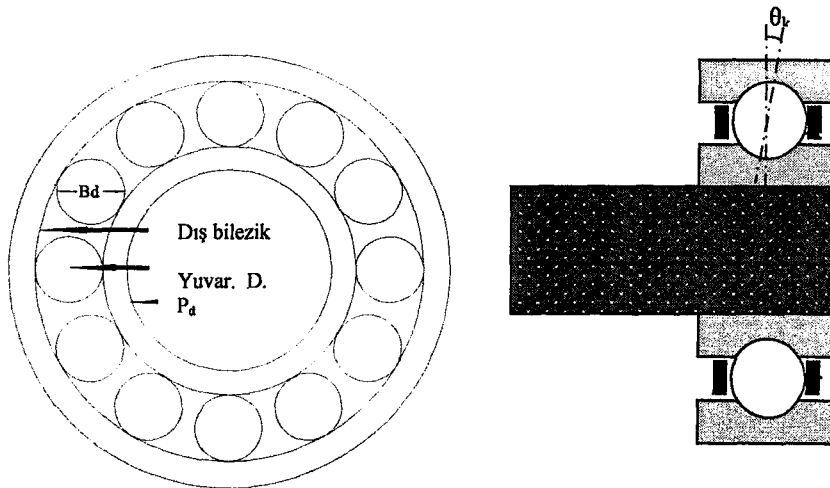
İç Bilezik $BPFİ = f(Nb/2)[1+(Bd/Pd)\cos\theta_k]$

Dış Bilezik $BPFO = f(Nb/2)[1-(Bd/Pd)\cos\theta_k]$

Bilya $BSF = f(Pd/2Bd)[1-(Bd/Pd)\cos\theta_k]$

Bd : Bilye çapı; Pd : Yuvarlanma dairesi çapı (Pitch diameter)

Nb : Bilya veya yuvarlanan eleman sayısı; θ_k : Kontak açısı; f : RPM/60 (Hz)



Şekil 4.24 Rulman kesit ve montaj resmi

Titreşim sinyallerinin karakteristik özellikleri:

- Frekanslar rulmanın geometrik özelliklerine ve şaft hızına bağlıdır.
- Rulman elemanlarının arıza frekansları, matematiksel olarak hesaplanabilir.
- BPFI iç bilezik arıza işareti $4n$, $16n$ dönme devri frekansı arasında olacaktır. Göreceli olarak tepecik şiddetleri düşüktür. Yan bandları vardır.
- BPFO dış bilezik arıza işareti $2n$, $10n$ dönme devri frekansı arasında olacaktır. Tepecikler yüksek oluşur. Yan band oluşmaz.
- İç bilezik arıza sinyalinin genliği, dış bileziğinkinden küçüktür.
- Dalgaform grafiği önemli ipuçları verir. Bu nedenle spektrum ile dalgaform birlikte analiz edilmelidir.
- Spektruma g's ivme birimi ile bakılması yerinde olur.
- Dalgaformu grafiğinde g's değerlerinin 2 g's sınırını aşmaması öngörülür. Desen tanı imkanı verir. RMS tepe ile Pik tepe arasındaki farkın yükselmesi arızanın ilerlediğini gösterir.
- Crest faktörün artışı rulman arıza işareti olacaktır.
- Rulman arızası ilerledikçe, titreşim sinyalinin algılanması zorlaşır. Bu nedenle rulmanlarda “erken teşhis” önemlidir.

Rulman arıza frekansları, rulman arızalarının detaylıca belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu bilgi olmaksızın da rulman arıza analizi yapılabilir. Bunun için ilk bakış yaklaşımı olarak:

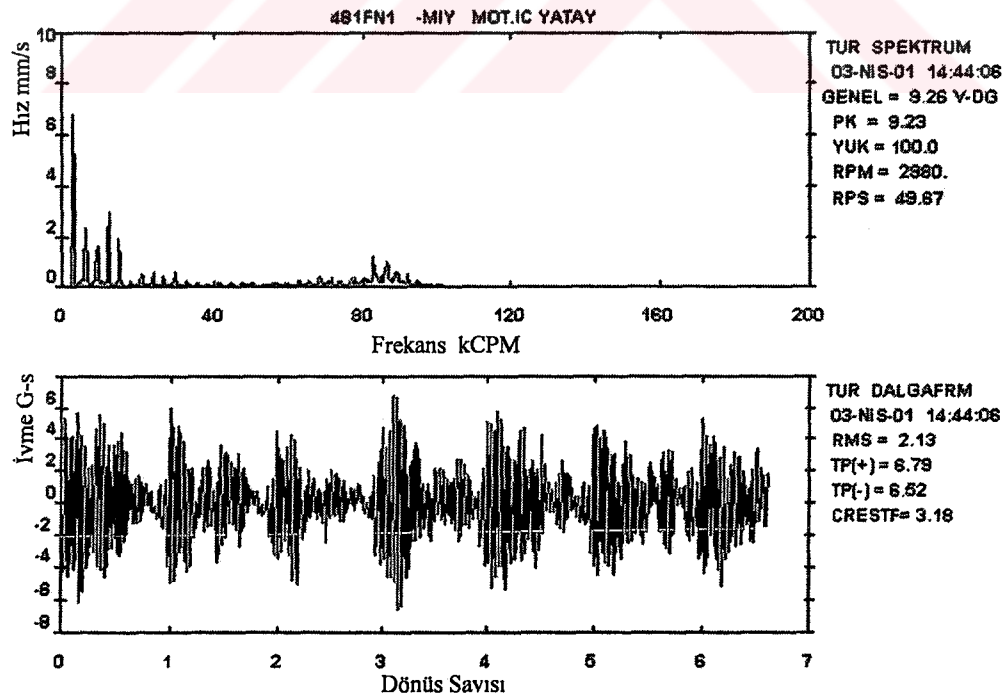
- Rulman arızaları mil dönüş devri frekansında görülmez
- FFT Spektrumda yüksek frekanslarda yaygın yükselmeler gözükür.
- FFT Spektrum kimi rulman arıza frekanslarını almamış olabilir. Bu nedenle rulman arızalarını daha net belirleyecek peakvue gibi metotlar geliştirilmiştir.
- FFT Spektrum tek başına yeterli değildir. Sadece matematiksel bir sonuçtur. FFT'de de sapsmalar olabilir. Olmayan tepecikler kayda alınmış olabilir yada yapısı nedeni ile olan fiziksel kaynaklar spektrumda görülmeyebilir yada farklı belirtiler gösterebilir.
- FFT Spektrum analizinde maksimum frekansı yeterli olmadığı için rulman arızası işaretleri kapsama alanı dışında kalabilir.

- Şekil 4.25’de rulman arızasına işaret eden dalgaform ve spektrum grafiği verilmiştir. Bu grafikler incelenecek olursa;

Dalgaformu grafiğinde, her turda bir temel vuruntu ve sönümleme var. RMS değeri (2.13 G-s) beklenen değerlerin üstünde, +6.70 g's pik ve -6.52 g's pik salınımı çok yüksek ve +pik ile RMS arasındaki fark 4.57 dir.

Dalgaformuna bakıldığında, rulman arızası işareti gibi görünüyor. Çünkü her turda tekrarlayan birçok vuruntu görülmektedir. Ancak bunu netleştirmek için spektrum grafiğine bakılmalıdır.

Spektrum grafiği, mekanik gevşeklik desenini vermekte. Ancak mekanik gevşeklik olabilmesi için harmoniklerinde gözükmesi gerekir. 80-100 kCPM bölgesindeki zeminde kabarması dönüş devrinin yaklaşık 30 katı bölgesinde bulunmaktadır. Daha kararlı sonuç için, çoklu spektrum ile geçmişi görmek, 1-20kHz bandı trendine bakmak yararlı olacaktır. Rulman arızasını daha net inceleyebilmek için PeakVue veya benzer analizler yapılmalıdır[13],[15],[16],[17],[18],[34].

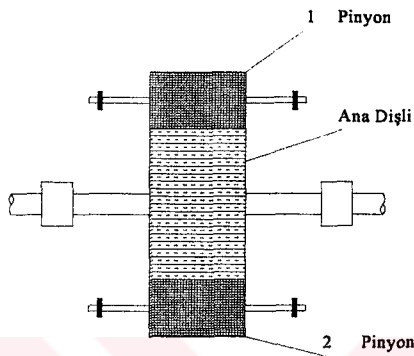


Şekil 4.25 Rulman arızasına örnek dalgaform ve spektrumu

4.3.6. Dişli arızaları

Kompleks ve belirlenmesi zor bir arıza türüdür. Dişli arızaları (rulmanlar gibi) düşük genlikli, yüksek frekanslı titreşim üretirler. Arıza sinyalleri genellikle “dişli çalışma frekansının” yan bandlarında gözükür.

Dişli Çalışma Frekansı ($GMF \equiv DCF$) = Diş sayısı * Dönme devri



Şekil 4.26 Ana dişli ve pinyon dişliler

Örnek Olarak:

Döndüren dişli:	Diş sayısı	$N = 526$
	Devir sayısı	$n = 3600 \text{ RPM (60 Hz)}$
	Dişli Çal. frekansı	$GMF = 256 * 60 = 15360 \text{ Hz}$

I. Pinyon diş sayısı $N_1 = 38$

II. Pinyon diş sayısı $N_2 = 21$

Diş sayıları oranı $N_1/N = 38/256 = 0.1484$

$N_2/N = 21/256 = 0.0820$

Pinyon devir sayısı = Döndüren dişli devir sayısı/diş sayıları oranı

I. Pinyon devir sayısı = $60 \text{ Hz} / 0.1484 = 404 \text{ Hz}$

II. Pinyon devir sayısı = $60 \text{ Hz} / 0.0820 = 731 \text{ Hz}$

Spektrum grafiğinde yan bandlar;

- 60 Hz aralıklarla yerleşmiş ise, sorun ana dişlidedir, (döndüren dişli ana)
- 404 Hz aralıklarla yerleşmişlerse, sorun I. pinyon dadır,
- 731 Hz aralıklarla yerleşmişlerse, sorun II. pinyon dadır şeklinde yorumlanır.

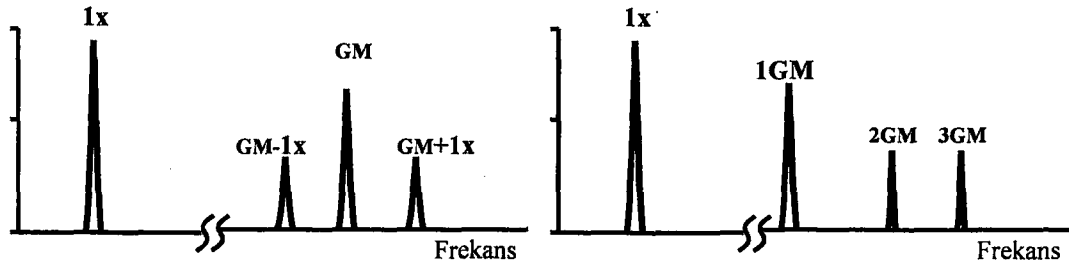
Spektrum, dişli çalışma frekansı (DÇF) ile birlikte $1n$ ve $2n$ devir/dk 'da genlik gösterir. DÇF genellikle, dönme hızı yanbandlarıyla birlikte görülür. Tüm zirveler düşük genliktedir ve dişlilerin doğal frekansları ile çakışmaz.

Dişli aşınması: Dişli aşınmasının göstergesi; arızalı dişlinin dönüş hızı etrafında, DÇF 'nın yanbandlarında tepelerin gözükmeye başlaması şeklindedir. Aşınma ve yanband genlikleri arttığı halde DÇF'ndaki genlik artmayabilir. Yanband frekansları DÇF'den daha iyi bir aşınma göstergesi olabilir.

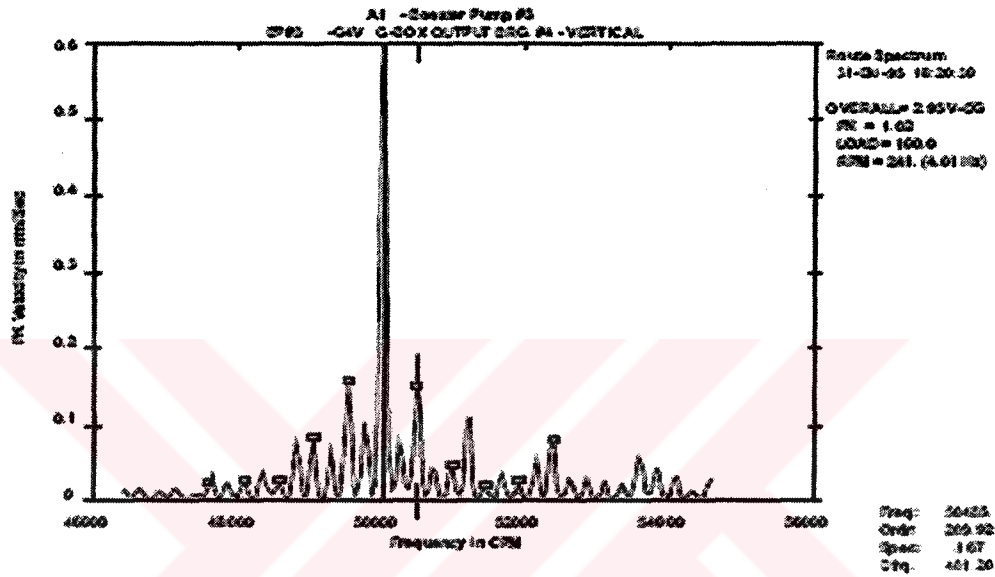
Dişli titreşim sinyallerinin karakteristik özellikleri Şekil 4.27 (DÇF≡ GMF);

1. Balanssızlık : Baskın pik $1 \cdot \text{RPM}$ de görülür.
2. Eksenel ayarsızlık : Baskın pik $1 \cdot \text{RPM}$, $2 \cdot \text{RPM}$ de görülür. GMF piki yüksek olabilir.
3. Dönme dairesinden kaçıklık : GMF'de $\pm 1 \cdot \text{RPM}$ aralıklarla yerleşmiş yanbandlar görülür.
4. Diş arızası : Dişli gruplarında, hangi dişli çark üzerinde kırık var ise, o çarkın dönüş devri frekansı, GMF frekansının etrafında yan band olarak görünür Şekil 4.28.
5. Çevirme veya çevrilme hatası : $1 \cdot \text{GMF}$ de ve GMF' nin katlarında pikler görülür

Düz dişliler radyal yönde, helisel dişliler ve çavuş dişliler ise eksenel yönde daha çok titreşim üretirler[13],[15],[17],[18],[34].



Şekil 4.27 Hasarlı dişli spektrumu ve DCF etrafındaki yanband görüntüsü



Şekil 4.28 Dişli sinyali bulunan bir spektrum örneği

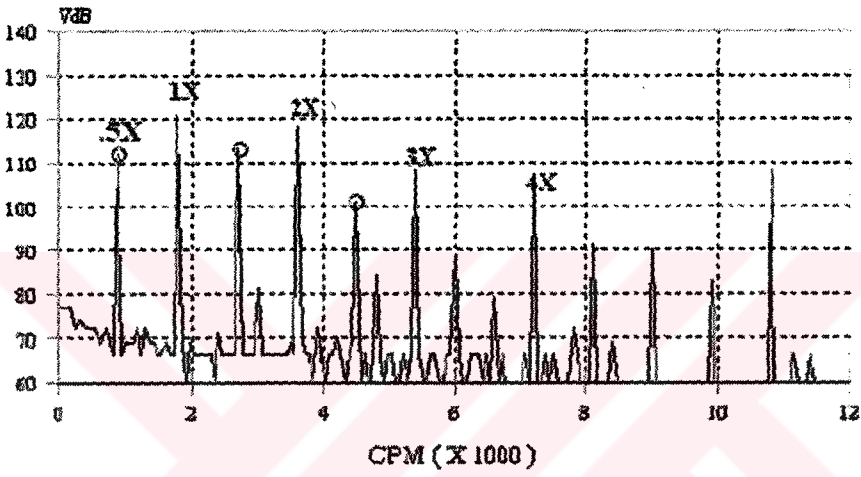
4.3.7. Kaymalı yatak arızaları

Titreşim sinyallerinin karakteristik özellikleri;

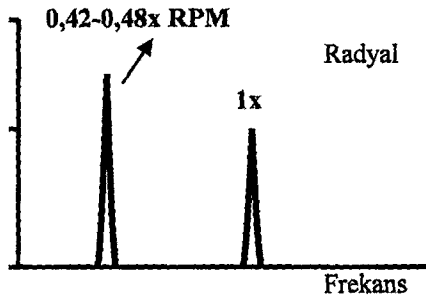
- 1*RPM de yüksek pik ve belirsiz enerjiler Şekil 4.29.
- Yatak boşluğunun fazla olması durumunda:
 - 2*RPM, 3*RPM de pikler veya çoklu harmonikler Şekil 4.30.
 - Radyal yönlerde daha çok titreşim
- Yağ filmi kopukluğunda (0.42-0.48)*RPM de tepecik Şekil 4.31.



Şekil 4.29 Yüksek pik ve belirsiz enerjiler[18]



Şekil 4.30 Yatak boşluğunun fazla olması durumunda spektrum



Şekil 4.31 Yağ filmi kopukluğunda spektrum[18]

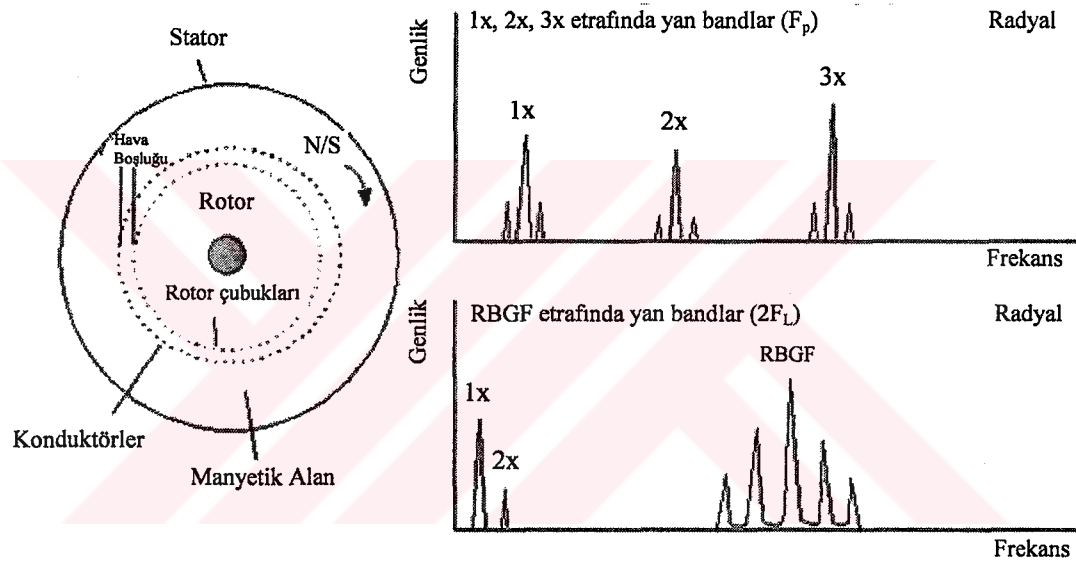
4.3.8. Elektriksel problemler

Rotor Problemleri: Kırılmış ya da çatlamış rotor kısa devre çubukları, rotor çubukları ile kısa devre çubukları arasındaki hatalı bağlantılar veya stator tabakalarında kısa devre; F_p (kısa devre çubuk frekansı) yan bandlarıyla birlikte dönüş hızında yüksek

titreşimler oluştururlar. Buna ek olarak, çatlak rotor barları çoğunlukla üçüncü, dördüncü ve beşinci dönüş hızı harmonikleri yanında F_p yanbandları oluşturur.

Gevşek rotor barları, rotor barı geçme frekansı (RBGF) ve harmonikleri yanındaki $2F_L$ (laminyasyon-tabaka frekansı) yan-bandları ile teşhis edilir. Genellikle $2*RBGF$ ' de büyük genlikli, $1*RBGF$ ' de küçük genlikli titreşimler oluştururlar Şekil 4.32. [16],[18].

$$RBGF = \text{çubuk sayısı} * RPM$$



Şekil 4.32 Rotor kesiti ve arıza spektrumları

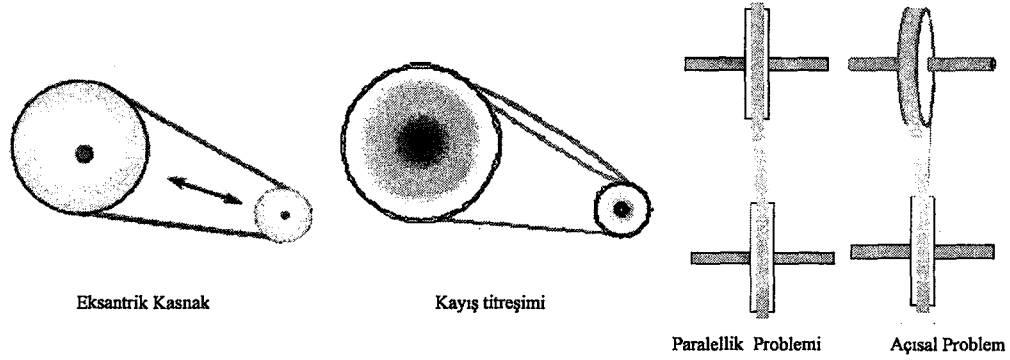
4.3.9. Kayış/Kasnak sistemleri

Kayış frekansı

$$KF = \pi * D_k * RPM / L_k$$

D_k : Kasnak çapı L_k : Kayış uzunluğu

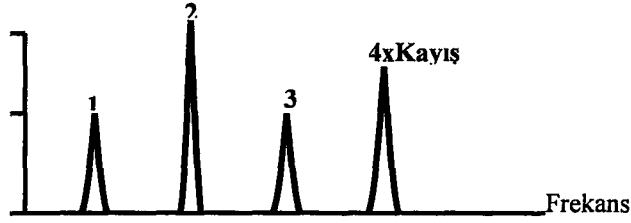
şeklinde tanımlanır. Bu frekans bölgesindeki sinyaller kayış kasnak arızaları hakkında bize fikir verir.



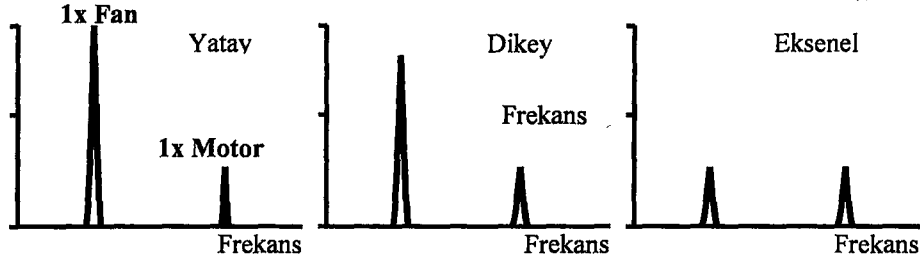
Şekil 4.33 Değişik kayış-kasnak hataları

Titreşim sinyallerinin karakteristik özellikleri;

1. KF senkron-altıdır.
2. Kayış problemleri genel olarak radyal yönde sinyaller üretir. Ancak, ciddi boyutta eksenel ayarsızlık veya yalpa varsa, eksenel titreşimler yüksek olabilir.
3. Genellikle 2^* , 3^* , ve 4^* RPM' de arızalar meydana gelir ve radyal ölçümlerde yüksek genlikli sinyaller görülür. Genellikle 2^*KF (kayış frekansında) en yüksek genlik meydana gelir. Eksenelde de yüksek genlikler görülebilir. Kayışlar, kayış veya kasnağın dönüş sayısının dışındaki doğal frekanslarda da rezonans halini gösterebilirler Şekil 4.34.
4. Çok kasnaklı tahriklerde baskın harmonik, hatalı noktanın çarptığı kasnak sayısına eşittir.
5. Gevşeklik, şaft hızı harmoniklerinde mekanik gevşeklik görüntülerine benzeyen sinyaller oluşturur Şekil 4.34.
6. Ölçüm cihazı kalibrasyonu yeterli değilse KF sinyali, RPM piki ile çakışabilir.
7. Eksantrik Kasnak da 1^*RPM frekansında, radyal de yüksek genlik, eksenelde ise düşük genlik görülür. Kasnak merkezlerini birleştiren çizgi doğrultusundaki genlikler ise en yüksektir Şekil 4.35.



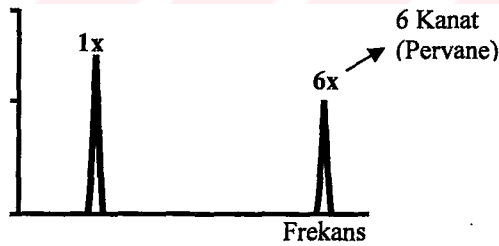
Şekil 4.34 Bir kayış için arıza spektrumu[18]



Şekil 4.35 Eksantrik kasnak için arıza spektrumu[18]

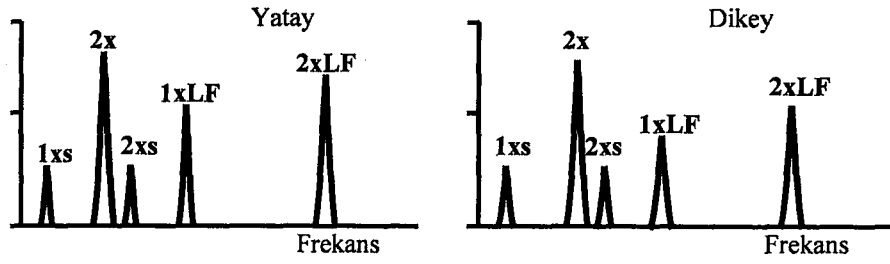
4.3.10. Diğer bazı sistemlerin karakteristik özellikleri

Fan kanatlarının titreşim yapması çok doğaldır. Ancak bu titreşim yüksek düzeylerdeyse problem olabilir. Arızalı olan kanatçığın dönüş katlarında yüksek pikler görülür Şekil 4.36.



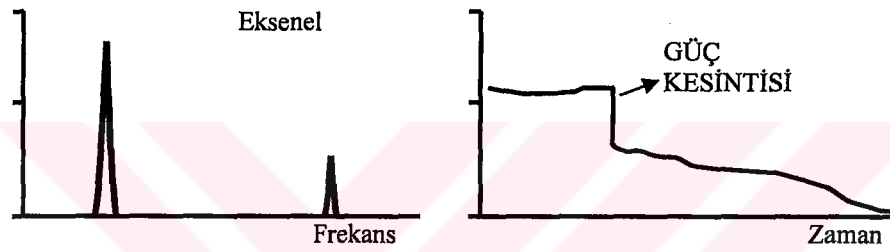
Şekil 4.36 Fan kanadı için arıza spektrumu[18]

Elektrik motorunda rotorun dönmeme problemi $1 \times \text{RPM}$ radyalde yüksek, eksenelde düşük tepecikler meydana getirir. Rotorun diğer elemanlarından veya vuruntu gibi etkenlerden dolayı yanbandlarda (s) ve rotor çubuk frekansında (LF) gözükabilir. Böyle bir arıza durumunda derhal güç kesilmeli, titreşim düşürülmeli veya yokedilmelidir Şekil 4.37.



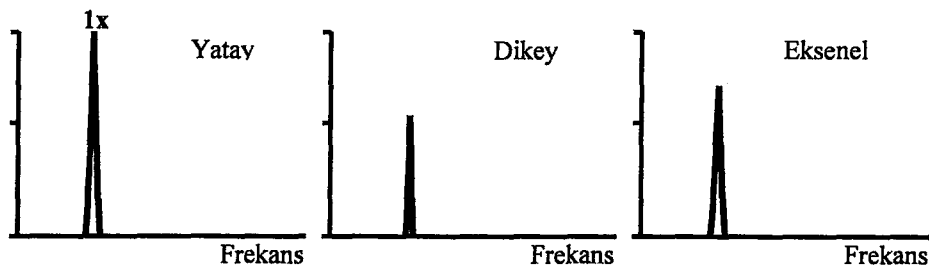
Şekil 4.37 Dönmeyen rotor için arıza spektrumu[18]

Yerel ısınmalardan veya başka nedenlerden dolayı rotor şaftı bazen eğilebilir. Buda titreşime yol açarak arızalanmalara neden olur. Aynı zamanda güç kesintisine neden olur Şekil 4.38.



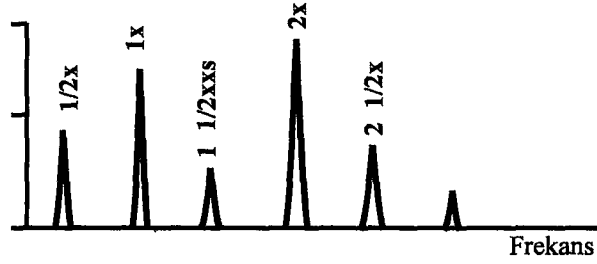
Şekil 4.38 Rotor şaftı eğilmesi arıza spektrumu[18]

Rotorun manyetik merkezden ayrılması sonucu 1*RPM'de yüksek genlikler, devir katından bağımsız olarak eksenelde yüksek genlikler görülür. Derhal güç kesilmeli titreşim hemen düşürülmelidir Şekil 4.39.



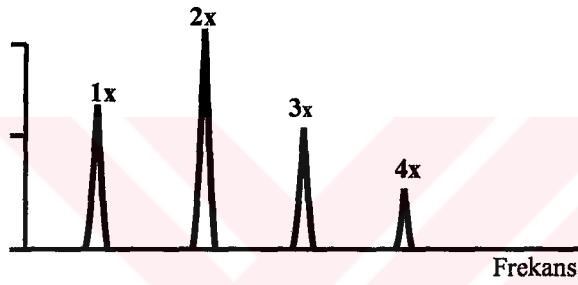
Şekil 4.39 Rotorun manyetik merkezden sapmasını gösteren spektrum[18]

Pistonlu makina arızası $\frac{1}{2}$ *, 1*, $1\frac{1}{2}$ * RPM vs frekanslarda pikler gösterir. Arızalanmış makina imalatçı firmaya kontrol ettirilmelidir Şekil 4.40.



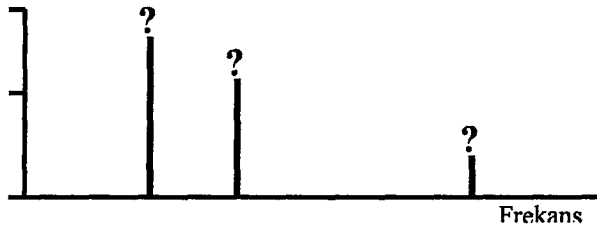
Şekil 4.40 Pistonlu makina arızası spektrumu[18]

Çalışan her makina az veya çok bir vurunuya sahiptir. Makinelerdeki var olan vuruğu kendisini 1*, 2*, 3*, 4*RPM' frekanslarında pikler olarak kendini gösterebilir Şekil 4.41.



Şekil 4.41 Vuruğu yapan bir makina spektrumu[18]

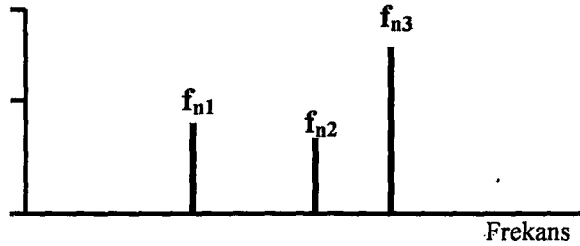
Zemin titreşimleri dış kaynaklı etkilere sahiptir. Eğer makinede zeminden gelen titreşimler tehlikeli boyutlardaysa makina durdurulup sürekli titreşimler ölçülür ve yok edilmeye çalışılır. Olası zemin titreşimleri spektrumu Şekil 4.42'de görülmektedir.



Şekil 4.42 Zemin titreşimleri spektrumu[18]

Bunun yanı sıra, sistemin bilinmesi gereken bir özelliği de, ölçüm yapılan doğrultudaki doğal frekansıdır. Plastik bir çekiçe sisteme tekrar tekrar vurularak

doğal frekans ölçülebilir. Şekil 4.43 de örnek bir sistemin doğal frekansları görülmektedir.



Şekil 4.43 Doğal frekanslar[18]

4.4. Genel Hata Karakteristikleri ve Titreşim Analizi Yönlendirme Tabloları

Titreşim analizi işlemlerinde kullanılmak üzere çeşitli arıza türleri için pratik tablolar oluşturulmuştur. Bu tablolar makinalardaki arıza tiplerini, ne tür karakteristiklere sahip olduğu, arızanın muhtemel nedenlerini ve çözüm yollarını içermektedir. Örnek olarak Tablo 4.2 görülmektedir.

Tablo 4.2 Örnek titreşim analizi karakteristik tablosu[23]

Olası Problem	Tanımlama
Eksantrik kasnak, balanssız kasnak	Kasnak gövdesi şafta göre işlenirken, merkezde ofset yada açısal kaçıklık olabilir. İşlemin yapıldığı tezgahdaki toleranslar bunu etkiler. Kasnak dökümünde, malzeme yığılmaları yada hava boşlukları olabilir. Tezgahta işlemler çok hassas yapılsa da bundan dolayı balanssızlık sorunu doğabilir. Kasnaklar yerine takıldıktan sonra yerinde balansları alınır.
Statik balanssızlık, couple (eş kuvvet çifti), balanssızlık, dinamik balanssızlık	Şaft üzerinde her iki yatakta 1*RPM frekansında tepelik değeri 3 mm/sn' den büyükse ve yatay ile düşey arasındaki ölçüm, arasındaki oran 0.25 den büyük yada 4 den küçük ise balanssızlık mevcuttur. Her iki yatakta; Yatayla yatay – düşeyle düşey arasındaki faz farkı 0° ye yakın ise statik balanssızlık, Yatayla yatay – düşeyle düşey arasındaki faz farkı 180° civarında ise couple balanssızlık, Yatayla yatay – düşeyle düşey arasındaki faz farkı herhangi bir açı ise dinamik balanssızlık mevcuttur.
Düz dişlide balanssızlık	1*RPM frekansında tepelik ve GMF (dişli kavrama frekansında) 1*RPM yan bandlarının olması

BÖLÜM 5. YAPAY SİNİR AĞLARI

5.1. Giriş

İnsan beyni nöron adı verilen sinir hücreleri ve bunlar arasındaki bağlantılardan oluşan karmaşık bir sistemdir. İnsan beyinde yaklaşık 100 milyar nöron ve nöron başına düşen bağlantı sayısının da ortalama birkaç bin olduğu düşünülürse, insan beyni karmaşık bir ağa benzetilebilir. Nöronlar bu bağlantılar sayesinde birbirleriyle iletişim kurarlar.

Yapay sinir ağ (YSA) algoritmaları insan sinir sistemi mimarisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Ancak, beynin çalışma sistemiyle ilgili bilgilerin kısıtlı olması ve bu tür çalışmalara yol gösterememesi araştırmacıları mevcut biyolojik bilgilerden farklılaşarak bazı yararlı fonksiyonlar bulmaya itmiştir. Günümüzde çok sayıda YSA modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geliştirilmesinde biyolojik sinir sistemlerinin prensiplerinden ve mühendislik biliminin imkanlarından faydalanılmıştır.

YSA'lar doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünde ve modellenmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadırlar. Son yıllarda başta mühendislik olmak üzere pek çok bilim dalında karmaşık problemlere çözümler üretmeleri YSA 'lara olan ilgiyi arttırmıştır. Çeşitli meslek gruplarında çalışma yapanlar YSA 'ları kendi uzmanlık alanlarına taşıyarak, bu alanda kullanacakları uygulamaları ve yöntemleri arar hale gelmişlerdir. Bu ilgi teorik ve uygulama alanlarındaki başarılarla daha da pekişmiştir[7].

5.2. YSA 'larının Tarihi Gelişimi

İnsan beyni üzerindeki uzun süreli çalışmalar sonucu, sinir sistemi ve fonksiyonları hakkında oldukça önemli bilgiler elde edilmiştir. Nöronların fonksiyonlarının ve birbirleriyle olan bağlantılarının daha iyi anlaşılması, araştırmacıların teorilerini test etmek amacıyla bazı matematiksel modeller geliştirmelerine olanak sağlamıştır. İlk defa 1940'larda Mc Cullah ve Pitts tarafından ilk biyolojik sinir modeli ortaya konulmuştur. 1949'da Hebb tarafından yazılan "Organization Behavior" isimli kitapta hücresele seviyede öğrenme mekanizmaları anlatılmıştır. Hebb, bu kitapta YSA öğrenme algoritmaları için başlangıç noktası sayılan bir öğrenme kanunu ileri sürmüştür. Bugün üzerine bazı eklemeler yapılmış olan bu model, o dönemin bilim adamlarına, bir nöron ağı öğrenme işini nasıl gerçekleştirdiği konusunda önemli fikirler vermiştir. 1950'de Dosenblait basit bir nöron modeline dayanarak perceptron modelini ve öğrenme kuralını geliştirmiştir.

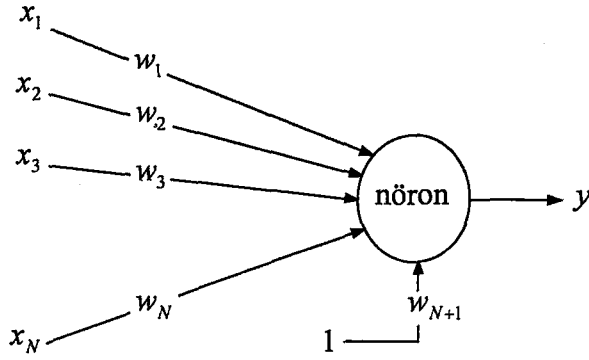
Minsky ve Papert 1969'da yazdıkları bir kitapta o güne kadar kullanımda olan ağların teorik olarak bir çok basit problemi çözemediklerini ispatlamış ve onların vardığı sonuçlara kimse karşı çıkamamıştır. Cesareti kırılan bazı araştırmacılar başka alanlara kaymışlar. Bu tür çalışmalara uygulanan teşvik destekleri çekilmiş ve YSA konusundaki çalışmalar uzun bir süre duraklama dönemine girmiştir.

1976'da Grosber tarafından adaptif rezonans teorisi geliştirilmiştir. 1982'da Hopfield tarafından Hopfield ağı geliştirilmiştir. 1984'de Kohonen eğitimcisz öğrenen ve "Self Organizing Maps" ismini verdiği özel bir ağ geliştirmiştir. 1986'da Rumelhard "Parallel Distributed Processing" grubuyla ileri beslemeli modellerde yeni bir öğrenme modeli oluşturarak hatanın geriye yayılması anlamına gelen "Back Propagation" algoritmasını geliştirmiştir. Son yıllarda, teori uygulamaya dönüştürülmüş ve teknolojinin ticari kısmıyla ilgilenen şirketler ortaya çıkmaya başlamıştır.

Geri yayımlı ağ modelinin en çok kullanılan ağ modeli olması ve adatif kontrolde çok geniş uygulama alanı bulması nedeniyle bundan sonraki kısımlarında geri yayımlı ağ modeli anlatılacaktır[7],[8].

5.3. Geri Yayımlı YSA'nın Yapısı

YSA 'lar birbirleriyle aynı özelliklere sahip nöron adı verilen çok basit işlem elemanlarından oluşurlar. Bir nöronun temel yapısı Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



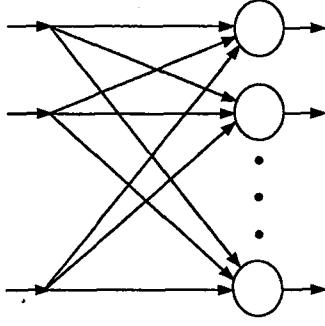
Şekil 5.1 Nöronun temel yapısı

$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_N, 1]$ dizisi giriş değerlerini, $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_N, w_{N+1}]$ dizisi ise ağırlık değerlerini gösterir. y çıkış fonksiyonu olup denklemi aşağıda verilmiştir.

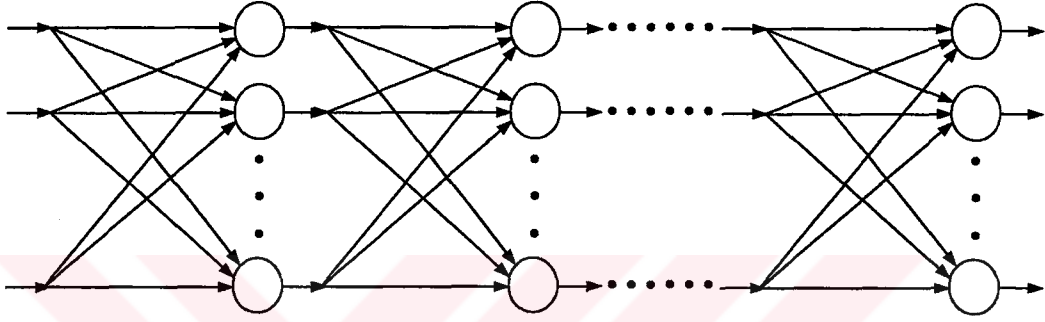
$$y = f(Net) = f(WX) = f(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_Nx_N + w_{N+1})$$

Bir grup nöronun paralel olarak bir araya gelmesi katmanı oluşturur. İki veya daha fazla katmanın peş peşe bağlanması çok katmanlı ağı oluşturur. İlk katman dışarıdan bilgi aldığı için ilk katmanın giriş kısmı fazladan bir katman varmış gibi giriş katmanı olarak düşünülebilir. Giriş katmanı bilgi işlemmez sadece dışarıdan bilgi alır. Son katman dışarıya bilgi aktardığından çıkış katmanı olarak isimlendirilir. Varsa diğer katmanlara ara katmanlar adı verilir.

Tek katmanlı bir ağ Şekil 5.2'de, çok katmanlı bir ağ Şekil 5.3'de görülmektedir. Pratikte genel olarak iki katmanlı ağlar (giriş kısmı da katmandan sayılırsa üç katmanlı ağlar) kullanılır[7],[8],[11].



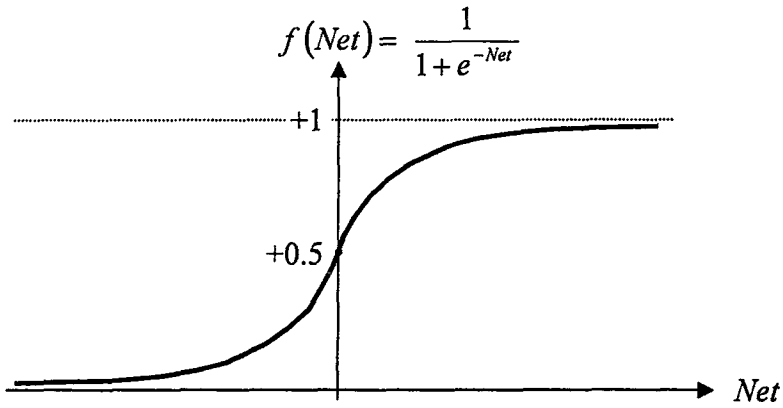
Şekil 5.2 Tek katmanlı YSA



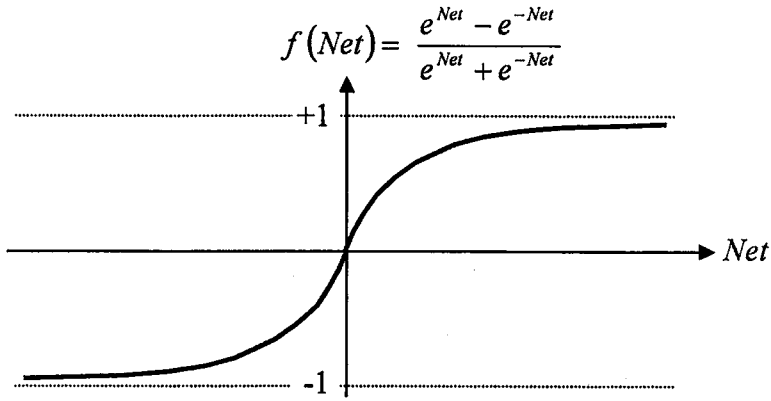
Şekil 5.3 Çok katmanlı YSA

5.4. Geri Yayımlı YSA 'da Kullanılan Transfer Fonksiyonları

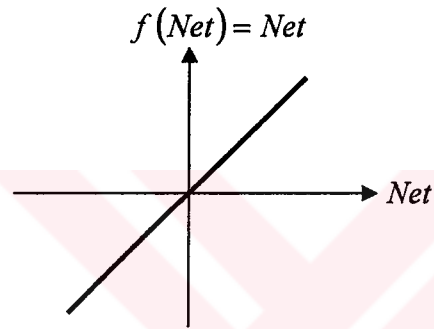
Pek çok transfer fonksiyonu mevcuttur. Transfer fonksiyonunun seçimi önemlidir. YSA algoritması seçilen transfer fonksiyonuna göre tasarlanır. En yaygın olarak kullanılanları log-sigmoid, tan-sigmoid ve lineer transfer fonksiyonları olup grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4 Log-sigmoid transfer fonksiyonu



Şekil 5.5 Tan-sigmoid transfer fonksiyonu



Şekil 5.6 Lineer transfer fonksiyonu

Log-sigmoid transfer fonksiyonu,

$$f(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}} \quad \text{olup birinci ve ikinci dereceden türevleri}$$

$$f'(Net) = f(Net)(1 - f(Net))$$

$$f''(Net) = f(Net)(1 - f(Net))(1 - 2f(Net))$$

Tan-sigmoid transfer fonksiyonu,

$$f(Net) = \frac{e^{Net} - e^{-Net}}{e^{Net} + e^{-Net}} \quad \text{olup birinci ve ikinci dereceden türevleri}$$

$$f'(Net) = 1 - f^2(Net)$$

$$f''(Net) = -2f(Net)(1 - f^2(Net))$$

Lineer transfer fonksiyonu,

$$f(Net) = Net \text{ olup birinci ve ikinci dereceden türevleri}$$

$$f'(Net) = 1$$

$$f''(Net) = 0$$

Yapay sinir ağında kullanılan transfer fonksiyon log-sigmoid ise bütün veriler 0 ile 1 arasında dağıtılır. Bu işlem ve geri dönüşüm için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$v_n = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}}$$

$$v = v_{\min} + (v_{\max} - v_{\min})v_n$$

Eğer verilerin 0 ile 1 arasında değil de $0 < a < b < 1$ olmak üzere a ile b arasında dağıtılması istenirse, dağıtma ve geri dönüşüm için aşağıdaki iki denklem kullanılır.

$$v_n = a + (b - a) \left(\frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \right)$$

$$v = v_{\min} + (v_{\max} - v_{\min}) \left(\frac{v_n - a}{b - a} \right)$$

Kullanılan transfer fonksiyon tan-sigmoid ise bütün veriler -1 ile +1 arasında dağıtılır. Bu işlem ve geri dönüşüm için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$v_n = \frac{2v - v_{\min} - v_{\max}}{v_{\max} - v_{\min}}$$

$$v = (v_{\min} + v_{\max} + (v_{\max} - v_{\min}) \cdot v_n) / 2$$

Kullanılan transfer fonksiyon lineer ise bütün giriş ve çıkış değerleri aynı tan-sigmoid'te olduğu gibi -1 ile +1 arasına dağıtılacak şekilde ayarlanır[8],[11].

5.5. Geri Yayılımlı YSA'da Öğrenme

YSA 'lar belirli bir probleme göre programlanmadıkları halde o problemi çözme-yi öğrenebilirler. YSA için öğrenme giriş vektörleri ile karşılık gelen çıkış vektörleri arasında bir çeşit bağlantı kurmak diye tanımlanabilir. Öğrenme ağırlık değerlerindeki uygun değişimler ile sağlanır. Uygun bir şekilde eğitilen ağ, daha sonra kendisine sunulan ve eğitim setinde bulunmayan verilere de uygun cevaplar verecektir. YSA 'lar bu özelliklerinden dolayı çok değişkenli sistemlere kolaylıkla uygulanabilmektedirler.

Eğitme aşaması hem ilerleme hem de geri yayılma safhalarını içerirken, kullanma aşaması sadece ilerleme safhasını içerir. Ayrıca eğitme aşamasında hata minimize olana kadar bu iki safha devamlı tekrarlanır. Bu yüzden eğitme aşaması kullanma aşamasına göre oldukça yavaştır. Eğitme aşamasında kullanılan geri yayılma algoritmasının özü, ilerleme sonucu ortaya çıkan hatayı geriye doğru yansıtarak ağırlıkları daha doğru sonuçlar verecek şekilde düzeltmektir. Buna genelleştirilmiş delta kuralı denir ve aşağıdaki adımlardan oluşur.

1. Eğitim kümesinden bir sonraki eğitim çiftini seç (Giriş vektörü ve karşılık gelen çıkış vektörü).
2. Giriş vektörünü ağın girişlerine uygula ve ağ çıkışlarını hesapla.
3. Ağ çıkışları ile çıkış vektörü (hedef vektör) arasındaki hatayı hesapla.
4. Hatayı küçültecek şekilde ağın ağırlıklarını ayarla.
5. Hata istenen seviyeye ulaşana kadar yukarıdaki işlemleri tekrarla.

Kullanma aşamasında ağırlıklar verilen girişlere karşılık gelecek çıkışları bulmak için kullanılır. Zaten bu aşamada gerçek sonuçlar bilinmediğinden hatanın hesaplanıp geri yansıtılması mümkün değildir.

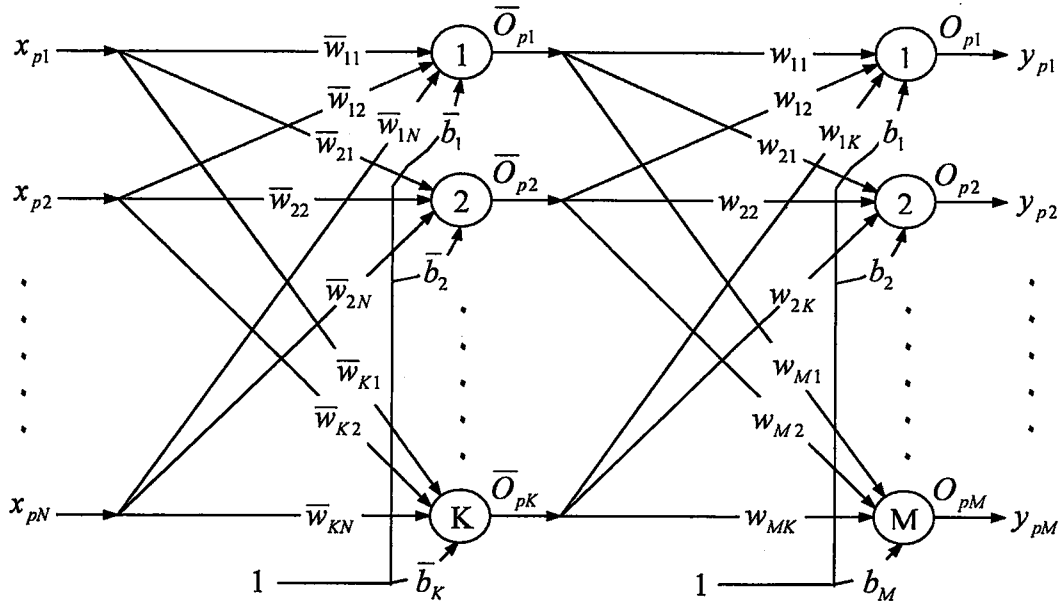
Eğitimde kullanılan veriler ne kadar çok, çeşitli ve sağlam olursa öğrenme o kadar etkin olur. Fakat bütün veriler eğitim için kullanılmamalı, bazıları test etmek için saklanmalıdır. Eğer hiç eğitilmemiş verilerle de doğru sonuçlar veriyorsa ağ veriler arasındaki bağlantıları doğru kurmuş ve kullanılmaya hazır demektir. Eğer büyük hatalar oluşuyorsa ağı daha çok veya daha iyi veriler ile tekrar eğitmek gerekecektir. Ayrıca ağda kullanılan nöron sayısını değiştirmek de işe yarayabilir.

Öğrenme hızı ağıın büyüklüğüne ve vektör sayısına bağlı olmakla beraber eğitimi hızlandıracak bazı eğitim parametrelerinden de yararlanılmaktadır. Bunlar; Eğitim oran (η), Momentum (α) ve Bias (b) parametreleridir. η ve α parametreleri 0 ile 1 arasında uygun değerlerde seçilmelidirler. Örneğin $\eta = 0.4$, $\alpha = 0.6$ gibi. Bu seçim kullanılan verilere ve transfer fonksiyonuna göre değişebilir. Deneme yanılma ile uygun değerler seçilebilir. Bu parametreler çok küçük seçilirlerse eğitim yavaşlar, büyük seçilirlerse de eğitim gerçekleşmeyebilir. Bias parametreleri ise her bir nörona fazladan bir ağırlık eklemek şeklinde olup eğitimi oldukça hızlandırır.

Eğitim işlemi yapılırken ağ, yerel veya genel olup olmadığı bilinmeyen bir en küçük değere ulaşır. Eğer hata değeri yerel en küçük değere ulaşmışsa, bir süre sonra ağıın çıkışındaki hata istenmeyen şekilde yükselebilir. Bu problem genellikle fazla bir zorluğa sebep olmaz. Eğer ağ istenilen bir çözüme ulaşmadan durursa, ara birimlerde veya eğitim parametrelerinde değişiklik yapılarak veya başlangıç ağırlık değerleri farklı bir değer aralığında seçilmesi ile problem çözülür. Bir ağ istenilen bir çözüme ulaştığında, bu çözümün genel en küçük hata değeri olduğu tam olarak söylenemez, fakat önemliden değildir[33].

5.6. Geri Yayılımlı YSA Denklemleri

Katman sayısının fazla olması iyi olmakla beraber hesapsal yükü üssel bir biçimde arttıracığından pratikte genel olarak üç katmanlı ağlar kullanılır. Üç katmanlı bir ağıın genel yapısı Şekil 5.7’de gösterilmiştir[33].



Şekil 5.7 Üç katmanlı yapay sinir ağı

Giriş katmanı veri işlemez. Dışarıdan aldığı verileri ara katmana iletir. Ara katman çıkışları

$$\bar{O}_{pk} = f(\bar{b}_k + \sum_{n=1}^N \bar{w}_{kn} x_{pn}), \quad p=1, \dots, P, \quad k=1, \dots, K$$

Çıkış katmanı ara katman çıkışlarını kullanır. Çıkış katmanı çıkışları

$$O_{pm} = f(b_m + \sum_{k=1}^K w_{mk} \bar{O}_{pk}), \quad p=1, \dots, P, \quad m=1, \dots, M$$

Herhangi bir veri için hata

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M (y_{pm} - O_{pm})^2$$

Bütün verileri kapsayan toplam hata

$$E = \sum_{p=1}^P E_p = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M (y_{pm} - O_{pm})^2$$

Ağırlık düzeltme miktarları

$$\begin{aligned}\Delta w_{mk}(t+1) &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial w_{mk}} + \alpha \Delta w_{mk}(t) \\ &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial O_{pm}} \frac{\partial O_{pm}}{\partial w_{mk}} + \alpha \Delta w_{mk}(t) = \eta \delta_{pm} \bar{O}_{pk} + \alpha \Delta w_{mk}(t)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta b_m(t+1) &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial b_m} + \alpha \Delta b_m(t) \\ &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial O_{pm}} \frac{\partial O_{pm}}{\partial b_m} + \alpha \Delta b_m(t) = \eta \delta_{pm} + \alpha \Delta b_m(t)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \bar{w}_{kn}(t+1) &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \bar{w}_{kn}} + \alpha \Delta \bar{w}_{kn}(t) \\ &= -\eta \sum_{m=1}^M \frac{\partial E_p}{\partial O_{pm}} \frac{\partial O_{pm}}{\partial \bar{O}_{pk}} \frac{\partial \bar{O}_{pk}}{\partial \bar{w}_{kn}} + \alpha \Delta \bar{w}_{kn}(t) = \eta \bar{\delta}_{pk} x_{pn} + \alpha \Delta \bar{w}_{kn}(t)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \bar{b}_k(t+1) &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \bar{b}_k} + \alpha \Delta \bar{b}_k(t) \\ &= -\eta \sum_{m=1}^M \frac{\partial E_p}{\partial O_{pm}} \frac{\partial O_{pm}}{\partial \bar{O}_{pk}} \frac{\partial \bar{O}_{pk}}{\partial \bar{b}_k} + \alpha \Delta \bar{b}_k(t) = \eta \bar{\delta}_{pk} + \alpha \Delta \bar{b}_k(t)\end{aligned}$$

Düzeltilme miktarlarının ağırlıklara ilavesi

$$w_{mk}(t+1) = w_{mk}(t) + \Delta w_{mk}(t+1)$$

$$b_m(t+1) = b_m(t) + \Delta b_m(t+1)$$

$$\bar{w}_{kn}(t+1) = \bar{w}_{kn}(t) + \Delta \bar{w}_{kn}(t+1)$$

$$\bar{b}_k(t+1) = \bar{b}_k(t) + \Delta \bar{b}_k(t+1)$$

Ara ve çıkış katmanında log-sigmoid transfer fonksiyonu kullanılırsa

$$\delta_{pm} = O_{pm} (1 - O_{pm}) (y_{pm} - O_{pm})$$

$$\bar{\delta}_{pk} = \bar{O}_{pk} (1 - \bar{O}_{pk}) \sum_{m=1}^M \delta_{pm} w_{mk}(t)$$

Ara ve çıkış katmanında tan-sigmoid transfer fonksiyonu kullanılırsa

$$\delta_{pm} = (1 - O_{pm}^2) (y_{pm} - O_{pm})$$

$$\bar{\delta}_{pk} = (1 - \bar{O}_{pk}^2) \sum_{m=1}^M \delta_{pm} w_{mk}(t)$$

Ara katmanda tan-sigmoid çıkış katmanında lineer transfer fonksiyonu kullanılırsa

$$\delta_{pm} = y_{pm} - O_{pm}$$

$$\bar{\delta}_{pk} = (1 - \bar{O}_{pk}^2) \sum_{m=1}^M \delta_{pm} w_{mk}(t)$$

5.7. YSA 'nın Uygulama Alanları

Doğrusal olmayan kontrol problemlerinde YSA 'lar en iyi çözümlere sahiptirler. YSA 'lar pek çok alanda kullanılmaktadır. Başlıcaları şunlardır.

- Üretim: Robot ve kontrol sistemlerini otomatikleştirme, üretim işlemi ve kalite kontrolü, montaj hattında parça seçimi, basınç-sıcaklık-gaz kontrolü, vb.
- Tıp: işitme özürümler için ses analizi, semptom hastalıkların teşhis ve tedavisi, ameliyat görüntüleme, ilaçların yan etkilerinin analizi, x-ışınlarını okuma ve epileptik felcin nedenlerini anlama, vb.
- Askeri: radar sinyallerini sınıflandırma, yeni ve gelişmiş silah tasarımları, keşif yapma, kıt kaynakların kullanımını iyileştirme, hedef tanıma ve izleme, zehirli savaş gazlarının saptanması ve analizi, vb.

- d) İş dünyası: petrol ve jeolojik yapı değişikliğinin tahmini, özel olarak toplumsal hareketlerin ve eğilimlerin tanım ve tahmini, veri tabanı oluşturulması, hava yollarında yer ve ücret düzenlemesi, el yazısı karakterlerini tanıma, vb.
- e) Çevre: meteorolojide hava tahmini, çeşitli numunelerin ve gazların analiz edilmesi.
- f) Finans: kredi riski değerlendirmesi, sahte para ve evrak tanıma, el yazısı formlarının değerlendirilmesi, eğilim yatırımları analizi, vb.
- g) Gıda: gıdalarda kalite kontrol için, gıdaların aromasının veya bozulma sonucu oluşan kokuların analizi, vb.

Kontrol algoritmalarının genellemeler yoluyla sonuçlar çıkaramaması, küçük değişiklikler ve arızalar karşısında çökmeleri ve uzun hesaplamalar gerektirmeleri araştırmacıları yapay sinir ağları ile kontrol konusuna yöneltmiştir.

YSA 'ları klasik teknikler kullanarak modellenmesi imkansız veya çok zor olan sistemlerin modellenmesinde oldukça etkilidirler. Bilinen model kontrol algoritmaları yerine YSA 'lar, istenen sistem performansını gerçekleştirebilen bir kontrol şemasını öğrenebilmek için uygun ağırlık bağlantılarıyla kendi kendilerini biçimlendirirler.

Kontrol problemi dinamik sistemin bir veya daha fazla değişkenini belirlenen sınırlar içinde tutmayla ilgili analiz ve sentezlerdir. Kontrolör yapısını belirleme ve sistem çıkışıyla istenen çıkış arasındaki hatayı minimize etmek için parametrelerin ayarlanması kontrol probleminin bir parçasıdır. Yapay sinir ağları verilen giriş-çıkış çiftlerinden ağırlık parametrelerini ayarlama temeline dayanır. Geri yayınlı ağlar bu amaç için en çok kullanılan algoritmalarlardır.

Yapay sinir ağları robot kontrolünde adaptif ve öğrenme davranışlarını geliştirecek bir yöntem olarak kullanılmaya başlamıştır. Yapay sinir ağlarının robot görmesi, sinyal işleme, karar verme gibi konulardaki başarı ile uygulanmaları bu konudaki çalışmaları hızlandırmıştır. Robotların imalat endüstrisi, hizmet sektörü gibi çok geniş alanlarda kullanılması, bu özelliklerin son derece önemli olmasını sağlar[7].

BÖLÜM 6. TİTREŞİM DATALARININ HAZIRLANMASI VE YSA'YA UYGULANMASI

6.1. Eğitim İçin Verilerin Hazırlanması

Burada ağın ISO standartlarının ISO-2372 referans numaralı “genel makina titreşim değerlendirme tablosunu” öğrenmesi amaçlanmıştır. Bu standartlarda orta ölçekli makineler 15 kW 'tan küçük, 15 kW ile 75 kW arası ve 75 kW 'tan büyük olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.

Her gruptaki makina için çeşitli titreşim değerlerinde ve değişik ölçüm birimlerinde durumlarının ne olacağı belirtilmiştir. Bu tablo Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Genel makina titreşim değerlendirme tablosu (ISO-2372) [120-60,000 CPM arası genel-
overall ölçümler için kullanılır][19]

	HIZ RMS mm/sn dB	HIZ PEAK mm/sn	HIZ PEAK İnch/sn	DURUM	M<15KW (küçük)	15KW<M >75KW (orta)	M>75KW (büyük)
1	0.28 109	0.40	0.016	İYİ	1 - 3	1 - 4	1 - 5
2	0.45 113	0.64	0.025				
3	0.71 117	1.00	0.039				
4	1.12 121	1.58	0.062	GEÇERLİ	3 - 5	4 - 6	5 - 7
5	1.80 125	2.54	0.100				
6	2.80 129	3.96	0.160				
7	4.50 133	6.37	0.250	DİKKAT	5 - 7	6 - 8	7 - 9
8	7.10 137	10.00	0.390				
9	11.20 141	15.80	0.620				
10	18.00 145	25.40	1.000	ARIZA	7 - 12	8 - 12	9 - 12
11	28.00 149	39.60	1.560				
12	45.00 153	63.70	2.500				

Ağın öğrenme kabiliyeti giriş değerlerine çok bağlı olduğundan, tablonun ağın anlayabileceği şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun için Tablo 6.1 düzenlenerek Tablo 6.2 oluşturulmuştur. Tablo 6.2 den görüldüğü gibi 5 giriş, 4 çıkış ve 720 satıra sahip veri tablosuna dönüştürülmüştür. Tablo 6.3’de 720x9 boyutunda bir matrise dönüştürülerek ağın eğitilmesine hazır eğitim setini göstermektedir.

Eğitimden sonra yapılacak test işlemi içinde aynı tablo kullanılmıştır. Bunun için bazı satırlar silinerek data sayısı azaltılmıştır. Test için kullanılan örnek dataların bir kısmı Tablo 6.4’te verilmiştir. Test için 200 data kullanılmıştır. Yani test etmek için kullanılan datalar 200x9 boyutunda matristen oluşmaktadır.

Tablodaki 75 kW tan büyük makinalar için en büyük 250 kW ta kadar kabul edilmiştir. Bu kabuldeki amaç hem data sayısını azaltarak öğrenme zamanını kısaltmak ve kolaylaştırmak hem de belli bir güçten daha fazla güce sahip makinaların titreşim standartlarının değişebilecek olmasından dolayıdır.

Verilen tablolarda datalar çok fazla olduğu için hepsi konmamıştır. Ancak gösterim açısından bir kısmı çıkartılarak verilmiştir.

Tablo 6.2 Giriş verilerinin hazırlanması

SIRA NO	GÜÇ KW	HIZ RMS mm/s	HIZ RMS dB	HIZ PEAK mm/s	HIZ PEAK inch/s	DURUM İYİ	DURUM GEÇERLİ	DURUM ALARM	DURUM ARIZA
1	1	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
2	1	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
3	1	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
4	1	1,12	121	1,58	0,062	0	1	0	0
5	1	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0
6	1	2,8	129	3,96	0,16	0	0	1	0
7	1	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0
8	1	7,1	137	10	0,39	0	0	0	1
9	1	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1
10	1	18	145	25,4	1	0	0	0	1
11	1	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
12	1	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
181	16	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
182	16	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
183	16	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
184	16	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0
185	16	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0
186	16	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0
187	16	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0
188	16	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0
189	16	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1
190	16	18	145	25,4	1	0	0	0	1
191	16	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
192	16	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
289	80	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
290	80	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
291	80	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
292	80	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0
293	80	1,8	125	2,54	0,1	1	0	0	0
294	80	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0
295	80	4,5	133	6,37	0,25	0	1	0	0
296	80	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0
297	80	11,2	141	15,8	0,62	0	0	1	0
298	80	18	145	25,4	1	0	0	0	1
299	80	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
300	80	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
720	250	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1

Tablo 6.3 Giriş verileri

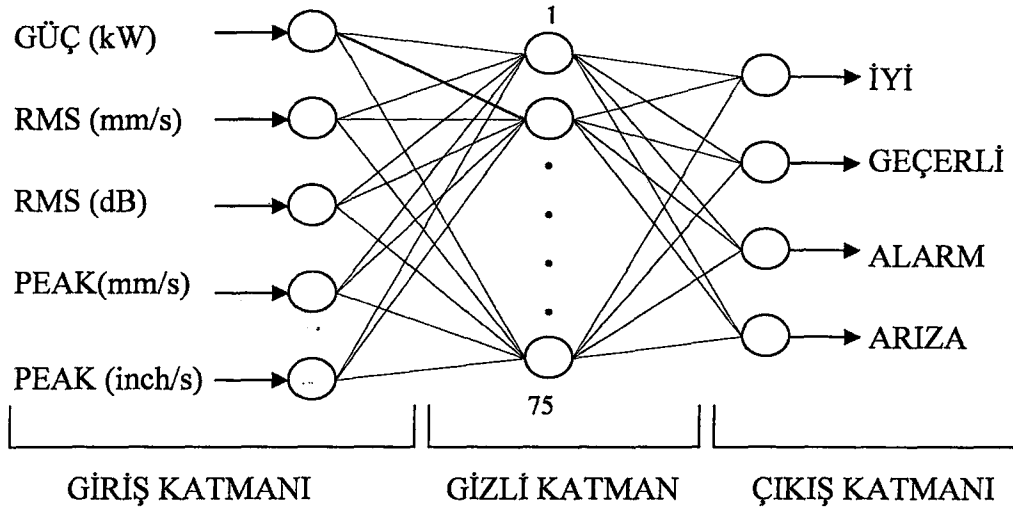
GİRİŞ SÜTUNLARI					ÇIKIŞ SÜTUNLARI			
1	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
1	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
1	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
1	1,12	121	1,58	0,062	0	1	0	0
1	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0
1	2,8	129	3,96	0,16	0	0	1	0
1	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0
1	7,1	137	10	0,39	0	0	0	1
1	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1
1	18	145	25,4	1	0	0	0	1
1	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
1	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
16	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
16	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
16	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
16	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0
16	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0
16	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0
16	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0
16	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0
16	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1
16	18	145	25,4	1	0	0	0	1
16	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
16	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
80	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
80	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
80	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0
80	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0
80	1,8	125	2,54	0,1	1	0	0	0
80	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0
80	4,5	133	6,37	0,25	0	1	0	0
80	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0
80	11,2	141	15,8	0,62	0	0	1	0
80	18	145	25,4	1	0	0	0	1
80	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1
80	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
250	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1

Tablo 6.4 Test dosyası

1	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0
1	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0
2	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0
2	2,8	129	3,96	0,16	0	0	1	0
2	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
16	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
80	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
250	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1

6.2. Eğitim İçin Yapay Sinir Ağı Kurulması

Eğitim için tek gizli katmana sahip ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Kullanılan ağ giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanında 5 sinir, gizli katmanda 5-75 sinir ve çıkış katmanında ise 4 sinir kullanılmıştır. Giriş katmanındaki 5 sinir, güç, RMS (mm/sn), RMS (dB), peak (mm/sn), peak (inch/sn) girişlerinden oluşmaktadır. Çıkış katmanındaki 4 sinir ise, “iyi, geçerli, alarm ve arıza” çıkışlarından oluşmaktadır. Gizli katman sayısı 5, 10, 15, 25, 50 ve 75 olarak girilerek ayrı ayrı ağ yapıları oluşturulmuştur. Şekil 6.1 gizli katman nöron sayısı 75 olan ağ yapısını göstermektedir.



Şekil 6.1 YSA Eğitim modelinin yapısı

6.3. Yapay Sinir Ağında Eğitim Sonuçları

İleri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak, oluşturulan örnek data ile eğitim işlemi yapılmıştır. Kullanılan ağların gizli katman nöron sayıları değiştirilerek en iyi eğitim için en uygun nöron sayısı elde edilmiştir. Nöron sayılarına göre hata oranı ve iterasyon sayısına göre hata oranı grafikleri elde edilmiştir. Öğrenme için data sayısı fazla olduğu için yaklaşık 500000 iterasyon yapılmış olup çeşitli iterasyonlarda ki değerler elde edilerek en iyi öğrenme için birbirleriyle karşılaştırmalar yapılmıştır.

6.4. Gizli Katman Nöron Sayılarına Göre Simülasyon Sonuçları

Yapılan çalışmada gizli katman nöron sayıları değiştirilerek sistemin optimum gizli katman nöron sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Gizli katman nöron sayıları sırasıyla 5, 10, 15, 25 ,50 ve 75 olarak atanmış aktivasyon fonksiyonları ise sabit kalmıştır. Öğrenme algoritması olarak geriye yayılım (backpropagation) kullanılarak simülasyon yapılmıştır.

Eğitim sonucunda gizli katman sayısı 50 olan YSA'nın Tablo 6.5 'de 104 iterasyonda, Tablo 6.6 'da 503466 iterasyonda verdiği çıkış değerleri, giriş ve tablo değerleriyle bir arada görülmektedir. Hatalı satırlar bold karakterdedir. 104 İterasyonda hatalı çıkışlar fazladır, 503466 iterasyonda ise gözükmemektedir.

Tablo 6.5 104 İterasyon için çıkış verileri

GİRİŞ VE TABLO ÇIKIŞLARI									YSA ÇIKIŞLARI			
1	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1,12	121	1,58	0,062	0	1	0	0	1	0	0	0
1	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0	0	0	1	0
1	2,8	129	3,96	0,16	0	0	1	0	0	0	1	0
1	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0	0	0	1	0
1	7,1	137	10	0,39	0	0	0	1	0	0	1	0
1	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1	0	0	0	1
1	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
1	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
1	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
16	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
16	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
16	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
16	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0	1	0	0	0
16	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0	0	0	1	0
16	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0	0	0	1	0
16	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0	0	0	1	0
16	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0	0	0	1	0
16	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1	0	0	1	0
16	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
16	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
16	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
80	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
80	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
80	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
80	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0	1	0	0	0
80	1,8	125	2,54	0,1	1	0	0	0	0	0	1	0
80	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0	0	0	1	0
80	4,5	133	6,37	0,25	0	1	0	0	0	0	1	0
80	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0	0	0	1	0
80	11,2	141	15,8	0,62	0	0	1	0	0	0	1	0
80	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
80	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
80	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
:	:	:	:	:	:	:	:	:				
250	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1

Tablo 6.6 503466 İterasyon için çıkış verileri

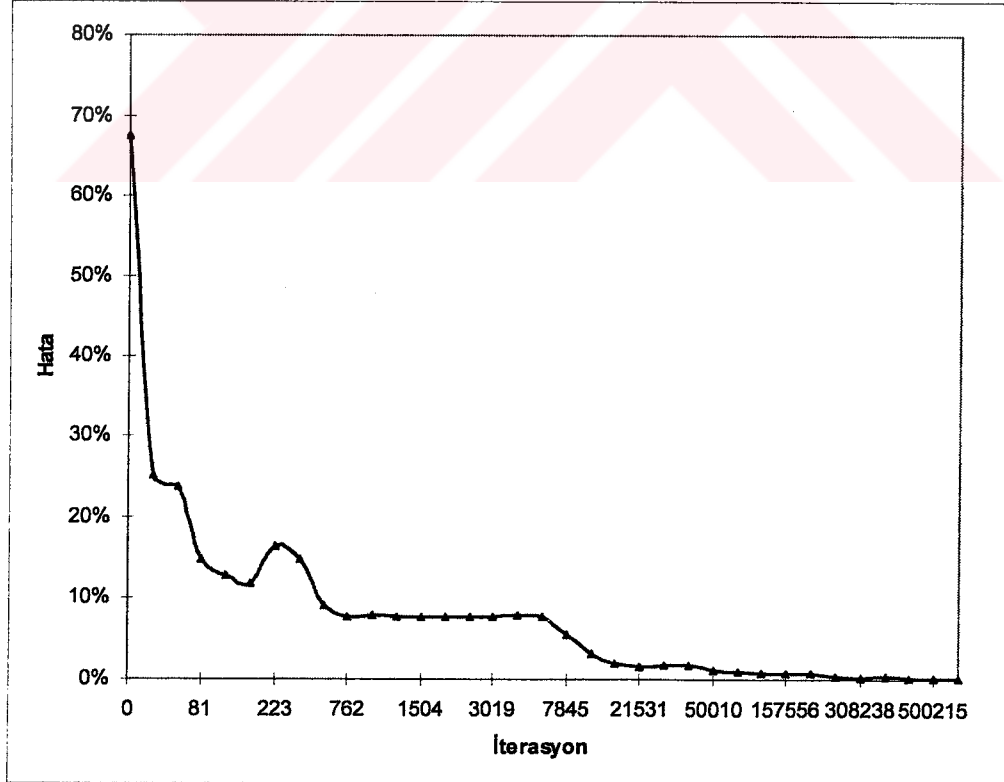
GİRİŞ VE TABLO ÇIKIŞLARI									YSA ÇIKIŞLARI			
1	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1,12	121	1,58	0,062	0	1	0	0	0	1	0	0
1	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	2,8	129	3,96	0,16	0	0	1	0	0	0	1	0
1	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0	0	0	1	0
1	7,1	137	10	0,39	0	0	0	1	0	0	0	1
1	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1	0	0	0	1
1	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
1	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
1	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
16	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
16	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
16	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
16	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0	1	0	0	0
16	1,8	125	2,54	0,1	0	1	0	0	0	1	0	0
16	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0	0	1	0	0
16	4,5	133	6,37	0,25	0	0	1	0	0	0	1	0
16	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0	0	0	1	0
16	11,2	141	15,8	0,62	0	0	0	1	0	0	0	1
16	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
16	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
16	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
80	0,28	109	0,4	0,016	1	0	0	0	1	0	0	0
80	0,45	113	0,64	0,025	1	0	0	0	1	0	0	0
80	0,71	117	1	0,039	1	0	0	0	1	0	0	0
80	1,12	121	1,58	0,062	1	0	0	0	1	0	0	0
80	1,8	125	2,54	0,1	1	0	0	0	1	0	0	0
80	2,8	129	3,96	0,16	0	1	0	0	0	1	0	0
80	4,5	133	6,37	0,25	0	1	0	0	0	1	0	0
80	7,1	137	10	0,39	0	0	1	0	0	0	1	0
80	11,2	141	15,8	0,62	0	0	1	0	0	0	1	0
80	18	145	25,4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
80	28	149	39,6	1,56	0	0	0	1	0	0	0	1
80	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
250	45	153	63,7	2,5	0	0	0	1	0	0	0	1

6.4.1. Gizli katman nöron sayısı 75 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.7' de ve Şekil 6.2' de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.7 75 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	67,50%	1043	7,92%	15161	1,94%	308238	0,28%
33	25,14%	1285	7,78%	21531	1,53%	354637	0,42%
54	23,75%	1504	7,78%	26823	1,81%	400020	0,28%
81	14,72%	2002	7,64%	35024	1,81%	500215	0,28%
111	12,78%	2515	7,78%	50010	1,11%	583566	0,14%
145	11,81%	3019	7,78%	75037	0,97%		
223	16,39%	4002	7,92%	101050	0,83%		
304	14,86%	5031	7,64%	157556	0,69%		
481	9,17%	7845	5,56%	200197	0,69%		
762	7,78%	10012	3,19%	250021	0,42%		



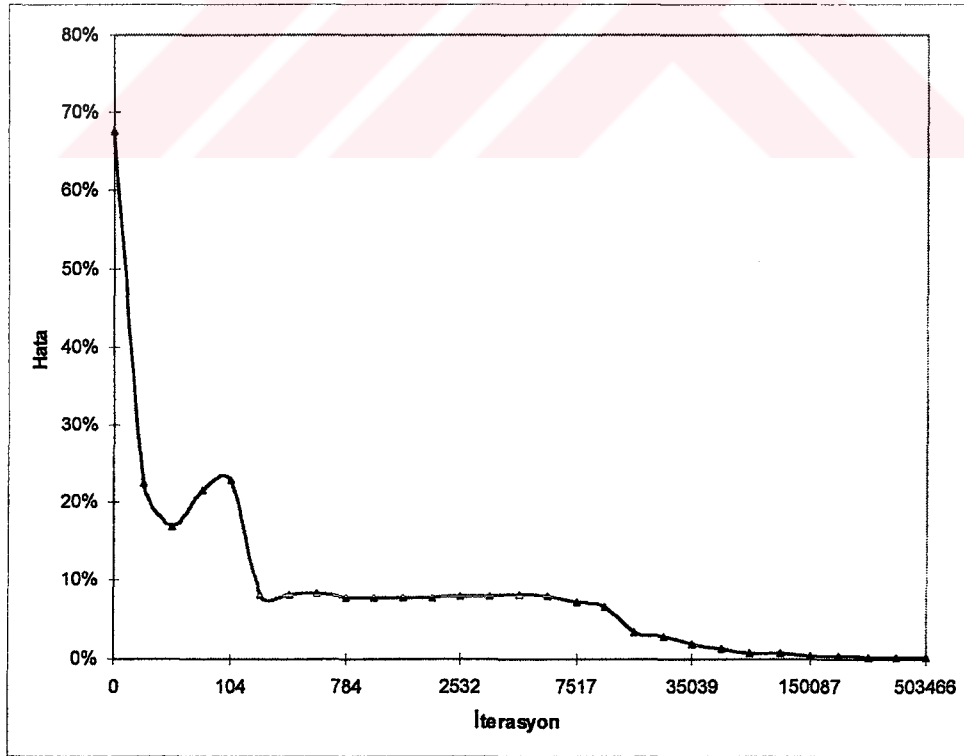
Şekil 6.2 Gizli katman nöron sayısı 75 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.2. Gizli katman nöron sayısı 50 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.8’ de ve Şekil 6.3’ de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.8 50 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	67,50%	1279	7,78%	35039	1,81%
18	22,36%	2020	7,78%	50053	1,39%
36	16,81%	2532	7,92%	75039	0,83%
65	21,53%	3031	7,92%	101802	0,69%
104	22,92%	4050	8,06%	150087	0,42%
172	8,19%	5032	7,92%	200057	0,42%
266	8,19%	7517	7,22%	250049	0,28%
536	8,33%	10039	6,67%	353047	0,14%
784	7,78%	20041	3,47%	503466	0,14%
1027	7,78%	25058	2,78%		



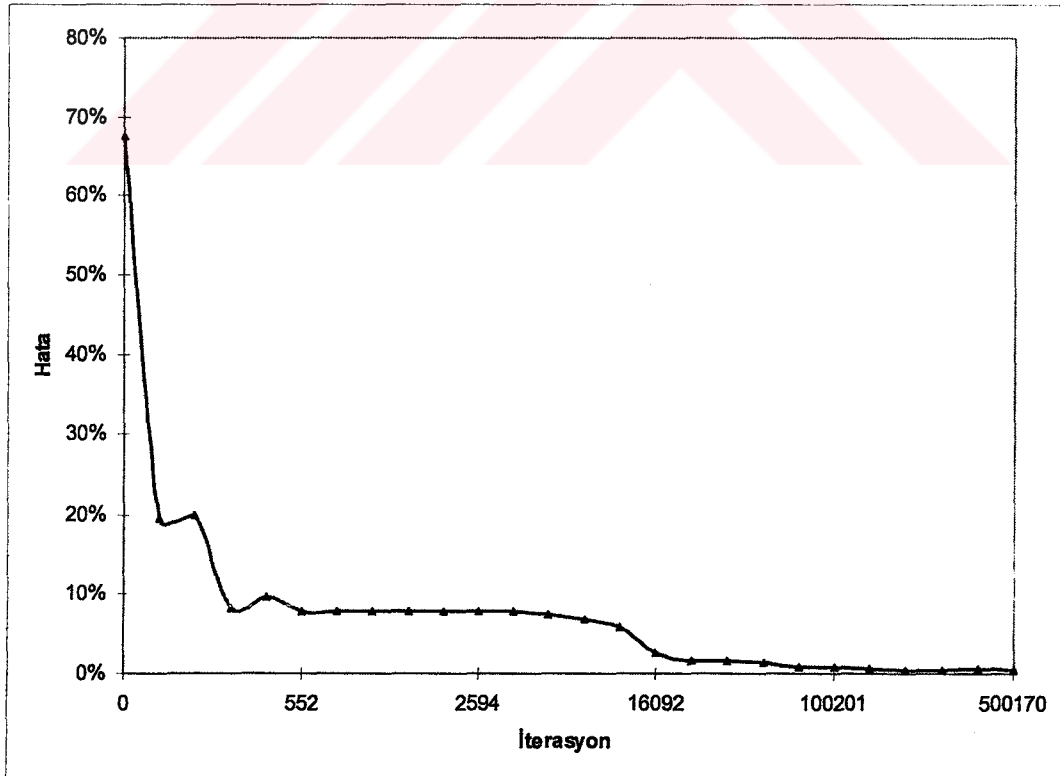
Şekil 6.3 Gizli katman nöron sayısı 50 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.3. Gizli katman nöron sayısı 25 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.9' da ve Şekil 6.4' de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.9 25 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	67,50%	2594	7,92%	100201	0,83%
80	19,58%	3614	7,92%	150051	0,69%
141	20,00%	5117	7,50%	200033	0,42%
198	8,33%	7557	6,81%	250076	0,42%
301	9,58%	10092	5,83%	350111	0,56%
552	7,92%	16092	2,64%	500170	0,42%
805	7,92%	25068	1,67%		
1173	7,92%	35030	1,67%		
1504	7,92%	50010	1,39%		
2114	7,78%	76033	0,83%		



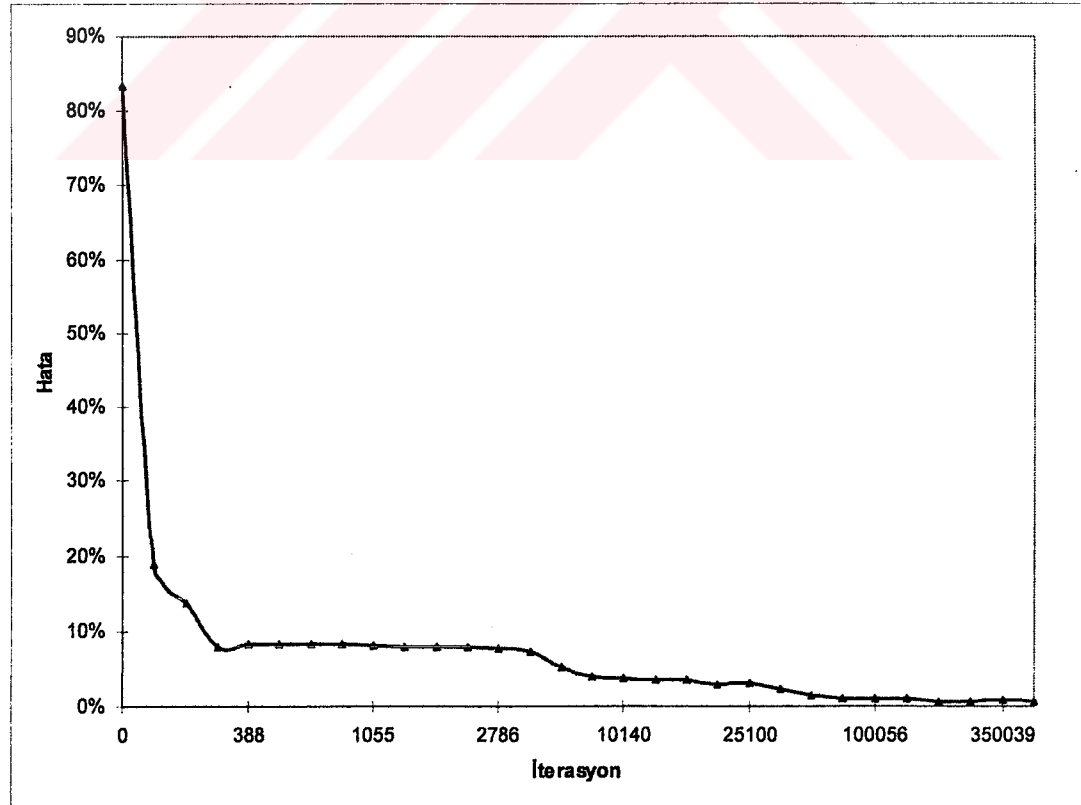
Şekil 6.4 Gizli katman nöron sayısı 25 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.4. Gizli katman nöron sayısı 15 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.10' da ve Şekil 6.5' de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.10 15 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	83,33%	1506	7,78%	25100	3,06%
45	18,89%	2027	7,78%	35146	2,22%
117	13,75%	2786	7,64%	50024	1,53%
270	7,92%	3549	7,36%	76582	0,97%
388	8,19%	5151	5,14%	100056	1,11%
559	8,19%	7542	4,03%	150149	0,97%
653	8,19%	10140	3,75%	200108	0,69%
798	8,19%	12586	3,61%	250037	0,69%
1055	8,06%	15104	3,61%	350039	0,83%
1263	7,92%	20095	2,92%	502092	0,69%



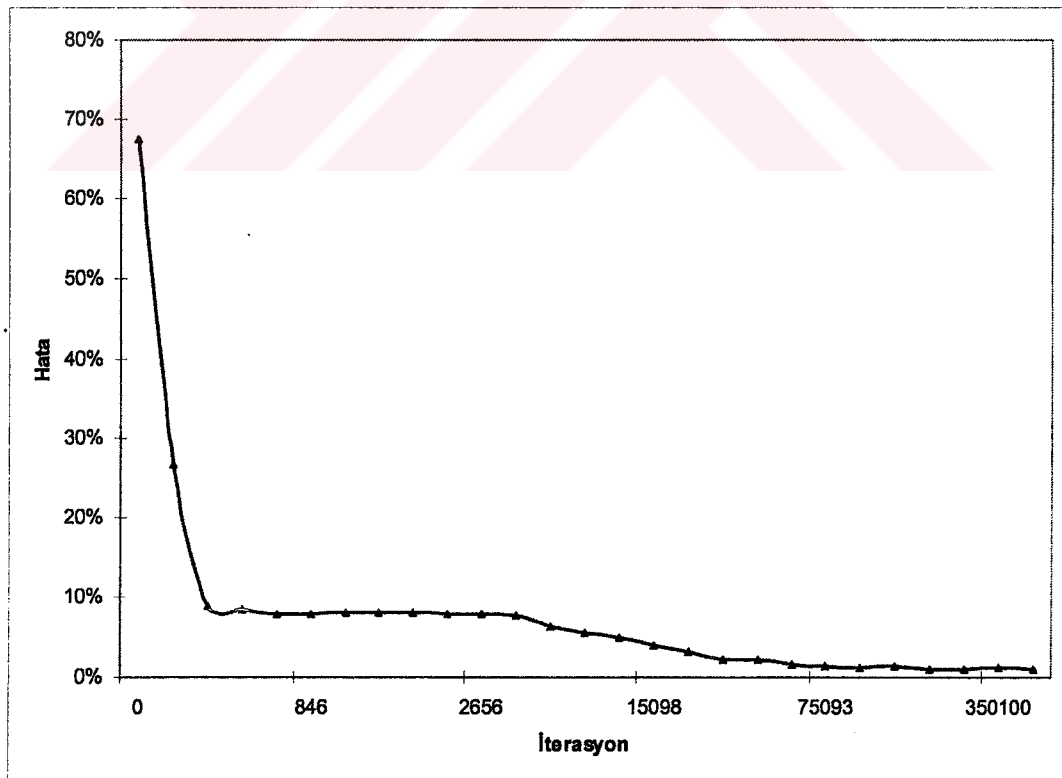
Şekil 6.5 Gizli katman nöron sayısı 15 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.5. Gizli katman nöron sayısı 10 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.11' de ve Şekil 6.6' da iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.11 10 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	67,50%	2656	7,78%	75093	1,39%
74	26,81%	3657	7,64%	100073	1,11%
193	8,89%	5154	6,25%	150126	1,39%
394	8,47%	7631	5,56%	200127	0,97%
525	7,92%	10130	5,00%	250064	0,97%
846	7,92%	15098	4,03%	350100	1,11%
1101	8,06%	20061	3,06%	502233	0,97%
1320	8,06%	25017	2,22%		
1627	8,06%	35119	2,08%		
2086	7,92%	50136	1,67%		



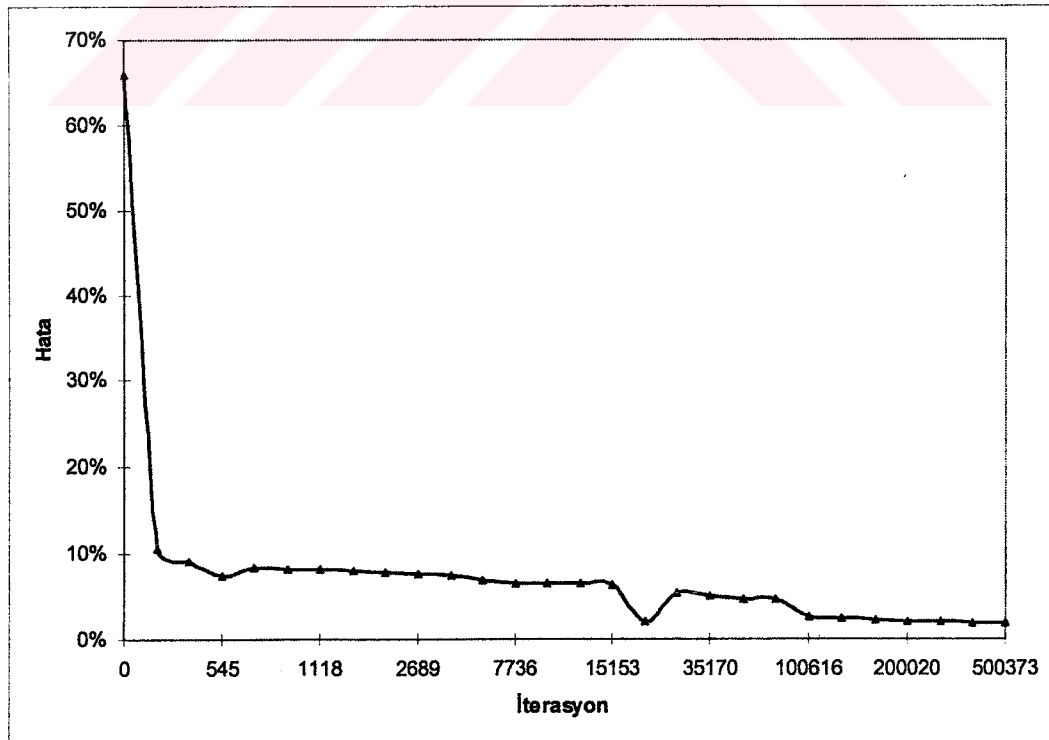
Şekil 6.6 Gizli katman nöron sayısı 10 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.6. Gizli katman nöron sayısı 5 alındığında simülasyon sonuçları

Aşağıdaki Tablo 6.12' de ve Şekil 6.7' de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 6.12 5 Nöron için iterasyon-hata oranı tablosu

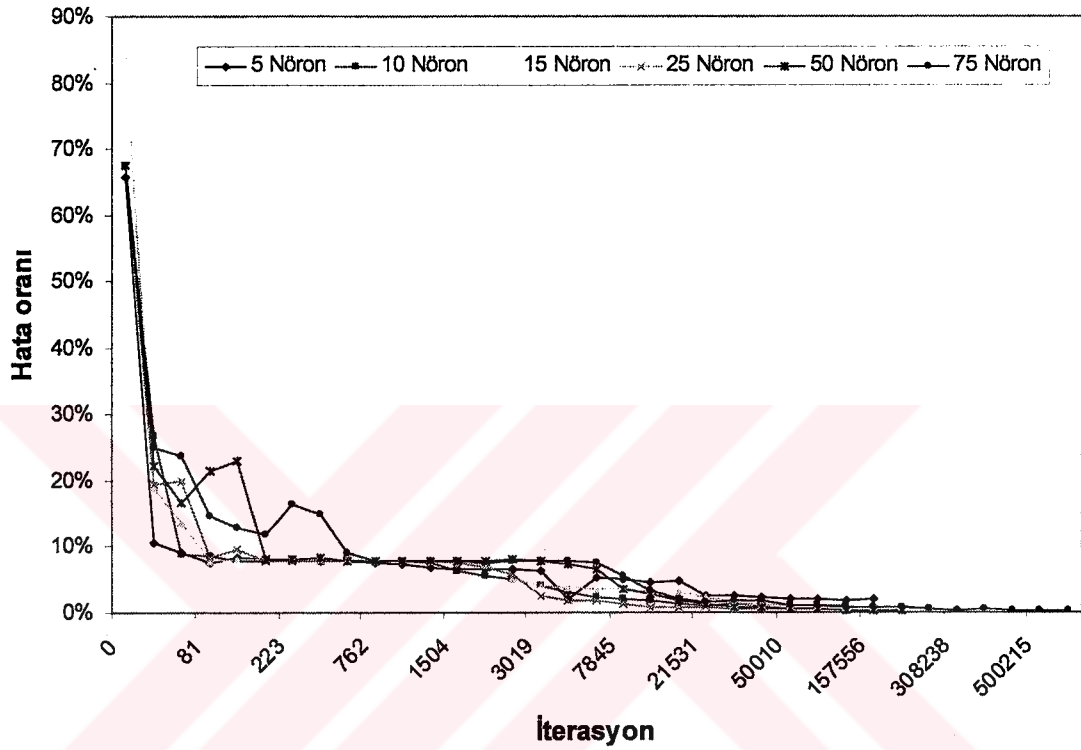
İterasyon	Hata	İterasyon	Hata	İterasyon	Hata
0	65,83%	3664	7,36%	75204	4,72%
97	10,56%	5065	6,94%	100616	2,64%
334	9,17%	7736	6,53%	125048	2,50%
545	7,50%	10139	6,53%	150123	2,22%
742	8,33%	12572	6,53%	200020	2,08%
979	8,19%	15153	6,39%	250022	2,08%
1118	8,19%	20290	2,08%	350454	1,81%
1595	7,92%	25171	5,42%	500373	1,94%
2131	7,78%	35170	5,00%		
2689	7,64%	50074	4,58%		



Şekil 6.7 Gizli katman nöron sayısı 5 olan yapay sinir ağında hata oranı değişim grafiği

6.4.7. Gizli katman nöron sayılarına göre eğitim sonuçlarının tek grafikte karşılaştırılması

Aşağıdaki Şekil 6.8’ de iterasyon sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir.



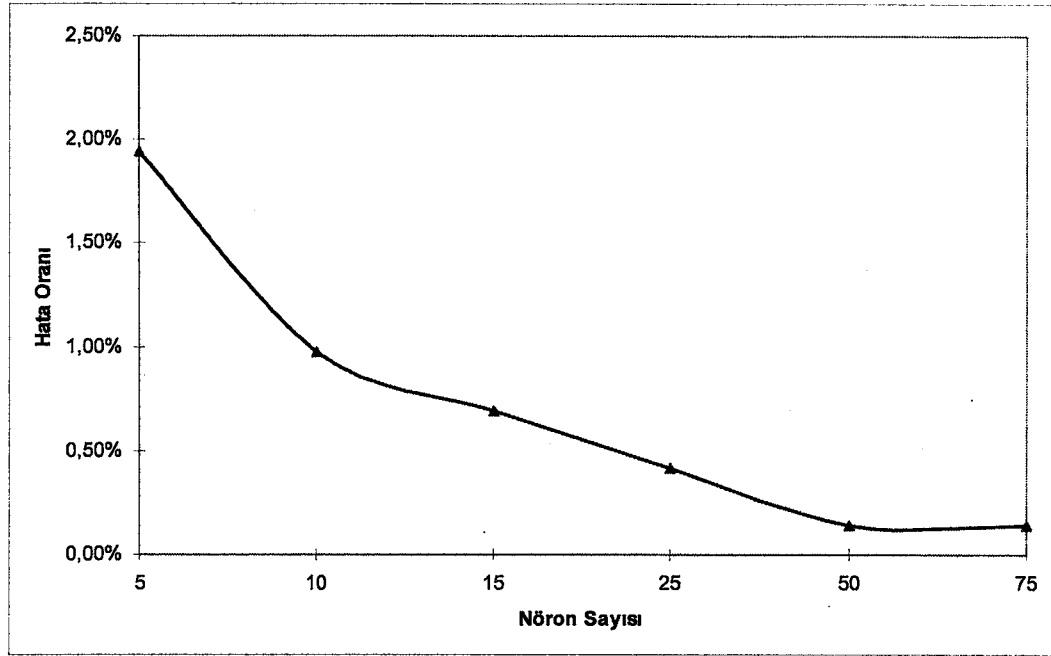
Şekil 6.8 Çeşitli nöron sayılarındaki grafiklerin tek grafik üzerinde karşılaştırılması

6.4.8. Gizli katman nöron sayısının değişimine göre hata oranı grafiği

Aşağıdaki Tablo 6.13 ve Şekil 6.9’ da nöron sayısına göre hata oranlarının değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi gizli katman nöron sayısını 50 den daha fazla arttırmanın bize daha fazla katkı sağlamayacağı görülmektedir.

Tablo 6.13 Nöron sayısı-hata oranı tablosu

Nöron Sayısı	5	10	15	25	50	75
Hata Oranı	1,94%	0,97%	0,69%	0,42%	0,14%	0,14%



Şekil 6.9 Gizli katman nöron sayısının değişimine göre hata oranı değişim grafiği

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada kestirimci bakım ve titreşim analizi için “ISO-2372 orta ölçekli makinaların titreşim değerlendirme standartları” tablosu kullanılarak oluşturulan eğitim seti yapay sinir ağını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. Bunun için önce giriş, bir gizli ve çıkış katman olmak üzere üç katmanlı yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Giriş için kullanılan eğitim data sayısı 720x9 'luk bir matristen, test için kullanılan data ise 200x5 lik matristen oluşmaktadır. Eğitme işlemi gizli katman nöron sayısı 5, 10, 15, 25, 50 ve 75 olan ağların ayrı ayrı eğitimi gerçekleştirilmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi sonucu veren ağ yapısı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda kestirimci bakımda kullanılan trend grafiklerine uyarlanmaya çalışılmıştır. Eğitme esnasında geri yayılım (Back-Propagation) algoritması kullanılmıştır.

Eğitim işlemi yüksek iterasyonlar içinde uygulanmıştır. Çeşitli gizli katman nöron sayılarındaki elde edilen eğitim sonuçlarında çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Grafik sonuçlarından görüldüğü gibi çeşitli nöron sayıları için elde edilen sonuçlar istenen düzeydedir. Ancak birbirlerine göre eğitme işleminin daha iyi olmasından söz edilebilir. 5, 10, 15, 25, 50 ve 75 nöronlu tek gizli katmana sahip her bir ağ için ayrı ayrı elde edilen eğitim sonuçlarına ait grafikler hata oranının iterasyon sayısı ile değişimi şeklinde gösterilmiştir. Şekil 6.9'da da gizli katman nöron sayısına bağlı olarak hata oranlarının değişimi verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi 0 ile 500 bin arasındaki çeşitli iterasyonlar da eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 0-300 gibi düşük iterasyonlar da hata oranı hızla iyileşmekte, 300 iterasyondan sonra hata oranı çok yavaş iyileşme göstermektedir.

7.1. Çeşitli Nöron Sayıları İçin Test Sonuçları İle İstenen Sonuçların Karşılaştırılması

Test dosyası eğitim sonucunda yapay sinir ağına uygulanmış ve test sonuç dosyası elde edilmiştir. Test sonuç dosyasındaki verilerden de makina gücüyle makina titreşiminin durumunu gösteren makine gücüne bağlı durum grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler 5, 10, 15, 25, 50 ve 75 nöron için ayrı ayrı test sonuç dosyasından elde edilmiştir. Her bir nöron sayısı için elde edilen grafikler değişik hata oranlarından dolayı birbirinden biraz farklılıklar gösterse de birbirine benzerdir. Bu grafiklerde yatay eksenle makina gücü değerleri kullanılmıştır. Bundaki amaç değişik makinaların arıza durumlarını tek grafik üzerinde görebilmek içindir.

5 ve 10 Nöron için test sonuçları ve tablo değerleri kısaltılarak örnek için Tablo 7.1 ve Tablo 7.2 'de verilmiştir. 15, 25, 50 ve 75 Nöron için sonuçlar benzer olduğu için burada ayrıca verilmemiştir.

Tablo 7.1 Nöron sayısı 5 iken test sonuç ve tablo değerleri

GÜÇ	TABLO DURUM	HESAPLANAN DURUM	GÜÇ	TABLO DURUM	HESAPLANAN DURUM
1	İYİ	İYİ	90	İYİ	İYİ
1	İYİ	İYİ	90	GEÇERLİ	GEÇERLİ
2	GEÇERLİ	GEÇERLİ	90	GEÇERLİ	ALARM
2	ALARM	ALARM	90	ALARM	ALARM
2	ALARM	ALARM	95	ARIZA	ARIZA
2	ARIZA	ARIZA	95	ARIZA	ARIZA
5	ARIZA	ARIZA	110	İYİ	İYİ
5	ARIZA	ARIZA	110	ARIZA	ARIZA
5	ARIZA	ARIZA	110	ARIZA	ARIZA
5	ARIZA	ARIZA	125	İYİ	İYİ
10	İYİ	İYİ	:	:	:
10	ARIZA	ARIZA	:	:	:
10	ARIZA	ARIZA	:	:	:
20	İYİ	İYİ	225	İYİ	İYİ
20	ARIZA	ARIZA	250	GEÇERLİ	GEÇERLİ
20	ARIZA	ARIZA	250	GEÇERLİ	GEÇERLİ
30	İYİ	İYİ	250	ALARM	GEÇERLİ
30	İYİ	İYİ	250	ALARM	ALARM
:	:	:	250	ARIZA	ALARM
:	:	:	250	ARIZA	ARIZA

Tablo 7.2 Nöron sayısı 10 iken test sonuç ve tablo değerleri

GÜÇ	TABLO DURUM	HESAPLANAN DURUM	GÜÇ	TABLO DURUM	HESAPLANAN DURUM
1	İYİ	İYİ	20	ARIZA	ARIZA
1	İYİ	İYİ	30	İYİ	İYİ
2	GEÇERLİ	GEÇERLİ	:	:	:
2	ALARM	ALARM	:	:	:
2	ALARM	ALARM	:	:	:
2	ARIZA	ARIZA	:	:	:
5	ARIZA	ARIZA	100	ALARM	ALARM
5	ARIZA	ARIZA	100	ALARM	ALARM
5	ARIZA	ARIZA	100	ARIZA	ARIZA
5	ARIZA	ARIZA	125	İYİ	İYİ
14	İYİ	İYİ	125	İYİ	İYİ
14	İYİ	İYİ	125	İYİ	İYİ
14	İYİ	İYİ	:	:	:
14	ALARM	GEÇERLİ	:	:	:
15	ARIZA	ARIZA	:	:	:
15	ARIZA	ALARM	:	:	:
15	İYİ	İYİ	250	GEÇERLİ	GEÇERLİ
16	ARIZA	ARIZA	250	GEÇERLİ	GEÇERLİ
20	İYİ	İYİ	250	ARIZA	ARIZA
20	ARIZA	ARIZA	250	ARIZA	ARIZA

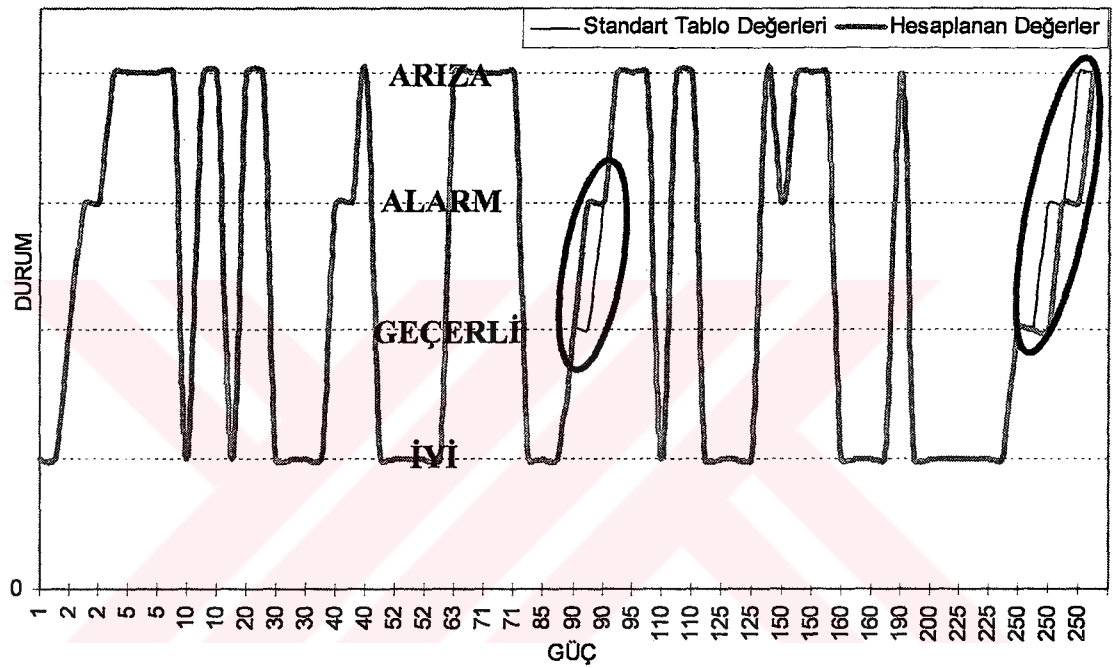
7.1.1. Çeşitli nöron sayıları için test sonuçlarının grafikleri

Burada değişik nöron sayılarındaki yapay sinir ağı sonuçlarıyla yani hesaplanan değerlerle tablo değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. arasındaki sapma grafikler üzerinde görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi en iyi sonucu gizli katman sayısı 75 olan yapay sinir ağı vermiştir. Bu ağda hemen hemen yapay sinir ağı sonuçlarıyla tablo değerleri arasında hiçbir fark bulunmamaktadır. Grafikler için hazırlanan tablo verileri Tablo 7.1 ve 7.2'deki verilerle benzerlikler taşıdığı için verilmesine gerek duyulmamıştır.

Eğitim işleminden sonra test sonuçlarının doğruluğunu görebilmek için durum ve makina gücü grafikleri elde edilmiştir. Burada yatay ekseninde 0-250 kW güç değerleri, dikey ekseninde ise makinanın titreşim açısından “iyi, geçerli, alarm ve arıza” şeklinde sağlığını gösteren durum değerleri konulmuştur.

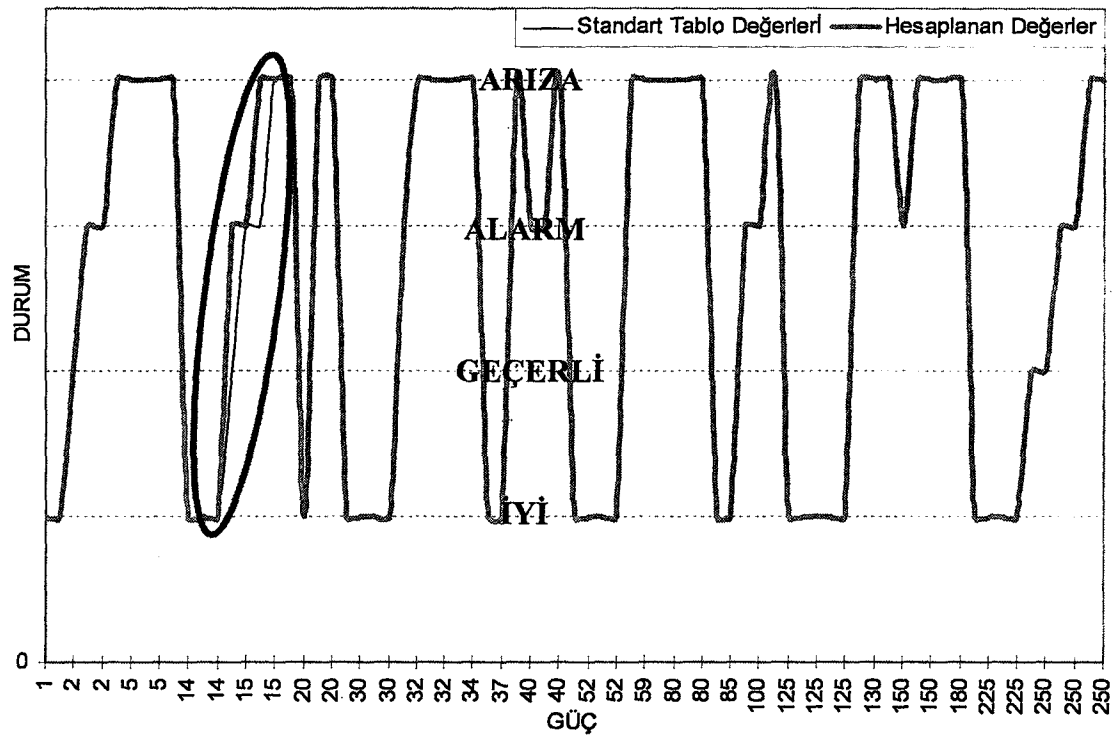
Çeşitli gizli katman nöron sayılarındaki karşılaştırmalar aşağıdaki grafiklerde görülmektedir.

Şekil 7.1 'de 5 gizli katmana sahip yapay sinir ağında hesaplanan değerlerle (yapay sinir ağı sonuçlarıyla) tablo değerlerinin gerçek değerlerle istenen değerler arasında iki bölgede sapma gözükmemektedir. Buda bize 5 gizli katmanlı ağı bizim için tam olarak yeterli olmadığını göstermektedir.

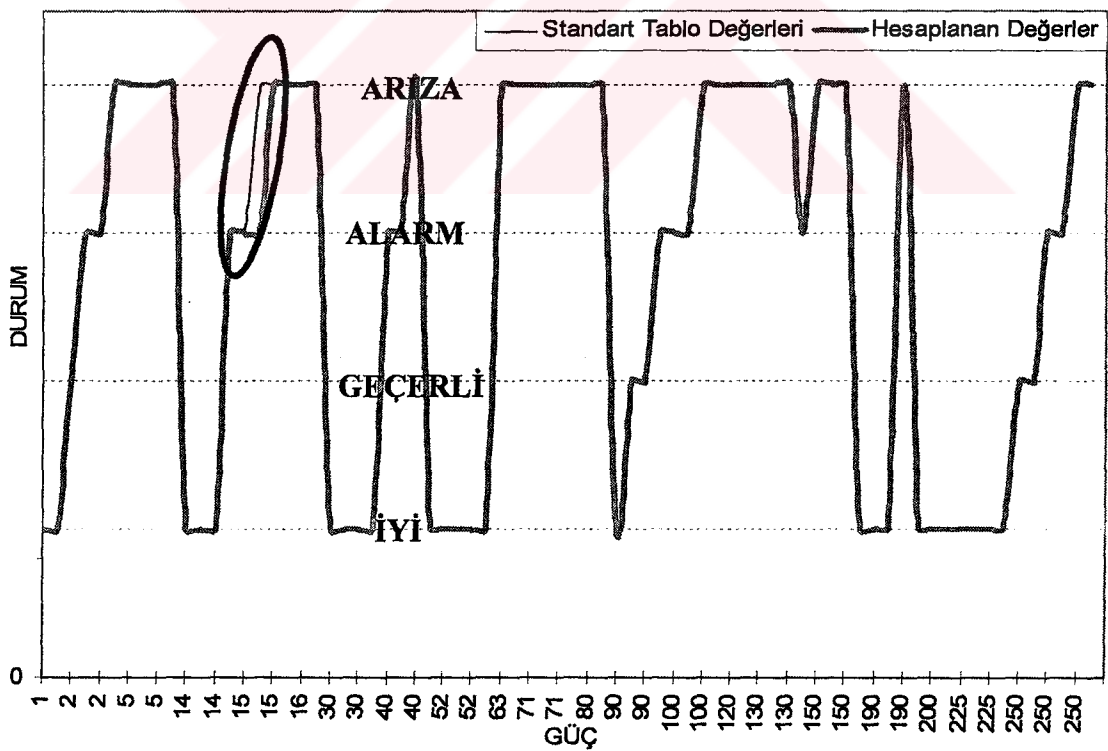


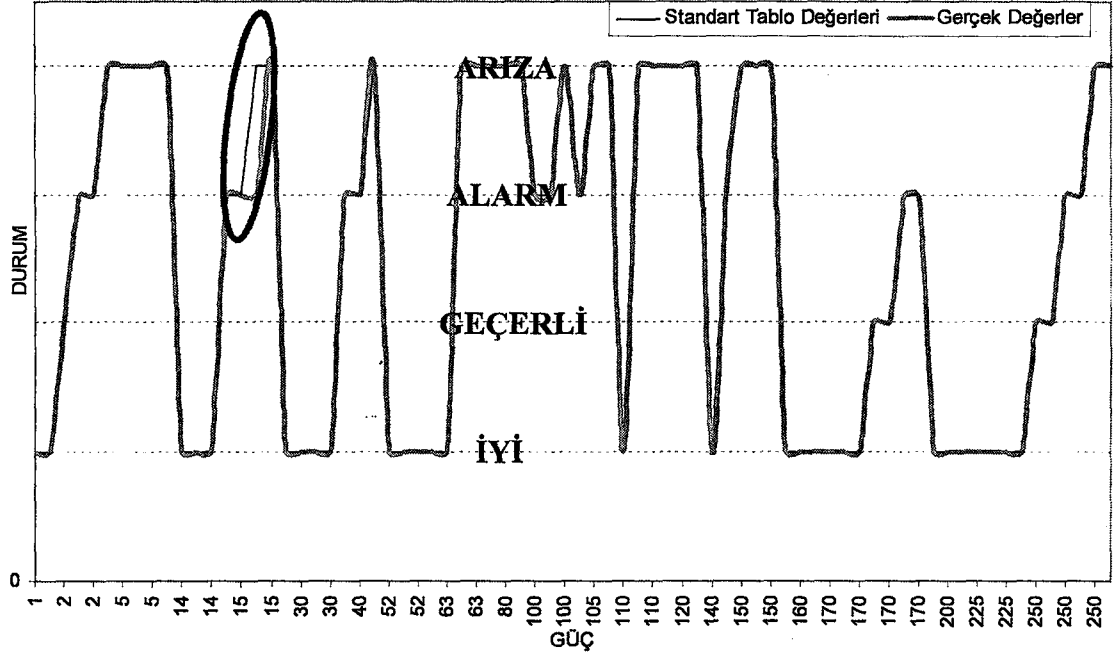
Şekil 7.1 Gizli katman nöron sayısı 5 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği

İleri iterasyonlar da hata oranı düştüğünden dolayı gizli katman nöron sayılarının arttırıldığı durumlardaki sonuçları gösteren Şekil 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 'te ise iyileşmeler gözlenmekte ve sapma bir bölgeye düşmektedir. Buda bize gizli katman sayısını biraz daha arttırdığımızda daha iyi sonuçlar alacağımızı göstermektedir.

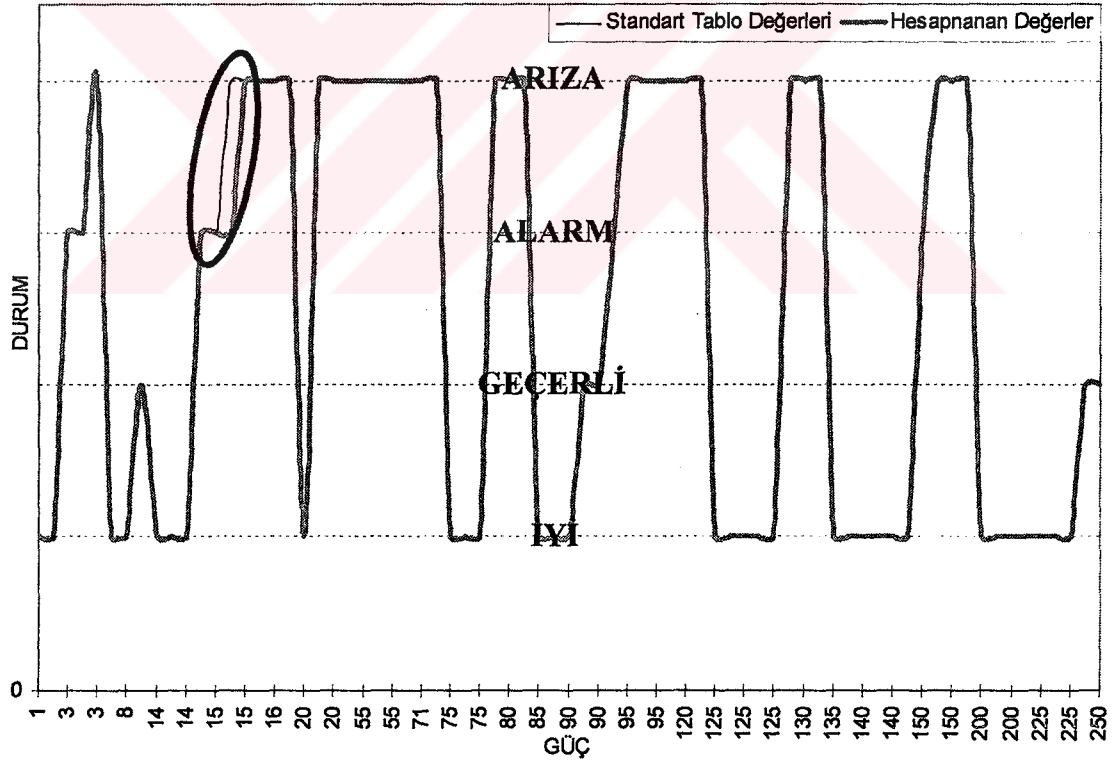


Şekil 7.2 Gizli katman nöron sayısı 10 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği





Şekil 7.4 Gizli katman nöron sayısı 25 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği



Şekil 7.5 Gizli katman nöron sayısı 50 olan yapay sinir ağı için karşılaştırma grafiği

Şekil 7.6 ise 75 gizli katmanlı yapay sinir ağının test sonuçlarını göstermektedir. En az hata oranı %0.14 (Tablo 6.11) ile bu ağda sapma hemen hemen yok denebilir.

BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tek gizli katmanlı geri beslemeli backpropagation yapay sinir ağları kullanılarak ISO standartları tarafından verilen orta ölçekli makinalar için titreşim standartları eğitimi yapılmıştır. Eğitim işlemini gerçekleştirebilmek için 720x9 'luk bir veri matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre sonuçlar kısmında da değinildiği gibi 50 ve 75 nörona sahip ara katmanlı yapay sinir ağında hata oranları 0.14% olarak en düşük değere sahiptir. Bu çalışmada iterasyon sayıları çok yüksek tutulmuştur. Bunda hem verilerin kompleks hem de çok küçük titreşim değerleri bile makinalarda çok önemli olduğu için çok hassas bir eğitim işleminin gerçekleşmesi isteği önemli rol oynamıştır. Gerçekte grafiklerden de görüleceği üzere düşük iterasyon sayılarındaki sonuçlarda yeterli olabilmektedir. İterasyon değerinin yüksek olmasından dolayı ara katman nöron sayısı düşük olan ağlarda bile çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo değerleriyle (istenen sonuçlarla) yapay sinir ağı sonuçlarının (hesaplanan sonuçların) karşılaştırılmasında da güce bağlı durum grafikleri verilmiştir. Bunun için yapay sinir ağı eğitilirken giriş olarak zaman verileri de girilmelidir. Böylece elde edilen verilerin içine zamanda gireceği için birebir kestirimci bakıma uygulanabilir hale gelecektir. Buda titreşim analiziyle hata teşhisinde yardımcı olacaktır. Bu grafikler daha da iyileştirilerek trendlerin standartlara göre karşılaştırma grafikleri elde edilebilir. Elde edilen güce bağlı durum grafikleri üç boyuta dönüştürülerek üçüncü boyuta zaman (süre) değerleri yazılabilir. Böylece değişik güçteki bir çok makinanın alarm düzeylerinin aynı anda izlenmesine olanak sağlanmış olur.

İyi bir kestirimci bakımın alt yapısının arka planını oluşturacak uzman sistem yapılarının geliştirilmesi, makine datalarının ve benzeri standartların bu yapıya öğretilmesi ile her ölçüm sonunda ölçülen değerlerin anında kontrol edilmesi ve ekrana yansıtılması temel amaçlardan birisidir.

Bu çalışma esas alınarak önleyici bakım programı, uzman sistem destekli yapılabilir. Burada kullanılan YSA algoritmasıyla;

1. Değişik standartlar
2. Prototip bilgileri
3. Önceki ölçüm trend bilgileri,

ile program eğitilerek, hızlı karar verebilen kestirimci bakım programları hazırlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Alan Friedman, "What Is the "Crest Factor" and How Is It Used" (Version en Espa ol) DLI Engineering.
- [2] ARTHUR R. CRAWFORD, "The Simplified Handbook of Vibration Analysis", Volume 2, Computational Systems, Inc., Knoxville, TN, 1992.
- [3] BARUTÇU B.,  EKER S., AYAZ E., TÜRKCAN E., "Borssele nükleer güç santralında birinci devre pompalarının titreşim analizi ve nötron akısına tesiri", Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği 10. ulusal kongresi, İT ., 80626, Maslak, İstanbul, Türkiye.
- [4] Bradley, J.A., "An Introduction to Time Waveform Analysis".
- [5] ÇAĞLAYAN, İ.H., "Değişik Tip Pompalarda Titreşim  l  m ve Analizi ile Arıza Tanımı", VibraTek Ltd  ti.
- [6] ÇAĞLAYAN, İ.H., "Sağlıklı Titreşim Analizi için 3 Eksende  l  m Neden Gereklidir?", VibraTek Ltd  ti.
- [7] ELMAS,  ., "YAPAY Sinir Ağları", Seçkin Y., Ankara, 2003.
- [8] GÜNTÜRKÜN, R., "İleri Beslemeli ve Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir A larını Kullanarak Harmoniklerin Kompanzasyonu", Doktora Tezi, SA .FBE, Temmuz 2003.
- [9] HINKLE, M., "Mechanical Vibrations", Prentice – Hall Of India Private Limited, NEW DELHI, 1968.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Baptiste_Joseph_Fourier
- [11] <http://www.backpropagation.netfirms.com>
- [12] <http://www.cage.curtin.edu.au/mechanical/info/vibrations/intro.htm>
- [13] <http://www.compsys.com>
- [14] <http://www.dliengineering.com>
- [15] <http://www.equipment-reliability.com/article.htm>

- [16] <http://www.proplan.com.tr>
- [17] <http://www.topaz.com.tr>
- [18] IRD (İndustrial Research & Developement) Arıza Tipleri Tablosu
- [19] ISO-2371 (Genel Makina Titreşim Değerlendirme Tablosu)
- [20] KUBİLAY, R.K., “Kestirimci Bakım ve İstatistik Yöntemler”, Otomasyon Dergisi, 1996.
- [21] KUBİLAY, R.K., “Kestirimci Bakım Yönetimini Uygulamak”, Otomasyon Dergisi, 2001.
- [22] KUBİLAY, R.K., “Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi”, Mühendis ve makina, Cilt 45, Sayı 538.
- [23] KUBİLAY, R.K., “Titreşim Analizi Yönlendirme Tablosu”, Ankara, 1997
- [24] KUBİLAY, R.K., “Titreşim Mühendisliği Ansiklopedik Sözlük”, 2002
- [25] KUMARASWAMY. S., RAKESH. J., AMOL KUMAR N., “Standardization of absolute vibration level and damage factors for machinery health monitoring”, Proceedings of VETOMAC-2, 16-18 December, 2002.
- [26] KUNAÇ B., “Makina Performansının titreşim analizi metotları yardımıyla belirlenmesi ve rulmanlarda titreşim analizi ile hasar tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, Haziran 1996.
- [27] MEIROVITCH, L., “Elements Of Vibration Analysis”, International Student Edition, 07-085499-8, College of Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State Universty, Kogakusha, Ltd., 1975.
- [28] ORHAN, S., ARSLAN, H., AKTÜRK, N., “Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi”, Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Cilt 18, No 2, 39-48, 2003, Maltepe 06570 Ankara.
- [29] ORHAN, S., AKTÜRK N., “Aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 3, 97-106, 2003.
- [30] PASİN, F., “Mekanik Titreşimler Ders Notları”, İTÜ, Mak. Fakültesi, 1984.
- [31] ROBERT F., STEIDEL, J.R., “An İntroduction To Mechanical Vibrations”, Third Edition, 1989.

- [32] TAYLOR J., I. and KIRKLAND D. W, “ Understanding The Time Domain Signal is Required for Diagnostics and Improvements in Equipment Maintainability and Reliability”, www.vibcons12.com/papers/paper2.html, 2000
- [33] TEMURTAŞ H., “Üç Eklemlili Bir Robot Kolunun Yapay Sinir Ağı Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol İle Eklem Esaslı Yörünge Kontrolü”, Doktora Tezi, SAÜ, FBE, Mart 2004.
- [34] TOPRAK, T., BELEK, H.T., “Endüstriyel Tesislerde Makina Performansının İzlenmesi ve Bilgisayar Destekli Bakım Planlaması Kurs Notları”, İTÜ, Makina Fakültesi, Gümüşsuyu, İstanbul, 1992.



ÖZGEÇMİŞ

1975 Demirci Manisa doğumludur. İlk ve orta öğrenimini Simav-Yeniköy ilköğretim okulunda lise öğrenimini ise Simav Lisesi' nde tamamlamıştır. 1994 yılında girdiği SAÜ SMYO Demiryolu ve Araçları bölümü ön lisans eğitimini birincilikle tamamlamıştır. 1996 yılında SAÜ Müh. Fak. Mak. Müh. Bölümüne girmiştir. 1999 da bu bölümü bitirip kısa bir süre piyasada çalıştıktan sonra 2002 yılında yedek subay olarak askerliğini tamamlamıştır. Aynı sene SAÜ FBE Mak. Müh. Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

