DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE PLANLI BAKIM SİSTEMİ UYGULAMALARI VE ARIZA MODLARININ ANALİZİ

Burak GÖKSU

Aralık, 2017
İZMİR

GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE PLANLI BAKIM SİSTEMİ UYGULAMALARI VE ARIZA MODLARININ ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı,
Deniz Ulaştırma Sistemleri Programı

Burak GÖKSU

Aralık, 2017
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BURAK GÖKSU, tarafından **YRD. DOÇ. DR. KADİR EMRAH ERGİNER** yönetiminde hazırlanan "**GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE PLANLI BAKIM SİSTEMİ UYGULAMALARI VE ARIZA MODLARININ ANALİZİ**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yrd. Doç. Dr. K. Emrah ERGİNER

Yönetici

Prof. Dr. Ali Can Takinacı

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Nuran

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezimin başlangıcından beri her konuda bana yardımcı olan ve tavsiyelerini esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. K. Emrah ERGİNER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez süresince olgunlaştırdığım fikirlerimi uygulamaya dökmemde yardımcı olan çalışma arkadaşlarım; Murat BAYRAKTAR'a, Süleyman Aykut KORKMAZ'a ve Onur YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Gerek eğitim hayatımda gerekse özel hayatımda desteklerini, ilgilerini ve sevgilerini esirgemeyerek bu günlere gelmemi sağlayan sevgili anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak GÖKSU

GEMİ DİZEL MAKİNELERİNDE PLANLI BAKIM SİSTEMİ UYGULAMALARI VE ARIZA MODLARININ ANALİZİ

ÖZ

Eskiden mali yük olarak düşünülen bakım uygulamaları, emniyet, güvenlik, çevre ve kaliteli hizmet verebilmenin yolu olarak düşünülse de, gemi işletmeci şirketlere güvenilirlik ve tanınırlık kazandırmaktadır. Gemilerin bakımının planlanması; önceliklerin belirlenmesi ve kaynakların verimli kullanımını hedeflerken, gemilerin kullanılabilirliğini optimize ederek ticari faaliyetlerden daha fazla kar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bakım süreçlerinin başlangıç zamanları ve gerekli zaman ve maliyet hesapları, bu konuda her zaman cevaplanmak istenen sorulardır. Şirketlerin kendilerine uygun ve sistematik bakım politikasını benimsemeleri, belirsiz duruşları azaltarak operasyonel kapasitenin artmasını sağlamaktadır. Bu konuda benimsenen stratejiler birbirinden farklı olsa da amaçları aynıdır.

Hâlihazırda, gemilerde yedek parça stok durumu, arıza verileri ve ilgili bakım-onarım süreçlerine ilişkin prosedürler yer almaktadır. Sürekli izleme ve kısmi denetimler sonucunda bakım sürecinin etkinliği artırılmaya çalışılmaktadır. Toplam sürecin etkinliğini artırmak için gemide kontrollerin olmasının yanı sıra, karadan da aynı süreç izlenmektedir. Günümüz teknolojisi gemideki sürecin anlık olarak karadan takibine olanak sağlamaktadır. Bilgi sistemine bağlı bütün gemiler karadaki tek bir bilgisayardan kontrol edilebilmekte ve durum değerlendirmesine dayalı bilgi paketleri ilgili geminin sistemine anlık aktarılabilmektedir.

Bu çalışmada amaç; gemi işletmeci şirket gözünden bakarak, filonun durumunun izlenmesi sonucu elde edilen arıza verilerinden yola çıkılarak, gelecekteki arızaların zamanını tahmin edebilmektir. Bu, işletmeciye yedek parça kontrolü ve operasyonel faaliyetler konusunda öngörüde bulunma konusunda yardımcı olmaktadır. Uygulamadaki amaç, Yapay Sinir Ağları yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi makineleri, planlı bakım, yapay sinir ağları

PLANNED MAINTENANCE SYSTEM APPLICATIONS IN MARINE DIESEL ENGINES AND ANALYSIS OF THE FAILURE MODES

ABSTRACT

Maintenance practices, which were formerly considered as financial burdens, bring maritime companies reliability and popularity even though they are considered as ways of providing safety, security, environment and quality service. Planning of ship maintenance; aims to make more profits from commercial activities by optimizing the availability of vessels while targeting priorities and efficient use of resources. The start times of the maintenance processes and the necessary time and cost calculations have always been the questions to be answered. Companies adopting their own and systematic maintenance policy will increase operational capacity by reducing abrupt breakdowns. Although the strategies adopted in this respect are different from each other, their aims are the same.

At the present time; procedures for spare part availability, failure data and related maintenance-repair knowledge are included in the ships. As a result of continuous monitoring and partial inspections, efforts are being made to increase the efficiency of the maintenance period. In order to increase the efficiency of the total process, the same process is followed from the land as well as the controls on board. Today's technology helps for instant monitoring of the process from land. All vessels connected to the information system can be controlled from a single computer in the main office, and information packages based on the situation assessment can be instantly transferred to the system of the relevant ship.

Our purpose in this study is; looking from the side of shipowner company, observing the situation of the fleet is to be able to predict the time of the next failures by way of the fault data obtained from former. This will help the company to foresee spare parts control and operational activities. Artificial Neural Networks method will be used fort his study.

Keywords: Ship engines, planned maintenance, artificial neural networks

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

BÖLÜM İKİ – BAKIM YÖNETİMİ VE YAKLAŞIMLAR 4

2.1 Arıza ve Türleri 7
2.2 Bakım ve Hedefleri 9
2.3 Bakım Felsefesi Tarihi Gelişimi 10
2.4 Bakım Yaklaşımlarının Sınıflandırılması 12
2.4.1 Plansız Bakım 12
2.4.2 Planlı Bakım 13
2.4.3 Üretken Bakım 14
2.4.4 Toplam Üretken Bakım 15
2.4.5 Güvenilirlik Merkezli Bakım 17
2.5 Sistemin Güvenilirliği 19
2.5.1 Arıza Oranı 20
2.5.2 Arızalar Arası Ortalama Süre (AAOS) 21
2.5.3 Elverişlilik 21
2.6 Bakım Yönetimi 22
2.6.1 Bakım-Onarım Süreci 23

2.6.2 Yenileme Süreci 24
2.6.3 Bakım-Onarım Politikaları 24
2.6.4 Kaynak Yönetimi 26
2.6.5 Bakım-Onarım Performans Kriterleri 28

BÖLÜM ÜÇ – DENİZCİLİKTE BAKIM SİSTEMLERİ 31

3.1 Gemi Yönetimi 34
3.2 Ekipman Yönetimi 37
3.2.1 Kritik Ekipman 37
3.2.2 Ekipman Kontrolü 38
3.2.3 Arıza Kayıt Sistemi 39
3.2.4 Bakım Prosedürleri 40
3.2.5 Planlı Bakım Sistemi (Planned Maintenace System [PMS]) 41
3.3 Risk Yönetimi 43
3.3.1 Denizcilikte Emniyet (Safety) ve Güvenlik (Security) Kavramları 45
3.3.2 Denizcilikte Güvenilirlik Kavramı 47
3.4 ISM Kod ve Etki Alanları 50
3.4.1 ISM Kod Madde 10 ve Bakım Sistemine Etkileri 52
3.5 Can Güvenliği ve Bakım 55
3.6 Karlılık ve Bakım 55
3.7 Bakımın Çevre Koruma Politikalarına Etkileri 58

BÖLÜM DÖRT – BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ 59

4.1 Genel İşlevleri 60
4.2 Uygulama Alanları 61
4.3 Avantaj ve Dezavantajları 63
4.4 Denizcilikte Kullanımı 65

4.5 Genel Beklentiler 69

BÖLÜM BEŞ – UYGULAMA 72

5.1 Yöntem 74
5.1.1 Yapay Sinir Ağları (YSA) Tarihçesi 75
5.1.2 YSA Uygulamaları 77
5.1.3 YSA'nın Genel Özellikleri 79
5.1.4 YSA'nın Dezavantajları 81
5.1.5 Biyolojik Sinir Hücresi 82
5.1.6 Yapay Sinir Hücresi 85
5.1.7 Yapay Sinir Ağı 88
5.1.7.1 Öğrenme Türlerine Göre Yapay Sinir Ağları 89
5.1.7.2 Bağlantı Tipine Göre Yapay Sinir Ağları 92
5.1.7.3 Katman Sayısına Göre Yapay Sinir Ağları 93
5.1.7.4 Yapay Sinir Ağlarının Performans Ölçütleri 95
5.1.8 Yapay Sinir Ağları ile Zaman Serisi Tahmini 97
5.2 Uygulama Modeli 100
5.2.1 Problem Tanımı ve Kısıtlar 100
5.2.2 Örnek Seti 101
5.2.3 Verilerin Analizi: Yapay Sinir Ağı Modeli 105

BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 120

KAYNAKLAR 122

EKLER 135

EK-1: 105 Nolu Komponente Ait Gelecek Arıza Tahmini 135

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Küvet eğrisi 8
Şekil 2.2 Bakım hedefleri 10
Şekil 2.3 Kestirimci bakım uygulama grafiği 13
Şekil 2.4 Bakım yaklaşımlarındaki değişim 15
Şekil 2.5 Güvenilirlik merkezli bakımda kullanılan bakım teknikleri 18
Şekil 2.6 RCM uygulamasına ait uygulama adımları 19
Şekil 2.7 İşletmelere ait girdi ve çıktılar 27
Şekil 2.8 Bakım fonksiyonunun performans ölçümü 29
Şekil 3.1 Denizcilik işletmelerindeki bakım uygulamalarının gelişimi 43
Şekil 5.1 Biyolojik sinir hücresinin yapısı 83
Şekil 5.2 Yapay sinir hücresi matematik modeli 85
Şekil 5.3 Yapay sinir ağının yapısı 88
Şekil 5.4 İleri beslemeli yapay sinir ağı 93
Şekil 5.5 Geri beslemeli yapay sinir ağı 93
Şekil 5.6 Tek katmanlı yapay sinir ağı 94
Şekil 5.7 Çok katmanlı yapay sinir ağı 95
Şekil 5.8 Zaman serisi algoritma seçimi 106
Şekil 5.9 Veri setinin tanıtılması 107
Şekil 5.10 Veri setinin bölünmesi 108
Şekil 5.11 Ağ yapısı 108
Şekil 5.12 Eğitim algoritmasının seçimi 109
Şekil 5.13 Yapay sinir ağının eğitimi 110
Şekil 5.14 Yapay sinir ağının sonuçları 111
Şekil 5.15 Yapay sinir ağının doğrulanması 112
Şekil 5.16 Hata diyagramı 113
Şekil 5.17 Yapay sinir ağının regresyon değerleri 114
Şekil 5.18 Yapay sinir ağının örnek seti sonuçları 115
Şekil 5.19 Yapay sinir ağı diyagramı 116
Şekil 5.20 Yapay sinir ağı kapalı döngü diyagramı 117

Şekil 5.21 Yapay sinir ağı tahmin diyagramı..... 117

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Bakım beklentilerindeki değişimler 11
Tablo 2.2 Bakım tekniklerindeki değişimler 12
Tablo 2.3 Toplam üretken bakım ve üretken bakım arası farklar 17
Tablo 2.4 Örnek test sonuçları 20
Tablo 3.1 Karadan gemilere yapılan denetimler 35
Tablo 3.2 Gemi içi denetimler 36
Tablo 3.3 Risk değerlendirme yöntemleri 45
Tablo 5.1 Toplama fonksiyonu örnekleri 86
Tablo 5.2 Aktivasyon fonksiyonu örnekleri 87
Tablo 5.3 YSA performans fonksiyonları 96
Tablo 5.4 Sistemlerin arıza adetleri 102
Tablo 5.5 Hava şarj sistemi arızaları 103
Tablo 5.6 Yakıt sistemi arızaları 103
Tablo 5.7 Hidrolik sistem arızaları 103
Tablo 5.8 Yağlama sistemi arızaları 103
Tablo 5.9 Ana makine (yapısal) arızaları 104
Tablo 5.10 Soğutma sistemi arızaları 104
Tablo 5.11 Egzoz sistemi arızaları 104
Tablo 5.12 Manevra sistemi arızaları 104
Tablo 5.13 İlk hareket sistemi arızaları 104
Tablo 5.14 Yapay sinir ağları örnek seti 105
Tablo 5.15 Komponentlerin geçmiş arıza ve tahmini bir sonraki arıza verisi 118

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Denizcilik sektöründe yer alan gemi işletmecilerinin temel amacı; gemilerin işletimi esnasında insana, mala ve çevreye olan etkilerin minimum seviyede olmasını sağlayabilmektir. Bunun için Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization [IMO]) evrensel olarak benimsenebilecek ve uygulanabilecek kurallar koymaktadır. Belirli amaçlar doğrultusunda yürürlüğe konan kurallar, işletmeci şirketlerde finansal sorunlara neden olmadan verimliliği artırarak emniyetli, güvenli ve çevreye duyarlı prosedürleri gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Uluslararası deniz taşımacılığı, küresel ticaretin yaklaşık yüzde 80'ini dünyanın her yerindeki insanlara ulaştırdığı için, daha güvenli, daha az maliyetli ve daha kolay yoldan ürünlerin taşınması ticari çevrelerde kabul görmektedir. Bütün bu isteklerin yerine gelmesinde, gemilerin işletiminde doğrudan etkisi olan insan faktörünün olumsuz etkilerini azaltmayı hedefleyen uygulamalardan biri olan Uluslararası Emniyetli Yönetim Kodu (International Safety Management Code [ISM Code]), 1998 yılında A.788(19) no'lu kararla Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi'nin (International Convention for the Safety of Life at Sea [SOLAS]) dokuzuncu bölümü olarak yürürlüğe girmiştir (IMO, 2017).

ISM Kod, gemi işleten şirketlerin yönetimlerinden; gemi operasyonlarının emniyetli olmasını ve emniyetli çalışma ortamı sağlamasını, tanımlanmış tüm riskleri değerlendirmesini ve uygun emniyet tedbirleri almasını, kara ve gemi personelinin emniyet ve çevre koruma ile ilgili acil durumlara hazırlıklı olmasını ve emniyetli yönetim becerilerini sürekli artırmasını istemektedir. ISM Kod'un isteklerini yerine getirmek için Emniyetli Yönetim Sistemi (Safety Management System [SMS]) oluşturulmalı, sistemin çalışabilmesi için de yetki ve sorumlulukların belirlenmesi gerekmektedir. Sistem çalışırken periyodik denetlemeler sonucunda raporlar tutulmalı ve sistemin işleyişine olumsuz etki eden uygunsuzlukların bir an önce ortadan kaldırılması ISM Kod kapsamında yapılmalıdır (IMO, 2017).

Bahsedilen uygunsuzluklar, yönetimsel olabileceği gibi makine konusunda da olabilmektedir. Makine ve teçhizatın bakım-tutumu gemide çalışan personel, tersane veya dışarıdan temin edilen bakım ekibi tarafından yapılabilmektedir. Bakım periyodları; makine üretici firmaların tavsiyeleri, uluslararası konvansiyonlar veya şirketler tarafından elde edilen tecrübelerin sonucunda düzenlenmektedir. Periyodik bakımın gemi makine ve teçhizatına uygulanıyor olması iki komşu bakım arasında herhangi bir arızanın oluşmayacağı anlamına gelmemektedir. Bir önceki bakımı yapan personelin tecrübesi, kullanılan yedek parçaların kalitesi, ihmal, yağ-yakıt kalitesi, hava koşulları, geminin rotası gibi birçok etken çalışan makinenin arıza vermesine neden olabilmektedir. ISM Kod Bölüm 10'da, gemi işleten şirketler bakım-tutum konusunda sorumlu tutulurken, bu işlemin nasıl yapılacağı kesin kurallar ile sınırlandırılmamaktadır. Bunun aksine, gemilerin insana, mala ve çevreye zararının en az olacak şekilde işletilebilmesini amaçlayan bakım politikalarının benimsenmesi zorunlu tutulmaktadır. Her şirket kendi sistemini kurmak, işletmek ve gözden geçirerek varsa eksiklerini düzeltmekle yükümlüdür (IMO, 2017).

Bu çalışmada amaç; işletmeci şirket gözüyle, mevcut gemi filosunun çalışması esnasında yapılan periyodik bakımlar, meydana gelen arızaların giderilmesi ve daha sonra aynı arıza ile karşılaşılmaması için benimsenecek olan bakım politikaları konusunda ISM Kod'u göz önünde bulundurarak iyileştirme yapılabilecek noktaları değerlendirmektir. Hedeflenen amaç doğrultusunda; periyodik bakım yapılması halinde bile, komşu iki bakım arasında çeşitli sebeplerle arıza yapmış ekipmanların gelecekte ne zaman yeniden arıza yapabileceği tahmin edilmektedir.

Çalışmanın önemi ise; işletmeci şirketlere gemilerinin gelecekteki durumu hakkında önceden bilgi verebilmektir. Yapılması günler alacak olan büyük ve önemli bakımların, en az bir sefer öncesinden bilgisayar yazılımı tarafından şirket yetkilisine haber verilmesiyle, bir sonraki taşınacak yükün ve rotanın seçimine kadar her türlü planlamanın yapılabilmekte olması yüksek önem taşımaktadır. Çalışmada yapılmakta olan uygulamaya, literatürde rastlanılmamakta oluşu da başka bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Yapılan bu çalışma, toplam 6 bölümden oluşmakta ve kullanılan bilimsel yayınlar; '*Ulusal Tez Merkezi*'nde, '*Dokuz Eylül Üniversitesi Kütüphanesi*'nde, '*Google Akademik*'te ve '*Web of Science*'da, Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler yardımıyla bulunmuş yayınlardır. Tezin 2. Bölüm'ünün girişinde, "Planlı Bakım/Planned Maintenance" anahtar kelimeleri kullanılarak aranan bilimsel yayınlar yer almaktadır. Bu yayınlardan yola çıkarak, 2. Bölüm'ün konuları belirlenmekte ve endüstride kullanılan bakım yönetimleri ve yaklaşımları anlatılmaktadır. 3. Bölüm'de ise, "Gemi Bakım/Ship Maintenance" ifadesi, anahtar kelimeler olarak seçilmekte ve 3. Bölüm'de planlı bakım yaklaşımlarının denizcilik sektöründe nasıl algılandığı ve uygulandığı özetlenmektedir. 4. Bölüm, çağımızın konusu olan bilgisayar teknolojilerinin bakım yönetimine olan etkilerini içermektedir. 5. Bölüm'ün giriş kısmında, "Yapay Sinir Ağları/Artificial Neural Networks" anahtar kelimeleri kullanılarak bulunan bilimsel yayınlardan, bu tezin amacına benzer olanları örnek olarak verilmektedir. 5. Bölüm'ün devamında ise uygulamada kullanılacak bilimsel yöntem anlatılmakta ve uygulama modeli tanıtılmaktadır. Son bölüm olan 6. Bölüm'de, analiz sonucunda elde edilen tahmin değerleri, bu değerlere ait yorumlar ve öneriler yer almaktadır. Ayrıca son bölümde, gelecekte ne tür çalışmalara ışık tutulabileceği de değerlendirilmektedir.

BÖLÜM İKİ
BAKIM YÖNETİMİ ve YAKLAŞIMLAR

Bu bölümün giriş kısmında, "Planlı Bakım/Planned Maintenance" anahtar kelimeleri ile yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen yayınların örnek verilmesi, bölümün içeriğinde bahsedilecek konu başlıklarına karar vermektir.

Kaio ve Osaki yaptıkları çalışmada; planlı bakımın kapsamına, arıza veren bir ünitenin düzeltici bakım ile değiştirilmesi ve henüz arıza vermemiş ünitelerin periyodik olarak önleyici bakıma tabii tutulmasını dahil etmektedir. Bu süreçte kullanılan yedek parçaların, temin süreleri ve maliyetleri optimize edilmek istendiğinde, en basit şekilde önleyici bakım için gerekli yedek parça kullanım periyodlarının göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmektedir (Kaio ve Osaki, 1978).

Kaio ve Osaki iki sene sonraki başka bir çalışmasında ise, makinelerin bakım masraflarını azaltma yöntemi olarak; periyodik bakımı gelmiş makineleri bozuluncaya kadar bakıma almayıp, sadece düzeltici bakımı önermektedir. Önerilen politikaya göre; makinelere ait yedek parça siparişi yine periyodik bakıma göre verilecek, eğer hala değişecek ünite çalışıyorsa değiştirilmeyip envantere eklenecek, bozulduğu zaman değiştirilecektir. Bu şekilde yaparak hem masrafları azaltmak, hem de makineleri bakıma sokmayarak üretimden gelir elde etmek amaçlanmaktadır (Kaio ve Osaki, 1980).

1984 yılında Christer ve Waller tarafında yapılan çalışmada; planlı koruyucu bakım sisteminin kurulabilmesi için Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan bir araç filosunun performansının bakım faaliyetleri ile ilişkilendirilmesine yer vermektedir. Çalışma ile üç soruya cevap aranmaktadır. İlki, planlı bakım faaliyetlerinin ihmal edilmesi durumundaki sonuçlar; ikincisi, programda gereksiz öğelerin bulunup bulunmadığının araştırılması ve son olarak da, farklı periyodik bakım frekanslarının sonuçlarının neler olacağıdır. Sonuçta; uygun periyodik bakım

aralığı, arıza onarım oranı ve araç başına yıllık bakım masrafları elde edilmeye çalışılmaktadır (Christer ve Waller, 1984).

1997 yılında Shen, yaptığı çalışmada bakım konusunda düşündüren ilk konunun her zaman maliyetler olduğunu savunmaktadır. Bakımın sadece makineler değil, bütün varlıklar için gerekli olduğunu dile getiren Shen, kamu binalarının bakımı konusuna yer vermektedir. Bakım yetkililerine uygun öncelik listesi verildiğinde, iyileştirilmiş program sayesinde daha az maliyet amaçlanmaktadır. Mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılması konusunda, Londra ve Hong Kong kamu binalarındaki bakım süreci gözden geçirilmektedir (Shen, 1997).

Eroğlu, herhangi bir sistem ve sistemi oluşturan tüm elemanların arızalanmalarının rassal olduğunu savunmakta ve sistemi meydana getiren elemanların ömürlerinin de rassal olduğu sonucuna varmaktadır. Bu sebeple, arızalarla direk ilişkisi nedeniyle bakımın da rassal nitelikte oluşu vurgulanmaktadır (Eroğlu, 1998).

Planlı bakım işleminin gerçek maliyetleri ve maliyet etkinliği hakkında güvenilir, ilgili ve zamanında bilgi verilmesi amacıyla maliyetlendirme çalışmasının yapılması Mirghani tarafından önerilmektedir. Önerilen çerçevede, yedek parçalar, iş gücü ve destek hizmetlerinin maliyetleri yer almaktadır. Mirghani'ye göre, bakım işleri anlık izlenebildiği sürece doğrudan malzeme ve iş gücü ataması yapılabilmektedir. Buna ek olarak, destek hizmetlerinin maliyetleri de kontrol edildikçe eksiksiz denetim ve buna bağlı planlama yapabilme görüşü dile getirilmektedir (Mirghani, 2001).

Görener ve Yenen, rekabetin günümüzde giderek artması, işletmelerin sahip oldukları kaynakları daha verimli kullanabilmelerini zorunlu hale getirdiğini belirtmektedir. Üretim ve hizmet sağlanan her türlü makineyi ve ekipmanı verimli kullanarak sıfır arıza ve sıfır kayıp hedeflendiğinde istenen sonuca varılacağı ileri sürülmektedir. Üretimde aktif çalışan operatörlerin desteğiyle otonom bakım faaliyeti gerçekleştirmek istenmektedir. Bakım faaliyetlerinin üretimle doğrudan ilişkili olduğu vurgulanan diğer noktadır. Sistemin işleyiş şekline göre bakım faaliyetlerinin

işleyişinin şekillendirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır (Görener ve Yenen, 2007).

2010 yılında Krygin tarafından, bir kentin iletim ağlarındaki bakım çalışmalarında kontrol sürecinin zaman zaman probleme dönüşebileceği ve çeşitli amaçlarla ağın bazı bölümlerinde onarım gerekebileceği belirtilmektedir. Büyük ölçekli bir şehrin yaşam destek sistemlerinin güvenilirliği her zaman önem taşımaktadır. Binlerce kilometre uzunluğundaki ve kompleks yapısı ile onarım ve bakım, yüksek masraflar doğurmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Krygin, böyle bir sistemin kontrolsüz bırakılamayacağını ve durum iyileştirme sorunu için planlı bakım sistemlerini önermektedir (Krygin, 2010).

Zorbacı ve Baynal, bakımı; sistemlerde bulunan ekipman ve teçhizatların devamlı çalışabilir olmalarını sağlamak ve faydalı ömürlerini uzatmak için gerekli bir uygulama olarak ifade etmektedir. Bakım uygulamasına başlamadan önce planlama yapılması, bakımın başlangıç ve bitişinin kesinleştirilmesi, hangi üniteye bakım yapılacağının saptanması, bakım için kimin görevlendirileceğinin programlanması önerilmektedir. Planlamanın, bakım için gerekli süreyi kısaltmayı ve bakım maliyetlerini azaltmayı sağlayacağı vurgulanmaktadır. Konu uçak bakımı olduğunda ise bu işlemin otoritelerce belirlenmiş prosedürleri ve kuralları içeren bir işlem haline dönüştüğü ifade edilmektedir. Planlamacının görevinin ise, prosedür ve kurallara uyarak bakım süresini optimize etmek olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında, bakım sırasında ve sonrasında meydana gelebilecek problemlerin öngörülerek irdelenmesi gibi çözüm odaklı uygulamalar da önerilmektedir (Zorbacı ve Baynal, 2011).

Organizasyonların ve sistemlerin, kendilerinden beklenenleri en iyi şekilde karşılamaları için sahip oldukları kaynakların etkin ve verimli kullanılması gerekliliği, Gürbüz ve Cömert tarafından ifade edilmektedir. Çalışan bir üretim tesisi veya sistemin, amaçlarının sürekli faaliyet göstermek ile gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir. Devamlılığı sağlayacak olanın da, son derece yüksek öneme sahip olan bakım işlemi olduğu savunulmaktadır (Gürbüz ve Cömert, 2012).

Özcan ve Eren 2014 yılında yaptığı çalışmada; ekonomiklik ve verimliliği, sürdürülebilir enerji politikasının temel bileşeni olarak tanımlamaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmada, bakım planlamasının enerji verimliliği üzerindeki pozitif etkisine değinilerek, etkin bakım uygulaması ile elektrik üretim maliyetlerinin azaltılması hedef alınmaktadır. Çalışmalarında, Türkiye'deki enerji arz güvenliğine direkt olarak etki eden bir doğalgaz kombine çevrim santrali yer almaktadır. Bakım planlaması probleminin çok amaçlı ve çok kriterli yapısı ile bakım yapılacak ekipmanların sistemler açısından taşıdıkları risklerin dikkate alınması gerekliliğinden yola çıkarak, 9 yıllık iş gücü ihtiyacı ve tesise ait bakım planı çalışma sonunda elde edilmektedir (Özcan ve Eren, 2014).

Örneklenen çalışmalardan yola çıkarak, bu bölümde; "Arıza ve Türleri", "Bakım ve Hedefleri", "Bakım Felsefesi Tarihi Gelişimi", "Bakım Yaklaşımlarının Sınıflandırılması", "Sistemin Güvenilirliği" ve "Bakım Yönetimi" konularına yer verilmektedir.

2.1 Arıza ve Türleri

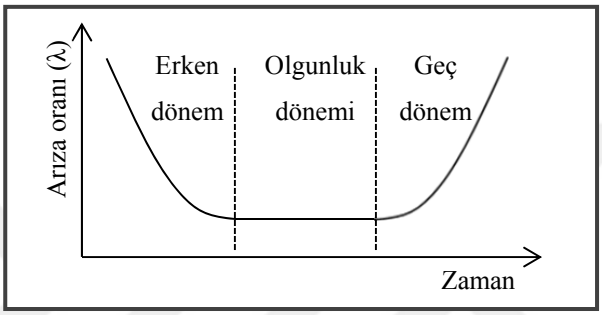
Ekipmanların fonksiyonları, işletmeci firmaların ekipmanlardan neler beklediği ve ekipmanların performans düzeyleri önceden belirlenmektedir. Belirlenen fonksiyonlardan bir veya birkaçının işlevsiz hale gelmesi durumuna ise *arıza* denilmektedir. Arıza türleri başlıca üç gruba ayrılır (Uzun, 2011):

- Fonksiyonel arızalar; tanımlanmış performans düzeyinin karşılanamama durumudur.
- Potansiyel arızalar; arızanın meydana çıkış süreci başlamıştır, fakat fonksiyonlarda herhangi bir aksama henüz mevcut değildir.
- Gizli arızalar; makine işlevini gerçekleştirmektedir, ancak arıza ortaya çıkmamıştır.

Bir sistem veya makinenin ekonomik ömrü içinde bozulma oranı küvet eğrisi ile açıklanmaktadır. Beklenen teknik değerler karşılanamıyorsa, fiziksel donanımın

ömrü ve mevcut zaman dilimi göz önünde bulundurularak, arızanın meydana çıkış oranı tahmin edilebilmektedir. Ekipmanın ömrünü ifade eden eğri üç bölüme ayrılmaktadır (Lyonnet, 1991):

- Erken dönem,
- Olgunluk dönemi,
- Geç dönem.



Şekil 2.1 Küvet eğrisi (Moubray, 1997)

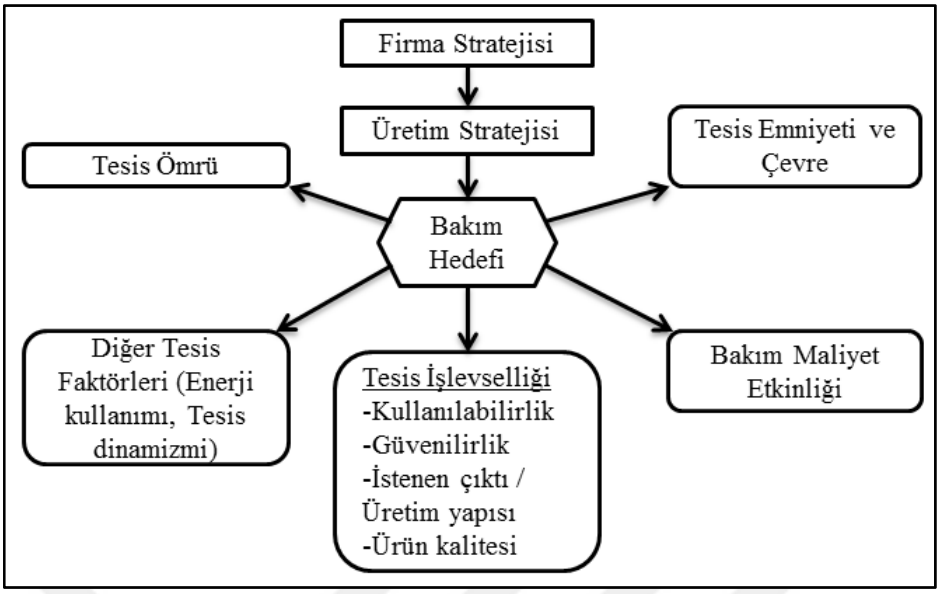
Şekil 2.1'de ifade edilen erken dönemde arıza oranının düşüş göstermesi, ilk kuruluştan rejime oturana kadar geçen sürede makine parçalarının birbirine alışmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir sebep ise imalat sürecinde parçalarda oluşacak herhangi bir kusurun arıza oluşumunu tetiklemesidir. Olgunluk dönemi boyunca arıza oranı hemen hemen aynı orana sahip olup, eğrinin yatay seyrettiği yere denk gelmektedir. Eğrinin yatay bölüm aralığının ne kadar olacağı, makineye uygulanacak bakım faaliyetlerinin etkinliği ile doğru orantılıdır. Ayrıca, makineden en çok yarar sağlanan dönem olgunluk dönemi olarak tanımlanmaktadır. Son evre olan geç dönem ise, makinenin yaşlandığı ve arıza oluşumunun giderek arttığı bölümdür. Elektronik ve mekanik parçalarda yorulma, aşınma, yıpranma ve eskimeden dolayı teknik verilerde sapmalar artış göstermektedir. Her dönemde olduğu gibi bu dönemde de uygulanacak bakımın işlevi eğrinin son bölümünün eğimini etkileyerek makinenin yaşam ömrüne etki etmektedir (Lyonnet, 1991; Uzun, 2011).

2.2 Bakım ve Hedefleri

Üretim veya hizmetin yerine getirilebilmesi için makine, iş gücü, enerji ve malzeme gerekmektedir. Bunlardan herhangi birindeki eksiklik veya arıza durumu prosesin aksamasına neden olmaktadır. Gereksinimlerden biri olan makine ve ekipmanların sorunsuz çalışması adına yapılan düzeltici ve önleyici faaliyetlerin bütününe *bakım* denir. Bakımın işlevi, zamanla eskiyen makineyi eski verimine getirmek, faydalı ömrünü uzatmak veya tümüyle çalışamaz halden beklenen performansı göstermesini sağlamaktır (Sharma, Yadava, ve Deshmukh, 2011; Swanson, 2001).

Bakım işlemi bir süreçtir ve iç ve dış etkiler ile daha da karmaşık hale gelmektedir. Teknolojinin hayatımıza girişi ve endüstride kullanımının hızlı bir şekilde ilerliyor olması sistemleri karmaşıklaştıran unsurdur. Bunun yanında iş gücü, işletim ve yedek parça maliyetlerinde de bir artış görülmektedir. Şirketler bu karmaşık yapıyı yönetip mevcut siparişleri zamanında üretebildikleri takdirde müşterilerinden olumlu dönüşler almaktadır. Bakım hedefleri, şirketlerin belirledikleri yönetim politikaları kapsamında şekillenmekte ve şirketlerin gelecekte kendilerini görmek istedikleri konum yönünde ilerlemektedir. Genel bakış açısıyla bakım hedefleri; yüksek kullanılabilirlik, istenilen kalite düzeyine ulaşmak, emniyet tedbirlerini uygulayabilmek, üretim hedeflerini gerçekleştirebilmek, enerji ve hammadde kullanımını optimize edebilmektir (Dekker, 1996; Spires, 1996).

Şekil 2.2'de Muchiri, Pintelon, Gelders ve Martin, 'Bakım Hedefi'ni merkeze koyarak, bakımın ne için gerekli olduğunu ve bakım hedefini belirlerken hangi faktörlerin etkili olduğunu özetlemektedir (Muchiri, ve diğer., 2011).



Şekil 2.2 Bakım hedefleri (Muchiri, ve diğer., 2011; Uzun, 2011)

Bakım hedefleri konusunda farklı görüşleri inceledikten sonra kısaca özetlemek gerekirse; bir yandan tesisin ömrünü ve işlevselliğini artırmak amaçlanırken, diğer yandan bakım ve işletme maliyetlerini azaltmak, bakım hedefleri düşüncelerinde ana amaçlar olarak göze çarpmaktadır (Muchiri, ve diğer., 2011; Uzun, 2011).

2.3 Bakım Felsefesi Tarihi Gelişimi

Dünya üzerinde fiziksel varlık sayısının artması ve bununla beraber fiziksel varlıklardaki karmaşıklığın da artmasına paralel bakım tekniklerinde değişimler görülmektedir. Bakım faaliyetlerindeki bu değişimleri birbirinden ayırabilmek için:

- Bakımdan beklenenlere,
- Ekipmanların tamir-bakımına ilişkin görüşlere,
- Uygulanan bakım tekniklerindeki değişikliklere bakmak gerekmektedir.

Bu değişikliklere bakıldığında, literatürde üç farklı kuşakla karşılaşılmaktadır. *Birinci Kuşak*; İkinci Dünya Savaşı'na kadar olan bölümü kapsamaktadır. Bu dönemde sanayide makineleşmenin çok yüksek olmaması sebebi ile makineleri durdurup önleyici bakım uygulamak önemli görülmemekte, sadece bozulan makineler tamir edilmektedir. Bunun diğer bir sebebi de makinelerin tasarımlarının

sade oluşundan kaynaklı tamirinin kolay yapılıyor olmasıdır. Basit temizlik, yağlama ve tamir etme dışında sistematik herhangi bir bakıma ihtiyaç duyulması söz konusu değildir. *İkinci Kuşak*; İkinci Dünya Savaşı ile birlikte her türlü ürüne ihtiyacın artması ve sanayideki iş gücü arzının azalması, değişime neden olmaktadır. 1950'lerin başında makine çeşidi, sayısı ve karmaşıklığı artmış, sanayide makineye bağımlılık kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu bağımlılık makinelerin bozulmadan çalışmasına odaklanılmasına neden olmakta ve arızaların oluşmadan önlenebilmesi isteğini doğurmaktadır. Belirli zaman aralıklarında yapılan revizyonlar önleyici bakım uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. İşletme giderleri arasına bakım maliyetlerinin de girmesi ile *bakım planlaması ve kontrolünün* gelişmesine katkı sağlamaktadır. Sabit yatırımlara yapılan ilk yatırım maliyetlerinin artması, bu varlığın etkin kullanım ömrünün artırılmaya çalışılmasını başlatmaktadır. *Üçüncü Kuşak*; 1970'lerin ortalarından itibaren sanayide yaşanan hızlı değişim, bu dönemin ivmesini daha da artırmaktadır. Ekipmanlara ve bakıma güven kavramının gündeme gelmesi bakım olgusunda köklü değişikliğe neden olmaktadır. Beklentiler artmakta, teknolojik ekipmanlar sistemlere dahil olmakta ve karmaşıklık bakımın etkinliğini artırmada zorluklara yol açmaktadır (Moubray, 1997).

Tablo 2.1 Bakım beklentilerindeki değişimler (Moubray, 1997)

Birinci Kuşak	**İkinci Kuşak**	**Üçüncü Kuşak**
• Bozulunca tamir et	• Yüksek tesis ömrü • Daha uzun ekipman ömrü • Daha düşük maliyet	• Yüksek tesis ömrü ve güvenilirliği • Daha yüksek emniyet • Daha kaliteli ürün • Çevreye zarar vermeme • Daha uzun donanım ömrü • Maliyetlerde daha fazla etkinlik

Tablo 2.1'de bakım kuşaklarından beklenenler özetlenmektedir. Tablo 2.2'de ise bu beklentileri karşılamada kullanılan bakım teknikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Bakım tekniklerindeki değişimler (Moubray, 1997)

Birinci Kuşak	İkinci Kuşak	Üçüncü Kuşak
• Bozulunca tamir et	• Programlı bakımlar • Bakım planlama ve kontrol sistemleri • Büyük, yavaş bilgisayarlar	• Durum izleme • Güvenilirlik ve bakım odaklı dizayn • Risk analizi • Küçük, hızlı bilgisayarlar • Arıza modları ve etkileri analizi • Uzman sistemler • Çoklu beceri ve takım çalışmaları

2.4 Bakım Yaklaşımlarının Sınıflandırılması

Bakımdan beklenenler tanımlandıktan sonra hedefler ortaya çıkmaktadır. Belirlenen hedefleri gerçekleştirebilmek için uygulanacak faaliyetlerin seçimi, hangi tip bakımın uygulanacağına karar vermektir (Lyonnet, 1991).

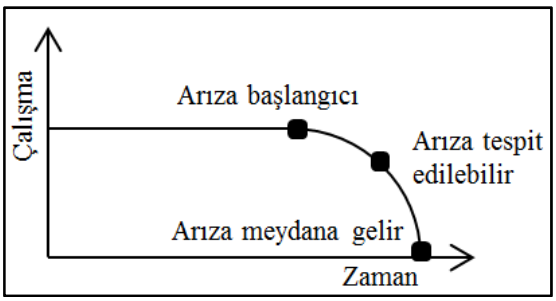
2.4.1 Plansız Bakım

Bu yaklaşımda, arızalar meydana geldikten sonra düzeltici işlemler uygulanmaktadır. Amaç, bakım yapılan ekipmanın durumunu korumak ve çalışma kalitesini artırmaktır. Donanım ya durmuş çalışmıyordur ya da beklenen performansı yerine getiremiyordur. Tamir ekibi arızayı giderebilmek için sıkı bir çalışma yapmalıdır. Tesisteki bir makinenin bozulması halinde ya yedek makine ya da yedek parçasının bir an önce bulunup sisteme dahil edilmesi istenmektedir. Genellikle, yedek parçası bol ve ucuz, bozulduğunda sistemde büyük arızalara neden olmayacak makinelerde bu bakım uygulanmaktadır. Hasarın ne zaman oluşacağı bilinmediği için sorunun ne zaman ortaya çıkacağı da bilinememektedir. Bu bakım; *acil bakım, arızi bakım, düzeltici bakım* gibi tanımlamalara sahiptir. Yapılan tamirin çoğu makinede bozulan kısmın değiştirilmesi veya düzeltilmesi üzerinedir. Çoğunlukla bu arıza ile ilişik başka bir arızanın olabilme olasılığı üzerine durulmadığı için, ileriki süreçte farkına varılmadan daha büyük arızaların meydana gelebilmesi ihtimaller içinde yerini almaktadır (Köksal, 2015; Lyonnet, 1991; Mokashi, Wang, ve Vermar, 2002).

2.4.2 Planlı Bakım

Plansız bakımın aksine bu yöntemde; arızalar meydana gelmeden sistematik ayarlama, boya, temizlik, yağlama, parça yenileme ve ufak tefek tamirat işlemleri uygulanmaktadır. Yapılacak bakım aktiviteleri bir plan çerçevesinde kontroller dahilinde yapılmaktadır. Planlı bakım uygulamaları farklı tekniklerin kullanılması ile çeşitlere ayrılmaktadır. Bunlar (Çebi, Çelik, ve Kahraman, 2008; Köksal, 2015; Lyonnet, 1991; Mokashi ve diğer., 2002; Swanson, 2001):

- *Önleyici (Preventive) Bakım*; bu tür bakımda yapılacak işlemler önceden belirlenmekte ve yine belirlenen takvime göre uygulanmaktadır. Karar verilen bakım aralığı ya çalışma zamanına ya da takvim zamanına bağlıdır. Amaçlanan, hataların ortaya çıkmadan yok edilmesi ve donanım ömrünü uzatmaktır. Bu yöntem arızaların çıkış süresini uzatırken, optimize edilmemiş, takvim aralığı gereksiz maliyete ve zaman kaybına sebep olabilmektedir.
- *Kestirimci (Predictive) Bakım*; donanımların durumu teşhis araçları ile izlenmekte ve hata tespit edilebildiği andan itibaren en kısa süre içinde giderilmeye çalışılmaktadır. Ölçümü yapılan değerler, mühendislik açısından kabul edilen sınırlar içinde olmalıdır. Bunun dışına çıkan her değer ileriki çalışma periyodunun belirsiz bir noktasında sorun yaratabilmektedir. Teşhiste; titreşim ve ses analizi, yağ durum ve sıcaklık analizi, termal haritalama, aşınma analizi gibi yöntemler uygulanmaktadır. Bunlarla potansiyel ve gizli arızalar ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Şekil 2.3'te kestirimci bakımda kullanılan analiz yöntemine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Kestirimci bakım uygulama grafiği (Mokashi ve diğer., 2002)

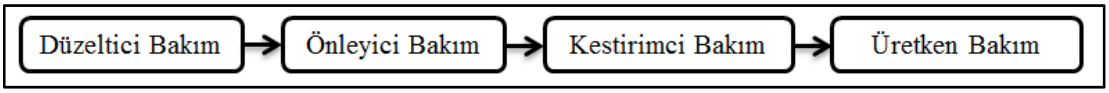
Şekil 2.3'te açıklanmak istenen, arızaların ne zaman tespit edileceğidir. Arızayı meydana getiren hata bir noktada oluşmaya başlar ve başlangıcından hemen sonra tespit edilemez. Sebebi ise tespitte kullanılan analiz yöntemlerinin hassasiyetidir. Makinelerin ve analizde kullanılan cihazların kalitesine göre arıza tespit noktası değişim göstermektedir. Tespit edilen arızanın giderilmemesi ileride bilinmeyen zaman diliminde arızanın çıkışına neden olmaktadır. Bu bakım yönteminde optimize edilecek konu, arıza tespit ve arıza meydana geliş arasında hangi noktada bakımın yapılacağıdır.

2.4.3 Üretken Bakım

Toplam üretken bakımın temelini oluşturan bu yöntem; koruyucu, önleyici ve kestirimci bakım faaliyetleri ile makine ve teçhizatları ilk haline geri döndürmeyi hedeflerken; daha kolay bakım yapabilme, ürün maliyetlerini azaltabilme, bakımı özendirme ve arızanın tekrar oluşunu engelleme gibi maliyet azaltıcı ve kalite artırıcı amaçlar doğrultusunda kullanılan bakım tekniği olarak bilinmektedir (Er, 2004).

Üretken bakımın esas olarak üzerinde durduğu konu; sistem duruşlarını düzeltmek yerine, buna sebep olan etkenleri belirleyerek ortadan kaldırmaktır. Ekipman arızalarının büyük çoğunluğunun tasarım ve üretim safhasındaki işlemlerden kaynaklanması, ekipman tasarım ve üretim aşamasının gözden geçirilerek hataların düzeltilmesini gerektirmektedir (Ünal, 2009).

Tablo 2.1'e göre, bakımdan beklenenlerin zamanla değişimi, şirketleri hedeflerine ulaşmada farklı yöntemleri kullanmaya yönlendirmektedir. Sanayi devriminin ilk başlarında arızaları ortadan kaldırıcı düzeltici bakım uygulamaları ön planda iken, zamanla teknolojinin gelişimi sistemleri karmaşıklaştırmış önleyici ve kestirimci bakım gibi daha kapsamlı bakım uygulamalarının kullanılmasına neden olmuştur. Bu bilgiler Şekil 2.4'teki diyagramın oluşumuna sebep olmaktadır (Er, 2004).



Şekil 2.4 Bakım yaklaşımlarındaki değişim

Üretken bakım yaklaşımını benimsedikten sonra, şirketlerin bu yöntemi uygulamaları bazı zorlukları beraberinde getirmektedir. Üretken bakımın sistemin tümünü kapsamasından kaynaklı uygun yapıda geliştirme gruplarının oluşturulması zorlayıcı etkilerden olmaktadır. Bütün birimlerin çalışmalarını bakım-onarım odaklı yürütmesi öngörülmekte ve çalışanların yaratıcılığını ön plana çıkararak, somut sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır (Ünal, 2009).

2.4.4 Toplam Üretken Bakım

En genel anlamıyla Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance [TPM]), üretim gerçekleştiren fabrikaların üretimde kullandığı ekipmanlarda oluşabilecek her türlü arıza, verim kaybı ve bundan kaynaklı olarak ürünlerde ortaya çıkan kusur ve kalite düşüşünün önlenmesini amaçlayan bir yöntemdir. Bu teknik, üretimde çalışanların motivasyon ve becerilerini artırmakta, iş güvenliği, verimlilik, kalite ve maliyet konularında iyileştirme sağlamakta; sıfır arıza, hurda ve iş kazasını hedeflemektedir (Baraçlı, Coşkun, ve Sezer, 2001; Swanson, 2001).

TPM, altı büyük kaybı azaltmayı hedeflemektedir. Bunlar (Ben-Daya, Ait-Kadi, Duffuaa, Knezevic, ve Raouf, 2009):

- Arızalardan kaynaklı kayıplar,
- Hazırlık ve ayar sürecinden dolayı yaşanan kayıplar,
- Duruşlardan kaynaklı kayıplar,
- Hız düşüşlerinden kaynaklı kayıplar,
- Hata ve tekrar edilen işlemlerden kaynaklı kayıplar,
- Başlangıç kayıplarıdır.

TPM kavramı, aşağıdaki beş maddeyi kapsadığı takdirde tam olarak yerine getirilmektedir (Baraçlı ve diğer., 2001; Chan, Lau, Ip, Chan, ve Kong, 2005):

- Ekipmanların etkinliğinin maksimize edilmesini,
- Ekipmanların kullanım ömrü boyunca üretken bakım sisteminin eksiksiz kurulmasını,
- Dizayn, operasyon, bakım gibi mevcut olan tüm departmanlar tarafından uygulanmasını,
- Üst yönetim de dahil olmak üzere fabrikada çalışan herkesi kapsamasını, ve
- Küçük gruplar halinde üretken bakımın tanıtılmasını içermektedir.

Toplam üretken bakımı, üretken bakımdan ayıran 'toplam' kelimesinin anlamı (Baraçlı ve diğer., 2001; Chan, Lau, Ip, Chan, ve Kong, 2005):

- TPM'nin ekonomik etkinlik veya karlılığını belirlemekte,
- Arızaların önlenmesine yönelik önleyici bakım uygulamalarının yanı sıra bakım aktivitelerinin geliştirilmesini içermekte, ve
- Küçük grup faaliyetlerine yönelik, operatörlerin kullandığı makinelerin tamirini gerçekleştirmeyi kapsamaktadır.

Üretken bakımla karşılaştırıldığında TPM'yi üstün kılan yönler (Baraçlı ve diğer., 2001):

- İşletmenin her kademesinin bakım uygulamalarına katılımını sağlamak,
- Çalışma ortamına hareket getirmek ve iş güvenliğini yüksek düzeyde tutmak,
- Ürün kalitesini istikrarlı şekilde sürdürmek,
- Ürün teslimatının devamlılığını sağlamak, ve
- Yüksek karlılık elde etmektir.

Toplam üretken bakım ve üretken bakımın kısaca karşılaştırması Tablo 2.3'te yapılmaktadır.

Tablo 2.3 Toplam üretken bakım ve üretken bakım arası farklar (Chan, ve diğer., 2005)

Farklar	Toplam üretken bakım	Üretken bakım
1	Üretim sistemlerinin olabilecek en yüksek verimlilikte olabilmesini sağlamak için baştan sona sistem tasarımı yapılmaktadır.	Ekipman uzmanlarına odaklanıldığı için ekipman üretimi ve bakımı yolu ile üretim verimliliğini artırma tam olarak gerçekleştirilememektedir.
2	Ekipman kontrolü ve onayı uzman personel tarafından yapılsa da rutin bakım işlemi operatöre aittir.	Rutin bakım, kontrol ve onarım uzman bakım personeline aittir.
3	Tüm üyelerin katılımıyla küçük grup faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.	Herhangi bir küçük grup faaliyeti yoktur.

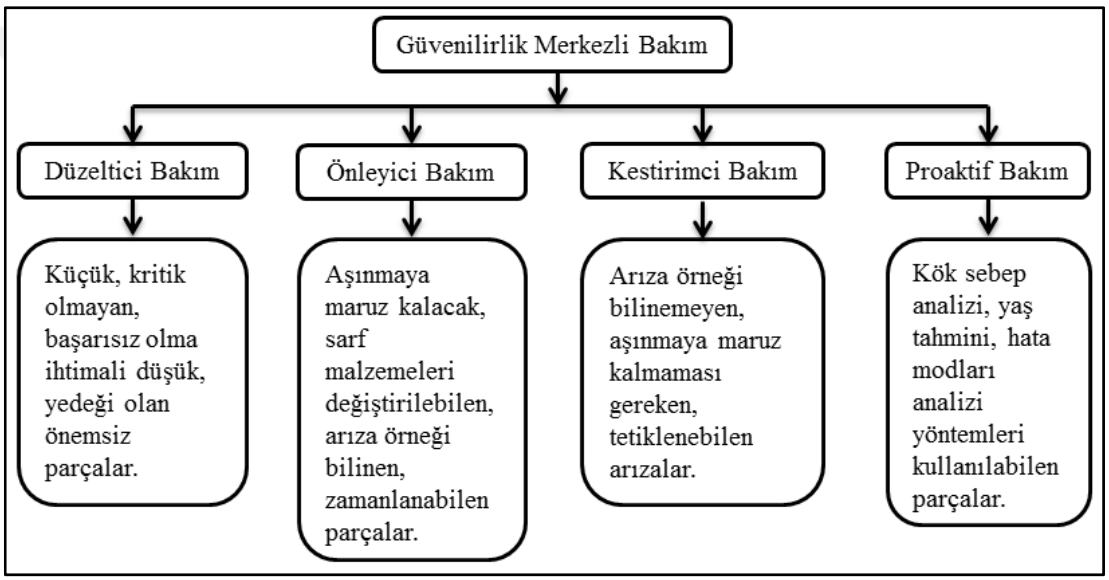
Toplam üretken bakım faaliyetlerinin işletmelerdeki verimliliği üzerine yapılan bir çalışmada; bu yöntemin, ortaya çıkan arızaları gidermenin ötesinde, arızaların oluşmasını önleme, planlı bakım ile imalatta kullanılan makinelerin etkin kullanımı ve maliyetlerin düşürülmesinde stratejik konumda olduğu vurgulanmaktadır. TPM yöntemini uygulamaya karar veren şirketlerin, başlangıçta sistemin belirli bir kısmında uygulamaya almaları ve elde edilecek deneyimler sonucunda sistemin tümüne yayılmasının olası sorunları azaltacağı tavsiye edilmektedir (Görener ve Yenen, 2007).

2.4.5 Güvenilirlik Merkezli Bakım

Bakım felsefesindeki tarihsel dönemlere ait beklentiler ve bu beklentilerin nasıl karşılandığına yönelik sınıflandırma Bölüm 2.3'te verilmektedir. Üçüncü Kuşak bakım felsefesi beklentileri sadece arızayı tamir etmeyi değil, arızanın bir daha oluşmamasını ve sistemin toplam etkinliğini artırmayı hedeflediği için şirketler yeni yöntem arayışına girmektedir. Mevcut varlıktan beklenen işlevleri yerine getirmedeki devamlılığı sağlama noktasında Güveniliklik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance [RCM]) ile karşılaşılmaktadır. Mühendislik yaklaşımıyla bakıldığında, fiziksel varlıkların yönetiminde iki temel bileşen vardır. Birincisi, fiziksel varlığın işlevini yerine getirebilmesi için bakımını yapmak iken, diğeri zaman zaman gerekli modifikasyonları yapmaktır. Birinci bileşen, operatörün makineden beklentisini karşılama konusunda bakımın yapılmasını, ikinci bileşen ise devamlılığın sağlanması gerekliliğine dayalı olarak iyileştirmelerin yapılmasını içermektedir. Moubray'in yaptığı tanıma göre RCM, herhangi bir fiziksel varlık kullanıcısının mevcut işletim

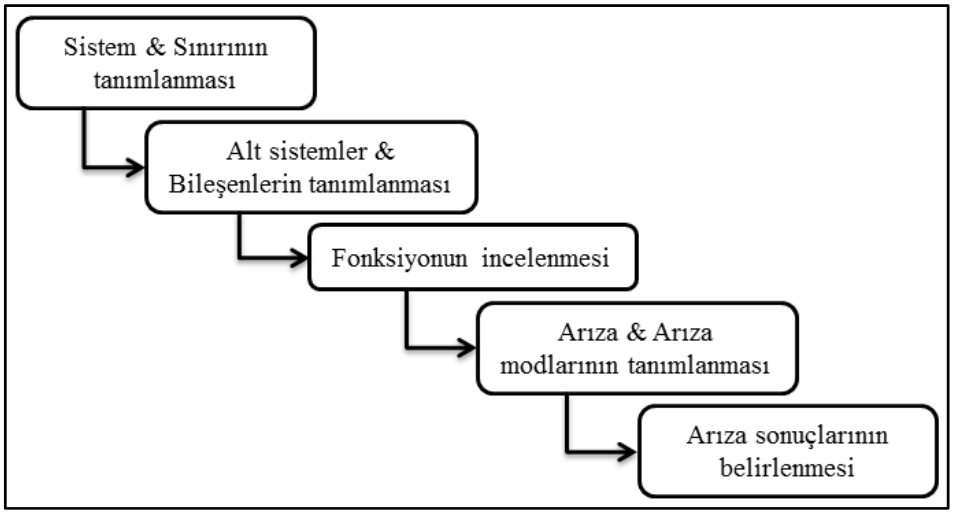
çerçevesinde yapmak istediklerini yapmaya devam etmesi için yapılması gerekenleri belirlemede kullanılan bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Moubray, 1997).

RCM, uygulanacak sistemin en etkili şekilde bakımının yapılmasından ve planlanmasını içerdiğinden dolayı bir dizi faaliyetlerden meydana gelmektedir. Bakım programının optimize edilmesi ve geliştirilmesi temelinde sistematik şekilde yol alan değerlendirme ve uygulamaları olan proses olarak da tanımlanmaktadır. Şekil 2.5'te RCM'nin varlığını sürdürebilmesini sağlayan bakım uygulamaları gösterilmektedir (Gurumeta, Cide, ve Factory, 2007).



Şekil 2.5 Güvenilirlik merkezli bakımda kullanılan bakım teknikleri (Gurumeta, ve diğer., 2007)

RCM, sistematik bir bakım yaklaşımı olduğu için ideal bakım planının oluşturulabilmesi, değişkenlerin belirlenmesi ve gerekli seçimlerin yapılması ile gerçekleştirilmektedir. Sistem sınırları belirlenerek olası arızalar ve sonuçları *hata modları ve etkileri analizi* yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. Sistemsel yaklaşımlarda olması gereken; bilgi birikimi, veri akışı, zayıf noktalar ve bunları iyileştirme ihtiyacı RCM'de de bulunmaktadır ve metodolojisi Şekil 2.6'da gösterilmektedir (Gurumeta, ve diğer., 2007).



Şekil 2.6 RCM uygulamasına ait uygulama adımları (Gurumeta, ve diğer., 2007)

Bakım gereksinimlerinin belirlenmesi için aşağıdaki yedi temel soru, Şekil 2.6'da gösterilen RCM uygulama sürecinde yanıtlanmalıdır (Rausand, 1998):

- Mevcut çalışma bağlamında ekipmanın işlevleri ve ilgili performans standartları nelerdir?
- İşlevlerini yerine getirmekte başarısız olan şey nedir?
- Her fonksiyonel arızanın nedeni nedir?
- Her arıza olduğunda ne olur?
- Her başarısızlık hangi bakımdan önemlidir?
- Her başarısızlığı önlemek için ne yapılabilir?
- Uygun bir önleyici görev bulunamazsa ne yapılmalı?

2.5 Sistemin Güvenilirliği

Bakım uygulamaları üçüncü kuşakta arızaları ortadan kaldırırken kök sebep analizi ile de sorun teşkil eden ve edebilecek hususları yok etmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, bakım yapılan sistemin güvenilirliğini ölçmek için; geçişte meydana gelen arızaların oranı, arızalar arası ortalama süre ve elverişlilik oranının biliniyor olması gerekmektedir (Ben-Daya, ve diğer., 2009; Köksal, 2015).

2.5.1 Arıza Oranı

Bir sistemin arıza oranı, [t, t+Δt] zaman aralığında sistemde meydana gelen arızaların oranına eşittir. Aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Ben-Daya, ve diğer., 2009; Köksal, 2015):

- [t, t + Δt] aralığı boyunca bir sistemin başarısızlık oranı, aralıktaki birim zaman başına bir başarısızlığın meydana gelme ihtimalidir, arızanın t öncesinde oluşmadığı göz önüne alındığında, aralığın başlangıcı t olarak kabul edilmektedir.

Arıza oranı, güvenilirlik ölçümünde kullanılan temel ölçü birimidir. Arıza sayısı ve arıza süresi cinsinden iki farklı hesaplama ile bulunabilmektedir. 2000 saatlik test süresine tabii tutulan 50 adet elektronik parça ile ilgili test değerleri Tablo 2.4'te verilmektedir(Köksal, 2015).

Tablo 2.4 Örnek test sonuçları (Köksal, 2015)

Arıza	**Arızanın çıkış zamanı**
1. arıza	1200. saat
2. arıza	1450. saat
3. arıza	1720. saat
4. arıza	1905. saat

$$\text{Yüzdesel arıza oranı} = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Test edilen parça sayısı}} \times 100 \qquad (2.1)$$

Tablo 2.4'e göre *yüzdesel arıza oranı*, (4/50)x100 = %8 olarak elde edilmektedir. Bu da bize test edilen parçalardan yüzde sekizinin arıza verdiğini ve çalışmasını tamamlayamadığını göstermektedir (Köksal, 2015).

$$\text{Süre cinsinden arıza oranı} = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Toplam çalışma süresi}} \qquad (2.2)$$

50 adet parçadan dördü arıza yapmış ve arızalardan ötürü çalışmaları yarım kalmaktadır. Eğer 50 parçanın hiçbiri arıza yapmasaydı 50x2000 saat = 100.000 saat çalışma sağlanacaktı. Birinci parçadan 800 saat, ikinci parçadan 550 saat, üçüncü parçadan 280 saat, dördüncü parçadan da 95 saat kayıp mevcuttur. Toplamda 1725 saat arızalardan dolayı kayıp olmaktadır. 100.000-1725 = 98.275 saat boyunca çalışma gerçekleşmektedir (Köksal, 2015).

Tablo 2.4'e göre diğer bir değer olan; *süre cinsinden arıza oranı*, (4/98.275) = 0,00041 olarak bulunmaktadır.

2.5.2 Arızalar Arası Ortalama Süre (AAOS)

Bu değer parçaların arıza ölçümünde kullanılan diğer bir yöntemdir. Adından da anlaşılacağı gibi iki komşu arıza arasındaki süresinin hesaplanması ile bulunmaktadır. Değer olarak *süre cinsinden arıza oranı*nın tersidir (Ben-Daya, ve diğer., 2009; Köksal, 2015).

$$\text{Arızalar arası ortalama süre (AAOS)} = \frac{\text{Toplam çalışma süresi}}{\text{Arıza sayısı}} \qquad (2.3)$$

Tablo 2.4'e göre AAOS, (98.275/4) hesabı ile yaklaşık 24.570 saat olarak bulunmaktadır. Yani, 24.570 saatte bir arızanın olduğu sonucuna varılmaktadır.

2.5.3 Elverişlilik

Makine veya sistemin çalışmaya hazır oluşunu belirten orandır. Arıza yapan bir makine çalışamadığı için elverişli değildir. Elverişli hale getirmek için tamir yapılmalıdır. Ortalama tamir süresi (OTS) her arıza için arıza türü ve tamir yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Arızayı giderme süresi kısalırsa, makine ve sistemlerin elverişliliği de artmaktadır. Anlatılan ifade aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir (Köksal, 2015).

$$\text{Elverişlilik} = \frac{\text{AAOS}}{\text{AAOS+OTS}} \qquad (2.4)$$

AAOS=90 saat ve OTS=4 saat olan bir makinenin elverişliliği (90/94) değerinden yaklaşık 0,95 olarak elde edilmektedir (Köksal, 2015).

2.6 Bakım Yönetimi

Bakım uygulamaları hakkında kesin kararlar vermek ve 'doğru yol gösterici' programı seçmek oldukça güçtür. Bunun sebebi ise organizasyon içindeki değişkenlerin asla tam ve güncel olarak hesaplanamamasıdır. Çalışan herhangi bir sistemde uygulanacak kesin ve kalıcı optimize edilmiş bakımı seçmek bu sebeplerden ötürü mümkün görülmemektedir. Bununla birlikte, yeterli veri toplama yoluyla ideale yakın programa ulaşmak daha kayda değer olmaktadır (Sherwin, 2000).

Bakım yönetimi; stratejinin tanımlandığı *planlama* ve faaliyetlerin hayata geçirildiği *uygulama* bölümlerini kapsayan süreçten oluşmaktadır. Planlama bölümünde; stratejinin doğru tanımlanabilmesi, işletme planı ve bakım hedeflerinin göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Bakımın başarılı olabilmesi, bu bölümde yapılan bakım planı, bakım takvimi, kontrolü ve denetimler sonucunda yapılacak iyileştirme çalışmalarına bağlanmaktadır. Uygulama bölümünde de, planlanan işlemlerin daha verimli ve daha ekonomik sonuçlar elde edilmesi hedeflenmektedir (Márquez, 2007).

İşletmelerin temel amacı; kaliteyi artırma, kurulu tesisin çalışma süresini maksimize etme ve maliyetleri azaltmaya yöneliktir. Üç kriterin de aynı önem derecesine sahip olduğu unutulmamalıdır. İşletme verimliliğinin ve performansının artması rekabet edebilme gücünü de artırmaktadır. İşletmelerin üst yönetimleri öncelikli olarak maliyetleri odağa koyarak kaliteli ve verimliliği artırılmış sistemler kurmayı hedeflemektedir. Bunu yaparken de savurganlığı azaltıcı, işleri basitleştiren, ekipman ve malzemelerin nerede ve ne zaman kullanılacağını açıklayan, duruşları azaltan yöntemler uygulanmaktadır (Erginer, 2003).

2.6.1 Bakım-Onarım Süreci

Fiziksel donanımlar üzerinde yapılan kontroller, bakım veya onarım işlemlerinden hangisinin uygulanacağına karar verilmesi açısından önem arz etmektedir. Bakım süreci; AAOS'si bilinen veya tahmin edilebilen donanımların günlük, haftalık, aylık, yıllık veya çalışma saati esaslı periyodik bakım işlemlerinin planlanmasını kapsamaktadır. Bakım süreci planlanırken, ekipmanların kontrolü sonucunda ölçülen değerlerinin (aşınma, titreşim, çalışma sıcaklığı, vb.) kabul edilebilir mühendislik limitlerinde tutulması hedeflenmektedir. Bunun amacı ise, ileride donanım üzerinde herhangi bir parçanın arıza vererek daha büyük maliyetlere yol açmasını önlemektir. Arızayı gidermek için süre, yedek parça ve iş gücü gereksinimi olmakla beraber makinenin çalışmamasından kaynaklı üretim açığı da ortaya çıkmaktadır (Uzun, 2011).

Onarım süreci planlanırken tamir süresinin minimize edilmesi, üzerinde çalışılan ana hedeftir. Bu yaklaşımın benimsenmesinde aşağıdaki hususların önemi etkili olmaktadır (Köksal, 2015):

- *Üretim kapasitesi;* sistem duruşlarından kaynaklı, kapasitenin tam olarak kullanılamama sorunu ile karşılaşılmaktadır.
- *Üretim maliyetleri;* sistemin tümünün veya sistemde çalışan bir bölümün faaliyetine ara vermesinden dolayı işçilerin boş kalması, yenilenen parça ve tamir ekibinin maliyetleri genel masrafları etkilemektedir.
- *Ürün ve hizmet kalitesi;* bakım ve ayarları iyi yapılmamış makineden çıkan ürünlerin istenen kalitede olmaması sonucu ıskartaya ayrılması durumudur.
- *Can güvenliği;* yıpranmış ekipmanların arıza yapacağı zamanın tam olarak bilinememesinden dolayı iş kazalarına yol açabilme ihtimalini kapsamaktadır.
- *Müşteri memnuniyeti;* üretim planına uyulamaması halinde müşteriye söz verilen sürede siparişin teslim edilememesi anlamına gelmektedir.

2.6.2 Yenileme Süreci

Yenileme kararı verebilmek için şirketler ellerindeki fiziksel varlıkları tasarlanan yeni varlıklar karşısında değerlendirmelidirler. Bu değerlendirme genel hatlarıyla dört kritere göre yapılmaktadır. Bunlar (Köksal, 2015):

- *Yetersiz kapasite*; sabit kapasiteye sahip makinelerin artan talebi karşılayamama durumunda yenileme veya değişiklik yapma gerekliliğidir.
- *Teknolojinin gerisinde kalmış makine ve teçhizat*; yeni teknolojiler ile önceden yapılan işin daha hızlı, daha ekonomik ve daha verimli makinelerle yapılabildiği zaman, işletmelerin karlarını artırmada kullanabilecekleri yöntem olarak öne çıkmaktadır.
- *Mevcut makinenin zamanla yıpranmasından dolayı yüksek tamir-bakım maliyeti*; bazı durumlarda makine ve donanımlar sistemdeki diğer elemanlardan daha önce yıpranmakta veya aşınmaktadır. Tamir maliyetleri, sistemin tümü göz önüne alındığında faydalı ömür boyunca yenileme maliyetinin üzerinde olduğunda yenileme işlemi gerekmektedir.
- *Verimliliği düşen, fireyi yükselten makinelerin yenilenmesi*; makineler genellikle ilk kullanım esnasında verimliliklerinin zirvesindedirler. Zamanla yıpranma sonucu verimde düşüş olur ve beklenen performans gerçekleştirilememektedir. Verimliliğin azalması, yüksek güç tüketimi ve yüksek fire ile sonuçlanmaktadır. İşletmelerin giderlerini azaltmada yenileme yapılması söz konusu olabilmektedir.

2.6.3 Bakım-Onarım Politikaları

İşletmelerin, kendilerine uygun bakım sistemini oluştururken şirket politikasına uygun olan yöntemleri tercih etmeleri önerilmektedir. Yatırım yapılan tesisin faydalı ömrü ürün maliyetlerini doğrudan etkilediği için optimum bakım maliyeti hedefinde bakım-onarım organizasyonu oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bakım yönetiminin planlama ve uygulama adı altında iki bölümden oluşması, işletmeleri kimlerin hangi işleri üstleneceği yönündeki çalışmaları yapmaya zorlamaktadır. Tesisin kapasitesi

ölçüsünde tamir ekibi, üretimin bakım-onarım sürecinde nasıl planlanacağı, bakım faaliyetlerinin türü ve periyodik bakım aralıkları da şirketlerin yönetim kademelerinin öncelikli vazifeleri arasında yer almaktadır (Crespo Márquez, Moreu de León, Sola Rosique, ve Gómez Fernández, 2016).

Şirketlerin bakım politikasını belirlerken bazı konular hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir. Aşağıda belirtilen her işletmeye özgü değerlerin saptanması işletmeye organizasyonel, teknolojik ve finansal yönden uygun planı oluşturmada etkin rol oynamaktadır (Er, 2004):

- Bakımın işlevini yerine getirememesinden kaynaklı oluşmuş veya oluşabilecek tüm maliyetler,
- İşletmedeki makine parkının fiziksel boyutları,
- Mevcut, tesis, makine ve donanımın özel veya genel amaçlı olması, kapasitesi, hızı, temin özellikleri, üretim sistemi içindeki yeri ve önemi,
- Üretim sürecinin niteliği, ürün teslim tarihine uyulmadığı takdirde oluşan sorunlar ve üretimi yeniden programlama zorunluluğu,
- Bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için gerekli tüm maliyetler (iş gücü, teçhizat, teknoloji, donanım, danışmanlık, yazılım, vb.), ve
- Bakım projesi fizibilite raporu ve fayda/maliyet analizi.

Bakım-onarım politikası belirleme sürecinde bilinmesi gereken değerler yukarıda belirtilmektedir. Aşağıda ise bu belirlenen değerlerin vermiş olduğu öngörü ile bakım-onarım politikasına ait karar verilmesi gereken bileşenler sıralanmaktadır (Er, 2004):

- *Bakım yönteminin nasıl ve kim tarafından yapılacağı;* bakım işleminin işletme dahilinde bulunan çalışanlar veya dışarıdan kiralanan ekip tarafından gerçekleştirileceğine karar verilmesi anlamına gelmektedir. Bakım-onarım ekipleri, belirlenen faaliyetleri en etkin şekilde yerine getirerek oluşturmalıdır. Özel alanlarda, firma dışında bulunan uzmanlaşmış bakım

ekiplerinden yararlanılmakta, rutin prosedürler ise makine operatörleri tarafından yapılmaktadır.

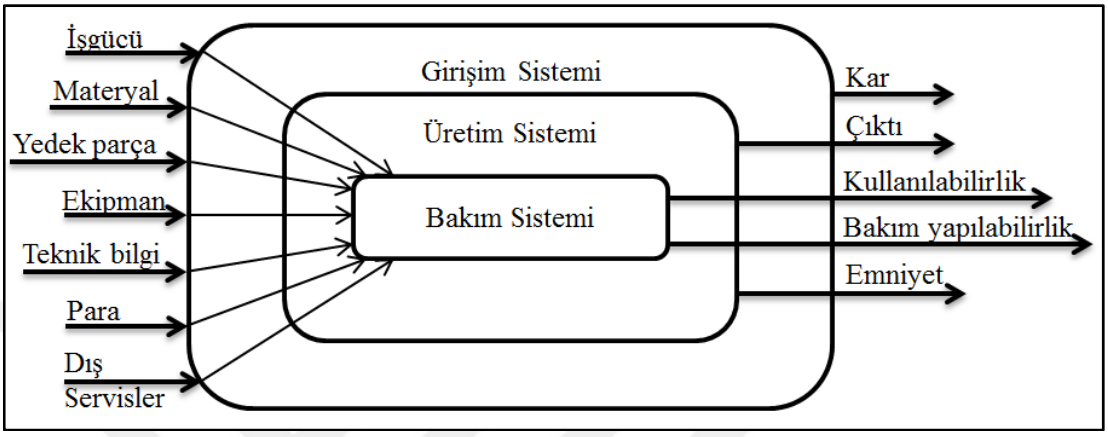
- *Bakım işgücünün toplam işgücüne oranı;* bu oran ilk etapta benzer alanda faaliyet gösteren yurt içi ve yurt dışı firmaların değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Oranın değişmesine yol açan unsurlar ise kurulu tesisin teknolojik altyapısı, ilk yatırım maliyeti, üretim şekli gibi karakteristik özelliklerdir.
- *Önleyici bakım faaliyetlerinin tüm bakım faaliyetlerine oranı.*
- *Periyodik bakım kararlarında en uygun bakım aralığının belirlenmesi;* planlı ve plansız bakımdan kaynaklı maliyetlerin karşılaştırılması yapılmalıdır. Bir makinenin aynı tür komşu iki arıza arasındaki AAOS belirlendikten sonra, mevcut arızayı giderici uygulamaların maliyeti ile bu süreci uzatıcı planlı bakım faaliyetlerinin maliyetleri karşılaştırılmaktadır.
- *Yap/satın al kararları, yatırım kararları ve bu kararların fizibilitesi, fayda/maliyet analizi.*
- *Planlı bakım-onarım bütçesinin tesis ve donanım değerine oranı;* yedek parça, işçilik ve genel giderler, işletmelerin türü göz önüne alındığında toplam yatırım maliyetleri karşısında değişkenlik göstermektedir. Düzenli bir çalışma ortamı yaratabilmek için benzer işleri yapan işletmelerin verilerinden de yararlanılmaktadır.
- *Bakım-onarım biriminin organizasyonu;* bakım işlemi sadece arıza durumunda yapılıyorsa bakımı gerçekleştirecek ekip üretim biriminde olabilmektedir. Çünkü arıza durumunda üretim yapılamayacağı için mevcut iş gücü bakım işlemini yapmak üzere yönlendirilmektedir. Eğer, planlı bakım uygulanacaksa bakım ve üretim birimlerinin yetkileri ayrıştırılmalıdır.

2.6.4 Kaynak Yönetimi

Bakım yönetiminin birinci bölümü olan *planlama* aşamasında hangi bakımın ne zaman uygulanacağının belirlenmesinin yanı sıra, *uygulama* anında bakım faaliyetlerinde kullanılacak kaynakların da planlamasının yapılması gerekmektedir. İşgücü, yedek parça, bakım ekipmanları, teknik bilgi, parasal kaynak ve şirket dışı

bakım ekiplerinden hangi dönemlerde ne oranda kullanılacağının çizelgelemesi yapılmalıdır (Uzun, 2011).

Bakım sisteminin şematik görünümü Şekil 2.7'de bulunmaktadır (Visser, 1998).



Şekil 2.7 İşletmelere ait girdi ve çıktılar (Visser, 1998)

Etkin bakım planlaması için bir takım ön gereksinimler vardır. Bütün bakım yaklaşımlarında, planlamanın verimli olabilmesi aşağıdaki gerekliliklere uyum ile gerçekleştirilmektedir (Ben-Daya, ve diğer., 2009):

- İyi düşünülmüş bir planlama sürecinden türetilmiş yazılı emirler olmalıdır. İş emirleri; yapılması gereken işleri, takip edilecek yöntemleri, ihtiyaç duyulan iş gücü ve yedek parçayı ve öncelik sırasını açıkça belirtmelidir.
- İş ölçüm tekniklerine dayanan zaman standartları,
- Her vardiyanın elverişlilik durumu hakkında bilgi,
- Yedek parça ve stok durum bilgisi,
- Bakım için gerekli olan özel ekipman ve aletlerin bulunup bulunmadığına ilişkin bilgi,
- Üretim zamanlamasına müdahale etmeden üretim programına erişim ve ne zaman hizmette bulunabileceği hakkında bilgi,
- Bakım çalışmaları için iyi tanımlanmış öncelikler. Bu öncelikler, bakım ve üretim arasındaki yakın koordinasyon sayesinde geliştirilmelidir.
- Planlanan fakat programın gerisinde kalan işler (birikmiş işler).

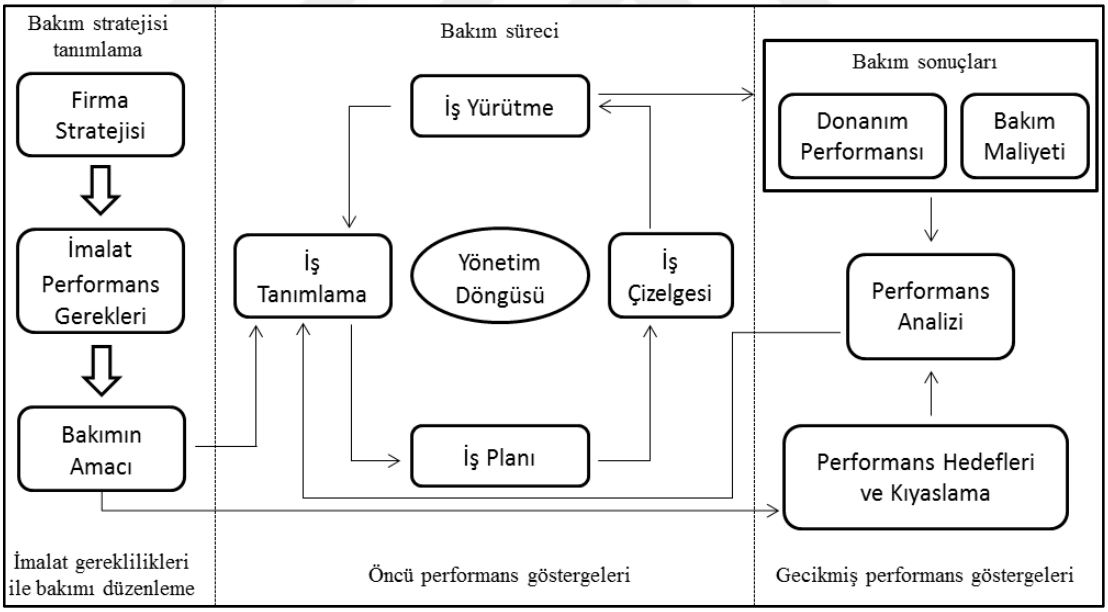
2.6.5 Bakım-Onarım Performans Kriterleri

İşletmeler için en iyi uygulama; ya üstün sonuç ya da üstün performans elde etme anlamına gelmektedir. Bu yüzden performans göstergelerinin belirlenmesi sürecine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem ve onun alt bileşenleri, bütünleşik şekilde yoluna devam ettiği takdirde süreci iyileştirmek anlam kazanmaktadır. Bu nedenle sistemde bulunan bileşenlere ait iyi düzenlenmiş performans ölçümü yapma zorunluluğu bulunmaktadır. Performans ölçümü, kurumların ve bireylerin hedeflerine ulaşmada ne kadar başarılı olduklarını belirleme süreci olarak da adlandırılmaktadır. Organizasyonel hedeflere karşı performansın sürekli iyileştirilmesi amacıyla bireyler, takımlar, süreçler, departmanlar ve organizasyonun da dahil olduğu tüm kademeler sürecin içinde yer almaktadır. Ekonomik ve organizasyonel bilginin yaygın olarak dolaşması, işletmeleri bilgi temeline kurarak performans ölçütlerini de bu doğrultuda belirlemenin daha akıllıca olacağı düşüncesi savunulmaktadır. Rekabetçi iş ortamının bir gereği olan bilgi bakımından zengin ve bilgi odaklı işletmelere sahip olmak günümüz şartları altında gerekli görülmektedir. Performans ölçütlerinin biliniyor olması üst düzey yöneticilerin görevlerini yerine getirirken kullandıkları verinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Rekabetçi ve karmaşık işletme yapıları uzun dönem bakış açısıyla değerlendirildiğinde, aşağıdaki odaklara sahip olması gerektiği düşünülmektedir (Mobley, 2008):

- Değer bazlı,
- Performans uyumluluğu bulunan,
- Müşteri odaklı,
- Uzun dönemli uyum sağlamayı hedefleyen,
- Yaygın ekip ve enlemesine önlemleri bulunduran,
- İyileştirmeleri izleyen, ve
- Değerlendirme ve dahil etmeyi hedefleyen.

Bakım uygulamalarının fonksiyonel yönü düşünüldüğünde; uzun vadeli karı artırması, tesisin fiziksel varlığını daha uzun sürdürmeyi sağlaması, kaliteli ürün çıkışını temin etmesi, emniyet tedbirlerini barındırması, iyileştirmeleri içermesi ve

sonucunda da performansı artırması dolayısıyla kilit rol oynadığı düşünülmektedir. Sistemin sürekliliğini sağlamak için sistem bileşenlerinde de sürekli iyileştirme benimsenmelidir. İşletme sisteminin alt bileşeni olan bakım faaliyetlerini geliştirmede benimsenebilecek üç yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki bakımın performans kriterlerinin belirlenerek ölçülmesidir ve ikincisi ise bakımın periyodik denetlemelere tabii tutulmasıdır. Üçüncü yaklaşımda da ilk ikisinin bir arada kullanılması yer almaktadır. İlk yaklaşımda, bakım sistemi için performans ölçütleri periyodik olarak tanımlanmakta ve hesaplanmaktadır. Hedefler belirlenerek ve sistem performansına ve hedeflerine dayalı olarak iyileştirme programları geliştirilerek uygulanmaktadır. Kullanılabilirlik, güvenilirlik ve arızalar arası ortalama süre gibi ölçülebilen parametreler bu bölümde kullanılan sayısal değerlerdendir. İkinci yaklaşımda, sistemin iyileştirilmesi için alanları düzenli olarak kontrolden geçiren denetimler uygulanmaktadır. Bakım sistemlerinin verimliliği ve sürekli iyileştirilmesi bu bölümün konusudur (Duffuaa, Raouf, ve Campbell, 2000).



Şekil 2.8 Bakım fonksiyonunun performans ölçümü (Muchiri ve diğer., 2011)

Şekil 2.8'de bakım sürecinin 'Performans Hedefleri ve Kıyaslama' temelinde nasıl oluşturulacağı ve yeniden şekillendirileceği Muchiri ve diğer. tarafından ifade edilmektedir. Oluşturulan diyagram; bakım hedeflerinin, imalat ve işletmenin amaçlarına yönelik belirleneceğini savunmakta ve böylece bakım faaliyetlerini

gerekli performansa ulaştırmaya ve üretimde kullanılan ekipmanların performansını sürekli iyileştirmeye yönlendirmektedir. Bakım yönetimi sürecinde, 'Performans Analizi' ve 'Bakımın Amaçları' yardımı ile süreçte yapılması gereken işler tanımlanmakta, sırasıyla da iş planlama, çizelgeleme ve yürütme adımları uygulanmaktadır. 'İş Yürütme' aşamasında elde edilen sonuçlar 'Donanım Performansı' ve 'Bakım Maliyeti'ni doğrudan etkileyeceği için 'Performans Analizi' işleminde değerlendirilen çıktılar arasında yer almaktadır. Sürekli gözden geçirme ve iyileştirme çalışmaları sonucunda 'Firma Stratejisi'ne ve 'Performans Hedefleri'ne uygun bakım süreci geliştirilmiş olmaktadır (Muchiri ve diğer., 2011).

BÖLÜM ÜÇ
DENİZCİLİKTE BAKIM SİSTEMLERİ

2. Bölüm'de olduğu gibi, bu bölümün başında da, "Gemi Bakım/Ship Maintenance" anahtar kelimeleri kullanılarak elde edilen bilimsel yayınların örnek verilmesi; bölümün içeriğinde yer alacak konu başlıklarına karar vererek, içeriklerini belirleyebilmektir.

Kutar ve Samat tarafından; gemi bakım planlaması, tüm öncelik ve kaynak kısıtlarını içeren ve gemi kullanılabilirliğini optimize eden bakım faaliyetlerinin başlangıç zamanlarını belirlemek için kullanılan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç zamanları ve etki alanı değerleri, bakım planlaması probleminin değişkenleri arasında gösterilmektedir. Malezya Deniz Kuvvetleri'ndeki gemi bakım çizelgeleme problemini çözmek için çalışmaya başlayan araştırmacılar öncelikli sorun olarak, bakım başlangıç zamanını kabul etmektedir. Kaynak kısıtı olan bakım işlemlerinin ertelenerek bir sonraki adıma geçilmesi tavsiye edilmektedir. Filo kullanılabilirliğinin en üst düzeye çıkarıldığı bir bakım çizelgesi benimsenip, çakışan bakım etkinlikleri ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır (Deris, Omatu, Ohta, Kutar, ve Samat, 1999).

Acar'ın 2001 yılında yaptığı çalışmada; gemi işletmeci şirketlerde, güvenilirlik ve bakım stratejilerinin odak haline gelmesinden dolayı, şirketlerin ekipman ömrünü ve etkinliğini en üst düzeye çıkararak, karlılıkta artış ve güven kazanmayı amaçlamaları yer almaktadır. Şirket politikalarının bir parçası haline gelen bakım-tutum prosedürlerinin planlanmasında sürekli iyileştirme hedeflenmektedir. Güvenilirlik ve karlılığın artırılması için dünya çapında gemi işletmeci şirketler arasında iletişim ağı kurmak ve ortak kullanıma sunmak, hedeflenen amaca ulaşmada bir araç olarak düşünülmektedir (Acar, 2001).

Bitros ve Kavussanos çalışmalarında; bakım masraflarının olumlu sonuçlar doğurduğundan bahsetmektedir. 20 yaş altındaki gemilerde bu etkinin daha kolay görülebildiği, 20 yaş üstü gemilerde ise ekipmanlardaki yaşlanmadan dolayı farkın

görülmesinin daha da zorlaştığı belirtilmektedir. Geminin yaşının yanında, türü, bayrağı, bağlı olduğu klas kuruluşu ve hatta bakımın yapıldığı tersanenin bile bakım harcamalarında belirleyici rol oynadığı ifade edilen diğer bir konudur (Bitros ve Kavussanos, 2005).

Rødseth, Steinbach ve Mo, teknik durum izleme araçları ile, uzun vadeli kontrol ve sorunları kök sebebe kadar aydınlatabilme imkanı sağlamak istemektedir. Gemi ve mürettebatın güvenliği için tamir-bakım kayıtları da dahil olmak üzere, minimum yolculuk gereklilikleri gibi değişkenler endekslenerek gemi performansı ölçülmek istenmektedir. Bu sisteme entegre edilecek alarm, geminin kabiliyetini artırmakta ve beklenenlerin ne ölçüde gerçekleştiğini göstermektedir (Rødseth, Steinbach, ve Mo, 2007).

Lazakis, Turan, Alkaner ve Olcer, denizcilik endüstrisinde; bakımı genel olarak üç kategoriye ayırmaktadır. Bunlar; düzeltici, önleyici ve periyodik bakımlardır. Yetersiz bakım yapılan gemiler, operasyonel maliyeti arttırmakta, gemi kullanılabilirliğini azaltmakta, gemi üzerinde sık sık teftiş edilmekte ve yoğun çalışma temposuna sahip mürettebat yaratmaktadır. Ayrıca, gemi sahipleri bakımla ilgili bozuklukları en aza indirgemek için teknolojik ilerlemelerle birlikte denizcilik alanındaki deneyimlerini birleştirmeye çalışmaktadırlar. 'Hata Modları ve Etkileri Analizi' ve 'Hata Ağacı Analizi' gibi yöntemler ile risk ve kritiklik kıstasları birleştirilerek makine ve teçhizatla ilgili vaka çalışmaları yapılmaktadır. Sistem güvenilirliğini artırmanın yanı sıra kritik ekipmanların neler oldukları da bu yöntemler ile tanımlanmaktadır (Lazakis, Turan, Alkaner, ve Olcer, 2009).

Alhouli; etkili bakım planlamasının, karmaşık varlıkları tedarik etmekten ve yönetmekten sorumlu olan herhangi bir organizasyonda önemli olduğu kadar deniz taşımacılığı endüstrisinde de belirli düzenlemelere ve gerekliliklere uyma yükümlülükleri nedeniyle çok önemli olduğunu belirtmektedir. Yani, yanlış planlama geminin ulaşılabilirliğini azaltmakta ve bu da şirketin gelirine yansımaktadır. Bu alandaki dikkat gerektiren diğer bir husus, uygun olmayan veya yetersiz planlamanın arızalara neden olabileceği için bakım masraflarını artırmasıdır. Gemi bakım

planlamasını etkileyen kilit faktörler belirlendiği zaman gemi bakımıyla ilgili optimum kararları belirlemek ve seçmek bir o kadar kolay olmaktadır (Alhouli, 2011).

Topaktaş ise, gemilerin seyir yaptığı süre boyunca kurallar çerçevesinde periyodik denetimlere tabii olduğunu belirtmektedir. Tipleri ve kullanım amaçları ne olursa olsun gemiler yıllık, iki yıllık ve beş yıllık denetimlerden geçmektedir. Klas kuruluşlarının yaptığı denetimler, yıllar boyunca tecrübelerle şekillenmişlerdir ve sürekli güncellemeye uğramaktadır. Daha emniyetli, doğaya saygılı ve insani değerleri göz önünde bulunduran bir gemi işletmeciliği için, gemilere düzenli bakım-onarım ve kontroller yapılmaktadır (Topaktaş, 2011).

Tari; gemileri inşaya başlamadan önce üzerinde düşünülmesi gereken bir takım özelliğin olduğunu belirtmektedir. Bunlardan; ekonomiklik, kullanışlılık, uzun ömürlü olma, mukavemetli bir yapıda bulunma, yeterli hız yapabilme, sağlıklı yapıda olma, en yüksek seyir güvenliğini sağlama ve geniş iç hacim sunabilme gibi özellikler akla ilk gelmektedir. Dünyadaki endüstriyel ürünlerin %80'ine yakın kısmı deniz taşımacılığı ile nakledilirken, denizlerde mevcut gemi sayısı gün geçtikçe artış göstermektedir. Ticari amaçla kullanılan gemilerin bakım-onarımı bu bakımdan yüksek önem arz etmektedir. Çoğu armatör, gemi bakım-onarım maliyetini minimize etmek için, gemilerinin ne zaman ve nerede bakıma alınacağını ve ne kadarlık bir süre boyunca bakım-onarımda kalacağını önceden bilmek istemektedir. Gemi bakım-onarımının hususları ve gereklilikleri; IMO standartları, SOLAS (Denizde Can Güvenliği), COLREG (Çatışma Regülasyonu), MARPOL (Deniz Kirliliği) gibi birçok uluslararası sözleşmelerin mecburi kıldığı şekilde yapılmaktadır (Tari, 2014).

Dev ve Saha tarafından yapılan çalışmada; gemilerin onarım sürecinin, bir tersanede veya seyir sırasında, bağlı olunan klas kuruluşları ve bayrak devletlerinin gerekleri göz önünde bulundurularak rutin şekilde yapıldığı yer almaktadır. Şartları yerine getirmek ve sahip olunan sertifikaları korumak amacıyla, kural ve düzenlemelere uyulmaktadır. Gemi sahipleri bir an önce sefere başlamak için, tersaneler ise başka gemileri bakıma alabilmek için bakım sürelerini kısaltmaya

çalışmaktadır. Her iki taraftan da bakıldığında maddi kazancın ön planda olduğu görülmektedir. Gemi tamir süresine; gemi yaşı, yük taşıma kapasitesi, gövde malzemesi, bulundurduğu tankların tipi gibi daha birçok özellik etki etmektedir. Tamir süresine, bağımlı ve bağımsız değişkenler ve bunların aralarındaki ilişkiler belirlendiği sürece karar verilebilmektedir (Dev ve Saha, 2015).

Yine Dev ve Saha tarafından; gemi işletmeciliğinde, emeğin yoğun olduğu, işgücü maliyetinin önemli ve hassas bir konu olduğu ifade edilmektedir. Gemi onarımı doğası gereği yoğun emek istemekte ve kontrol sistemleri her ne kadar otomasyonla yapılsa da bakım işi otomasyona açık değildir. Gemi tamirinde veya bir geminin rutin bakımı sırasında, işçilik maliyeti, toplam maliyette en yüksek tutara sahiptir ve bu rakam %70'e kadar çıkabilmektedir. İşletmeciler ve tersaneler, her zaman adam-saat değerini düşürmek için uğraşmaktadır. Daha az maliyetle piyasada rekabetçi fiyat sunmaya çalışmaktalar. Bu sebeple işletmeciler gemilerinin bakım-onarımı hakkında en detaylı bilgiye ulaşmayı istemektedir (Dev ve Saha, 2016).

Yukarıda örnek verilen çalışmaların yardımı ile; "Gemi Yönetimi", "Ekipman Yönetimi", "Risk Yönetimi", "ISM Kod ve Etki Alanları", "Can Güvenliği ve Bakım", "Karlılık ve Bakım" ve "Bakımın Çevre Koruma Politikalarına Etkileri" başlıklarına 3. Bölüm'de yer verilmektedir.

3.1 Gemi Yönetimi

İşletmelerin güvenli gemi yönetim sistemi oluşturmak istemelerindeki temel amaç; gemilerin operasyonları sırasında karşılaşılabilecek riskleri önceden belirleyerek, personele, gemiye ve çevreye en az zarar verecek şekilde önlem almayı hedeflemektir. Gemideki ve karadaki ilgili personelin katkıları ile işletmelerin benimsedikleri sistem sürekli gözden geçirilerek değişen ihtiyaçlara cevap verebilmek adına yeni uygulamalar devreye alınmaktadır. Değerlendirmelerin ardından şirketlerin gemi ve karada bulunan personelinin konu hakkında bilgilendirilmesi gerekmektedir. Personel motive edilerek sürece etkin şekilde katılımı sağlanmalıdır (Erginer, 2003).

Gemi işletmeci şirketler, bazı prosedürleri yerine getirdiği süre boyunca sistemin güvenli bir şekilde işlediğinden emin olmaktadır. Bunlar (Taflı, 2007):

- Muhtemel tehlikelerin belirlenmesi ve risk değerlendirmesi,
- Muhtemel tehlikeleri belirleme teknikleri ve risk değerlendirme araçlarının kullanımı hakkında yeterli bilgilendirilmenin yapılması,
- Belirlenmiş aralıklarda güvenlik denetimlerinin yapılması ve sonuçlarının raporlanması,
- Güvenlik konularında gemi personelinin yetersiz kaldığı durumlarda kara personelinin zaman geçmeden bilgilendirilmesi, ve
- Şirketin belirlediği güvenlik prosedürlerine uyulmasının sağlanmasıdır.

Gemi yönetimi sürecinin etkin şekilde işlediğinden emin olabilmek için karadan ve gemiden bir takım gözetimlerin yapılması gerekmektedir. Kara ofisinin ve gemi içi yetkili personelin yapması gereken gözlem ve denetimler dörder aşamada tamamlanmakta ve sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de gösterilmektedir (Taflı, 2007).

Tablo 3.1 Karadan gemilere yapılan denetimler (Taflı, 2007)

Aşama 1	**Aşama 2**	**Aşama 3**	**Aşama 4**
Filodaki güvenlik standartları ve eğitim durumları izlenir.	Resmi ve belgelendirilmiş çalışma izin sistemi kullanılmalı.	Kara yönetimi risk değerlendirme raporunu güncel tutmalı ve riskleri filo bazında değerlendirmelidir.	Standartların tutarlılığı için bütün risk değerlendirme raporları toplanmalıdır.
Gemi ziyareti sonunda değerlendirmeler yönetime sunulur.	Operasyonel riskleri belirleyip değerlendirdikten sonra ortadan kaldırıcı önlemler alarak bu uygulamaları kayıtlarda saklamak.	Planlanmayan olayları azaltmaya yönelik risk değerlendirmesi yapılmalı.	Şirket periyodik olarak güvenlik duyuruları yayınlamalıdır.
Gemi ziyaretinde zabitler ve personelle güvenlik toplantısı yapılmalı.	Raporlarda ileride yapılacak planlı ve plansız işleri değerlendirme imkanı verilmeli.	Şirket yönetimi katılımcı güvenlik uygulamaları yürütmeli ve teşvik etmelidir.	
	Risk değerlendirmesi sonucunda ulaşılması gereken hedefler belirlenmeli.	Sefere şirketi temsilen katılan kişinin, gemideki güvenlik ve eğitim standartlarını gözden geçirmesi.	

Karadan yapılan gözetimler özetlenecek olursa; birinci aşaması, yılda en az bir defa gemi ve kara ofisi arasındaki iletişimi sağlamak adına enspektör veya yetkilendirilmiş kara personelinin gemiyi denetlemesini tavsiye etmektedir. İkinci aşama; makine ve ekipmanlarda planlanmamış arıza durumunda geçmişte yaşanılan deneyimlerden yola çıkarak emniyet tedbirlerinin alınması gerekliliğini içermektedir. Üçüncü aşama; tekrarlanan tehlikeli işlerin yapılması sırasında meydana çıkabilecek olumsuz koşulları ortadan kaldırmak için prosedürlerin gözden geçirilmesini kapsamaktadır. Son aşama olan dördüncü aşama ise, şimdiye kadar yapılan bütün risk değerlendirmelerinin bir araya getirilerek filonun bütün gemilerine uyarlama yapılmasını tavsiye etmektedir (Taflı, 2007).

Tablo 3.2 Gemi içi denetimler (Taflı, 2007)

Aşama 1	**Aşama 2**	**Aşama 3**	**Aşama 4**
Gemi güvenlik zabitinin belirli aralıklarla denetim yapması ve sonuçları raporlaması.	Tehlikeleri belirleme sistemine göre gemi iş planı oluşturulmalı.	Risk değerlendirme personelinin gerekli eğitimden geçirilmesi.	Filodaki gemilerin uyguladığı en iyi güvenlik uygulamasının seçilerek diğer gemilere ulaştırılması.
Gemi üzerinde düzeltilemeyecek güvenlik eksiklerinin zaman geçmeden ofise bildirilmesi.	Gemi personeli için gerekli eğitim ve talimlerin belirlenmesi.	Gemi yönetimi ve güvenlik politikası uyumlu olmalıdır.	Gemi personeli ve ofis arasında güvenlik prosedürlerinin tartışılması.
En az ayda bir veya ciddi bir kaza sonrası güvenlik toplantılarının yapılması ve raporlanması.	Aylık güvenlik toplantılarında mevcut prosedür ve gözetimlerin gözden geçirilmesi.	İşletme yönetiminin gemi yönetimine örnekleri ile beraber güvenlik prosedürü sunmalıdır.	Şirketin modern güvenlik tedbirlerini araştırarak kendi gemilerine de aktarması.
		Gemi zabiti ve personelin zorunlu olan uygulamalar dışında da güvenlik eğitimi alması.	

Tablo 3.2'de anlatılanlardan, birinci aşama; gemi içi personelin kendi güvenlik değerlendirmesini yapmasını ve zaman geçmeden eksik hususların düzeltilmesini önermektedir. Eğer gemideki imkanlar mevcut eksiği gideremiyorsa zaman geçmeden ofise bildirilmelidir. İkinci aşama; gemide uygulanacak güvenlik işlemlerinin önceden planlanması ve hayata geçirilmesi konusunda yapılacakları belirtmektedir. Bunlar; aylık güvenlik toplantılarında yapılan, bakım gören güvenlik

ekipmanlarının durum kontrolü, liman işlemleri ve planlamaya konan eğitimler gibi genel güvenlik önlemleridir. Üçüncü aşama; gemide güvenlik, sağlık ve hijyen kültürünü oluşturmak için gemi personelini teşvik edici tatbikatların yapılmasını tavsiye etmektedir. Dördüncü aşama; personelin güvenlik konusundaki fikrini geliştirecek ve uygulayacak işlemlerin yapılmasını kapsamaktadır (Taflı, 2007).

3.2 Ekipman Yönetimi

Şirketler, mevcut gemilerini emniyet ve güvenlik tedbirleri alarak işlettiklerinde kaza riski azalacağı için insana, mala ve çevreye de en az zarar ile sonuçlanmaktadır. Bunu sağlamanın bir yolu da sistemde bulunan bütün bileşenlerin takip edilerek gerekli yer ve zamanda gerekli müdahaleyi yapmaktır. Bunların haricinde ekipman satın alımı, tasarımı, imalatı, işletim ve bakım prosedürleri konularında eksiklerin ya da yanlışlıkların düzeltilmesi de kaza riskini azaltan etkenlerdir. Günümüz bakım uygulamaları fiziksel varlıkların işlevini etkili bir şekilde yapmalarını sağlamanın yanında, ürünün faydalı ömrünü de artırmayı hedeflemektedir. Rutin bakım, periyodik denetim, önleyici tamir-bakım ve ekipman durum izleme gibi proaktif uygulamalar kullanılarak beklenenler karşılanmaktadır. Organizasyon içerisinde görev ve sorumlulukların uygun şekilde dağıtımı bu sürecin işleyişini kolaylaştırmaktadır. Bakım uygulanacak sistemin sınırlarının, bileşenlerinin, etkinliğinin ve optimal çalışma koşullarının belirlenmesi bakım uygulamalarını yerine getiren personele yol göstermektedir. Performansında mükemmellik isteyen organizasyonlar, maliyet etkinliği ve müşterileri için değer yaratma yeteneklerini sürekli iyileştirme çabası içindedirler. Ekipman yönetiminin etkili yapılabilmesi aşağıda anlatılan beş konu hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir (Jardine ve Tsang, 2013).

3.2.1 Kritik Ekipman

Bir gemiden sabit görev süresi içinde durmadan çalışması beklenmektedir. Kritik bir ekipman veya parçanın arızalanması durumunda gemi personeli, gemi, yük ve çevre için yüksek riskli ve yüksek maliyetli sonuçların meydana gelme olasılığı

bulunmaktadır. Kaza ortaya çıkarabilecek mevcut bir kusur göz önüne alınırsa, gemideki sorun ya limana dönülerek ya da seyir sırasında giderilmektedir. Arızaya neden olabilecek kusurlar, muayeneler sırasında tespit edilebilmektedir. Gemi işletmecilerinin amacı, seyir sırasında arızaya sebebiyet verebilecek kusurları saptama adına uygun denetim aralıklarının uygulanarak geminin limana dönüşünü optimize etmektir. Geri dönüşler, onarım ve arızaların sonuçlarında neler olabileceği gibi konular modellenerek maliyet hakkında öngörüde bulunulmaktadır. Ana makine veya dümen donanımı gibi geminin kritik bileşenlerinin seyir sırasında başarısız olması ve denizde onarılamaması muhtemelen son derece büyük, ciddi ve maliyetli olmaktadır. Bu durumda bağımsız olarak onarım ve limana ulaşım imkanı bulunmamaktadır. Kritik bileşenlerin içindeki kusurların tespiti basit göz muayenesi, sıcaklık ve basınç kontrolü, yağ ve titreşim analizi yöntemleri yardımıyla yapılabilmektedir. Bunlar yapılmadığı takdirde büyük boyutlarda can, mal ve çevre zararı ile karşılaşılacağı bilinmelidir. Büyük arıza çıkma oranının düşük olması durumunda dahi ara denetimlerin atlanmaması gerekmektedir. Sistemde arızalanması durumunda zincirleme arızalara yol açacak hatta geminin kaybına bile sebep olabilecek makine ve teçhizatın belirlenmesi, prosedüre uygun tamir bakım uygulanması ve kullanımı beklenmektedir (Christer ve Lee, 1997).

3.2.2 Ekipman Kontrolü

Ekipmanın durumunu değerlendirmek ve operasyonel performansını korumak amacıyla verilerin toplanıp birlikte değerlendirilmesi gemi işletmeciliğinde benimsenmiş bir yaklaşımdır. Durum bazlı bakımın uygulanabilmesi için sistem bileşenleri hakkında detaylı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Bunlar mevcut ekipmanın durumu ve ekipman üreticisi veya kullanıcısı tarafından sınırları çizilmiş mühendislik bilgisi içinde kalan performans kriterleridir. Bu uygulamanın, ana makine, jeneratörler, pompalar, kompresörler gibi makineleri kapsamasının yanı sıra; borular, valfler, kumandalar, tanklar, pervaneler, şaft ve dümen gibi mekanik ekipmanları da kapsadığı gerçeği unutulmamalıdır. Donanım bakımı ile ilgili temel kavram, makine arızalarının teşhisine ve düzeltilmesine yönelik mühendislik ilkelerinin uygulanmasıdır. Kontrol metodolojilerinin geliştirilmesi, gelişmiş bilgi

işlem teknolojisi ile birleşince, mühendislik prensiplerinin gemi çapında kullanılabilir otomatik bakım stratejisine dönüştürülmesinin önünü açmaktadır. Bu yaklaşım, kontrol sistemlerinin makine durumunu ve performansını teşhis etmenin ötesine geçerek, tahmin etmek için kritik olan sinyalleri toplayarak işletme maliyetlerini düşürme ve çalışma verimliliğini artırma eğilimindedir. Modern uygulamalarda bu işlem için arıza kayıt sistemleri kullanılmakta olup teknolojik gelişmelerden olumlu yönde yararlanılmaktadır (Nguyen ve Nelson, 2001).

3.2.3 Arıza Kayıt Sistemi

Gemilerdeki elektrikli ve mekanik ekipmanın teknik durumu; güç, performans, arıza, bozulma, vb. türden değerler ile ölçülmektedir. Ekipman çeşitliliğinden ötürü sistemin yapısı ve sistem bileşenlerinin arasındaki ilişkiler karmaşık yapıya sahiptir. Mevcut yapıya teknolojinin ilavesi ile teknik olarak karar verilmesi zor bir durum ortaya çıkmaktadır. Bunun için bilimsel bilgiye erişim ve kapsamlı analiz ve değerlendirme yöntemlerinin kullanılması uygun görülmektedir. Teknik altyapının kontrolünde bağımsız çalışan ve belirli teknik prosedürü bulunan klas kuruluşları görev yapmaktadır. Japon, Alman, Türk, vb. loydlar gemilerin ekipmanını değerlendirirken benzer koşulları göz önünde bulundurmaktadırlar. Ana makineler güç ve performans testinden geçerek güvenlik seviyeleri değerlendirilmektedir. Ancak gemi yaşayan bir sistem olduğu için ana makinenin durumu klas kuruluşları tarafından eksiksiz değerlendirilememektedir (Li, Yao, Huang, ve Xu, 2011).

Çalışma süresi içindeki kontroller ve gereken bakım-onarımdan gemiyi işleten firma sorumludur. Ekipmanın performans ölçümü, yönetimi, arızalarının tespiti ve bakım-tutumu klas kuruluşlarının denetimleri arasında şirketlerin yapması gerekenlerdendir. Bu sorumlulukların yerine getirilmesi ilk olarak durum izleme sisteminin varoluşunu sorgulamaktan geçmektedir. Günümüzde tahribatsız muayene, termal güç izleme, yağ durumu izleme, titreşim ve gürültü izleme, kızılötesi izleme, vb. ekipman durum takibinde kullanılan yöntemlerdendir. Tahribatsız muayene; ekipmanın yüzey metali yapısını, gerilmeleri, çatlakları, yıpranma ve deformasyonları kontrolü ederek yapılmaktadır. Termal güç izleme; ekipmanı çalışır

durumda basınç, sıcaklık ve akış gibi parametrelerdeki değişim ile takip etmektir. Yağ analizi; yağın veya soğutucu akışkanın şeklini, boyutunu, miktarını, bileşik kompozisyonunu ve metalin aşınan parçacıklarını değerlendirerek yapılmaktadır. Kızılötesi izleme; teçhizatın çalışma durumunu belirlemek için şekil, sıcaklık ve diğer parametreler açısından izlenerek, değerlendirme tekniklerinin kullanılmasıdır. Titreşim ve gürültü analizi; cihazın çalışması sırasında kondisyonunu belirlemek için değişen titreşim ve gürültü özelliklerinin haritalandırılmasıdır. Bu tip kontrol prosedürlerinin uygulanmasındaki amaç, optimum yedek parça stokunu gemide bulundurmak ve sistemin güvenilirliğini sağlamada uygulanacak bakım-tutumun etkinliğini artırmaktır (Li, ve diğer., 2011).

3.2.4 Bakım Prosedürleri

Prosedürler, çalışma ortamının organize edilmesinin bir yoludur. Bakım ile ilgili herhangi bir görevin üstlenilmesi gerektiğinde, daha önce şirket tarafından belirlenen usul ve kurallara uyulması gerekmektedir. Kuralların yetersizliği, açıkça anlaşılamaması veya yanlış anlaşılması gibi durumlarda ortaya çıkabilecek sorunlar, prosedürler sayesinde düzeltilebilmektedir. Bu prosedürler (Tovela, 1996):

- *Kıyıda bakımdan sorumlu personelin atanması:* Gemi bakımı ve bakım prosedürleri hakkında yeterli bilgi, teknik beceriye sahip olmak koşulu ile hem şirkette hem de gemide çalışmak üzere gerekli sayıda personelin görevlendirilmesidir.
- *İlgili belge, denetim raporu, çizim ve kitapların bakım ve yönetimi:* Gemilerin bakımı için sertifikalar, sörvey raporları, çizimler, kullanım kılavuzları, vb. gibi belgeler ilgili gemide muhafaza edilmelidir ve bu belgelerin birer kopyası yetkili personele verilmelidir.
- *Sürekli bakımın uygulanması:* Gemi işletmecisi şirket, sürekli bakım ve uygulama planları, sertifikaları, kayıtları ve raporların prosedürlerini yayınlamalıdır.
- *Planlar ve uygulamalar:* Hizmet, denetim, denetim süresi, değerlendirme standartları ve uygulamadan sorumlu personeli içeren bir bakım planı

hazırlanmalıdır. Prosedür, havuzlama hazırlıkları, onarım özelliklerinin hazırlanması, vb. içeriğe sahip olmalıdır.

- *Sertifikalar, kayıtlar ve raporlar:* Belirtilen prosedürlere göre uygulanan bakım hizmetleri, öngörülen personel tarafından doğrulanarak kaydedilmeli ve bakımdan sorumlu personele rapor edilmelidir. Şirket bakım tersanesini seçmeli, havuzlamayla ilgili ön hazırlık yapmalı ve bunlara ek olarak bakım planına uygun işlemlerin yapılıp yapılmadığı konusunda denetim yapacak personeli yetkilendirmelidir.
- *Önemli bakım hizmetlerinin belirlenmesi:* Şirket, ani operasyonel hatalarda tehlikeli durumlarla sonuçlanabilecek ekipman ve teknik sistemleri tanımlamak için emniyetli yönetim sistemi prosedürleri hazırlamalıdır. Bu sistem, ekipman ve sistemlerin güvenliğini artırmaya yönelik tedbirleri içermelidir.

3.2.5 Planlı Bakım Sistemi (Planned Maintenance System [PMS])

Gemi işletmecisi şirketler, planlanan bakım-tutumun yapılabilmesi için gereken kaynağın gemiye sağlanmasında görev alacak yeterli bilgi ve tecrübeye sahip kara personelini bulundururken, gemide de bakım-tutumdan sorumlu yeterli tecrübeye sahip personeli bulundurmak zorundadır. Bunun haricinde planlı bakım veya kontrol sistemini oluşturmak ve uygulamakla da yükümlüdürler. Bu sistem (Anderson, 2015):

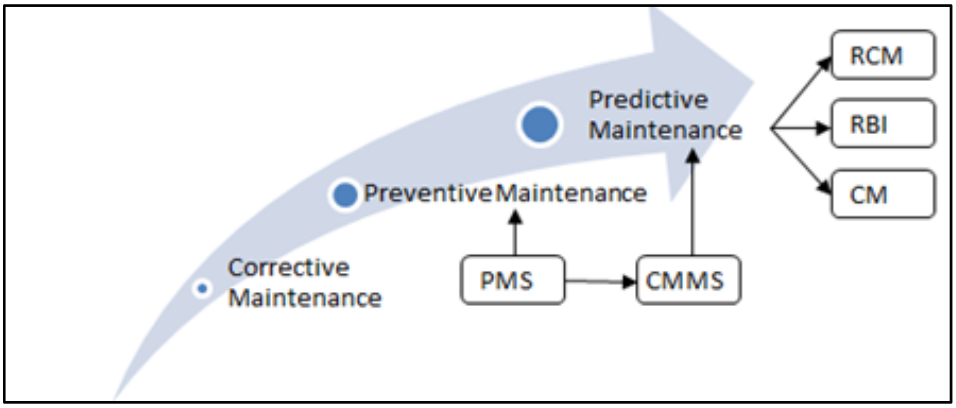
- Gemi gövdesi,
- Yangınla mücadele ekipmanı,
- Seyir cihazları ve radyo ekipmanı,
- Dümen donanımı,
- Demirleme ekipmanı,
- Ana ve yardımcı makine sistemleri,
- Kargo elleçleme sistemleri,
- İnert gaz sistemleri,
- Yangın, gaz, sıcaklık algılama sistemleri,

- Sintine, balast pompası ve seperatörleri,
- Atık bertaraf ve tuvalet suyu sistemi,
- Ölçüm ve test ekipmanları,
- Kaldırma donanımları, ve
- Acil durum haberleşme ekipmanlarını kapsamalıdır.

Oluşturulan planlı bakım sistemi, yukarıda bahsi geçen donanımları kapsamakta ve bunlara ait dokümantasyon kaydını tutmaktadır. Kayıtlarda bulunması gerekenler (Anderson, 2015):

- Bakım-tutumun uygulandığı ekipmanların kaydı,
- Yapılması planlanan bakım-tutum zaman aralığı,
- Bakım-tutumda ilgili personele yol gösterici nitelikteki talimatlar,
- Ekipmanların bakım-tutum kaydının saklanması,
- Bakım-tutumla ilgili ana kaynakların kaydı.

Bölüm 2.4'te anlatılan bakım sistemlerine kıyasla, uzun süreli gemi bakımı; ilave harcama gerektirse dahi, plansız onarımları önleyebilen bir unsur olarak değil, gereksiz harcama ve operasyonel maliyetlerde harcamaların azaltılması olarak düşünülmektedir. Bakım bir geminin operasyon ömrünü uzatmakta ve dolayısıyla operasyonel kazancını da artırmaktadır. Özellikle yüksek yakıt fiyatları ve harcamaları söz konusu olduğunda, gemi işletmecileri, gereksiz gecikmeler olmaksızın gemilerini güvenli ve sürekli bir şekilde işletmek istemektedir. Bunu başarabilmek adına da Şekil 3.1'de gösterilen bakım uygulamaları gemi işletmecisi şirketler tarafından esas alınmaktadır. 'Corrective Maintenance' *Düzeltici Bakım*; 'Preventive Maintenance' *Önleyici Bakım;* 'Predictive Maintenance' da *Kestirimci Bakım* anlamına gelmektedir. 'CMMS', Bölüm 4.1'de anlatılacak olan *Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri*'dir. 'RBI', *Risk Bazlı Denetim'*i ve 'CM' ise *Durum İzleme'*yi ifade etmektedir. 'RCM' de daha önce anlatılan *Güvenilirlik Merkezli Bakım*'dır (Lazakis, Turan, ve Aksu, 2010).



Şekil 3.1 Denizcilik işletmelerindeki bakım uygulamalarının gelişimi (Lazakis, ve diğer., 2010)

3.3 Risk Yönetimi

Denizcilik sektöründeki bazı risk kaynakları; ekipman arızası, dış olaylar, insan hatası veya kurumsal hatalardır. Gemilerde en kolay tanımlanabilen tehlikelerden olan ekipman arızası; dümen pompasına gelen gücün kaybedilmesi gibi bağımsız bir arıza da olabilmekte ya da sık karşılaşılan diğer bir durum olan ana güç kaynağının arızalanması sonucu sevk gücü ve dümen kontrolünün kaybedilmesi de olabilmektedir. Dış olaylardan kaynaklanan tehlikeler; diğer bir geminin çarpması, buzullar, hava ve deniz olayları gibi dış unsurlar olarak sıralanabilmektedir. Personelin yeteneklerinin yetersiz olduğunda, aşırı yorgun düştüklerinde veya sabotaj halinde insan kaynaklı tehlikeli durumlar ile karşılaşılabilmektedir. Kurumsal hatalar; yetersiz eğitim, iletişim eksikliği, moral düşüklüğü ve kötü yönetimden kaynaklanan riskler olabilmektedir. Bu tip sorunlar risk değerlendirme disiplininin oluşmasına yol açmaktadır. Birçok risk sorununun karmaşıklığı çeşitli alanlardan uzmanların risk bileşenlerini değerlendirmesini gerektirmektedir. Risk değerlendirmesi yapmanın yanı sıra çeşitli uzmanlardan alınan bilgilerin yorumlanması ve sonuç kararının verilmesi de ayrıca uzmanlık gerektirmektedir. İdeal olan risk değerlendirmesi, belirsizliği ortadan kaldırmak amacı ile sistematik ilerleyendir. Riskle ilgili tüm nicel ve nitel belirsizliklerin aydınlatılması alınacak tedbirleri belirlerken hangilerinin kullanılacağını kesinleştirmede kullanılmaktadır. Bir risk değerlendirmesi üç soruya cevap vermektedir; ‘Ne yanlış gidebilir?’, ‘Yanlış gidebilme ihtimali olan nedir?’, ‘Yanlışların sonunda ne sonuçlar çıkabilir?’, ve

aşağıdaki yöntemler bu sorulara cevap vermek için kullanılan yaygın yöntemlerdir (Ayyub, Beach, Sarkani, ve Assakkaf, 2002):

- Güvenlik ve gözden geçirme denetimleri,
- Kontrol listeleri (Check list),
- What-if (Olursa ne Olur?),
- Tehlike ve Kullanılabilirlik Çalışması (Hazard and Operability Study - HAZOP)
- Olasılıksal Risk Analizi (Probabilistic Risk Analysis - PRA),
- Ön Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis - PrHA),
- Arıza Modları ve Etkileri Analizi (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA),
- Arıza Modları Etkileri ve Kritiklik Analizi (Failure Modes Effects and Criticality Analysis - FMECA),
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis - FTA), ve
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA).

Tablo 3.3'de yaygın kullanılan risk değerlendirme yöntemlerin tanımlaması yapılmaktadır (Ayyub, ve diğer., 2002).

Tablo 3.3 Risk değerlendirme yöntemleri (Ayyub, ve diğer., 2002)

Metot	**Faaliyet alanı**	**Analiz yöntemi**
Güvenlik ve gözden geçirme denetimleri	Kazayla sonuçlanabilecek, maddi hasara veya çevresel etkilere sebep olabilecek ekipman koşullarını veya çalışma prosedürlerini tanımlar.	Kalitatif
Kontrol listeleri	Standart uygulamalara uygunluğu temin eder.	Kalitatif
What-if	İstenmeyen sonuçları doğurabilecek tehlikeleri, tehlikeli durumları veya belirli kazaları tanımlar.	Kalitatif
Tehlike ve Kullanılabilirlik Çalışması	İstenmeyen sonuçlara yol açabilecek sistem sapmalarını ve nedenlerini belirleyerek, sapmaların sıklığını ve/veya sonuçlarını azaltmak için eylem önerisinde bulunur.	Kalitatif
Olasılıksal Risk Analizi	Nükleer mühendisliği topluluğu tarafından geliştirilmiş olan diğer yöntemleri de kapsayan kombinasyonlu bir yöntemdir.	Kantitatif
Ön Tehlike Analizi	Bir sistemin ömrünün başında istenmeyen sonuçlara yol açabilecek tehlikeleri belirler ve önceliklendirir. Öncelikli tehlikelerin sıklığını ve/veya sonuçlarını azaltmak için önerilen eylemleri belirler.	Kalitatif
Arıza Modları ve Etkileri Analizi	Bileşenlerin arıza modlarını ve çevresindeki bileşenler ve sistem üzerindeki etkilerini tanımlar.	Kantitatif
Arıza Modları Etkileri ve Kritiklik Analizi	Endüktif bir yaklaşım olarak, bileşenlerin arıza modlarını ve çevresindeki bileşenler ve sistem üzerindeki etkilerini tanımlar.	Kantitatif
Hata Ağacı Analizi	Tümden gelim yaklaşımı olarak, kaza ile sonuçlanabilecek ekipman ve insan hatalarının kombinasyonlarını belirler.	Kantitatif
Olay Ağacı Analizi	Kazaya neden olabilecek başarısızlıkların ve hataların sonucunda olabilecek olayları belirler.	Kantitatif

3.3.1 Denizcilikte Emniyet (Safety) ve Güvenlik (Security) Kavramları

Emniyet ve güvenlik kelimeleri günlük hayatta eş anlamlı olarak kullanılsa da, denizcilikte Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) yayınladığı kural ve regülasyonlar ile anlamsal olarak ayrılmaya çalışılmaktadır. Emniyet, kaynağını doğal güçlerden ve insan hatalarından alan tehlikeli durumlardan uzak durma anlamında kullanılmaktadır. Güvenlik ise, kaynağını insanın bilinçli, zarar verme amacıyla oluşturduğu tehlikelerden uzak durma anlamındadır. Yani, emniyet tedbirleri doğal ve istem dışı durumlara engel olmak; güvenlik de insan tarafından zarar verme amacıyla oluşturulan tehlikelerden korunma anlamında kullanılmaktadır. IMO ve iki terimi birbirinden, "Uluslararası Gemi ve Liman Tesisi Güvenliği Kodu" (International Ship and Port Facility Security Code - ISPS Code) ve "Uluslararası Emniyetli Yönetim Kodu" (International Safety Management Code - ISM Code) ile ayırmaktadır (Nas, 2012).

IMO, gemilerin ve liman tesislerinin deniz taşımacılığı güvenliğini tehdit eden eylemleri tespit edebileceği ve engelleyebileceği uluslararası bir çerçeve oluşturan değişikliklerle, Denizdeki Can Güvenliği (SOLAS) Sözleşmesi uyarınca bir dizi güvenlik önlemi sunmaktadır. SOLAS düzenlemeleri, "Uluslararası Gemi ve Liman Tesisi Güvenliği (ISPS) Kodunu" içermektedir. Bu kod, 500 gros ton'dan daha büyük olan tüm kargo gemilerine, uluslararası yolculuklarda bulunan tüm yolcu gemilerine ve bu gemilere hizmet eden liman tesislerine uygulanmaktadır. Bu kodun amacı, güvenlik tehditlerini tespit etmek/değerlendirmek ve taraflarca kullanılan gemi veya liman olanaklarını etkileyen güvenlik olaylarına karşı önleyici tedbirleri almak üzere sözleşme devletleri, devlet ajansları, yerel yönetimler ve denizcilik ve liman sanayileri arasında işbirliği içeren uluslararası bir çerçeve oluşturmaktır. Uluslararası ticaret; deniz güvenliği için ulusal ve uluslararası düzeyde ilgili tüm tarafların perspektif rollerini ve sorumluluklarını oluşturmak; güvenlikle ilgili bilgilerin erken ve verimli bir şekilde harmanlanması ve değiştirilmesini sağlamak; değişen güvenlik seviyelerine cevap verebilmek için yerinde plan ve prosedürlere sahip olmak üzere güvenlik değerlendirmeleri için bir metodoloji sağlamak; ve yeterli ve orantılı deniz güvenliği önlemlerinin alındığına dair güveni sağlamak amaçlanmaktadır (IMO, 2003).

1995 yılında, ISM Kod uygulamasına olan ihtiyacı kabul eden IMO Meclisi ve diğer idareler tarafından SOLAS Bölüm IX'a uygun olarak, Uluslararası Emniyetli Yönetim (ISM) Kodu'nu A.788 (19) kararı ile kabul etmiş ve 1 Temmuz 2002 yılından bu yana 500 gros ton üstü bütün gemilerde uygulama zorunluluğuna sahiptir. ISM Kod'un hedefi, denizde emniyeti sağlamak, insan yaralanmalarının veya yaşam kaybının önüne geçmek, çevreye özellikle deniz çevresine ve mala zarar gelmesini önlemektir. Bahsedilenlere ilave olarak, şirketler emniyet yönetim sistemleri ile gemi işletmeciliğinde güvenli uygulamaları sağlamakla yükümlü tutulmaktadır. Belirlenen tüm risklerin gemilere, personele ve çevreye zararını önlemek için emniyet ve çevre koruma konularında acil durumlar da dahil karada ve gemide çalışan personelin emniyet yönetim becerilerini geliştirme zorunluluğu bulunmaktadır. Emniyetli yönetim sistemi, bu kuralları karşılarken; zorunlu kural ve düzenlemelere uyma, organizasyon, idare (bayrak devleti), klas kuruluşları ve

denizcilik endüstrisi tarafından önerilen kod, yönerge ve standartları dikkate almaktadır (Türk Loydu, 1995).

3.3.2 Denizcilikte Güvenilirlik Kavramı

Dünya ekonomisi için kilit öneme sahip olan denizcilik endüstrisinde güvenilirlik kavramı yüksek önem arz etmektedir. Deniz yolu ile taşınan yük ve yolcunun, gemilerin ve istihdam edilen personelin tehlikeli durumlardan uzak tutulması esas amaçtır. Dünya çapında uygulama zorunluluğu olan yasalar, yönetmelikler ve eylemler, deniz taşıtlarının etkinliğini, emniyetini ve güvenliğini artırmaya yöneliktir. Deniz ortamında olup bitenlerin kaydının tutulması, gerçekleşen ve kıl payı atlatılan kazaların hiç olmadığı veya olmayacağı anlamına gelmediğinden dolayıdır. Bu konuda hedeflenen sıfıra yaklaşmaktır. Deniz taşımacılığında operasyonel güvenilirliği artırmak için kriterlerin belirlenerek değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir. 3 adet kriter ve 12 adet değişken tanımlaması yapılmaktadır. Bu kriterler (Gaonkar, Xie, Ng, ve Habibullah, 2011):

- *Amaçlanan görevin tamamlanması;* Geminin türüne göre, kargo gemisi ise hasarsız şekilde teslimatın yapılması, yolcu gemisi ise konforlu keyifli bir yolculuğun gerçekleşmesi, savaş gemisi ise gizli görevin başarıyla tamamlanmasını ifade etmektedir.
- *Zamanlama;* limandan kalkış ve varış sürelerinin planlanan zamanda gerçekleşip gerçekleşmeyeceği ile ilgilidir ve operasyonel güvenilirliğin ölçülmesinde önem teşkil etmektedir.
- *Emniyetli görev;* deniz taşıtının kalkış limanından varış limanına gelene kadar geçirdiği yolculuk boyunca bu süreçten etkilenen bütün unsurların kazasız seyri içindir.

Bu üç kriteri değerlendirmenin amacı, deniz taşıtının operasyonel güvenilirliğinin ne ölçüde yerine getirildiğini tanımlamaktır. Güvenilirlik değerlendirmesindeki kriterlerin ölçülebilmesi ve ne ölçüde yerine getirilebildiğine karar verilebilmesi aşağıda anlatılacak olan değişkenlere bağlanmaktadır (Gaonkar, ve diğer., 2011):

- *Kaynak limandaki tıkanıklık;* bu faktör limandaki trafik yoğunluğuna bağlıdır. Farklı limanlardaki gemi trafiği farklı varış-kalkış oranlarına sahip olabilmektedir. Bu, ülkeden ülkeye ve ithalat-ihracat edilen ürünün türüne göre farklılık göstermektedir.
- *Denizdeki tıkanıklık;* seyir engelleri ve zorluklar yaygındır. Denizlerde veya okyanuslardaki bazı geçiş yolları zaman zaman yoğun trafiğe sahiptir. Herhangi bir gemi denizdeki bu yollardan geçtiği takdirde, trafiğe bağlı olarak, kesinlikle seyahat süresinde artış olmaktadır.
- *Hedef limandaki tıkanıklık;* trafik yoğunluğu limandan limana farklılık gösterdiğinden hedef limanda tıkanıklık faktörü kaynak limanda olduğu gibi hakim bir faktör olmaktadır. Ayrıca bazen, zaman çizelgesi kaçırılmışsa, kaynak limanda veya denizde tıkanıklık veya herhangi bir kesinti yüzünden tıkanıklık olabilmekte, kuşkusuz varış limanına ulaşım ertelenmektedir.
- *Hava veya çevre koşulları;* hava belirsizliği herkesin bildiği bir gerçektir. Hava değişikliği anidir ve tahmin etmek zordur. Denizlerdeki meteorolojik tahminler bilimsel yöntemlere dayansa bile durumun tersine gidebileceği gözlemlenmektedir. Denizin durumundaki veya rüzgar hızındaki ani değişiklikler önceden tahmin edilemez ve görüş açısını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bütün bu özellikler operasyonel güvenilirliği oldukça kötü etkilemektedir.
- *Gemi yaşı;* deniz taşımacılığının operasyonel güvenilirliğini değerlendirmek için düşünülmesi gereken önemli bir faktör olduğu unutulmamalıdır. Deniz taşıtının yapım yılı, geçtiği aşamayı göstermektedir. Bununla birlikte, yeni gemiler denizde yaşlılardan daha iyi performans göstermektedir. Yaşlanma faktörü, eskime veya bozulma olgusu nedeniyle, geminin genel performans derecesine zarar vermektedir.
- *Geminin teknolojik olarak iyileştirilmesi;* bazı gemi sahipleri veya şirketler gemilerini gerektiğinde teknolojik olarak yükseltmektedir. Denizcilik endüstrisinde teknolojik yenilikler gerçekleştiğinde gemi işletmecilerine gemilerini yenileme tavsiye edilmektedir. Yaşlanma etkisi ile de gemide makine ve teçhizat konusunda değiştirme ve iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Köklü teknolojik gelişmeler performansı artırmakta ve

denizde geminin sefer başına geçirdiği süreyi kısaltmakta, böylece gemi ömrü boyunca daha çok sefer ile daha çok gelir elde etmektedir.

- *Operasyonel veya seyir personelinin tecrübesi;* deneyimli gemi mürettebatı, seyir zorluklarının üstesinden gelme konusunda uzmanlaşmıştır ve bu, geminin deniz/okyanus üzerinde emniyetli ve güvenli seyir gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Böyle bir deneyim faktörü, operasyonel güvenilirlik üzerinde de önemli etkilere sahiptir.
- *Bakım personelinin deneyimi;* seyir mürettebatının tecrübesine ek olarak, deniz ulaştırma sistemlerinin güvenilirliğini değerlendirmek için bakım personelinin tecrübesi de dikkate alınmalıdır. Bakım uygulamaları ve bakım araç ve teknikleri ile ilgili beceriler hakkında uzmanlık ve bilgi birikimi, genel güvenilirliğe avantaj sağlamaktadır.
- *Bakım programının etkinliği;* bakımın doğru ve yeterli olması sonucunda güvenilirlik derecesinde artış görülmektedir. Düzeltici, önleyici ve kestirimci bakım, durum izleme, güvenilirlik merkezli bakım gibi çeşitli programlar ve yöntemler bakımın etkinliğini artırmak için uygulanmaktadır. Bu tür programların etkin kullanımı, daha yüksek operasyonel güvenilirlik için hayati öneme sahiptir.
- *Acil sistemin etkinliği;* normal olarak, bu önemli nokta analizlerin çoğunda ihmal edilmektedir. Acil durumlar rastgele olup her zaman olabilme ihtimalini taşımaktadırlar. Kriz yönetimi, böyle bir olasılığın olması halinde, güvenilirlik değerlendirmesi için dikkate alınması gereken ve böylece, gemide bulunan acil durum sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir.
- *Öngörülemeyen olaylar;* denizlerdeki bazı bölgeler veya geçiş yolları, gemi kaçırma, yağma, korsan saldırıları, silahlı soygun gibi tehlike olaylarına eğilimlidir. Dolayısıyla, herhangi bir gemi bu gibi alanlardan geçerse, çok küçük olsalar bile, bu tür öngörülemeyen, talihsiz olayların meydana gelme olasılığıyla karşı karşıyadırlar. Bu faktör, diğerleri gibi, sayısallaştırılamaz, ancak üzerinde düşünülmesi, tedbir alınması gerekmektedir.
- *Geminin çalışma geçmişi;* bazı gemilerin güvenilir bir çalışma geçmişi vardır ama hepsi bu kadar şanslı olmamaktadır. Gemide çalışan personel, geminin

operasyonel geçmişinden haberdardır ve gelecekteki olası operasyonlar hakkında eski bilgiler sayesinde öngörüde bulunabilmektedir.

3.4 ISM Kod ve Etki Alanları

ISM Kod 1993'te A.741(18) no'lu kararla kabul edilmiş ve A.788(19) no'lu kararla da uygulamaya konulmuştur. Bu kod iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki uygulama, ikinci bölüm ise sertifikalandırma ve doğrulama bölümleridir. Her iki bölümünde uygulanması ilgili taraflarca zorunludur. İkinci bölümde detaylı olarak anlatılmakta olan sertifikalanma süreci ISM Kod kapsamında denizcilik şirketlerinin ya da işletmeci yönetici firmaların kara ofisleri ve gemileri, bayrak devletleri veya bayrak devletleri tarafından tanınmış kuruluşlar tarafından denetlenip, uygunluğuna karar verildikten sonra kara ofisleri ve gemiler ayrı ayrı sertifikalandırılmaktadır. Bu sertifikalardan biri olan DOC (Document of Compliance - Uygunluk Sertifikası), şirketlerin kara ofislerine verilen ve geçerliliği beş yıl olan bir sertifikadır. Beş yıl içinde şirketler tanınmış kurumlarca yıllık denetimlere (annual survey) tabi tutulmaktadır. Yıllık denetimlerde eğer minör ve majör uygunsuzluklara rastlanılmışsa nispi kanıtları ile kayıt edilmekte ve minör uygunsuzlukların düzeltilmesi tavsiyesi verilmektedir, majör uygunsuzlukların belirlenen süre içerisinde düzeltilmesi istenmektedir. Ayrıca gözlemlerde firmalara iletilmektedir. Diğer bir sertifika olan SMC (Safety Management Certificate - Emniyet Yönetimi Sertifikası) ise DOC'ye sahip şirketin gemisine verilen sertifikadır. Bu sertifikanın geçerliliği de beş yıl olup denetimler iki buçuk yılda bir (intermediate survey) yapılmaktadır. Geminin sefer durumuna göre SMC ara denetlemesinin 6 ay ileri veya geri çekilebildiği bilgisine de ulaşılabilmektedir. DOC'de olduğu gibi SMC'de de minör ve majör uygunsuzluklara bakış açısının aynı olduğu görülmektedir (Erginer, 2003; IMO, 2016).

Denizcilik sektöründe emniyet konusunda farkındalığın ISM Kod ile yaratılmaya çalışıldığı ve bu kodun gemi işletmecilerine; personele, yüke, gemiye ve çevreye karşı sorumluluk yüklediğinden Bölüm 3.3.1'de bahsedilmektedir. Bu sorumluluklar dört ana başlık altında toplanmaktadır (Chauvel, 1997; Erginer, 2003):

- *Yönetim;* şirketlerin yönetimleri, karada ve gemilerinde etkin bir emniyet yönetim sisteminin geliştirilmesi, uygulanması ve sürdürülmesinden sorumludur. Bunu yaparken; güvenlik ve çevrenin korunması ile ilgili şirket politikasının geliştirilmesi; karada ve gemide çalışan her personelin yetki ve sorumluluklarının yazılı tanımı yapılması ve şirketin en üst yönetimiyle direk irtibata geçecek DPA (Designated Person Ashore - Karada Yetkilendirilmiş Kişi) atamasının yapılması; tüm şirket personelinin ulaşabileceği prosedürler, planlar ve talimatlar şeklinde kayıt sisteminin hazırlanması, dağıtımı ve periyodik güncellemesinin yapılması; kıyıda ve gemide arzu edilen emniyet seviyesini korumak için gerekli düzeltici eylemin ardından uyumsuzlukların tanımlanması; şirketin güvenilirliğini artırmak adına yapılan uygulamaların izlemesinin yapılması gerekmektedir.
- *Personel;* kazaların sebepleri arasında en önemli unsur olarak gösterilmektedir. ISM Kod kapsamında personel konusunda; giderek karmaşıklaşan gemi ekipmanlarının kriterlere uygun işletilebilmesi için personele eğitim verilmeli; istemsiz ihmallerin ve ölümcül kazaların oluşunu önlemek için gemi personeli arasındaki iletişim yüksek tutulmaya çalışılmalı; gemi adamlarına ve diğer personele emniyetli ortamda çalışmalarını yürütebilmeleri bilgisi ve sorumluluğu verilmeli; denizde ölümcül hataları ve uygunsuzlukları önleyebilmek adına acil durum senaryoları da dahil personelin röle talimi ve alıştırma eğitimine tabii tutularak iç motivasyon sağlanmaya çalışılmaktadır.
- *Gemi ve teçhizatı;* gemi personeli sistemin davranışsal kalbi iken makine ve teçhizat da donanımsal açıdan geminin kalbindedir. Gemi ve gemi adamı arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde elde etmek esastır. Gemi adamının hem işini hem de çalışma ortamını anlaması hayati önem taşımaktadır. İnsanların çalışma şekli ve içinde çalıştıkları ortam hesaba katılmalıdır. ISM Kod, gemi ve teçhizatı konusunda; arıza ve kaza riskini en aza indirgemek için koruyucu bakım programının geliştirilmesi, aynı zamanda gemi adamına çalışma ortamını kontrol etme imkânı sunmayı; geminin güvenli ve etkin operasyonları için kritik olduğu düşünülen tüm ekipmanların ve sistemlerin tanımlanması ve periyodik olarak denetlemeyi; geminin çalışma koşulları,

aletlerin ve malzemelerin hakkında bilgi veren gerekli muayene ve kontrolün yapılmasını, ihmalleri önleyecek ve tüm mürettebat için güvenlik açısından çevreye duyarlı bir ortam yaratılmasına katkıda bulunacak prosedürlerin hazırlanması tavsiye edilmektedir.

- *Prosedürler;* kendi başlarına bir son değil, ilerleme kaydetmek için gerekli uzmanlığı ileriye aktarmak için bir araçtır. Yazılmasının temel nedeni, kazanılmış deneyimlerle içeriği zenginleştirmek ve aynı zamanda tekrar eden hataları önlemektir. Bu konuda ISM Kod; geminin güvenlik ve çevre koruma politikası bağlamında, geminin misyonunu yerine getirmesi için tüm operasyonel prosedürlerin hazırlanmasını; personelin emniyetini etkileyebilecek veya kirlilik riski oluşturabilecek tüm öngörülebilir durumlarla yüzleşilmesi ve yönetilmesi için operasyonel eylem planlarının hazırlanması ve sürdürülmesini; mürettebatın acil durum alıştırmalarında ve talimlerinde her türlü olaya hazırlıklı olarak düzenli olarak eğitilmesini; işletmeci şirket tarafından önerilen prosedürlerin uygulanmasına ilişkin belgelenmiş iç denetimlerin sistematik olarak organize edilmesi ve ISM Kod uyarınca herhangi bir düzeltici tedbirin takibini; denetimler ve kontroller sırasında uygunsuzlukların analizi ve değerlendirilmesini; veri kaydetme ve gerekli raporları hazırlama ve şirket tarafından uygulanan sistemin etkili çalışmasını belgeleme ve ilgili yerlere gösterilmesini uygun görmektedir.

3.4.1 ISM Kod Madde 10 ve Bakım Sistemine Etkileri

Tezin konusu olan gemilerin ana makinelerine uygulanan bakım sistemlerinin, gemi işletmelerince nasıl yürütüldüğü hakkında kapsamlı bilgiye, İzmir ilinde bulunan gemi işletmeciliği yapan şirketlerle yüz yüze yapılan görüşmelerde ulaşılmıştır. Bu bilgiler ışığında, ISM Kod Bölüm 10, Madde 10.1, 10.2, 10.3 ve 10.4 aşağıda daha geniş bir şekilde anlatılmaktadır.

- *Madde 10.1:* Gemi ve teçhizatının bakım prosedürünün, gemiyi işleten şirket tarafından oluşturulması ve yayınlanması gerekliliğidir. Bakım prosedürü oluşturulurken; liman ve bayrak devletlerinin kuralları, klas kuruluşlarının

kuralları, uluslararası anlaşmalar, makine ve teçhizat üreticilerinin tavsiyeleri, hatalardan alınan geri beslemeler ve şirketin sahip olduğu bakım politikası büyük önem arz etmektedir. Bu tavsiye ve bilgi birikimi sayesinde ana makine üzerinde bakım tutumu yapılması gereken kısımların değişim süreleri, çalışma saatleri ve durumları sürekli olarak kontrol edilerek planlı bakım sürecine alınmaktadırlar.

- *Madde 10.2:* Kritik ekipmanların belirlenmesi ve üzerinde yapılması gereken işleri kapsamaktadır.
  - 10.2.1: SMS'de belirlenmiş olan belirli aralıklarla yapılan denetimler; makine, teçhizat ve sistemlerin yapısal bütünlüğünü koruma adına yapılan rutin denetimlerdir. Bu denetimi gemi personeli veya şirket adına çalışan denetçi/sörveyör/enspektör gerçekleştirmektedir. Üreticilerin tavsiye ettiği denetim kriterlerinin göz önüne alınmasının yanı sıra, makine ve teçhizatın çalışma koşullarına göre durum analizleri ve belgelendirilmesi yapılmaktadır. Eğer bir parçanın/donanımın değişmesine yapılan denetimler sonucunda varılmış ise zaman kaybetmeden bir sonraki yapılacak işler listesine eklenmekte ve gemide baş mühendisin kontrolü altında kaptanın bilgisi dahilinde ve onayı ile gerçekleştirilmektedir.
  - 10.2.2: Uygunsuzlukların eğer biliniyorsa sebepleri ile raporlanması; gemi ve teçhizatla ilgili hasar, kusur, eksiklik, bozukluk ve teknik arızaların raporlanmasını ifade eder. Kusurlar günlük olarak raporlanır ve düzeltici faaliyetleri yerine getirmek için kara ve denizdeki personelin yetkilendirilmesi yapılmaktadır. Kusurların giderilmesi önem sırası göz önüne alınarak gerçekleştirilirken, muhtemel sebepleri de rapora dahil edilmektedir. Kök sebep analizi yapılmakta, sorunun çözülmesi için kara ve gemide çalışan teknik personel görev almaktadır.

  - 10.2.3: Uygun düzeltici çalışmanın yapılması; düzeltilmesi gemideki kaynaklar ile hızlı bir şekilde yapılamayacak olan kusurların giderilmesi için prosedür yayınlanmasını kapsar. Bu prosedürde amaç aynı kusurun yeniden oluşumunu önleyecek faaliyetlerin belirlenmesidir. Bakımı

ertelenebilen, insan, gemi ve çevre korumasını etkilemeyen kusurlar bu başlık altında toplanmaktadır.

- 10.2.4: 10.2.1, 2, ve 3'teki faaliyetlerin kaydının tutulması; kullanılan SMS'de, yapılan denetim, bakım, hasar ve ilgili düzeltici işlemlerin kayıt altına alınma zorunluluğudur. Bu kayıtlar elektronik ortamda tutulurken, raporlar gemi ve kara ofisinde bulunmalıdır. ISM Kod, şirketlerin kayıtları tutması için kullandıkları bilgisayar yazılımının içeriğine karışmaksızın gerekli kuralları karşılayıp karşılamadığına bakmaktadır. Şirketler bu yazılımı seçerken; geliştirilebilen, kolay kullanılabilen, dengeli çalışan ve şirket yönetim prensiplerine uygun olanları tercih etmektedir.

- *Madde 10.3:* Stand-by ekipmanların testlerinin yapılmasını kapsar. Bu ekipmanlar, çalışmadığında tehlikeli sonuçlara neden olmaktadır. Stand-by ekipmanlardan kaynaklı riskleri azaltmak için listeleri oluşturulup test prosedürleri yayınlanmalıdır. Bu donanımlar:
  - Acil durum kesme sistemleri,
  - Alarm sistemleri,
  - Yakıt ikmal sistemi,
  - Yük elleçleme sistemleri,
  - Acil durum ekipmanları,
  - Emniyet ekipmanları,
  - Kalkış ve varış öncesi testler gibi makine ve teçhizattan oluşmaktadır.
- *Madde 10.4:* Madde 10.2'de olduğu gibi Madde 10.3'e dahil olan ekipmanların da listelerinin, test prosedürlerinin, bakım durumlarının, denetleme tutanaklarının kayıt altına alınarak gemi ve kara ofisinde bulundurulması zorunludur.

Veri toplama, uygun olmayan bakım verileri, gerçek bakım prosedürlerinin kontrolü, ölçüm cihazlarının kontrolü, doğru bakım görevlerinin uygulanması ve aynı zamanda da verimli bakım işlemleri gibi gemilerin bakım-tutumu sırasında karşılaşılan karmaşık yapı, şirketler tarafından giderilmeye çalışılmaktadır. Genel

olarak, bir bakım sistemi ISM Kod istekleri de göz önünde bulundurulduğunda aşağıdaki hedefleri ele almalıdır (Lazakis, ve diğer., 2010):

- İyi yapılandırılmış bir yaklaşım olmalıdır,
- Esnek olmalıdır,
- Operasyonel prosedürlerden geribildirim almalıdır,
- Uzmanların kararı dahil edilmelidir,
- Periyodik denetimler ve değişimler içermelidir, ve
- Diğer sektörlerde de kullanılan bakım teknolojileri dikkate alınmalıdır.

3.5 Can Güvenliği ve Bakım

ISM Kod'un amacının, gemilerin emniyetli yönetimi ve işletimi olduğu önceki bölümlerde belirtilmektedir. Denizde emniyetin sağlanması ve insanların yaralanmaması, ISM Kod'un zorunlu isteğidir ve bunu işletmeci şirket sağlamalıdır. Can güvenliğini sağlamanın yolu olarak; emniyetli yöntemler ve çalışma ortamı oluşturma gösterilmektedir. Emniyetli çalışma ortamı oluştururken, risk değerlendirmesi yapmanın yanı sıra, makine ve teçhizatın bakım-tutumu yapılarak herhangi bir tehlikeli duruma yol açmaması da sağlanmalıdır. Seyir emniyetini tehlikeye atacak her durum, geminin ve yükün zarar görmesine neden olabilmekte, aynı zamanda yaralanma ve can kaybına da yol açabilmektedir. Bu sebeple üzerinde düşünülmesi gereken bir konu olarak gündeme gelmektedir (Hetherington, Flin, ve Mearns, 2006).

3.6 Karlılık ve Bakım

Ticari işletmelerin varoluş amacı kar elde etmektir. En temel hali ile gelirlerden giderlerin çıkarıldığı durumdaki fark maddi kazanca eşittir. Buradan da anlaşıldığı gibi gelirlerin artması ve giderlerin azalması karı artırmaktadır. Pratikte sadece böyle bir uygulamayla karşılaşmanın yanında, gelir ve giderlerde artış-azalış yönünde kombinasyonların da bir arada olacağı unutulmamalıdır. Örneğin, karı artırmak için yapılan yeni uygulamaların maliyeti düşünüldüğünde giderler artacak, fakat ona

karşılık artan güvenilirlikten ötürü yapılan yeni iş anlaşmaları sonucunda gelirlerin artış oranının daha fazla olması halinde kazançta artış görülebilmektedir. Eğer mevcut iş kapasitesi dahilinde sadece giderleri azaltma yöntemi seçilirse bile karda artış olabilmektedir. Bu hassas dengenin korunmasında güvenilirliğin getireceği kazançlar üç ana başlık altında toplanmaktadır (Acar, 2001):

- Artan girdiler,
- Azalan giderler,
- Maliyetin önlenmesi.

Güvenilirliğin artışını sağlayan ise kalitenin artmasıdır. Ürünün veya hizmetin kalitesini artırırken aşağıdaki üç gider grubu göz önünde bulundurulmalıdır (Acar, 2001):

- *Arızalardan kaynaklı giderler;* zarar görmüş veya kullanılamayacak ekipmanın değişimi, geç teslimattan dolayı ödenecek ceza ve tazminatlar örnek gösterilmektedir.
- *Değerlendirme giderleri;* kalite derecesi belirlenirken yapılan araştırma, inceleme ve analizlerden kaynaklı giderlerdir.
- *Önleme giderleri;* arıza ve değerlendirme harcamalarını azaltmak için yapılacak uygulamaların getirdiği maliyetlerdir. Önleme giderleri artırılarak arızalardan ve değerlendirmeden kaynaklı giderlerde azalış hedeflenmektedir.

Tedarik zincirinin önemli bir parçası olan deniz taşımacılığında kullanılan gemilerin önemi büyüktür. Ulaşım sistemindeki herhangi bir geminin duruşundan kaynaklı hem gemi gelir kaybına uğrayacak hem de sistemin geri kalan kısmında aksaklıktan kaynaklı maliyetin kolaylıkla tahmin edilemeyeceği unutulmamalıdır. Gemilerin kullanılabilirliği, koruyucu bakım sisteminin ne kadar etkin olduğuna bağlanmaktadır. Mevcut gemi operasyonlarından gözlemlenenler aşağıda sıralanmaktadır (Turan, Ölçer, Lazakis, Rigo, ve Caprace, 2009):

- *Yüksek yaşam döngüsü maliyetleri*, özellikle bakım maliyetleri büyük öneme sahiptir ve işletmecinin operasyonel maliyetlerinin yaklaşık %25-35'ini oluşturmaktadır. Ayrıca, artan petrol fiyatları da işletmecileri maliyetleri azaltma yollarını aramaya yönlendirmektedir.
- *Bakım yapılmayan veya kontrolü/takibi iyi yapılmayan gemiler*, çevreye olduğu kadar kargo ve gemide çalışan insanlar için de tehlike oluşturmaktadır.
- *Düzeltici bakım yapılması durumunda*, genellikle pahalı tamiratlar, önemli miktarda zaman kaybı/kiralama süresini azaltmakta ve geminin güvenilirliği etkilenmektedir. Öte yandan, koruyucu bakım, gereğinden fazla bakımlı bir durum yaratabilmektedir. Gemi ekipmanının, çalışma ömrünün sonundan önce değiştirilmesi gereksiz ve pahalı yedek parça kullanımına yol açmaktadır.
- *Sık yapılan denetlemeler,* toplam bakım masraflarının büyük bölümünü oluşturmaktadır. Geminin söz konusu olabilecek onarımında gerekli olan yedek parça ve işgücü ihtiyacı, geminin sefer yapacağı rota dikkate alınarak düzenlenmelidir.
- *Gemi kısa mesafeli güzergâhlar*da seyir yaptığı süre boyunca, hem gemi adamları, hem operasyonel hem de bakım açısından yoğun görevlerle meşgul olmaktadır. Dolayısıyla, bu tür faaliyetlerle uğraşacak yerleşik kaynak (teknik ve insan) yönetim sistemi yoktur. Sonuç olarak, takip edilen bakım için standart, iyi anlaşılmış bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır.
- *Son dönemde sıkça uygulanan, gemiden şirketlerin kara ofislerine gönderilen online bakım raporları*, iyi eğitilmiş personel ve kullanıcı dostu yazılım platformlarının uygulanmasını gerektirmektedir. Veri toplamak, sansürlemek ve yaymak için aynı anda yönetilmesi ve çalıştırılması güç olan gemi personeli ve teknik kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Biriken verilerin ulaşılabilir bilgi haline dönüştürülmeden depolandığı gerçeği yaygın olarak görülmektedir, bu bilgiler pratikte kullanılamaz ve faydasızdırlar.
- *Gemi yöneticileri/operatörleri, halen deniz alanında edindikleri zengin pratik bilgilerle*, ilgili bilgi teknolojisi sektöründen kaynaklanan teknolojik gelişmeleri birleştirmek için etkili bir yol bulmaya çalışmaktadırlar. Temel

nokta, önemli bilgileri saptamak ve takip etmek için hangi bakım tutumun en verimli olduğunu belirlemektir.

- *Gemi sahibi/yöneticisi, tersanesi ve tedarikçisi arasında* tamirat ve bakım işlemini planlamak için etkin bir iletişim eksikliği gecikmelere neden olmaktadır. Bu durumda, gemi, onarım tersanesinde iskelenin yanında veya demirli halde herhangi bir denetim yapılmadan beklemek zorunda kalabilmektedir.
- *Operatörler*, geminin varlığının, sürdürülebilir/sağlam taşımacılık hizmetleri için son derece önemli olduğunu açıkça belirtmektedir.

3.7 Bakımın Çevre Koruma Politikalarına Etkileri

Gemi işletmeciliğinin çevresel etkileri düşünüldüğünde; koruma ve bakım gereksinimlerindeki düzenlemeler ve ömrü sona eren parçaların elden çıkarılması veya geri dönüştürülmesi proseslerinde düzenlemelere gidilebilmektedir. Gemi makine sistemleri incelenirse; düzenli kontrol ve muayeneler sonucunda durum bazlı bakımın getirilerek çevresel etkileri azaltma çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Makine ve yardımcı sistemleri korumakla ilgili en önemli çevresel hususlar; petrol (katkı maddeleri), soğutucular, gazlar, elektrik/elektronik atıklar, contalar, izolasyon ve hurda metallerdir. Sağlıklı bir bakım yönetim sistemi, SMS'in hayati bir parçası olup ISM sertifikasını edinme ve sürdürme gerekliliklerindendir. Bakım sistemi, mevcut prosedürün sürekli iyileştirilmesini sağlamalıdır. Bakımdaki iyileştirmeler, esasen maliyet düşürme ve arttırılmış operasyonel güvenilirlik ve emniyet hususları ile motive edilmekle birlikte, çevreye de olumlu katkıda bulunmalıdır. Çevre koruma konusunda bakımla ilgili hususlar ise şunlardır (Hayman, Dogliani, Kvale, ve Fet, 2000):

- Bakım sırasında kullanılan zararlı maddelerin azaltılması,
- Daha iyi atık yönetimi (örneğin, yağ, harcanan çözücüler, piller, yağ filtreleri, sıvı atıklar gibi atıkların geri dönüşümünü izleme yönergeleri), ve
- Çalışanların uygun atık kontrol ve imha prosedürleri, bakım talimatı ve daha iyi çalışma koşulları konusunda eğitilmesi.

BÖLÜM DÖRT
BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ

Şirketler, karlılık ve rekabet gücülerinin artışı konusunda bilgisayar teknolojilerinin stratejik bir öneme sahip olduğunu benimsemektedir. Bu sistemlerden elde edilen geri dönüş oranı ne kadar artar ise bilgisayar teknolojilerine yapılan yatırım da o oranda artmaktadır. Bakım yönetimi konusunda zayıf yatırım kararları almanın başarısızlığa neden olacağı düşünülmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesi bilgisayar sistemlerini yaygınlaştırmış ve her konuda olduğu gibi bakım sistemleri konusunda da yapılan çalışma sayısını artırmaktadır. Fakat burada zor olan şirketlerin kendine uygun olanı seçebilmesidir. Bu seçim sürecinde hata yapmamak için ilk önce sahadaki ekibin gereksinimleri belirlenmekte ve tanımlanmakta, ardından bu gereksinimleri karşılayan benzer sistemlerin karşılaştırılmasının yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, bilgisayarlı bakım sistemine sahip olmak isteyen şirketlerin gereksinimlerinin yazılımı yapan şirketler tarafından da iyi bilinmesi gerekmektedir. Yazılımı oluştururken hangi gereksinimlerin karşılanacağı ise bilgisayar teknolojisi sağlayıcısının en kritik sorusudur (Kans, 2008).

Bakım yönetim sürecinde bilgisayarlar, 1970'lerin başından beri kullanılmakta ve 1980'lerin ortalarına bakıldığında önemli sayıda şirket bakım organizasyonlarını ana bilgisayar sistemleri üzerinde kontrol etmektedir. Yazılımların geliştirilmesine ek olarak, daha küçük bilgisayarların üretilmesi bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerinin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Yazılımlar en başta bakım ve onarım bilgilerinin kaydedildiği sistemler olarak tasarlanmışlardır. Zamanla iş çizelgesi ve iş emri oluşturma seçenekleri de eklenerek gelişime uğramaktadırlar. Devam eden işlerin izlenmesi ve genel süreçle ilgili istatistiksel bilgilerin üretilmesi gibi özelliklerin eklenmesiyle de yazılımlar kapsamlı hale gelmektedir. Artan bilgisayar sayısı ve bilgisayarlar arası erişimin mümkün kılınmasıyla veritabanı oluşturma ve gelişmiş yazılımlar kullanma ihtiyacı birbirlerini tersinir şekilde etkilemeye devam etmektedir (Jones ve Collis, 1996).

4.1 Genel İşlevleri

Günümüz endüstrisinde bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri (Computerized Maintenance Management System [CMMS]) yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretkenlikte artış, maliyetlerde azalma, imalat veya hizmet sürecinde bulunan varlıkların etkin kullanımını sağlama dahil olmak üzere çok sayıda fayda elde etmek için bu sistemler kullanılmaktadır. Endüstriyel faaliyet gösteren şirketlerin çalışma alanlarındaki farklılık ve beklentilerdeki çeşitlilikten dolayı bilgisayarlı bakım yönetimi konusunda işleve sahip sayısız yazılım bulunmaktadır. Bu sistemlerin genel işlevlerinin ve özelliklerinin neler olduğu konusunda araştırma yapan birçok araştırmacı bulunmaktadır (Durán, 2011).

Yapılan araştırmalarda bilgisayarlı bakım sistemlerinin işlevleri konusunda örnekler aşağıda verilmektedir.

Cato ve Mobley, kitabında bilgisayarlı sistemlerin (Cato ve Mobley, 2001):

- Ekipman/Varlık girdisi oluşturma ve bakım,
- Varlık listesi oluşturma ve bakım,
- Varlık ve iş emri geçmişi tutma,
- Envanter kontrolü yapma,
- İş emri oluşturma ve kontrolünü sağlama,
- Önleyici bakım planlaması ve çizelgelemesi yapma,
- İnsan kaynakları,
- Satın alma, teslimat ve kontrol raporlarını oluşturma özelliklerini bulunduran alt sistem veya modüllere sahip olması gerektiği belirtilmektedir.

CMMS'nin ana fonksiyonlarının başka bir kaynakta (O'Hanlon, 2004):

- Kolay iş emri yönetimi,
- Planlama,
- Çizelgeleme,

- Bütçe / maliyet kontrolü,
- Yedek parça yönetimi, ve
- Anahtar performans göstergeleri kontrolü olduğu ifade edilmektedir.

CMMS yazılımları, her ne kadar sorunları çözmeye yardımcı birer araç olsalar da, bakım yönetimiyle ilgili sorunları çözememektedir. Bu yazılımların genel amaçları; bakım durumu izleme, kaynakların kontrolü, bakımın şirketin amaçlarına uygunluğunun kontrolü, emniyet, güvenlik ve kalite politikalarının bakım sürecine dahil edilmesi olarak ifade edilmektedir (Carnero ve Novés, 2006).

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler, CMMS yazılımlarının işlevlerini genişleterek aşağıda sıralanan özelliklere kavuşmalarına neden olmaktadır (Uysal ve Tosun, 2012):

- Ekipman yönetimi ve kontrolü,
- Tesis yönetimi ve kontrolü,
- Tahmini bakım prosedürleri,
- Çizim ve belge yönetimi ve kontrolü,
- Planlı ve plansız bakım yönetimi,
- İş emirleri yönetimi,
- Kaynak yönetimi,
- Tarihsel veri analizi,
- Maliyet ve bütçe kontrolü,
- Envanter yönetimi, sipariş yönetimi ve satın alma.

4.2 Uygulama Alanları

Teknik sistemlerde çok miktarda sermayenin istihdam edilmesinden dolayı bakım maliyetleri de yüksek olmaktadır. Dolayısıyla bakım, hizmet sektörünün yanı sıra birçok sektörde etkin rol oynamaktadır. Yazılım sektöründe bile artan sistem karmaşasından dolayı bakıma ihtiyaç duyulmaktadır. Tıp sektöründe bakım, doğrudan insan ile ilgili olmasından ötürü kritik role sahiptir (ömür boyu hastalık,

muayene ve tarama dağılımları). Bunlar dışında, ana sanayi olarak kabul edilen, petrol ve kimya endüstrisi, demiryolları, ulaşım şirketleri, havayolları, metalürji sektörü şirketleri, otomotiv parça imalatçıları, elektrik üretim tesisleri, savunma sanayi ve altyapı hizmetlerinde bakım ihtiyacı aksatılamayacak kadar önemli konumda yer almaktadır (Dekker, 1996).

CMMS kullanıcıları yüzlerce bakım personeline sahip şirketlerden onbeş ve altı sayıda personele sahip olan şirketlere kadar üç tipe ayrılmaktadır. Burada amaç, senaryoları hazırlarken ve değerlendirirken kıyaslamayı benzer koşullarda yapabilmektir (Carnero ve Novés, 2006).

- *Şirket tipi 1:* Araştırma ve geliştirme için yetersiz kaynakları olan şirketlerdir. Bilgisayar sistemleri çok sınırlıdır, sadece bazı uygulamalar kullanılmakta ve yönetimi şirket içinde yapılmaktadır. Bakım hizmeti iyi yapılandırılmamış, genellikle koruyucu bakım politikası olmaksızın üretimin durumuna bağlı olarak bakım işlemi yapılmaktadır.
- *Şirket tipi 2:* Bakım problemlerine henüz kendileri öngörüde bulunamayan büyük ve orta ölçekli şirketlerdir. Organize ve düzenli bakım hizmetleri bulunmaktadır. Üretim ve bakım birimleri arasındaki iletişim genellikle zordur. Bakımın yanı sıra muhasebe, stok, satış ve sipariş yazılımları mevcuttur. Gelişmiş analiz yöntemleri kullanan teknolojik bakım sistemleri bulunmamaktadır.
- *Şirket tipi 3:* Metalürji sektörü firmaları, petro-kimya tesisleri, havayolu şirketleri ve mükemmelliğe ulaşmayı hedefleyerek evrimleşen şirketler bu tipe uygundur. Bakım personelinin hizmet verimliliğine güçlü bir etkisi vardır ve hatta üretim personeli bazı Toplam Üretken Bakım faaliyetlerini yerine getirmektedirler. Üretim ve bakım personeli arasında güçlü iletişim bağı bulunmaktadır. Gelişmiş bilgisayar sistemleri şirketin bütününü kapsamaktadır. Üretimle ilgili yöntem ve prosedürler önceden belirlenmektedir. Operatörler, ekipmanın teknik bakım faaliyetleri ile ilgili prosedürü bilmekte, gerektiğinde ekipmanın durumunu izlemekte ve ürün

kalitesini üstte tutmaya çalışmaktadır. Ayrıca şirket bünyesinde araştırma ve geliştirme departmanı bulunmaktadır.

4.3 Avantaj ve Dezavantajları

CMMS'lerin, bakım yapılan ortamlarda koordinasyon ve iletişim için oluşturulmuş bilgisayar tabanlı yazılımlardır. Bakım yapılan sistemlere ait veriler izleme, kontrol ve karar verme proseslerinin işleyebilmesi için CMMS yazılımları ile teknik veritabanına aktarılmaktadır. Bunu yapabilmenin yöntemi de veri girişi, güncelleme ve sistemin periyodik olarak kontrolüne bağlanmaktadır. CMMS'lerde büyük miktardaki veriyi hızlı bir şekilde ele alabilme, organizasyonların varlıklarını yönetmede önem taşımaktadır. İstatistiklerin, önemli performans notlarının, sorunlu konuların vurgulandığı raporlar, bakım yönetimi konusunda çalışan ilgili personele öngörüde bulunma fırsatı vermektedir. Hangi politikanın işe yaradığı, hangi makinenin ne tür sorunlara sahip olduğu, bakım harcamaları gibi temel yönetimsel bilgiler bilgisayar yazılımları sayesinde açığa çıkarılmaktadır. Böylece varlıkları sağlıklı ve organize bir şekilde yönetebilmenin gerekliliklerinden biri yapılmış olmaktadır. Günümüzde CMMS birçok şirketin bakım departmanının merkezi bir bileşeni olarak yerini almaktadır ve aşağıda sıralanmaya çalışılan avantajlara sahiptir (Uysal ve Tosun, 2012):

- Makine ve varlıkların, durum bazlı izleme yöntemi ile aşınma ve yakın zamanda karşılaşacakları arızalar hakkında bilgi verebilmede,
- Gerektiğinde yedek parça talebinde bulunma ve hareketlerinin izlenebilmede,
- Operatörlerin sorunları erkenden algılamasını ve hızlı bir şekilde rapor edebilmesini sağlamada,
- Operasyonel ve bakım personeli arasında iletişimin kolaylaştırılmada,
- Bakım planlamacılarına, programlarını oluşturmada yardımcı gerekli bilgiyi vermede,
- Bakım müdürlerine, departman faaliyetlerini hızlı bir şekilde rapor edilmesi ve kontrolü sağlamada,
- Üst yönetime, organizasyonun genel durumu hakkında veri sağlamada,

- Veri girişi ve güncellemelerle doğru bilginin bilgisayar sisteminde bulunmasına yardımcı olmada kullanılmaktadır.

Bu avantajların yanı sıra, CMMS'lerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Uysal ve Tosun, 2012):

- CMMS'nin kurulumu şirketlerde değişime karşı dirence neden olabilir,
- İnsanlar bu yeni sistemi doğru kullanmaları için eğitilmelidirler,
- CMMS'ye bağımlılık halinde sistemin arızalanması bakım işleminin yapılamamasına neden olmaktadır.

Bilgisayar yazılımlarından, önceki dönemlerde bakım prosedürleri, arıza anında müdahale ve periyodik günü gelmiş değişikliklerin veya yenilemelerin yapılması şeklinde yararlanılmaktadır. Gelişmiş CMMS'lerin kurulmasıyla, bakım yönetimi sürecinin iyileştirilmesine imkan sağlanmaktadır. İyi tasarlanmış bir veritabanı sisteminin analitik gücü kullanılarak, bakım organizasyonu (Korka, Oloufa, ve Thomas, 1997):

- Optimal zaman çizelgeleri,
- Hassas iş emirleri,
- Esnek denetim frekansları,
- Donanım ve tesisin geçmiş bilgisi ile donatılmaktadır.

Yazılımların tüm bu özelikleri, malzemelerin, enerjinin ve araçların sorunsuz ve verimli bakım işlemleri için optimal kullanımına yönlendirmektedir. Bu sistemlerin diğer faydaları ise (Korka, ve diğer., 1997):

- Tesisin çalışma süresinin uzatılması,
- Maliyetlerin azaltılması,
- Kâğıdın azaltılması,
- Yönetimin bürodan yapılması,
- Veri doğruluğunun artırılması,

- Güncel bilgiye ulaşılabilmesi,
- Emeğin daha üretken kullanılması,
- Envanter kaydının daha iyi yapılabilmesi, ve
- Önleyici faaliyetler ile sorun olabilecek hususların öncelik verilerek ortadan kaldırılması olarak sıralanmaktadır.

Bilgisayarlı sistemlerin etkinliği bunu kullananların ne ölçüde etkili kullanabildiğine bağlıdır. Akıllıca ve iyi kararlar alıp mükemmel sonuçların elde edilebileceği gibi, eksik kullanımda da fayda sağlayamamanın yanında zararları bile olabilmektedir. CMMS hakkındaki gelişmeleri ve avantajları bilirken, bu sistemin dezavantajlarını da bilmek potansiyel problemlerden haberdar olmayı sağlamaktadır. Bunlar (Korka, ve diğer., 1997):

- CMMS'nin yeni kurulduğu bir şirkette işlerin eskisinden farklı yapılması fikri önyargı ve uyum sorunu oluşturabilmekte,
- Yeni sisteme yüksek bağımlılık halinde herhangi bir sistem arızasının işlerin aksamasına yol açabilmekte,
- CMMS'ye doğrudan geçiş oldukça zordur, bilgisayar yazılımından önce şirkette manuel bir bakım sisteminin yerleşmiş olması gerekmektedir,
- İşleri yeni sisteme göre yapmak bazı hataların oluşumuna ortam hazırlamakta, eğitimlere ek olarak, programı kullanma el kitabı ihtiyaç haline gelmektedir.

4.4 Denizcilikte Kullanımı

Bakım ve onarımın gemide kritik bir yere sahip olmasından dolayı, zayıf bakım planlaması veya aksaklıkları olan bir bakım sistemini kullanmak; emniyet, güvenlik, verimlilik ve çevre konularında ciddi etkilere neden olmaktadır. Teknik sistemleri tasarlarken işletme maliyetleri, fonksiyonellik, ergonomik özellikler, ürün yaşam ömrü ve ekonomik döngüsü gibi hususlar göz önüne alınırken, bakım özellikleri ve bakım kolaylığı gibi parametreler de önem arz eden olgular olarak öne çıkmaktadır. Gemilerde bakım planı yapmak, zaman ve personel sınırlaması, emniyet ve güvenlik

faktörleri, uluslararası denizcilik kural ve düzenlemeleri, çevresel riskler, acil durumlar ve felaketlerden dolayı karmaşıklaşarak, büyük çaba gerektirmektedir. Gemi sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle kapsamlı ve planlı bakım sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Petrol platformları, elektrik santralleri, fabrikalar ve rafineriler gibi kıyıya bağlı tesislerin bakımları düşünüldüğünde, açık denizlerde faaliyet gösteren yapıların bakım planlaması sistematik olmak zorundadır. Bu konuda ISM Kod Bölüm 10, gemi ve teçhizatı konusunda planlı olmayı zorunlu tutmaktadır. Bu nedenle, en uygun bakım sistemini seçmek, en etkili stratejiyi uygulamak, güvenilir ve verimli gemi operasyonlarını sağlamak yüksek önem arz etmektedir. Bahsedilen bakım süreci gemilerde, toplam üretken bakım, planlı bakım, önleyici bakım, koruyucu bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım gibi yöntemlerden operasyonel düzeyde koşullara ve isteklere en uygun olanı seçilerek yürütülmektedir (Akyüz ve Çelik, 2017).

Sözü edilen gereklilikleri yerine getirmek için gemi bakım sistemi, düzenli kontrol, test ve kayıtları içermelidir. Bu nedenle, bilgisayar destekli planlı bakım sistemleri bakım işleminin performansını artırmada görev almaktadır. Makine ve ekipman durumlarının periyodik gözden geçirilmesi, sistemin çalışma verimini optimum noktada tutmayı sağlamaktadır. Üreticilerin tavsiye ettiği planlı bakım periyotları, gemi bakım personeli tarafından yürütülmekte ve sistem üzerinden yöneticilerin kontrolü ile son bulmaktadır. Gemilere ait (Akyüz ve Çelik, 2017; Cang, Dung, Thien, ve Bich, 2011):

- Ana makineler,
- Yardımcı makineler,
- Kazanlar,
- Balast sistemi,
- Kargo pompaları,
- Dümen sistemi,
- Yangın sistemi ve sayılmayan diğer bütün sistemler bilgisayar yazılımı üzerinde ayrı ayrı alt başlıklar altında toplanmaktadır.

Bütün sistem ve alt sistemlerin sahip olduğu komponentlere yazılım sayesinde ulaşılabilmekte ve geçmişte yapılmış, unutulmuş ve gelecekte yapılması gereken bakımların kayıtları veri tabanında yerini almaktadır. Yazılımlardan faydalanılmak istenen konular ise (Akyüz ve Çelik, 2017; Cang, ve diğer., 2011):

- Tüm bakımların uygun aralıklarla yapılmasını sağlamak,
- Tüm bakımların planlanan programa uygun yapılmasını sağlamak,
- İşlerin kesintiye uğramamasını sağlamak,
- Makine, ekipman ve sistemleri korumak, ve
- Gemi ve kıyı bakım çalışmaları arasındaki bağlantıyı sağlamaktır.

Deniz taşımacılığında, deniz taşıtlarının servis dışı kalması işletme maliyetlerini artırmakta, müşteri ilişkilerine zarar vermektedir. Güvensiz çalışma ortamı ilerleyen süreçte karı düşürmektedir. Bir gemi, bayrağında olan ülkenin, liman devletlerinin ve IMO'nun yönetmeliklerine uymak zorundadır. Bu uygunluğun kontrolü de periyodik yapılan denetlemelerle olmaktadır. Denetimlerde, gemi gövdesi ve yapıları, makine ve teçhizatlarının durumu gözden geçirilmektedir. Geminin düzgün işletilip işletilmediğinin kanıtlarından biri olarak da bilgisayar destekli yazılımların kaydettikleri veriler incelenmektedir. Gemi bakımının geçerli kaynak, standart ve prosedürlere uygun yapılıp yapılmadığı ve kara ve gemide tutulan kayıtların uyumu incelenmektedir. Uluslararası sözleşmeler, liman devleti şartları ve üçüncü parti anlaşmalarına ait prosedürlerin bilgisayar ortamında dokümante edilmesi denetimleri kısaltmaktadır. Denizcilik şirketlerinin kullandığı yazılımlarda (Cang, ve diğer., 2011):

- Ekipman bilgisi ve bakım önerileri,
- Arıza, kusur ve hasar kaydı ve düzeltici faaliyetler,
- Üçüncü parti denetim raporları,
- Gemiye ait temel teknik bilgiler,
- Tespiti yapılan kritik ekipman ve sistemler,
- Geminin güvenli çalışması için ekipman arızalarında ortaya çıkacak muhtemel sonuçlar bulunmaktadır.

Bahsedilen gereklilikleri sağlamak için oluşturulmuş bilgisayar yazılımları genel olarak (Cang, ve diğer., 2011):

- *Gemi yönetimi*; gemiye ait bütün makine, teçhizat ve personelin tanımlandığı, durum ve kontrol kayıtlarının bulunduğu, sistem ve onlara bağlı alt sistemlerin belirtildiği, satın alma bilgilerinin bulunduğu kısımdır.
- *Mühendislik yönetimi*; ekipmanla ilgili tüm dokümantasyon, çizim, fotoğraf, yedek parça kataloğu, bakım prosedürleri bu bölümde bulunmaktadır. Bu bölümde önem verilmesi gereken husus, bakımı yapılacak ekipmana ait doküman ve çizimlerin değiştirilmemesi, herhangi bir değişiklik gerektiği durumda sürüm numarasının verilmesidir. Aynı onay ve sürüm numarası verme işlemi, bakım yapılacak parçalara ait bakım prosedürlerinin değiştirilmesi esnasında da yapılmalıdır.
- *İş yönetimi*; iş tanımlarına rutin prosedürler bağlanmakta, iş tanımları da iş türlerine (bakım, onarım, muayene, vb.) ayrılmaktadır. Kullanıcılar periyodik olsun olmasın, gerçekleştirecekleri iş türünü seçtiklerinde onlara bağlı bütün alt görevlerden ve prosedürlerden haberdar olmakta, iş türü kapatılırken yapılan işlerin neler oldukları ve tarihleri sisteme işlenmekte ve bir sonraki iş tarihi hakkında öngörüde bulunulmaktadır. Önceden yapılmış tüm işlere ait bilgiler sisteme kayıt edilmektedir. Gemilerde personel değişikliği olduğu zaman hangi operasyonun yapıldığı, hangisini yaparken ne tür zorluklarla karşılaşıldığı, hangi ekipmanın sıklıkla arıza verdiği gibi sistem ve alt bileşenlerine ait donanımların hakkında genel bilgiye bu şekilde ulaşılmaktadır.
- *Yedek parça yönetimi*; ekipmanlar kullanıldıkça bozulmaya başlamakta ve yedek parça ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu bölüm '*İş Yönetimi'* bölümü ile doğrudan ilişkilidir. Tüm ekipmanın kendisine bağlı yedek parça listesi mevcuttur. Bu bazı durumlarda ekipmana ait bütün parçalar dahi olabilmektedir. Aynı zamanda yedek parçalara ait parça numarası ve stok bilgisine de bu bölümden ulaşılmaktadır. Yedek parçalar kullanıldıkça azalmakta ve satın alma için talimat verilmektedir.

- *Raporlar*dan; (ekipman listesi, teknik resim listesi, iş listeleri, iş planları, iş geçmişi listeleri, yedek parça listesi ve stok listesi gibi) oluşan beş ana başlık altında toplanabilen özellikleri bünyesinde bulundurmalıdır.

4.5 Genel Beklentiler

CMMS'lerin kullanım amaçları ve fonksiyonları hakkındaki bilgi bu bölümün diğer alt başlıklarında verilmektedir. Bölüm 4.5'de, şirketlerin kendilerine en uygun sistemi seçerken göz önünde bulundurdukları kriterlerin neler olabileceği anlatılmaktadır.

Bilgisayar destekli yazılımlar satın alınmak istendiğinde iki ana kriter ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan ilki yazılıma ait özelliklerdir. Yazılımın (Durán, 2011):

- Fonksiyonelliği,
- Esnekliği,
- Kullanıcı dostu olması, ve
- Uygulanabilirliği, ana beklentilerdendir.

Diğer kriter ise yazılımı yapan şirkete ait özelliklerdir. Program sağlayıcı şirketin (Durán, 2011):

- Bilinirliliği,
- Teknik kapasitesi, ve
- Servis hizmetine bakılmaktadır.

CMMS değerlendirilirken; işlevsellik, bakım kolaylığı, programın güncellenme yeteneği, kolay entegrasyon, şirket iç politikaya uygunluğu, kullanım kolaylığı, basit öğrenme, kurulum maliyetleri ve süresi, satıcı şirketin kapasitesi, benzer firmalarda kullanım oranı, AR-GE kapasitesi, çevrimiçi destek, sektörde deneyimi, garanti şartları, danışmanlık ve eğitim hizmetleri vb. birçok alt kriter devreye girmektedir (Durán, 2011).

O'Hanlon'a göre, CMMS'den faydalanabilmek için dört ana unsurun başarılı olması gerekmektedir. Bunlar (O'Hanlon, 2005):

- Kullanım kolaylığı,
- Kolay öğrenilme,
- Yönetim desteği,
- Tanımlanmış bakım sürecidir.

Kullanım kolaylığı ve kolay öğrenilme, sistemin karmaşıklığını azaltarak daha fazla kişinin tercih etmesini sağlamaktadır. Bu da bilgisayar destekli yazılıma bulunduğu sektörde bilinirlik kazandırmakta ve yeni yatırımların yapılmasına olanak sağlamaktadır (O'Hanlon, 2005).

Bilgisayarlı bakım yönetimi sistemini kullanılabilir kılmak için koşullara dayalı olarak performansın geliştirilmesi gerekmektedir. CMMS'nin kurulumundan sonra yapılması gerekenler on basamaklı, yazılım sağlayıcı ve kullanıcının karşılıklı etkileşim içinde olduğu bir süreç ile ifade edilmektedir. İki tarafın da birbirinden talepte bulunduğu sürecin koordineli yönetilmesi en ideal durum olarak belirtilmektedir (Controleng, 2017).

- *Uygulama ekibi*; bilişim teknolojileri ekibinin başında bir grup yöneticisinin bulunması, iş takibi ve görev dağılımında kolaylık sağlamakta, uygulamayı kullanan şirketlere de danışmanlık edebilmektedir.
- *Tecrübeli çekirdek kadro*; yazılımı yapan şirketin profesyonel bir ekibe sahip olması, kullanıcılara çevrimiçi eğitim sağlamasının önünü açmaktadır.
- *İş akış süreçlerinin geliştirilmesi;* bakım sürecinin işlerliğini artırmak ve kritik konularda uygulanan standart prosedürleri geliştirmede fayda sağlamaktadır.
- *Yazılım güncelleme;* akış süreçleri geliştirildikçe yazılıma yeni güncellemeler veya sürümler halinde yeniliklerin yerleştirilmesidir.
- *Uygulamaya öncelik vermek;* kritik verilere odaklanarak ve deneyimlerden faydalanarak gelişmeye açık olmak gerekmektedir.

- *Konfigürasyonların kesinleştirilmesi;* uygulamayı kullanan bütün personelin aynı şeyleri belirtmek için standarda uygun ifadeleri kullanması anlamına gelmektedir.
- *Verilerin doğrulanması;* ihtiyaç duyulan tüm verilerin süzgeçten geçirilerek sisteme uygun halde aktarılmasıdır.
- *Ana kullanıcıların eğitimi;* bu adım programı kullanan personelin adaptasyonunu kolaylaştırmak ve yazılımın kabiliyetlerinden faydalanabilme adına yapılmalıdır.
- *Destek ve koçluk;* organizasyona sürekli desteği sağlayarak, sorunlu kısımların düzeltilmesi için sahadan verilen doğrudan destek anlamındadır ve önem arz etmektedir.
- *Sürekli iyileştirme;* yazılımın daha aktif ve sorunsuz kullanımı konusunda sürekli olarak ayarlamalar yapmaktır. Hangi güncellemenin yazılıma ekleneceği uzman ekibin kontrolü ve sorumluluğu altında yapılmaktadır.

Bu bölümde, CMMS'nin planlı bakıma yardımcı bir araç olduğu belirtilmekte, gelecekte ise ekipman bilgisinin saklandığı ve iş planının yapılabildiği durumunun ötesine geçeceği ifade edilmektedir. CMMS'de bakım personeli birincil kullanıcı kitlesi olarak görülse de, analiz ve koordinasyon yeteneklerinin bu yazılıma eklenmesi ile, ekipman durumunu iyileştirmeyi ön planda tutarak daha geniş kullanıcı kitlesine ulaşım fırsatı bulunacağı söylenmektedir (Garg ve Deshmukh, 2006).

BÖLÜM BEŞ
UYGULAMA

Bu bölümde, çalışmada kullanılacak olan bilimsel yöntem tanıtıldıktan sonra uygulama modeline geçilmektedir. Yöntem olarak, Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmaktadır. Çalışma konusunun amacını gerçekleştirmede YSA'nın uygunluğu için ön araştırma niteliğine sahip, "Yapay Sinir Ağları/Artificial Neural Networks" anahtar kelimeleri ile yapılan araştırmalardan örnekler verilmektedir. Bu araştırma sonucunda aşağıda özetlenen örneklerdeki ifade ve terimler Bölüm 5.1'de anlatılmaktadır.

Hamzaçebi ve Kutay; uzun dönemli elektrik enerjisi tüketim tahminini yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışmaktadır. Edinilen sonuçlar değerlendirildiğinde yapay sinir ağları yöntemi, elektrik enerjisi tüketim tahmininde iyi bir araç olduğunu göstermektedir (Hamzaçebi ve Kutay, 2004).

2008 yılında YSA kullanılarak yapılan diğer çalışma ise; internetin hızlı gelişimi ve yaygınlaşması sonucu, bu ortamlarda depolanan, taşınan ve işlenen bilgilerin boyutunun da her geçen gün bu gelişmeyle paralel artması ile ortaya çıkan problemlerin çözümü üzerinedir. Kullanıcıların, elektronik ortamda bulunan bilgilere hızlı ve doğru şekilde erişim gereksinimi nedeniyle, bu ortamlarda tutulan bilgilerin sınıflandırılma ihtiyacı bulunmaktadır. Sayıları gittikçe artan arama motorlarının, kullanıcılara doğru bilgiyi kısa sürede sunabilmesi için her geçen gün yeni yaklaşımlar aranmaktadır. Örnek çalışmada, web sayfalarının belirlenen konulara göre sınıflandırılabilmesi için, çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın, elektronik ortamlarda bulunan bilgileri kolaylıkla ve yüksek doğrulukla sınıflandırması, sanal ortamlarda doğru içeriğe ulaşılması ve birçok güvenlik açığının giderilmesine katkı sağlayacağı görüşüne çalışma sonunda ulaşılmaktadır (Güven, Onur, ve Sağıroğlu, 2008).

YSA'nın tahmin edebilme yeteneğinden yararlanan Asilkan ve Irmak, 2009 yılında, ikinci el otomobillerin gelecek değerini tahmin etmeye çalışmaktadır.

Pazardaki güncel fiyatlar ve gelecekteki fiyatlar her zaman merak konusu olduğundan dolayı, Asilkan ve Irmak bu çalışmayı yapmaktadır. Avrupa'da faaliyet gösteren çok sayıda ikinci el otomobil satışı yapılan web sitesi üzerinden elde edilen ilan verileri, zaman serisi analizleri ile değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir ağlarının ikinci el otomobillerin gelecekteki fiyatlarını tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermektedir (Asilkan ve Irmak, 2009).

2010 yılında Bilgili, Şimşek, ve Şahin; Ege Bölgesi'nin aylık ortalama toprak sıcaklıklarının tahminini Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda, sıcaklık değişim parametreleri olarak; enlem, boylam, rakım ve bulunulan ay kullanılmakta, aylık toprak sıcaklığı ortalamaları tahminlemesi yapılmaktadır. Sonuçlar, gerçek değerlerle karşılaştırıldığında hataların kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmekte ve kullanılan yöntemin uygun olduğuna karar verilmektedir (Bilgili, Şimşek, ve Şahin, 2010).

Döviz kurunun yatırımcılar için önem taşımasından dolayı, Özkan, kısa süreli değişimleri tahmin etmeye çalışmaktadır. Çalışmasında, Türkiye'ye ilişkin Amerikan Doları ve Euro döviz kuru tahminlerini yapmaktadır. Oluşturulan modellerde yerli ve yabancı ülkelere ait enflasyon, para arzı, faiz oranı ve milli gelir verileri kullanılmaktadır. Çalışmasının sonucu, son zamanlarda tahmin problemlerinde sıklıkla kullanılan YSA'nın yüksek tahmin gücüne sahip olduğunu göstermektedir (Özkan, 2012).

Makine elemanlarında bulunan ani kesit değişikliklerinin neden olduğu gerilme yığılmalarının tahmini, Özkan, Eldem ve Köksal tarafından tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Problem YSA ile modellenmekte, tahmin edilmeye çalışılmakta ve kabul edilebilir hatalarda sonuçlar elde edilmektedir (Özkan, Eldem, ve Köksal, 2013).

Herhangi bir konuda karar verme sürecinde olan işletmeler, gelecekte de şimdiki durumlarını korumak ve geliştirebilmek için karşılaşabilecekleri olayları tahmin etmek ve planları çerçevesinde uygun çözümleri bulmak zorundadırlar. Gelecekte

karşılaşılabilecek durumları öngörmek, çeşitli veri ve teknikler kullanılarak önceden önlemler almayı gerektirmektedir. İstatistiksel tahmin tekniklerinden biri olan yapay sinir ağı modeli kullanılarak, 2015 yılında Karahan tarafından, Malatya ili kuru kayısı ihracat miktarlarının tahmini yapılmaktadır. Uygulama sonrası yapılan hata testi sonuçlan, modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğunu göstermektedir (Karahan, 2015).

Eren, Yaqub ve Eyüpoğlu; YSA'da farklı öğrenim algoritmalarını kullanmakta ve en uygun algoritmayı seçmeye çalışmaktadır. Bunlar; Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR), Scaled Conjugate Gradient (SCG)'dir. En iyi eğitim algoritmasını seçmenin amacı problemi çözümlerken doğruluğu üst düzeye çıkarmaktır. Sonuç olarak, her bir eğitim algoritması için tahmin yeteneği hassaslığı ölçülmekte ve performansları sırasıyla; LM > BR > SCG olarak bulunmaktadır, veri setlerinin eğitimi, doğrulanması ve testi de yapılmaktadır. Bu da problemin optimize edilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır (Eren, Yaqub, ve Eyüpoğlu, 2016).

Tezin uygulamasında kullanılacak olan Yapay Sinir Ağları'nın (YSA); tarihçesi, uygulama örnekleri, genel özellikleri, avantaj/dezavantajları, genel yapısı ve YSA Model çeşitleri hakkındaki bilgi, 'Yöntem' başlığı altında Bölüm 5.1'de verilmektedir.

5.1 Yöntem

Geçmiş zaman verileri kullanılarak tahmin yapabilen yönteme 'Zaman Serileri' denilmektedir ve en yaygın bilinen istatistiksel yöntem ise Box-Jenkins öngörüleme modelleridir. Box-Jenkins yöntemi; kesikli, doğrusal süreçlere dayanmaktadır. Ancak gerçek hayata ilişkin veri serileri çoğunlukla doğrusal değildirler. Bu sebeple doğrusal olmayan zaman serilerini modellemede farklı tekniklere ihtiyaç olduğu düşünülerek, 1980'li yılların sonlarından itibaren zaman serileri tahminlerinde kullanılmakta olan yöntemlerden birisi de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ve varsayıma ihtiyaç duymadan gerekli modellemeyi kullanıcıya sağlayabilmektedir. Bu sebeple,

uygulamada tahmin yöntemi olarak yapay sinir ağları metodu tercih edilmektedir (Ataseven, 2007).

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin en temel özelliği olan öğrenme fonksiyonunun bilgisayar sistemleri tarafından gerçekleştirilmesidir. Öğrenme işlemi örnekler yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu ağlar, proses elemanlarının (yapay sinir hücrelerinden) birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır ve yapay sinir ağının sahip olduğu bilgi bu ağırlık değerlerinde saklı olup ağa yayılmış durumdadır (Öztemel, 2012).

Yapay sinir ağlarını farklı kılan en önemli özelliği, bulundukları ortama uyum sağlamasından kaynaklanmaktadır. Eksik bilgi ile de çalışabilen, belirsizlikler altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olan bu hesaplama yönteminin hayatın hemen hemen her alanında başarılı uygulamaları görülmektedir. Oluşturulacak olan ağın yapısının belirlenmesinde, ağ parametrelerinin seçiminde, belirli bir standardın olmaması, problemlerin sadece nümerik bilgiler ile gösterilebilmesi, eğitimin nasıl bitirileceğinin bilinmemesi ve ağın davranışlarını açıklayamamasına rağmen bu ağlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Özellikle, sınıflandırma, örüntü tanıma, sinyal filtreleme, veri sıkıştırma ve optimizasyon çalışmalarında yapay sinir ağları en güçlü teknikler arasında sayılmaktadır. Veri madenciliği, optik karakter taşıma, optimum rota belirleme, parmak izi tanıma, malzeme analizi, iş çizelgelemesi ve kalite kontrol, tıbbi analizler gibi bir çok alanda günlük hayatta başarılı örneklere rastlanılmaktadır (Öztemel, 2012).

5.1.1 Yapay Sinir Ağları (YSA) Tarihçesi

YSA, insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenilerek oluşturulmuş sistemlerdir. Bu disiplinin nasıl ortaya çıktığını anlamak için YSA'nın dönüm noktaları olarak kabul edilen çalışmalara kronolojik olarak bakmak gerekmektedir (Suykens, Vandewalle, ve de Moor, 2012):

- 1942 (McCulloch ve Pitts): Bir nöron için basit statik doğrusal olmayan model.
- 1949 (Hebb): İlk öğrenme kuralı. Ağırlıkları uyarlayarak bir nesneyi ezberleyebilme.
- 1958 (Rosenblatt): Ağırlıkları uyarlayarak bilgiyi nasıl sınıflandırabileceklerini öğrenebilen bir makine olan perseptronlar üzerine kitap.
- 1960-1962 (Widrow ve Hoff): tek katmanlı ağ kuralları
- 1969 (Minsky ve Papert): Genel hesaplayıcılar olarak perseptronların teorik sınırlarının gösterilmesi.
- 23 yıllık kış uykusu ancak bazı 'inatçı' bireyler sinir ağlarında araştırma yapmaya devam etmektedir.
- 1982 (Hopfield): Gezgin satıcı probleminin çözülmesi. Kolay anlaşılabilir olmasından ötürü ilginin artmasına neden olmaktadır.
- 1982 (Kohonen): Kendini düzenleyen haritayı açıkladı.
- 1986 (Rumelhart): Geri yayılımın yeniden keşfedilmesi.
- 1987 (Minsky): Bilgi sistemlerinin homojen ağlardan çok özelleşmiş birimlerde gelişebileceği fikri ortaya atılmaktadır.
- 1988 (Chua ve Yang): Sadece en yakın komşularına bağlı olan nöronların alınarak 'Hücresel Sinir Ağları'nın kurulması.
- Günümüz: Birçok uluslararası sinir ağı topluluğunun varlığı ve birçok uluslararası konferansın tanık olduğu gibi, sinir ağlarında aktif olan bir uluslararası araştırma topluluğunun ortaya çıkışı. Teori ve pratik uygulamalar konusunda sürekli ilerleme kaydedilmektedir.

Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimine bakıldığında 1970 yılı bir dönüm noktası kabul edilmektedir. Bu tarihten önce birçok araştırmanın yapıldığı ve 1969 yılında çözülemeyen bir problemden ötürü araştırmaların durduğu görülmektedir. 1970 yılından sonra sınırlı sayıda araştırmacının çalışmalarını sürdürmesi ve bazı problemlerin çözümlenmesi sonucunda yapay sinir ağlarına olan ilgi yeniden artmaktadır. Aynı zamanda çalışmalar laboratuvarlardan çıkarak günlük hayatta kullanılan sistemler haline gelmektedir. Bu çalışmalar hem yapay zekâ hem de

bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile de desteklenmektedir. Artık bilgisayarların da öğrenebileceğini herkes kabul etmekte ve bu teknolojiden faydalanmak istemektedir (Öztemel, 2012).

5.1.2 YSA Uygulamaları

Aston Üniversitesi tarafından literatür araştırmasında sinir ağının kullanıldığı açıklanmaktadır. Popüler bir bilimsel televizyon programı, İtalyan bir araştırma enstitüsü tarafından sinir ağlarının kullanımını belgeledi. Zeytinyağının saflığı, otomatik resim etiketleme ve dil çevirisinde sinir ağları kullanılmaktadır. Lund Üniversitesi'ndeki ve İsveç'teki Skåne Üniversitesi Hastanesi'ndeki araştırmacılar, optimal alıcı ve verici eşleşmeleri belirleyerek kalp nakli alıcıları için uzun vadeli yaşam oranlarını iyileştirmek için sinir ağlarını kullanmaktadır. Bu örnekler, sinir ağları için bulunabilecek geniş bir uygulama yelpazesinin göstergesidir. Yapay sinir ağları sadece mühendislik, bilim ve matematikte değil aynı zamanda tıpta, iş dünyasında, finans alanında ve edebiyatta da sorunların çözümünde iyi olduğunu örnek uygulamalar ile göstermektedir. Birçok alanda sorunların geniş bir yelpazede uygulanması YSA'yı ilgi çekici kılmaktadır. Ayrıca, daha hızlı bilgisayarlar ve daha hızlı algoritmalar, eskiden gereğinden fazla hesaplama gerektiren karmaşık endüstriyel sorunları çözmek için sinir ağlarını kullanmayı mümkün hale getirmektedir. Aşağıda YSA'nın uygulama alanlarından ve örneklerinden bahsedilmektedir (Demuth, Beale, De Jess, ve Hagan, 2014):

- *Uzay;* Yüksek performanslı uçak otopilotları, uçuş rotası simülasyonları, uçak kontrol sistemleri, otopilot donanımları, uçak bileşen simülasyonları, uçak komponentleri arıza dedektörleri.
- *Otomotiv;* Otomobil otomatik yönlendirme sistemleri, yakıt enjektör kontrolü, otomatik fren sistemleri, tekleme tespiti, sanal emisyon sensörleri, garanti etkinlik analizleri.
- *Bankacılık;* Çek ve diğer belge okuyucuları, kredi başvuru değerlendiricileri, nakit tahminleri, firma sınıflandırması, döviz kuru tahminleri, kredi geri kazanım oranlarını tahmin etme, kredi riskini ölçme.

- *Savunma;* Silah yönlendirmesi, hedef izleme, nesne ayırımı, yüz tanıma, yeni tür sensörler, sonar, radar ve görüntü sıkıştırma, veri sıkıştırma, öznitelik çıkarımı ve gürültü bastırma, sinyal/resim kimliği.
- *Elektronik;* Kod sırası tahmini, entegre devre çip düzenleri, proses kontrolü, talaş hataları analizi, makine görme, ses sentezi, doğrusal olmayan modelleme.
- *Eğlence;* Animasyon, özel efektler, piyasa tahmini.
- *Finans;* Gayrimenkul değerlemesi, kredi danışmanı, mortgage taraması, kurumsal tahvil derecelendirme, kredi hattı kullanımı analizi, portföy ticaret programı, kurumsal finansal analiz, döviz fiyatı tahmini.
- *Sigorta;* Politika uygulaması değerlendirme, ürün optimizasyonu.
- *İmalat;* Üretim süreci kontrolü, ürün tasarımı ve analizi, süreç ve makine tanılama, gerçek zamanlı parçacık tanımlama, görsel kalite kontrol sistemleri, bira testi, kaynak kalitesi analizi, kağıt kalitesi tahmini, bilgisayar çipi kalite analizi, öğütme işlemlerinin analizi, kimyasal ürün tasarım analizi , makine bakım analizi, proje teklifi, planlama ve yönetim, kimyasal süreç sistemlerinin dinamik modellenmesi.
- *Tıbbi;* Meme kanseri hücre analizi, EEG ve EKG analizi, protez dizaynı, nakil zamanlarının optimizasyonu, hastane masraflarının azaltılması, hastane kalitesi iyileştirme, acil oda test önerisi.
- *Petrol ve gaz;* Arama, akıllı sensörler, rezerv modellemesi, iyi damıtma kararları, sismik yorumlama.
- *Robotik;* Yörünge kontrolü, forklift robotu, manipülatör kontrolörleri, görme sistemleri, özerk araçlar.
- *Konuşma;* Konuşma tanıma, konuşma sıkıştırma, sesli harf sınıflandırması, konuşma metni sentezi.
- *Menkul kıymetler;* Piyasa analizi, otomatik tahvil derecelendirme, hisse ticareti danışmanlık sistemleri.
- *Telekomünikasyon;* Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi hizmetleri, konuşma dilinin gerçek zamanlı çevirisi, müşteri ödeme işlemleri sistemleri.
- *Taşımacılık;* araç fren arıza teşhis sistemleri, araç planlaması, yönlendirme sistemleri.

5.1.3 YSA'nın Genel Özellikleri

YSA'lar uygulanan model türlerine göre farklı karakteristik davranışlar göstermekte ve bütün modeller için ortak bazı karakteristikler vardır. Bunlar aşağıda özetlenmektedir (Öztemel, 2012):

- *Makine öğrenmesi gerçekleştirirler;* temel işlev bilgisayarlar tarafından öğrenilmeyi sağlamaktır. Gerçekleşmiş olayları öğrenerek meydana gelmeyen olaylar hakkında benzer kararlar vermeye çalışmaktadırlar.
- *Diğer programlama yöntemlerinden farklı çalışma stilleri vardır;* geleneksel programlama ve yapay zeka yöntemlerinin uygulandığı bilgi işlem yöntemlerinden farklı bilgi işleme yöntemine sahiptir.
- *Bilginin saklanması;* YSA'da bilgi, ağın bağlantı elemanlarında saklanmakta ve bağlantı değerleri ile ölçülmektedir. Diğer sistemlerde bilgi, veri tabanında veya programda gömülü olarak saklanmaktadır.
- *Örnekleri kullanarak öğrenirler;* YSA'nın olayları öğrenebilmesi için mevcut olaya ait örneklerin belirlenmesi gerekmektedir. Örnekler kullanılarak genelleme yapabilme yeteneğine kavuşmaktadırlar. Eğer örnek yok ise YSA'nın eğitilmesi mümkün değildir. Bir doktorun hastasına bazı sorular sorarak hastalık hakkında teşhis koyabilmesi en yaygın rastlanılan uygulama örneğidir. Belirli zaman aralığında hastalarla görüşülerek koyulan teşhisler not edildiği ve YSA'ya öğretildiği sürece benzer hastalıklarla ilgili makine öğrenmesi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Burada önemli olan örneklerin olayı tamamı ile temsil edebilmesidir. Ağa bütün yönleri ile tanıtılmayan örnekler ile başarılı sonuçlar elde edilemez. Bu durum ağın özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bu sebepten dolayı YSA'da örnekleri toplama ve ağa gösterme özel bir öneme sahiptir.
- *Güvenli çalışmaları için önce eğitilmeli sonra test edilmelidirler;* burada eğitim denilen konu örneklerin ağa tek tek gösterilmesidir. Ağ kendi mekanizmalarını çalıştırarak örnekler arasındaki ilişkiler belirlenmektedir. Ağı eğitmek için örnek seti ikiye bölünür, biri ağı eğitmek diğeri ağın performansını test etmek için kullanılmaktadır. Ağ bütün cevaplara doğru

cevap verdiğinde eğitim tamamlanmış olmaktadır. Sonraki adım test setindeki görülmemiş verilerin ağ tarafından doğru yorumlanıp yorumlanmadığının kontrolüdür. Kabul edilebilir hata toleransında doğru cevaplar alınmış ise ağın performansı iyidir denilerek kullanıma geçilmektedir. Eğer performans yetersiz ise yeniden eğitmek veya yeni örneklerle veri setini genişletmek gerekmektedir.

- *Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretilebilir;* ağa gösterilen örneklerden genelleme yaparak görmediği örnekler hakkında bilgi üretilmektedir.
- *Algılamaya yönelik kullanılabilir;* YSA genel itibari ile algılamaya yönelik olaylarda kullanılmaktadır. Bilgiye dayalı uzman sistemlerin YSA'lar ile birleştirilmeleri sonucunda daha başarılı sistemler oluşturulmaktadır.
- *Örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapılabilir;* ağların çoğunun amacı verilen örüntülerin birbirleri arasında ilişkilendirilmesidir. Diğer amaç sınıflandırma yapmaktır. Verilen örneklerin kümelendirilmesi ve belirli sınıflara ayrılmasından sonra yeni gelen örneğin hangi sınıfa dahil edileceğine karar vermek hedeflenmektedir.
- *Örüntü tamamlama yapılabilir;* bazı durumlarda ağa eksik bilgi içeren bir örüntü verilmektedir. Ağın eksik bilgiyi bulması istenmektedir. Örneğin yırtık bir resmin eksik kalan kısmı tamamlanmak istendiğinde YSA'lar diğer sistemlere göre daha yüksek oranda doğruluk ile cevap vermektedir.
- *Kendi kendilerini organize ederler ve öğrenme yeteneklerine sahiptirler;* YSA'ların örnekler ile kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olabilmesi ve yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür.
- *Eksik bilgi çalışmalarına engel değildir;* yapay sinir ağları kendileri eğitildikten sonra eksik bilgi ile çalışabilmektedir. Yeni olaylara, eksik bilgiye rağmen doğru sonuç verilmektedir. Geleneksel sistemlerde böyle bir durum mümkün değildir. YSA'nın eksik bilgi ile çalışacağı performansının düşeceği anlamına gelmemektedir. Performansın düşmesi eksik bilgilerin önemine bağlanmaktadır. Hangi bilginin önemli olacağına ağ eğitim sırasında karar verilmektedir. Eğer performans düşüşü varsa eksik bilgiler önemlidir denilmektedir.

- *Hata toleransına sahiptirler;* yapay sinir ağlarının eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri sayesinde hatalara karşı toleranslı olmaları sağlanmaktadır. Ağın bazı hücrelerinin bozulmuş veya çalışamaz hale gelmesi halinde ağ çalışmaya devam etmektedir. Bozuk hücrelerin önemine göre ağın genel performansı etkilenmektedir. Hangi hücrelerin nasıl bir öneme sahip olduğu yine ağın eğitimi sırasında sağlanmaktadır. Bu bilgiyi kullanıcı bilemez, ağ bilgisinin yorumlanamaması da bu özellikten kaynaklanmaktadır.
- *Belirsiz bilgiler işlenebilir;* bu yetenek sayesinde olayları öğrenen bir YSA belirsizlikler altında gerekli ilişkileri kurarak karar verebilmektedir.
- *Bozulma kademeli gerçekleşir;* YSA'ların hatalara karşı toleranslı olmaları bozulmalarının dereceli olmalarını sağlamaktadır. Bir YSA, zaman içinde yavaş yavaş ufak sapmalarla bozulma göstermektedir. Bu, ya eksik bilgiden ya da hücrelerin bozulmasından kaynaklı bir durumdur. Sonuç olarak, ağların karşılaşılan ilk problemde bozulmaması sağlanmaktadır.
- *Dağınık belleğe sahiptir;* bilgi ağa yayılmış durumdadır. Hücrelerin arasındaki bağlantı değerleri ağ bilgisini saklamaktadır. Tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur. Ağın tamamı örnek olayı karakterize etmektedir. Bu ise dağınık belleğe sahip olmaya neden olmaktadır.
- *Sadece nümerik bilgiler anlamlıdır;* sembolik ifadelere sahip verilerin nümerik değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Sembolik değerlerin nümeriğe çevrilmesi ağın eğitimini zorlaştırdığı gibi üretilen çözümlerin yorumlanmasını da zorlaştırmaktadır.

5.1.4 YSA'nın Dezavantajları

YSA'ların genel özellikleri anlatılırken sahip olduğu avantajlar açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu ağları oluştururken ve kullanırken bazı avantajların olmasının yanında bir takım dezavantajlara da sahiptir. YSA'lar ile çalışırken avantajlar kadar dezavantajların da bilinmesi çalışmanın ileriki safhalarında karşılaşılabilecek durumlardan haber olmayı sağlamaktadır. Bunlar (Yegnanarayana, 2009):

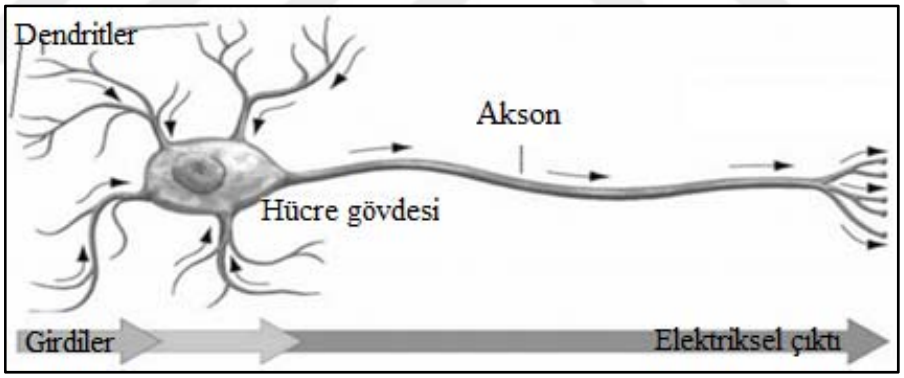
- Yapay sinir ağı oluşturulurken karar verilen ağ modeli ve topolojisi ile ilgili kesin bir kural olmadığı için bu durumda kullanıcı tecrübesi ön plandadır. Uygun ağ yapısının (öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı, öğrenme algoritması, …) belirlenmesi belirli bir kurala bağlanmamaktadır.
- Ağın yapısına karar verirken herhangi bir kurala bağlı kalınmadığı gibi, ağda değerlendirilecek örnek setinin seçimi ve düzenlenmesi konusunda da kural seti bulunmamaktadır. YSA'lar nümerik değerlerle çalışırlar, bu sebeple problemlerin nümerik ifadelere çevrilmesi zorunludur. Bir problem yapay sinir ağlarında çeşitli şekillerde gösterilebildiği için performans değerleri de farklılık göstermektedir. Uygun kriterler hakkında karar vermek yine tecrübe gerektirmektedir.
- Ağın öğrenme ve test aşamalarındaki davranışlarını açıklamak mümkün olmadığı için ağa olan güven azalmaktadır. Üretilen çözümlerin neden ve nasıl olduğuna dair bilgi mevcut değildir.
- Ağın eğitimi tek seferde mümkün olmayabilir, defalarca deneme sonucunda uygun ağ yapısına ulaşmak zaman alabilmektedir. Ağ eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiği yine bir kural bağlı değildir. Sonuçların kabul edilebilir hata toleransları dahilinde olması istenmektedir.
- Sonuçların hepsinin optimum olduğu iddia edilemez, ulaşılan sonuçlar her bir durum için seçilebilecek 'iyi' seçeneklerden biridir.
- Problemi bütünüyle temsil etmeyen örnekler ile oluşturulan ağlar sağlıklı veri üretememektedir.

5.1.5 Biyolojik Sinir Hücresi

Nörolojik araştırmalar, insan beyninin çok sayıda temel ünitenin (biyolojik nöronlar) karmaşık ve karşılıklı bağlantılardan oluşan bir bilgi işleme ağı sistemi olduğunu göstermektedir. Ağ sistemi son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve belirsizliklerden meydana gelmekte ve oldukça çok sayıda paralel işlem bir arada bulunmaktadır. Her bir nöron hücresi, kendi koşullarını dış ortam tarafından belirlenen koşullara göre şekillendiren basit bir bilgi işleme birimi olarak adlandırılmaktadır. Kesin bir giriş-çıkış dönüşümü mekanizması vardır. İnsan beyni,

ezberlemek, hesaplamak, mantıksal akıl yürütme ve düşünme, çevreden algılama ve öğrenme gibi yeteneklere sahiptir. Dolayısıyla, insan beyninin organizasyon yapısını ve çalışan mekanizmasını taklit ederek, yeni bilgi işaretleme, saklama ve işleme metotlarını kullanarak, geleneksel yöntemler ile çözümü zor olan problemleri insan beynine daha yakın bir sistem ile çözmek hedeflenmektedir. Bu sistem, bilgisayarların uygulama alanlarını büyük ölçüde genişletmekte ve bilimin ilerlemesini teşvik etmektedir. Aynı zamanda tamamen yeni bir bilgisayar sistemini keşfetmek için yol gösterici nitelik taşımaktadır (He ve Xu, 2010).

Biyolojik beyin, milyarlarca sinir hücresinden (nöron) oluşan karmaşık bağlantılara sahip bir ağdır. İnsan beyninde yaklaşık 10^{10}-10^{11} arası nöron bulmaktadır. Her nöron 10^{3}-10^{5} adet nöronla birbirine bağlanarak, büyük ve karışık bir ağ sistemi ortaya çıkmaktadır. Genel olarak, soma, dendritler ve akson olmak üzere nöronun yapısı üç kısma ayrılmakta ve Şekil 5.1'de gösterilmektedir (He ve Xu, 2010).



Şekil 5.1 Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Çelik, 2008)

Somanın bir yanında, ağaç biçiminde olan birçok dendrit vardır, diğer tarafında da akson bulunmaktadır. Aksonun dalları, diğer nöronlardan gelen dendritlerle bağlantı kurmaktadır. Akson dalı ile dendritler arasındaki birleşime ise sinaps denilmektedir. Bir nöron, dendrit (giriş) yoluyla diğer nöronların akson dallarından elektriksel veya biyokimyasal geçişe imkân sağlamaktadır. Karşılıklı gelen sinapslarda iletim şiddeti ayarlandıktan sonra, her giriş sinyali, somanın arkasındaki akson tepeciklerinde bir araya gelerek süperpoze olmakta ve lineer olmayan aktivasyona uğramaktadır. Belirli koşullar altında (örneğin, bir toplama sinyalinin yoğunluğu belirli bir eşik değerini

aştığında) aktivasyon yoluyla bir çıkış sinyali üretilmektedir. Bu sinyal akson dalları ile bağlı olan diğer nöronlara aktarılmakta ve daha sonra bir sonraki bilgi işleme sürecine dönüşmektedir. Nöronun sinapsları, sinirsel bilgi işleminin inşasında kilit birimdir, sadece bir giriş uyartı sinyalini potansiyel bir sinyal haline dönüştürmekle kalmaz, aynı zamanda bir deneyim bellek fonksiyonuna sahiptirler ve hafızaya göre girdi sinyali üzerinde ağırlıklı işlem yapabilmektedirler (Priddy ve Keller, 2005).

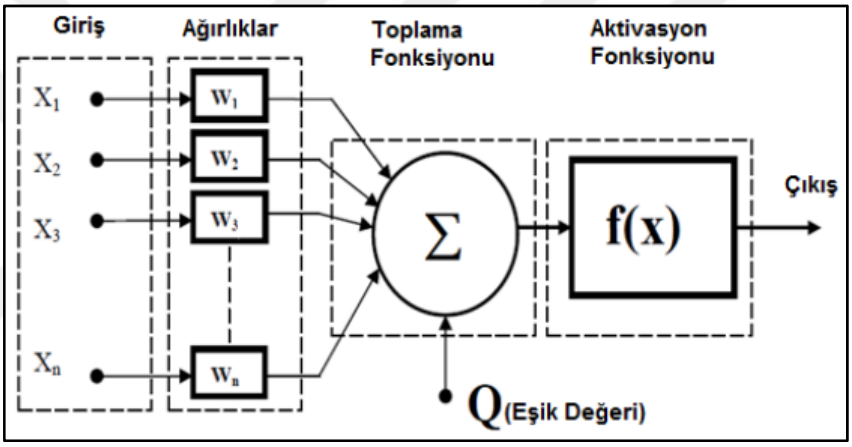
Biyolojik beyin yapısı ve yapay sinir ağları arasındaki farklar (He ve Xu, 2010):

- Bilgi depolama modları farklıdır. Biyolojik beyin, bilgi saklama görevi yapan ayrı, merkezi veya aritmetik birime sahip değildir; her nöron depolama ve bilgi işlem işlevlerini yerine getirmektedir. Çeşitli nöronların bilgileri farklı nöronların sinapslarında dağıtılmakta ve depolanmaktadır. Çok sayıda nöron tarafından ince taneli dağılımda çeşitli bilgi işleme işlevi tamamlanmaktadır.
- Biyolojik beyinlerin, problemleri çözmek için programa ihtiyaçları yoktur, yani, pratik problemleri çözerken önceden model oluşturmazlar. Fakat bir nöronun sinapslarının bellek parametrelerini (bağlantı ağırlıkları) doğrudan değiştirerek çözmeye yönelik bilgiyi öğrenme yolu ile kazanmaktadır.
- Biyolojik beyin tarafından işlenen bilgi (bir işleme nesnesi) tamamen kesin ve doğru değildir. Ancak bariz bulanıklık ve rastgelelik içermektedir.
- Biyolojik beyin tarafından kullanılan işleme yöntemi, dijital, analog veya dijital/analog (D/A) organik karışık yöntem olabilmekte ve aynı zamanda rastgele bir işleme yöntemi olmaktadır. Dolayısıyla, beyin ve mevcut bilgisayar, bilgi işleme yöntemlerinde büyük farklara sahiptir. Rastgele işleme yöntemi ve D/A karışık işleme ilavesi ile tüm süreç karmaşık hale gelmekte ve genellikle tekrarlanamamaktadır.
- Bir beyin nöronunun geçiş zamanı, birkaç milisaniyedir (10^{-3} sn'lik bir düzeye kadar) ve bu, mevcut bir bilgisayardan (10^{-10} sn'lik) milyonlarca kat daha uzundur. Bununla birlikte, insan beyni, bir saniyeden daha kısa sürede karmaşık bir aktivasyona doğru tepki verebilmektedir. Bu, tek bir nöronun işleme ve iletim hızı oldukça yavaş olmasına rağmen beyin, yüksek paralellik nedeniyle hızlı yanıt verebileceğini göstermektedir.

Beyin birçok basit nörondan oluşur ve mikro yapıda çok basittir, ancak çok karmaşık problemleri çözebilmektedir. İnanılmaz derecede, bir yaratıcılığa sahiptir ve bu yapay zekâ öğrenenler tarafından dikkat çekmektedir (He ve Xu, 2010).

5.1.6 Yapay Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da yapay sinir hücreleri bulunmaktadır. Bu yapay hücrelere proses elemanı denilmektedir. Beş temel bileşenden meydana gelmekte, bunlar; 'Girdiler', 'Ağırlıklar', 'Toplama Fonksiyonu', 'Aktivasyon Fonksiyonu' ve 'Çıktılar'dır (Öztemel, 2012).



Şekil 5.2 Yapay sinir hücresi matematik modeli (Yüksek, 2007)

Şekil 5.2'de şematik anlatılan ifadelerden (Rojas, 2013):

- *Girdiler (x_n);* yapay sinir hücresine öğretilmek istenen örneklerdir. Bunlar kullanıcıların topladıkları dış dünyaya ait verilerdir. Yapay sinir hücresine dışarıdan veri girişi olabileceği gibi kendi çıktıları da giriş verişi olarak kullanılabilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu veriler nümerik ifadeler olmalıdır.
- *Ağırlıklar (W_n):* Hücreye girdi olarak sunulan bilgilerin hücre üzerindeki etki dereceleridir. Her girdinin kendine ait ağırlık değeri vardır. Bilgilerin hücreye etkisi de bu değer ile orantılı olarak gerçekleşmektedir. Ağırlık derecesi büyük olan bilgi küçük olan bilgiden daha önemlidir denilememektedir.

Hücrelerin öğrenmeleri ağırlık derecelerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

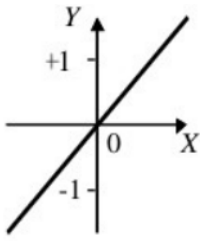
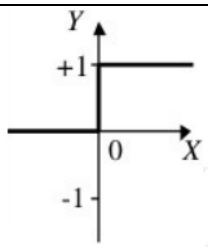
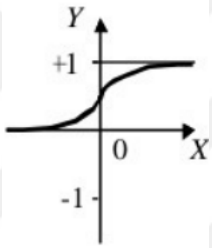
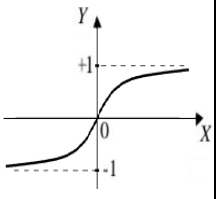
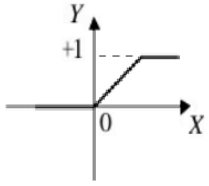
- *Toplama fonksiyonu (Σ);* Hücreye gelen girdilerin değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadırlar. Problemin türüne göre bu fonksiyon değişiklik göstermektedir. Giriş verileri ve ağırlık katsayıları, transfer fonksiyonuna geçmeden önce bu bölümde birçok farklı şekilde kombine edilebilmektedir. Toplama işlemine ek olarak, minimum, maksimum, çoğunluk, ürün veya birkaç normalleştirme algoritmasını seçerek de bu işlem yapılabilmektedir. Bazı toplam fonksiyonları, toplanma çıktısının zamana göre değişmesine izin vermek amacıyla transfer fonksiyonuna geçmeden önce sonuca uygulanan ek bir 'aktivasyon fonksiyonu' içermektedirler.

Tablo 5.1 Toplama fonksiyonu örnekleri (Çayıroğlu, 2017)

Toplama fonksiyon türü	**Açıklama**
$\text{Net} = \sum_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
$\text{Net} = \prod_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net girdi hesaplanır.
$\text{Net} = \text{Max}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
$\text{Net} = \text{Min}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
$\text{Net} = \sum_{i=1}^{N} Sgn(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ile negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir
$\text{Net} = \text{Net(eski)} + \sum_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin net girdisi hesaplanır.

- *Aktivasyon (transfer) fonksiyonu ($f_{(x)}$);* Her bir yapay sinir hücresine gelen 'Net' girdisinin işlenerek 'y_n' çıktısına dönüştürüldüğü prosestir. Aktivasyon fonksiyonunun da çeşitleri bulunmaktadır. Yapay sinir ağlarının, aktivasyon fonksiyonunun seçimi deneme yanılma sonuçlarına göre belirlenmektedir. Bu konuda herhangi bir formül veya yöntem yoktur (Graupe, 2013).

Tablo 5.2 Aktivasyon fonksiyonu örnekleri (Çayıroğlu, 2017)

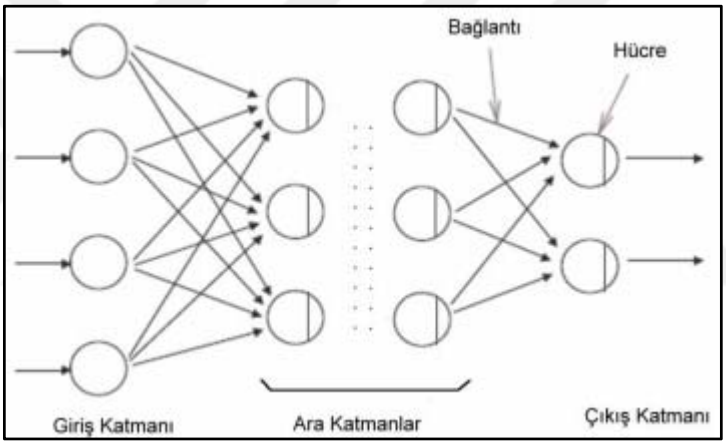
Aktivasyon fonksiyon türü	**Grafiği**	**Formülü**	**Açıklama**
Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu		F(NET)=A*NET (A sabit sayı)	Doğrusal problemler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak seçilebilir. Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç, belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısı olarak hesaplanır.
Adım (Step) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\begin{cases}1 & \text{if Net>Eşik Değer}\\ 0 & \text{if Net<=Eşik Değer}\end{cases}$	Gelen Net girdinin belirlenen bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\frac{1}{1+e^{-Net}}$	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.
Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\frac{e^{Net}+e^{-Net}}{e^{Net}-e^{-Net}}$	Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir
Eşik Değer Fonksiyonu		$F(Net)=\begin{cases}0 & \text{if Net<=0}\\ Net & \text{if } 0<Net<1\\ 1 & \text{if Net>= 1}\end{cases}$	Gelen bilgilerin 0'dan küçük-eşit olduğunda 0 çıktısı, 1'den büyük-eşit olduğunda 1 çıktısı, 0 ile 1 arasında olduğunda ise yine kendisini veren çıktılar üretilebilir.
Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu		F(Net) = Sin(Net)	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.

- *Çıktılar (yi);* Aktivasyon fonksiyonunun ürettiği çıktı değerleridir. Çıktı değerleri direk sonuç olarak kullanılabileceği gibi başka bir hücreye veya

kendine girdi değeri olarak da gönderilmektedir. Her hücrenin birden fazla girdisinin olması sadece bir tane çıktısı olması durumunu etkilememektedir (Graupe, 2013).

5.1.7 Yapay Sinir Ağı

Yapay sinir hücresinin bileşenleri yukarıda anlatılmaya çalışılmaktadır. Bu bölümde, bu hücrelerden oluşan ağın nasıl çalıştığı anlatılmaktadır. Yapay sinir hücreleri rastgele birbirine bağlanarak yapay sinir ağını oluşturmamaktadır. Yapay sinir ağları üç ana katmanda incelenmektedir; 'Giriş Katmanı', 'Ara (Gizli) Katmanlar' ve 'Çıkış Katmanı' (Rojas, 2013).



Şekil 5.3 Yapay sinir ağının yapısı (Çayıroğlu, 2017)

- *Giriş katmanı;* burada girdi bilgileri dış dünyadan veya başka bir hücrenin çıktısından yararlanılarak ara katmana iletilmektedir (Kriesel, 2009).
- *Ara katman;* giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana iletilmektedir. Ara katman sayısı her ağ için farklılık gösterebilmektedir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmaz iken bazı yapay sinir ağlarında ise birden fazla ara katman bulunabilmektedir. Ara katmanlardaki nöron sayıları girdi ve çıktı sayısından etkilenmemektedir. Birden fazla ara katmanı olan ağlarda, ara katmanların sahip oldukları hücre sayıları da farklılık gösterebilmektedir. Ara katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artması hesaplama karmaşıklığını getireceği gibi hesaplama süresinin arttırmasına da neden

olmaktadır. Buna rağmen yapay sinir ağının daha karmaşık problemlerin çözümünde kullanımı sağlanmaktadır (Kriesel, 2009).

- *Çıkış katmanı;* ara katman(lar)dan gelen bilgilerin işlenerek ağın çıktılarının oluşturulduğu katmandır. Buradaki çıktılar dış dünyaya iletilmektedir. Geri beslemeli ağlarda ise bu katmanda üretilen çıktılar kullanılarak ağ yeniden eğitilmekte ve yeni ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Bu işlem kabul edilebilir tolerans değerlerine ulaşılıncaya kadar iteratif olarak devam etmektedir (Kriesel, 2009).

Yapay sinir ağlarının örnek olay kümesindeki verileri işleyerek çıktı seti haline dönüştürdüğü yukarıdaki bölümlerde ifade edilmektedir. Ağa gösterilen girdi değerleri ile gerçekleşen çıktı değerleri kabul edilebilir hata payları arasında tahmin edilebildiği zaman ağın eğitimi bitmiş sayılmaktadır. Ağa gösterilen örnekler vektör halinde olmalıdır. Örnek değerler vektörü ile çıktı vektörü üretilmektedir. Ağın topolojisine ait parametrik değerler doğru çıktılar elde edilinceye kadar düzenlenmektedir. Girdiler, nümerik olmak şartıyla haftanın günleri, resmin tonları, günlük veya haftalık borsa değerleri, döviz kuru değerleri ve ürün satış miktarı vb. gibi değerler olabilmektedir. Çıktılar da bu girdi değerlerinin sınıflarına ayrılması veya değer tahmini gibi bir çıktı vektörüdür. Girdi ve çıktı vektörlerinin tasarımı kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Yapay sinir ağlarında bilinmeyen husus ise, girdi vektörünün çıkış vektörüne nasıl dönüştüğüdür. Mühendislik açısından YSA bir 'kara kutu' gibi düşünülebilmektedir. Dışarıdan bilgiler alınmakta ve dışarıya işlenmiş bilgiler verilmekte, ama bu sürecin işleyişi hakkında herhangi bir açıklama yapılamamaktadır. İçeride olup biten hakkında bilgi bulunmamaktadır. YSA'nın bu özelliği ona olan güveni azaltmakta fakat başarılı sonuçlar alındığı sürece güven yeniden kazanılmaktadır. YSA konusunda yapılan araştırmaların çoğu bu konunun aydınlatılmasıdır (Öztemel, 2012).

5.1.7.1 Öğrenme Türlerine Göre Yapay Sinir Ağları

Ağırlık değerlerinin ayarlanmasına 'ağın eğitimi' denilmektedir. İlk adımda bu değerler rastgele seçilmektedir. Gerçekleşen olaylar ağa tanıtıldıkça ve bu değerler

doğru çıktı değerlerini verinceye kadar ağırlık değerlerinin değişimleri devam etmektedir. Amaç doğru çıktı değerlerini veren ağırlık değerlerine karar vermektir. Ağırlık değerlerini kesinleştirmek için örnek setinin ağa gösterimi defalarca kez yapılabilmektedir. Doğru ağırlıklara ulaşıldığı zaman temsil edilen olay hakkında genellemeler yapılabilmektedir. Yapay sinir ağlarında ağırlık değerlerinin değiştirilmesi belli bir kurala göre yapılmaktadır. Bu kurallara da 'öğrenme kuralları' denilmektedir. Bu genellemelere ulaşma işlemine de 'ağın öğrenmesi' denilmektedir. Değişik problemler ve ağlar için bu kurallar farklılık göstermektedir (Öztemel, 2012).

Bir önceki paragrafta bahsedilen 'ağın eğitimi' konusu detaylandırılacak olursa; bir ağ belirli bir uygulama için yapılandırıldıktan sonra eğitime geçilmektedir. Başlangıçta, başlangıç ağırlıkları rastgele seçilmekte ve daha sonra eğitim başlamaktadır. Eğitim için iki temel yaklaşım (strateji) vardır; *Öğretmenli (Supervised)* ve *Öğretmensiz (Unsupervised) öğrenme*. (He ve Xu, 2010).

Öğretmenli öğrenmede, girdi ve çıktı seti sağlanmaktadır. Ağ, daha sonra girdileri işlemekte ve çıktıları istenen çıktılarla karşılaştırmaktadır. Ardından hatalar sisteme geri gönderilmekte, böylece ağın kontrolü yapılarak ağırlıklar ayarlanmış olmaktadır. Ağırlıklar sürekli olarak değiştirilerek bu süreç tekrarlanmaktadır. Eğitimi sağlayan veri setine "eğitim seti" adı verilmektedir. Bir ağın eğitimi sırasında aynı veri kümesi, bağlantı ağırlıkları her zamankinden daha rafine edildiğinden birçok kez işlenmektedir. Bazen bir ağ asla öğrenememektedir. Bunun nedeni, giriş verilerinin istenen çıktıdan türetilen belirli bilgileri içermemesi olmaktadır. Tam öğrenmeyi sağlayacak yeterli veri yoksa ağlar da yakınsayamazlar. İdeal olarak, verilerin bir kısmının 'test' için kullanılmasıdır. Bir ağ sorunu basitçe çözemezse, tasarımcı daha sonra girdi ve çıktıları, katman sayısını, katman başına eleman sayısını, katmanlar arasındaki bağlantıları, toplama, transfer (aktarma) ve eğitim işlevlerini gözden geçirmelidir ve hatta ilk ağırlıkları bile değiştirebilmelidir. Tasarımcının yaratıcılığının bir diğer kısmı eğitim kurallarını yönetmesidir. Eğitim sırasında ağırlıkları ayarlamak için gereken uyarlamalı geri beslemeyi uygulamak için kullanılan birçok fonksiyon (algoritma) vardır (Graupe, 2013).

Çözülmek istenen bir problem için hangi ‘eğitim fonksiyonu (algoritma)’nun en hızlı olacağını bilmek çok zordur. Problemin karmaşıklığı, eğitim setindeki verilerin sayısı, ağdaki ağırlık ve öngörülerin sayısı, hedef hata değeri ve ağın desen tanıma için kullanılıp kullanılmadığı gibi özellikler eğitim fonksiyonlarının birbirinden ayrılmasına neden olmaktadır. Bunlardan bazıları (Beale, Hagan, ve Demuth, 2012):

- Levenberg-Marquardt,
- BFGS Quasi-Newton,
- Esnek Geri Bildirim (Resilient Backpropagation),
- Ölçekli Eşlenik Gradyan (Scaled Conjugate Gradient),
- Powell/Beale Yeniden Başlatmalı Eşlenik Gradyan (Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts),
- Fletcher-Powell Eşlenik Gradyan (Fletcher-Powell Conjugate Gradient),
- Polak-Ribiére Eşlenik Gradyan (Polak-Ribiére Conjugate Gradient),
- Tek Adımlı Bölen (One Step Secant), ve,
- Değişken Öğrenme Hızı Geri Bildirimi (Variable Learning Rate Backpropagation)’ dir.

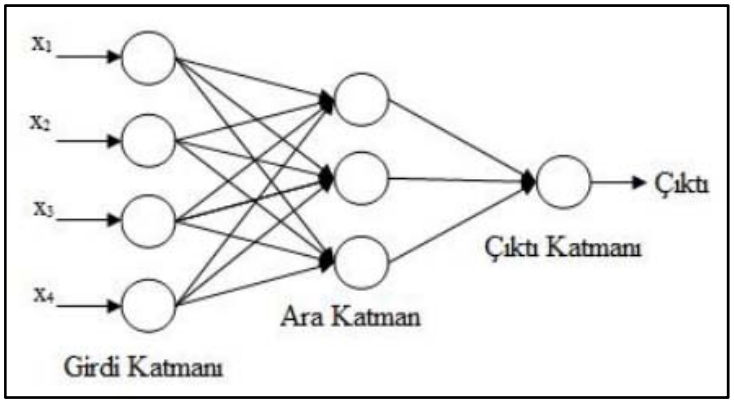
Öğretmensiz öğrenme, bu türde herhangi bir yardımcı yoktur. Ağa girdiler verilmekte, fakat çıktılar verilmemektedir. Çıktılar, ağdan istenmektedir. Genellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadırlar. Örnekler arasındaki parametrelerin ağın kendisi tarafından öğrenilmesi istenmektedir. Yalnız sistemin öğrenmesi bittikten sonra çıktıların ne anlama geldiği ile ilgili etiketleme kullanıcı tarafından yapılmalıdır. Bu konudaki bilgilerin yeterince anlaşılmamasından kaynaklı olarak halen öğretmensiz öğrenme üzerine araştırma yapılmaya devam edilmektedir (Graupe, 2013).

Yukarıda bahsedilen ‘öğretmenli’ ve ‘öğretmensiz’ stratejilerden hangisi kullanılırsa kullanılsın öğrenme bazı kurallara göre gerçekleştirilmektedir. Bunlar (Öztemel, 2012):

- *Hebb kuralı;* yapay sinir ağları tarihinde bilinen en eski kural olup diğer kuralların temelini oluşturmakta ve 1949 yılında geliştirilmiştir. Bu kurala göre, bir hücre başka bir hücreden bilgi alırsa ve her iki hücrede aktif (matematiksel olarak aynı işareti taşıması) ise bu iki hücre arasındaki bağlantı kuvvetlendirilmelidir. Diğer bir deyişle, bir hücre aktif ise bağlantılı olduğu hücreyi aktif yapmaya çalışmak, pasif ise pasif yapmaya çalışmaktadır.
- *Hopfield kuralı;* Hebb kuralına benzeyen bir kuraldır. Yapay sinir ağındaki hücrelerin arasındaki bağlantıların ne kadar kuvvetlendirileceğine veya zayıflatılacağına karar verilmesidir. Girdilerin ve çıktıların her ikisi de aktif/pasif ise öğrenme katsayısı kadar kuvvetlendir/zayıflat denilmektedir. Öğrenme katsayısı 0 ile 1 arasında bir değerdir ve kullanıcı tarafından atanmaktadır.
- *Delta kuralı;* bu kural da Hebb kuralından türetilmiştir. Beklenen çıktı ile gerçekleşen çıktı arasındaki farklılığın azaltılması için ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Ağın ürettiği çıktı ile üretilmesi gereken (beklenen) çıktı arasındaki hatanın karelerinin ortalamasını en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.
- *Kohonen kuralı;* burada ise ağın hücreleri, ağırlıklarını değiştirmek için birbirleri ile yarışmaktadır. En büyük çıktıyı üreten hücre kazanan hücredir ve ağırlık değerleri değiştirilmektedir. Bu o hücrenin yakınındaki hücrelerden daha kuvvetli olması demektir. Hem kazanan hücre hem de komşu hücreleri ağırlıklarını değiştirmektedir.

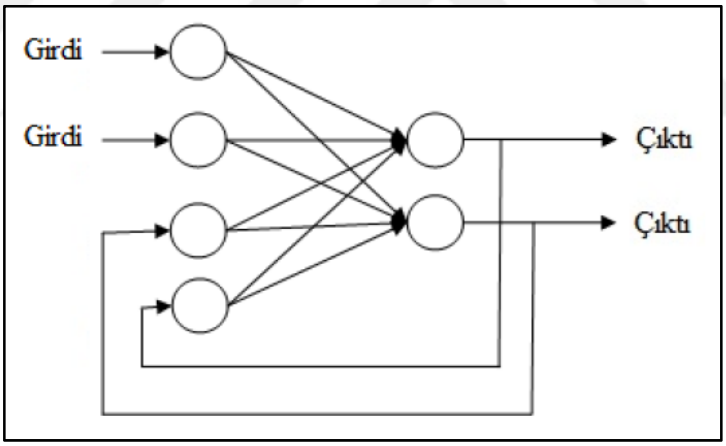
5.1.7.2 Bağlantı Tipine Göre Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli ağlar; örnek olaya ait verilerinin girdi birimlerinden çıktı birimine ileri doğru tek yönlü aktığı ağ yapısıdır. Sinir hücreleri bir katmandan ilerideki başka bir katmana bağlantı kurarken aynı katman içerisinde veya gerideki katmanlarla bağlantıya sahip değillerdir. Şekil 5.4'te ileri beslemeli ağ yapısı gösterilmektedir (Kocatepe, 2017).



Şekil 5.4 İleri beslemeli yapay sinir ağı (Kocatepe, 2017)

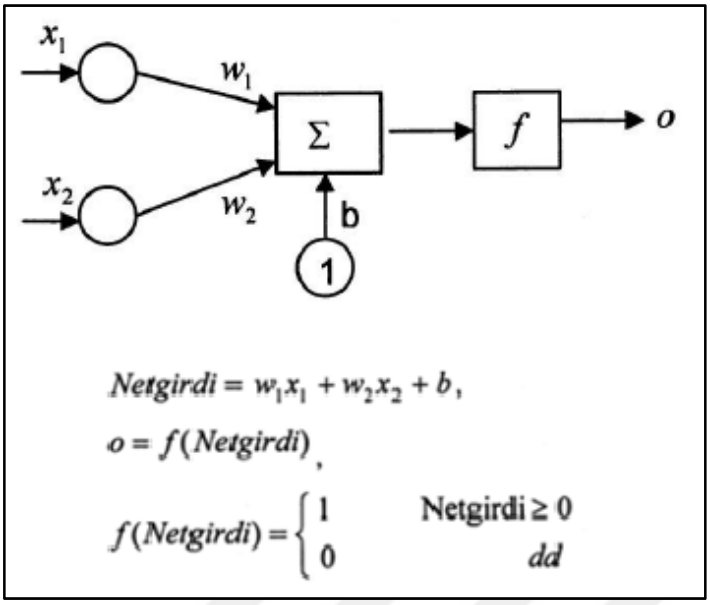
Geri beslemeli ağlar; veri akışının sadece ileri doğru değil aynı zamanda geri doğru da gerçekleştiği ağ yapısıdır. Sinir hücreleri bir katmandan ilerideki başka bir katmana bağlantılar kurarken ayrıca aynı katman içerisinde veya gerideki katmanlarla da geri besleme bağlantıları kurmaktadırlar. Şekil 5.5'te örnek bir geri beslemeli ağ yapısı gösterilmektedir (Kocatepe, 2017).



Şekil 5.5 Geri beslemeli yapay sinir ağı (Kocatepe, 2017)

5.1.7.3 Katman Sayısına Göre Yapay Sinir Ağları

Tek katmanlı ağlar; bu ağlar ilk geliştirilmiş yapay sinir ağlarıdır. Bu ağlara basit algılayıcı (perceptron) örnek olarak gösterilmektedir. Aşağıda yer alan Şekil 5.6'da örnek bir basit algılayıcı gösterilmektedir (Hamzaçebi, 2011).



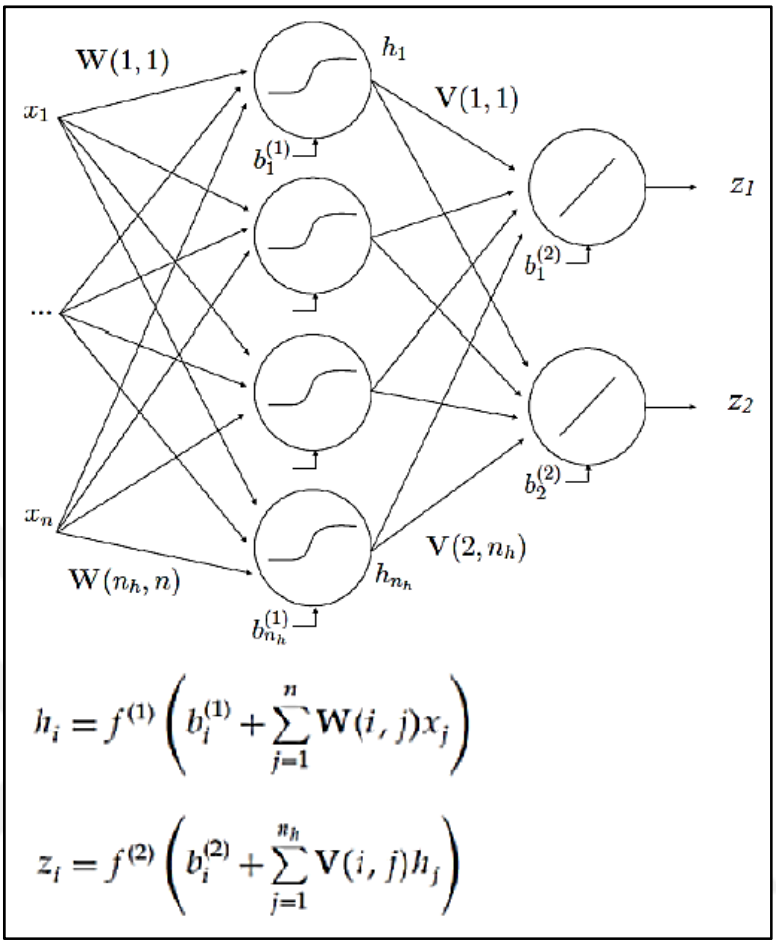
Şekil 5.6 Tek katmanlı yapay sinir ağı (Kocatepe, 2017)

Çok katmanlı ağlar; bu tür algılayıcılar girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında yer alan bir veya daha fazla sayıda ara katmanlardan oluşan ileri beslemeli bir yapıya sahip YSA türüdür. Geri yayılım ağları olarak da adlandırılmaktadırlar (Hamzaçebi, 2011).

Şekil 5.7'de tek gizli katmanı olan bir Çok Katmalı Ağ (ÇKA) modelinin yapısı gösterilmektedir. Bu şekilde yer alan tek ara katmanlı ÇKA için i. gizli katman nöronunun çıktısı (h_i) Şekil 5.7'de yer aldığı gibi hesaplanmaktadır (Hamzaçebi, 2011).

W ağırlık matrisi olup, Şekil 5.7'de yer alan W(i,j) i. gizli katmanın j. girdi bağlantısının ağırlık katsayısını göstermektedir. Çıktı değeri olan (z_i) yine Şekil 5.7'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Hamzaçebi, 2011).

V ağırlık matrisi olup, Şekil 5.7'de yer alan V(i,j) j. gizli katmanın i. çıktı bağlantısının ağırlık katsayısını göstermektedir. Denklemlerde yer alan b, ilgili nörona eklenen sabit değerleri ifade ederken; f, transfer fonksiyonlarını göstermektedir. Hiperbolik tanjant, sigmoid fonksiyonu, logaritmik sigmoid fonksiyonu ve lineer fonksiyon yaygın olarak kullanılmakta olan üç transfer fonksiyonudur (Hamzaçebi, 2011).



Şekil 5.7 Çok katmanlı yapay sinir ağı (Kocatepe, 2017)

Çok katmanlı algılayıcılar örnekler yardımı ile öğrenen sistemlerdir. Ağın performansını ölçen ve iyileştirmede kullanılan fonksiyon, hata fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. ÇKA'larda, bir sonraki alt başlıkta detaylı bir şekilde anlatılacak olan performans kriterlerinden; 'Toplam Hata Kareleri' ve 'Ortalama Hata Kareleri' hata terimine bağlı olarak tanımlandıklarından dolayı genellikle hata fonksiyonu olarak kullanılmaktadır (Hamzaçebi, 2011).

5.1.7.4 Yapay Sinir Ağlarının Performans Ölçütleri

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediği 'test' edilmektedir. Test aşamasında ağa eğitim sırasında gösterilmeyen örnekler gösterilmektedir. Test sırasında, ağın hücrelerine ait ağırlık değerleri değiştirilmemektedir. Örnek olay

setinin ‘test’ için ayrılan bölümündeki sonuç değerleri ile ağın ürettiği çıktı değerleri karşılaştırıldığında sonuçlar ne kadar iyi ise performansı da o kadar iyidir denilmektedir. Ağı eğitirken kullanılan örnek setine ‘eğitim seti’, ‘test’ ederken kullanılan örnek setine ise ‘test seti’ denilmektedir (Öztemel, 2012).

Eğitim ve test setinin performansı ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Eğitim sırasında yeterli performansa ulaşınca eğitim sonlandırılmakta ve teste geçilmektedir. Eğitim ve test aşamaları bittikten sonra YSA’ya ait her iki performans kriteri de kendi içinde değerlendirilmektedir. Önemli olan performansın her iki set için de maksimuma erişmiş olmasıdır (Öztemel, 2012).

Tahmin sisteminin etkinliğini değerlendiren ölçütler; kullanılan metodun doğruluğuna, tahmin edilen değerlerin beklenen değerler ile karşılaştırılması sonucu karar vermeyi amaçlamaktadır. Aradaki farka ise tahmin hatası denilmektedir. Tablo 5.3’de sıklıkla kullanılan performans ölçütlerine yer verilmektedir. Herhangi bir t periyodu için; Y_t, gerçek sonuç değerini ve F_t’de YSA’nın ürettiği değeri ifade ederken e_t, bu iki değer arasındaki farka eşittir (Hamzaçebi, 2005).

Tablo 5.3 YSA performans fonksiyonları (Hamzaçebi, 2005)

Performans fonksiyon türü	**Formülü**
Ortalama hata	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i$
Mutlak ortalama hata	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lvert e_i \rvert$
Hata kareleri toplamı	$\sum_{i=1}^{n} e_i^2$
Hata kareleri ortalaması	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2$
Yüzde hata	$\frac{(Y_t - F_t)}{Y_t} * 100$
Ortalama yüzde hata	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{(Y_t - F_t)}{Y_t} * 100$
Ortalama mutlak yüzde hata	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left\lvert \frac{(Y_t - F_t)}{Y_t} \right\rvert * 100$

5.1.8 Yapay Sinir Ağları ile Zaman Serisi Tahmini

Zaman serisinin gelecek değerlerinin tahmin edilmeye çalışılması, iş, yönetim ve bilimsel topluluklar içerisinde sürekli olarak ortaya çıkan bir problemdir. Zaman serilerinin modellenmesi ve tahmini, akademik çalışmalarda olduğu kadar pratik uygulamalar için de önem arz etmektedir. Örneğin, hava araçlarının tahminlenen rotalarına dayanarak havada çarpışmalarının önlenmesi gibi birçok günlük uygulamada kullanılmaktadır. Radarlardan aktarılan ölçülmüş konumlara dayanarak, hava taşıtının gelecekteki koordinatlarının tahminlenmesi bir zaman serisi problemi olarak görülebilmektedir. Tahminleme yapabilmek için örnek olaydaki geçmiş değerler toplanmakta ve altta yatan sebepler tahmin modelini oluşturmada ve analiz etmede kullanılmaktadır. Sonrasında, bu model kullanılarak geleceğin tahmin edilmesine çalışılmaktadır. Bir zaman serisinin gelecek değerlerinin tahminlenmesi çok çeşitli disiplinleri içine almaktadır. Tahmin yapmak için geliştirilen teknikleri biyoloji, bilgisayar bilimi, ekonomi, mühendislik, matematik, fizik, istatistik ve diğer alanların ortak bir mirası olarak görmek mümkündür. Bu metotlar hayvan popülasyonları, turist geliş deseni, göç alış ve veriş trendi, bir ülkenin gayri safi milli hâsıla miktarı, işgücü ve işsizlik, banka faizleri ve döviz kuru, hisse senetlerinin gelecek değerleri, elektrik kullanımı, emlak fiyatları, yeni girişimlerin karlılığı, hastalık kontrolü, meteorolojik ölçümler, astronomik gözlemler gibi çok farklı veri setlerinde kendilerine uygulama alanları bulabilmektedir (Aras, 2013).

Zaman serisi tahminlemesi için gereken temel adımlar aşağıdaki tanımlanmaktadır (Aras, 2013 ; Makridakis, Wheelwright, ve Hyndman, 2008):

- *Problem tanımı;* bu bölüm kullanıcının en zor görevi olabilmektedir. Tahminleme probleminin doğru tanımlanabilmesi için çok sayıda soruya cevap aranması gerekmektedir. Örneğin, neyin tahmin edileceği ve tahmini yapılacak şeyin ne gibi özellikleri olduğu, tahminlerin nasıl kullanılacağı, kimin tahminlere ihtiyaç duyduğu, organizasyon içinde tahminleme fonksiyonunun nasıl yapılandırılacağı ve benzeri sorular üzerinde düşünülmelidir. Verilerin toplanmasına dahil olan, veri tabanlarını

yönlendiren ve gelecek planlaması için tahminleri kullanacak herkesle iletişim kurmak faydalı olmaktadır.

- *Bilgilerin toplanması;* iki tür bilgiye her zaman ihtiyaç duyulmakta; genellikle sayısal olan istatistiksel veri ve bir uzmanın bilgi birikimi ve tecrübesi aranmaktadır. Her iki tür bilgi de göz önünde bulundurulmalıdır. Tahminleme yapmak amacıyla bir model oluşturabilmek için ilgilenilen değişkenin tarihsel verisinin toplanması öncelikli olandır.
- *Ön analiz;* bu adım, verilerin anlatmak istediklerinin ortaya çıkarılması amacını taşımaktadır. İlk etapta verinin görsel araştırma için grafiği çizilmekte ve basit tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmaktadır. Eğer birden fazla ilişkili seri varsa, her seri çiftinin yayılım grafiği çizilerek ilgili tanımlayıcı istatistikleri (korelasyon gibi) oluşturulabilmektedir. Bu aşamada şu sorular sorulmaktadır; 'Sürekli tekrarlayan desenler mevcut mu?', 'Belirgin bir eğilim var mı?', 'Mevsimsellik önemli mi?', 'Konjonktür dalgalarına ait izler mevcut mu?', 'Veri uzman bilgisiyle açıklanabilecek herhangi bir uç gözlem içermekte mi?' ve 'Analizde kullanılacak değişkenler arasındaki ilişkiler ne kadar güçlü?'
- *Modelin seçilmesi ve uydurulması;* birkaç nicel tahminleme modelinin seçilmesi ve bunların uydurulmasını içermektedir. Aslında, ön analiz adımı tahminlemede kullanılacak modelin seçilmesinde yararlı olabilecek nicel yöntemleri araştırmacı için sınırlamaktadır. Her modelin dayandığı açık ve kapalı varsayımları ve bir veya birden fazla belirlenmesi gereken parametreleri vardır. Bu bölüm bunlara karar verilmesinde görev almaktadır.
- *Tahminleme modelinin kullanılması ve değerlendirilmesi;* Bir model akla uygun olarak seçilmekte ve parametreleri de doğru bir şekilde belirlendikten sonra, tahminleme yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Zaman içerisinde modelin avantaj ve dezavantajları, tahminlerin kullanıcısı tarafından değerlendirilebilmektedir.

Sinir ağları, dinamik ve statik kategoriler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Statik ağlar geri besleme elemanı ve mevcut girdi değerinin gecikmesini içermemektedir. Çıktı, ileri beslemeli bağlantılar aracılığıyla girdi üzerinden

hesaplanmaktadır. Dinamik ağlarda çıktı sadece ağın mevcut girdisine bağlı değildir, aynı zamanda mevcut girdinin gecikmeli değerlerine ve ağın çıktı değerine bağlıdır. Dinamik ağların statik ağlara göre eğitilmesi daha çok zaman almakta ve dinamik ağların hata yüzeyleri daha karmaşık olabilmektedir. Dolayısıyla yerel minimuma takılma durumu daha muhtemeldir, optimal sonuca ulaşıncaya kadar ağın birkaç kez çalıştırılarak eğitilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Dinamik ağların eğitilmesi statik ileri beslemeli ağların eğitimine oldukça benzerdir. Ana farklılık tasarım sürecinde ortaya çıkmaktadır, çünkü dinamik ağın girdileri zaman dizisi şeklindedir. Dinamik ağlar da sadece ileri beslemeli bağlantıları olan ağlar ve geri beslemeli veya yinelemeli bağlantıları olan ağlar şeklinde iki gruba ayrılmaktadır (Aras, 2013; Beale, ve diğer., 2012).

Zaman Gecikmeli Sinir Ağları; bir dinamik sistemin t veya t'den daha küçük zaman dilimindeki gözlenmiş verileri verilmişse tahminleme problemi, y dinamik sistemi ve p geleceğe yönelik tahmin adımını temsil ederken y(t+p)'yi tahmin etmek için gözlem verilerini kullanmaktır. Zaman serisi tahmininde, Zaman Gecikmeli Sinir Ağları (Time-Delay Neural Networks) tarafından yapılan temel işlem türü,

$$\{y(t), y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n)\} \tag{5.1}$$

sonlu zaman serisinin tek çıktıdan oluşan y ile nasıl eşleştirildiğini göstermektedir. Bu mimarinin kolay bir şekilde x veya y'nin vektör olduğu durum için genellemesi yapılabilmektedir (Aras, 2013; Beale, ve diğer., 2012).

Girdi birimleri, zaman gecikmeli:

$$(y_{t-\Delta}, y_{t-2\Delta}, \dots, y_{t-(m-1)\Delta}, y_{t-m\Delta}) \tag{5.2}$$

vektörünü temsil etmektedir. Burada; t zamanındaki gözlemi y_t, zaman gecikmesi Δ, altta yatan sistemin dinamiklerinin görüldüğü durum uzayının boyutu m ile gösterilmektedir. y_t serisinin tahminlerini hesaplamak amacıyla oluşturulan, zaman

gecikmeli girdilere sahip ağın fonksiyonel formu aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektdir:

$$\hat{y}_{t+1} = f(y_t, y_{t-1}, \cdots, y_{t-m}) = \emptyset\left(\vartheta_{c0} + \sum_{i=1}^{n} w_i g\left(w_{ci} + \sum_{j=0}^{m} w_{ij} y_{t-j}\right)\right) \quad (5.3)$$

Burada; y_{t-j} serinin j zaman önceki gözlemlerini, d modeldeki girdi veya gecikme sayısını, n gizli hücre sayısını, $\{w_{ij,i} = 1, 2, \dots, n, j = 0,1, \dots, m\}$ girdi hücrelerinden gizli hücrelere olan ağırlık matrisini, $\{w_{ij,i} = 1, 2, \dots, n\}$ i inci gizli hücreden çıktı birimine olan ağırlık vektörünü, g ve ∅ fonksiyonları ise Faraway ve Chatfield (1998)'in tahminleme uygulamaları için tavsiyesini dikkate almakta, sırasıyla lojistik ve doğrusal transfer fonksiyonlarını göstermektedir. wci ve ϑ_{c0} sırasıyla, girdi ve gizli katmanların sabit girdi birimlerini temsil etmektedir (Aras, 2013; Beale, ve diğer., 2012; Faraway ve Chatfield, 1998).

5.2 Uygulama Modeli

Bu bölümde bulunan 'Problem Tanımı ve Kısıtlar' alt başlığı altında, çalışmada çözülmek istenen problem hakkında bilgi verilmekte ve problemin çözümünde kullanılacak kısıtların neler olduğu belirtilmektedir. 'Örnek Seti' alt başlığında ise, problemin çözümünde kullanılan veri setini toplama aracından ve örneklemin oluşturulma yönteminden bahsedilmektedir. Son alt başlıkta da MATLAB® yazılımı Yapay Sinir Ağı modülü yardımı ile analizi yapılacak problemin parametreleri ve uygulama modeli bulunmaktadır.

5.2.1 Problem Tanımı ve Kısıtlar

Onarım ve bakım gemide kritik bir teknik konudur. Bakım sistemine sahip gemilerin önemli bir aksaklık ve hasar durumu araştırıldığında, zayıf bakım planlamasının; güvenlik, verimlilik ve çevre performansında ciddi bozulmaya neden olduğu anlaşılmaktadır. Gemilerin mevcut planlı bakım sisteminin strateji olarak

kabul edildiği bilinmektedir. PMS ekipman veya makine için kapsamlı bir periyodik bakım sistemidir. Üretici ve gemi klas kuruluşlarının gereklilikleriyle ilişkili olan bir PMS, gemi işletmeci şirket veya gemi sahibi tarafından düzenlenmektedir. PMS'lerin güçlü, zayıf yönleri, kolaylıkları ve zorlukları bulunmaktadır. PMS konsepti, emniyetli yönetim sistemine entegre edildiğinde, sistem performansını ve güvenilirliğini güçlendirmek için önemli miktarda katkı sağlanmış olmaktadır (Akyüz ve Çelik, 2017).

Operasyonel fazda, bakım hizmeti veren uzmanların tecrübesiyle bütünleştirilmiş olan durum izleme parametrelerine dayanarak arıza teşhis ve iyileştirme süreci yürütülmektedir. Güvenlik, ekonomi ve sistemin bütünlüğü göz önünde bulundurulmakta, bakım uygulaması için gerekli yedek parça, zaman, personel ve organizasyon planlaması yapılmaktadır. Optimize edilmiş ve öngörülerde bulunulmuş bir bakım fonksiyonu operatörler ve işletmeciler için yol gösterici olmaktadır (Xu, Fan, Huang, Zhu, ve Wen, 2013).

Bu öngörülerden en dikkat çekeni, sistem üzerindeki hangi ekipmanın ne sıklıkla arıza verdiğini tahmin edebilmektir. Çünkü, bakım ve seyir planlaması yaparken geminin fiziksel durumu göz önünde bulundurulmaktadır. Üreticiler, operatörler, işletme politikası, çeşitli gemi klas kuruluşları, vb. etkenler gemilerin bakım ile ilgili tavsiye vermektedir. Her ne kadar gemi ekipmanları planlı bakım kapsamında tutulsa da fiziksel şartlardan dolayı arızalar meydana gelmektedir (Xu, ve diğer., 2013).

Arızaların gerçekleştiği gemilerde, planlı bakım-tutumun mükemmel yapıldığı varsayılarak, makine ve teçhizat kondisyonları örneklemin her noktasında en yüksek değere sahip olarak kabul edilmekte ve problemin kısıtı olmaktadır.

5.2.2 Örnek Seti

Bu çalışmada, gemi işletmeciliği yapan bir şirketin Şubat 2007 – Ocak 2017 tarihleri arasında gemilerinde meydana gelen arızaların kaydını tuttuğu varsayılmaktadır. Veri toplama aracı olarak, işletmeci şirketin planlı bakım yazılımı

kullandığı ve bilgilerin bu sistemden alındığı düşünülmektedir. Bu yazılımda, şirketin gemilerine ait sistemlerin ve onların alt bileşenlerinin kayıtları yer almaktadır. Veri toplama sürecinde ise, İzmir ilinde bulunan gemi işletmeci şirketler ile yapılan yüz yüze görüşmeler sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanılmaktadır. Görüşmeler sonunda edinilen bilgilerin ışığında, bu çalışmada kullanılan rassal arıza kaydı geçmişi oluşturulmaktadır.

Ana makine ve ana makineyle bağlantılı olan sistemlere ait 220 adet arıza rassal atanmakta ve örneklem olarak kullanılmaktadır. Örnek setindeki arızalar dokuz sisteme bölünmüş olup, bu bölmelendirme işlemi Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu Shippernetix® planlı bakım sistemi programından alınmaktadır.

13 yılı aşkın süredir denizcilik sektöründe kullanılan Shippernetix® yazılımı, kalitesini ispatlamış ve bunu Alman Loydu'ndan (Germanischer Lloyd) almış olduğu 'Tip Onay (Type Approve)' sertifikası ile belgelendirmiştir (Shippernetix, 2017).

Tablo 5.4'te, sistemlere ait rassal arıza adetleri ve yüzdeleri gösterilmektedir

Tablo 5.4 Sistemlerin arıza adetleri

Sistem no	Sistem adı	Arıza adedi	Yüzde değeri
1	Hava Şarj Sistemi	8	3,6
2	Yakıt Sistemi	48	21,8
3	Hidrolik Sistem	1	0,5
4	Yağlama Sistemi	19	8,6
5	Ana Makine (yapısal)	72	32,7
6	Soğutma Sistemi	9	4,1
7	Egzoz Sistemi	24	10,9
8	Manevra Sistemi	23	10,5
9	İlk Hareket Sistemi	16	7,3
	Toplam arıza	220	100

Tablo 5.4'te arıza adetleri ve yüzde değerleri detaylı bir şekilde verilmekte olan sistemlere ait 47 adet komponent de rassal olarak atanmaktadır. Bu komponentlerin hangi sisteme ait oldukları, kodları, adları ve arıza sayıları Tablo 5.5'ten Tablo 5.13'e kadar olan tablolarda sırası ile verilmektedir.

Tablo 5.5 Hava şarj sistemi arızaları

	Komponent kodu	**Komponenet adı**	**Arıza adedi**
Hava Şarj Sistemi	105	Harici blover	5
	110	Turboşarj	3

Tablo 5.6 Yakıt sistemi arızaları

	Komponent kodu	**Komponenet adı**	**Arıza adedi**
Yakıt Sistemi	205	Sistemsel arıza	5
	210	Yakıt pompası üst kapak	2
	215	Viskometre	4
	220	Su kaçağı	1
	225	Yakıt pompası	20
	230	Yakıt pompası emme valfi	3
	235	Yakıt pompası basma valfi	3
	240	Ana makine yakıt enjektörü	5
	245	Debimetre	2
	250	Yüksek basınçlı yakıt hortumu	1
	255	Ana makine yakıt valfleri	1
	260	Yakıt geri döndürmez valfi	1

Tablo 5.7 Hidrolik sistem arızaları

	Komponent kodu	**Komponenet adı**	**Arıza adedi**
Hidrolik Sistem	305	Hidrolik sistem	1

Tablo 5.8 Yağlama sistemi arızaları

	Komponent kodu	**Komponenet adı**	**Arıza adedi**
Yağlama Sistemi	405	Alfa yağlayıcı	5
	410	Yağlama yağı pompası	2
	415	Silindir yağlayıcı	7
	420	Yağlama	5

Tablo 5.9 Ana makine (yapısal) arızaları

	Komponent kodu	Komponenet adı	Arıza adedi
Ana Makine (yapısal)	505	Yağ kaçağı	11
	510	Piston segman	10
	515	Silindir kapağı	9
	520	Govarnör	5
	525	Ana yapısal parçalar	12
	530	Ana makine gövdesi	6
	535	Karter (krankcase)	2
	540	Silindir layner (gömlek)	2
	545	Piston kolu yatağı	3
	550	Krank pin	1
	555	Ana makine sensörleri	2
	560	Piston	9

Tablo 5.10 Soğutma sistemi arızaları

	Komponent kodu	Komponenet adı	Arıza adedi
Soğutma Sistemi	605	Soğutma yağı	5
	610	Silindir kapak	2
	615	Soğutma suyu	1
	620	Silindir layner (gömlek)	1

Tablo 5.11 Egzoz sistemi arızaları

	Komponent kodu	Komponenet adı	Arıza adedi
Egzoz Sistemi	705	Egzoz sistemi	4
	710	Egzoz valf aktivatörü	7
	715	Egzoz geri döndürmez valf	1
	720	Egzoz valfi	12

Tablo 5.12 Manevra sistemi arızaları

	Komponent kodu	Komponenet adı	Arıza adedi
Manevra Sistemi	805	Makine telgrafı	9
	810	Kontrol hatası	10
	815	Manevra sistemi yapısalı	2
	820	Sistem sensörleri	2

Tablo 5.13 İlk hareket sistemi arızaları

	Komponent kodu	Komponenet adı	Arıza adedi
İlk Hareket Sistemi	905	İlk hareket havası	6
	910	Torna çark motoru	4
	915	Harici blover motoru	2
	920	İlk hareket sistemi	4

Verilerin MATLAB® programında yapay sinir ağları modeline aktarılabilmesi için matris haline dönüştürülmesi gerekmektedir. 47 adet komponent girdi seti olmakta ve 47 sütunda ifade edilmektedir. Olayların meydana gelme günü ise son (48.) sütunda belirtilmektedir. 3630 gün boyunca bütün arıza bilgileri örnek seti matrisinde belirtilen şekliyle bulunmaktadır. Yani 48 sütun ve 3630 satırdan oluşan matris örnek setini temsil etmektedir. Tablo 5.14'te, değerleri rassal atanan matrisin bir bölümü gösterilmektedir.

Tablo 5.14 Yapay sinir ağları örnek seti

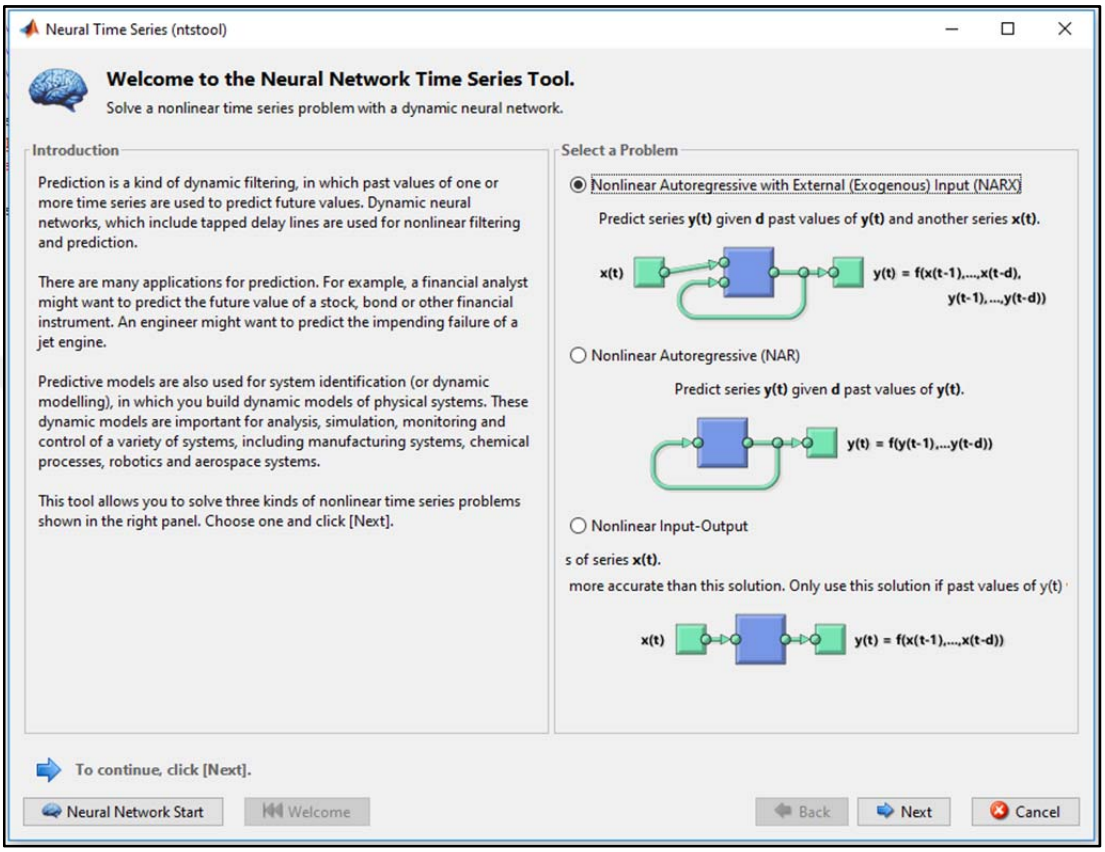
105	**110**	**205**	**210**	**…**	**915**	**920**	**Günler**
0	0	0	0	…	0	0	1
0	0	0	0	…	0	0	2
…	…	…	…	…	…	…	…
0	1	0	0	…	0	0	169
…	…	…	…	…	…	…	…
0	0	0	0	…	0	1	1189
…	…	…	…	…	…	…	…
0	0	0	0	…	0	0	3630

Tablo 5.14'te 3630x48'lik matrisin örner bir kesiti, açıklayıcı olmak için gösterilmektedir. YSA'nın verileri işlerken nümerik ifadeler kullandığı daha önceki bölümlerde bahsedilmektedir. Tablo 5.14'ü açıklayacak olursak; 47 adet komponent 3630 gün boyunca izlenmiş ve hangi komponent kaçıncı günde arıza vermiş ise ilgili hücreye '1' yazılmaktadır. Aynı günde arızanın oluşmadığı diğer komponentlere ait hücrelere ise '0' yazılmaktadır. Diğer bir anlatımla; 1. gün herhangi bir komponent arıza vermediği için bütün satırlarda '0' bulunmaktadır, fakat 1189. günde sadece 920 nolu komponent arıza verdiği için kendi hücresine '1' yazılarak diğer hücrelere de '0' yazılmaktadır. İlk 47 sütun girdi verisi, 48. sütun ise çıktı verisi olarak YSA modeline Tablo 5.14'teki hali ile aktarılmaktadır.

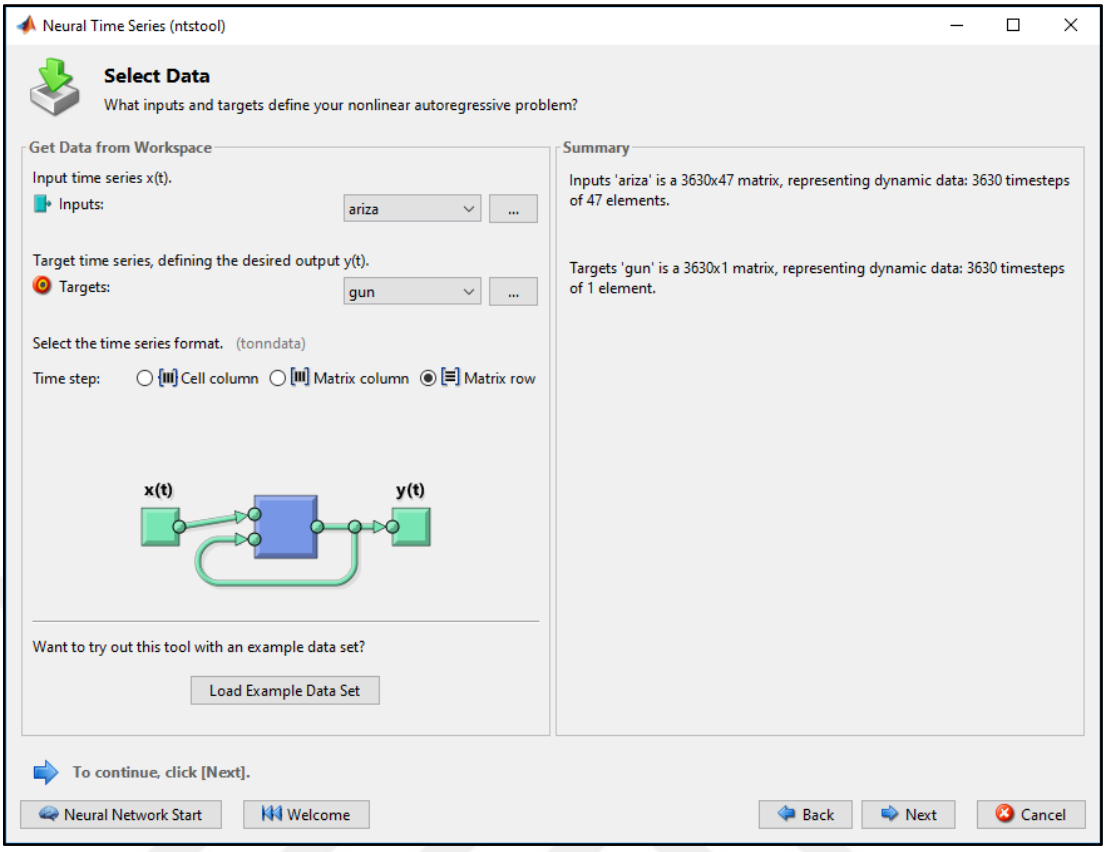
5.2.3 Verilerin Analizi: Yapay Sinir Ağı Modeli

Çözümlenmek istenen problem, geçmişte gerçekleşen ana makine arızalarından yola çıkarak gelecek olayların tahmini olacağı için MATLAB® Yapay Sinir Ağı uygulamalarından 'Zaman Serileri' kullanılarak çözüm elde edilmektedir. Şekil

5.8'deki zaman serisi model seçiminden başlayarak, Şekil 5.21'e kadar, MATLAB® Zaman Serisi modelinin oluşumu, eğitimi, çıktılarının değerlendirilmesi ve gelecek tahminine kadar yapılan bütün işlemler, sırasıyla gösterilmektedir.



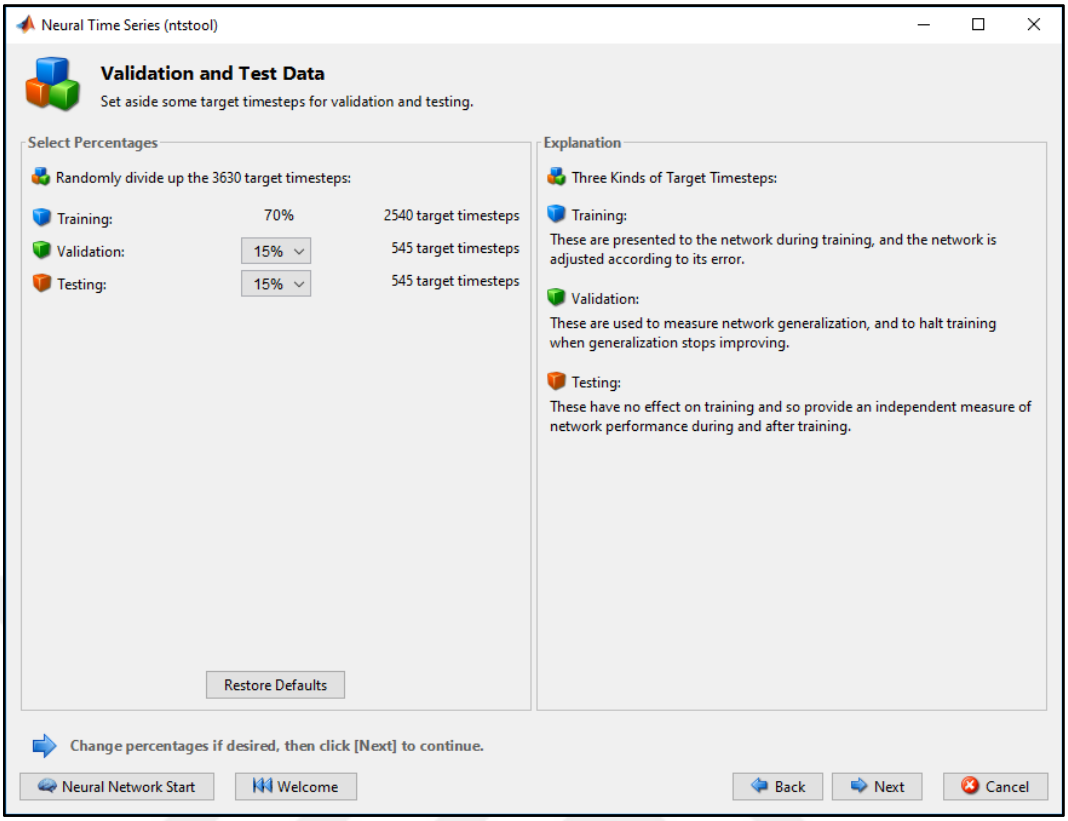
Şekil 5.8 Zaman serisi algoritma seçimi



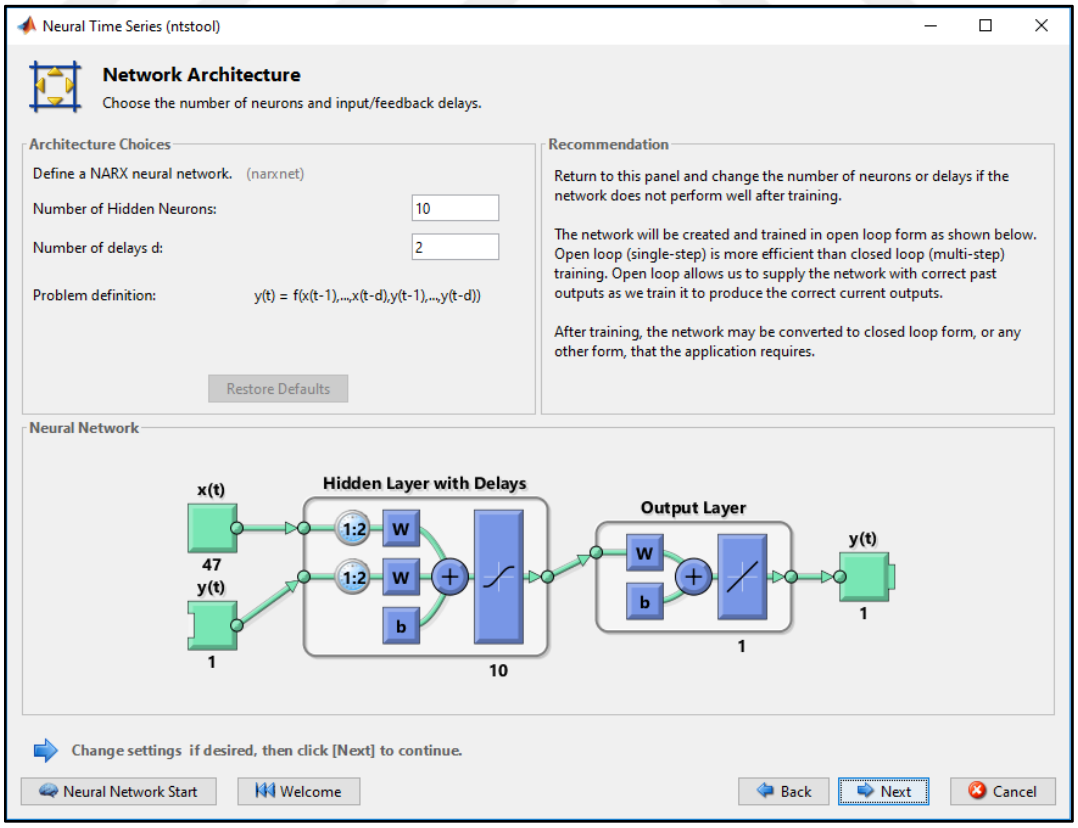
Şekil 5.9 Veri setinin tanıtılması

Şekil 5.9'da, problemin çözümünde kullanılacak veri setinin sisteme tanıtımının nasıl yapıldığı gösterilmektedir. 'Input' olarak 3630 gün boyunca kaydının tutulduğu 47 adet komponentin arıza verisini içeren 3630x47'lik matris seçilmektedir. 'Target' verisi ise 1. günden 3630. güne kadar olan verilerin toplandığı günlerdir ve 3630x1'lik matris ile ifade edilmektedir. 'Time step' bölümünde 'Matrix row' seçilmesi, verilerin satırlarda yer almasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.10'da örnek veri setinin bölmelendirilmesi yapılmaktadır. 'Training' verisi ağı eğitirken kullanılacak olan verilerin yüzdesini göstermektedir ve toplamda 2540 adet örnek içermektedir. 'Validation' verisi ağı eğitirken doğrulama için kullanılan örneklerdir ve 545 tanedir. 'Testing' verisi ise ağın eğitimi bittikten sonra test için kullanılan 545 adet örnektir. Örnek setini bölerken kullanılan sırasıyla %70, %15 ve %15 değerleri programın kendinin ilk açılışta seçtiği değerlerdir ve değiştirilmeden kullanılmaktadır. Çünkü diğer benzer uygulamalar incelendiğinde bu değerlere yakın seçimler yapıldığı, 'Training' için çoğu durumda %80'in aşılmadığı görülmektedir.



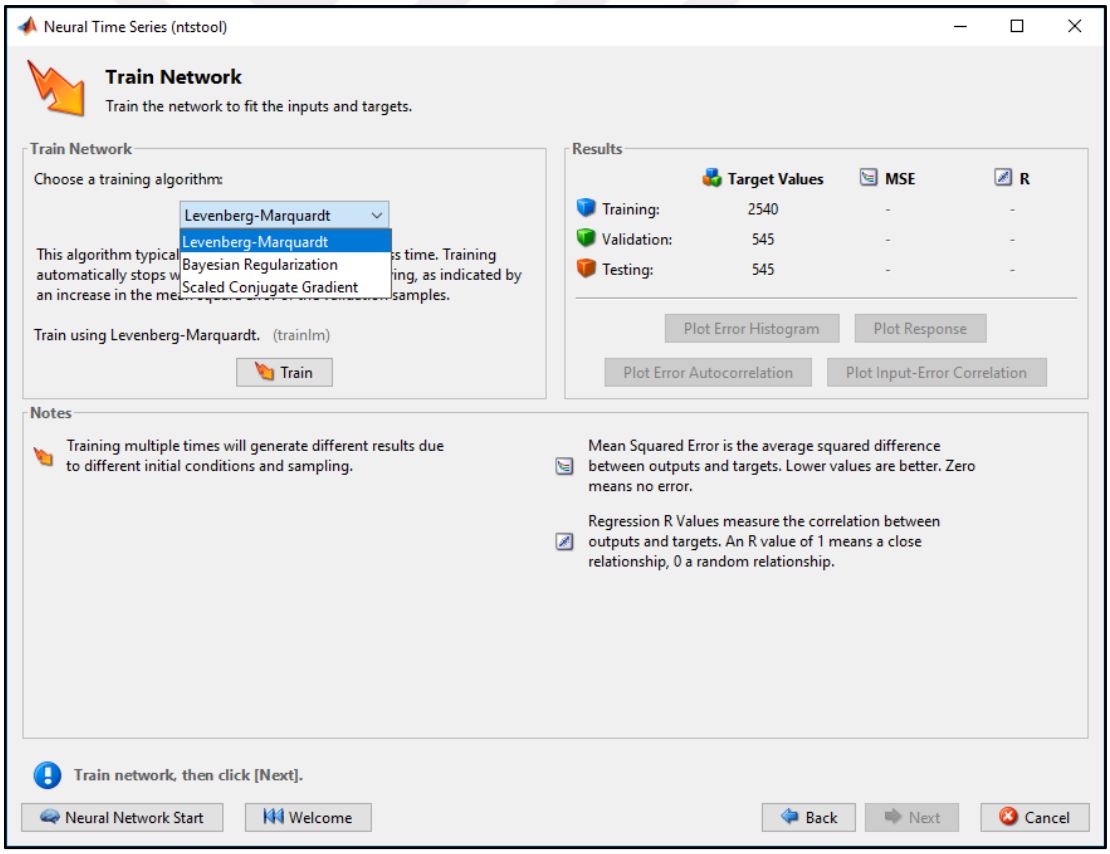
Şekil 5.10 Veri setinin bölünmesi



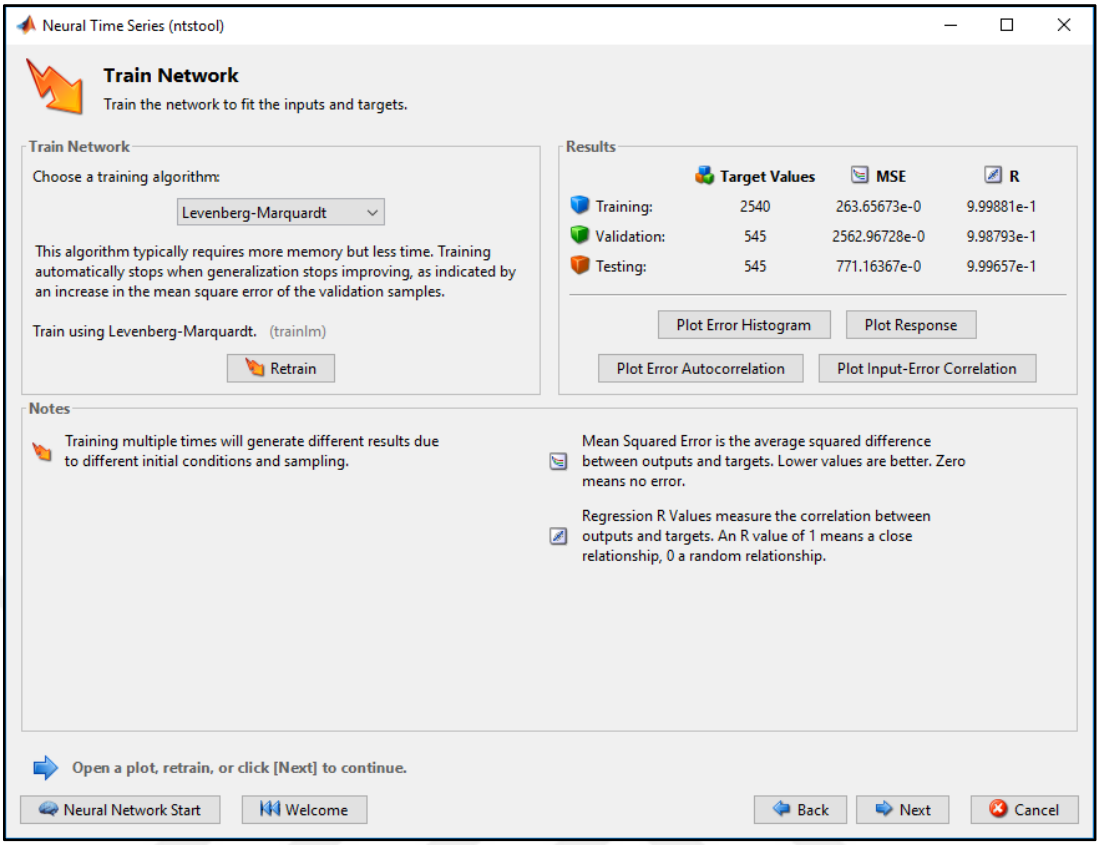
Şekil 5.11 Ağ yapısı

Şekil 5.11'de ağın yapısı gösterilmektedir. 'Number of Hidden Neurons' ile gizli katmanda bulunan nöronların sayısı belirlemekte, 'Number of delay d' ile de ağın gecikmesinin ne olacağına karar verilmektedir. Gecikmenin amacı, ağın öğrenme işlemine geçmeden önce verileri hafızasında tutarak daha sonra öğrenmeye başlamasıdır. Çözülen problemde bu değer 2 olup, ilk 2 günün verilerinin hafızada tutulduktan sonra 3. gün ile beraber öğrenmeye geçilmektedir.

Şekil 5.11'den sonraki aşama olan eğitim algoritmasının seçimi, Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Zaman serileri için yazılım bize 3 farklı eğitim algoritması sunmaktadır. Seçim penceresinin altında yazdığı gibi Levenberg-Marquardt (LM) algoritmasının seçim sebebi, yapay sinir ağlarının eğitiminde sağlamış olduğu hız ve kararlılıktır.



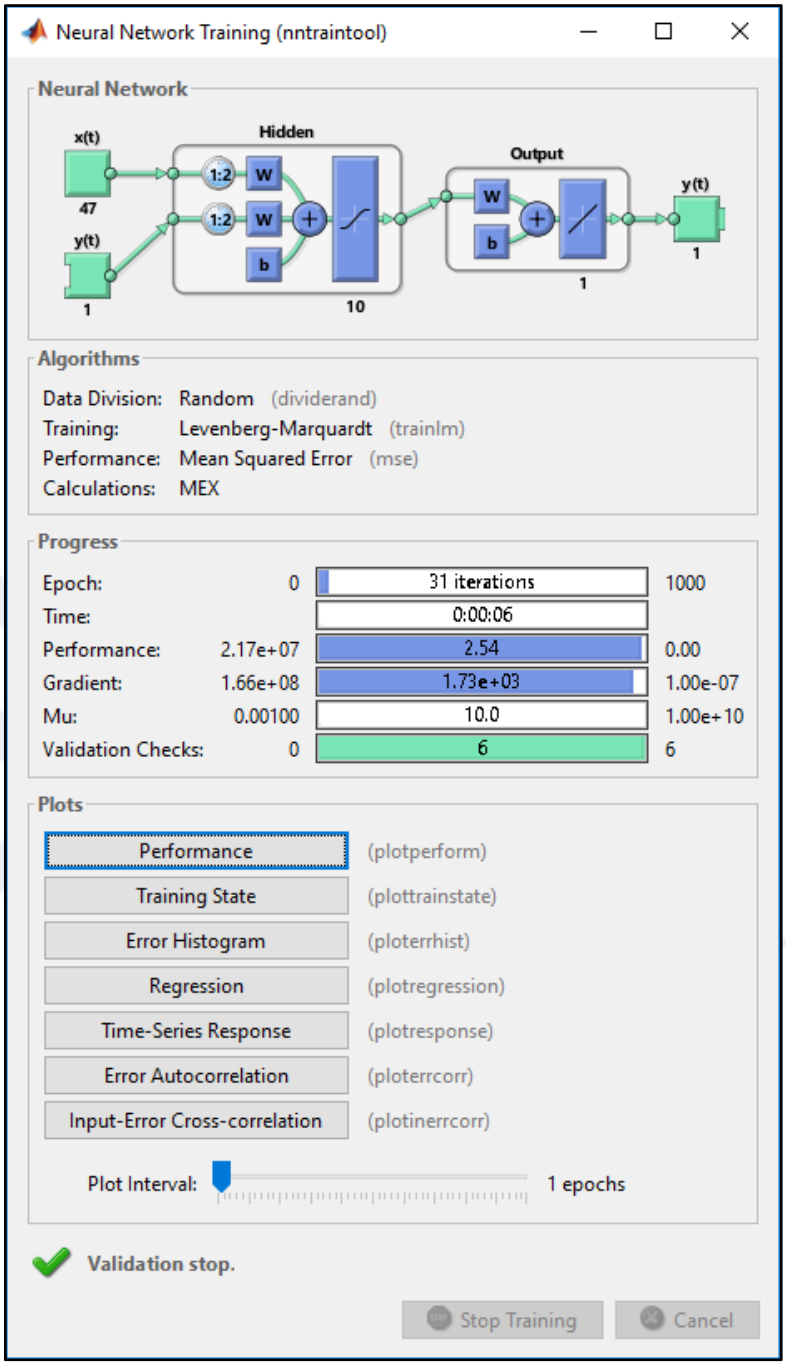
Şekil 5.12 Eğitim algoritmasının seçimi



Şekil 5.13 Yapay sinir ağının eğitimi

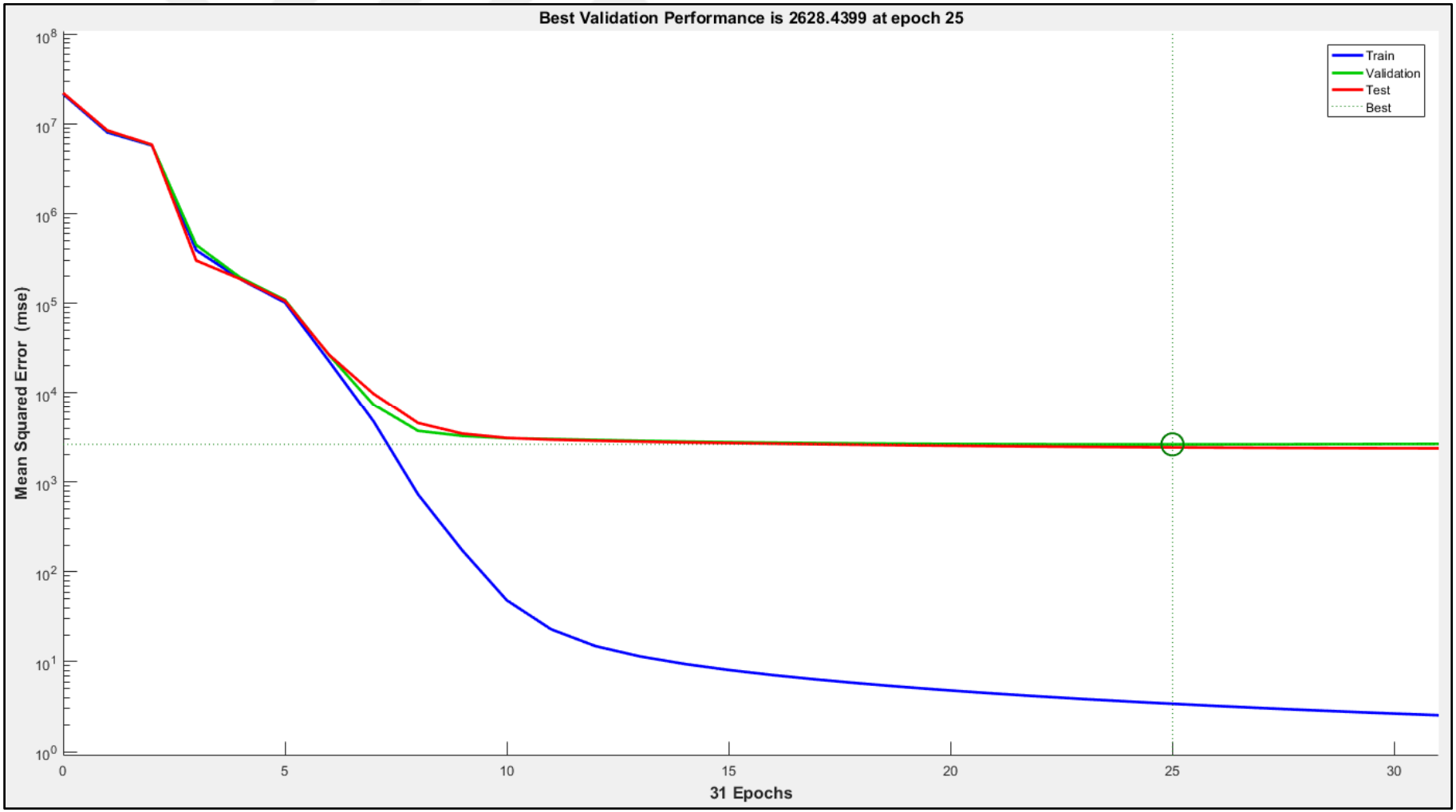
Levenberg-Marquardt yöntemi ile eğitilen ağın regresyon değerleri ve ortalama hata kareleri Şekil 5.13'de gösterilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi ortalama hata kareleri, çıktılar ve hedeflerin arasındaki ortalama karesel farktır. Sıfıra yaklaşması hatanın azalması anlamını taşımaktadır. Regresyon 'R' değeri de çıktılar ve hedefler arasındaki korelasyonu ölçmektedir. Bu değer, 0 ile 1 aralığındadır ve 1 yakın ilişkiyi gösterirken, 0 rastgele bir ilişki anlamına gelmektedir.

Örnek setinin %70'i ile eğitilen ve sonrasında %15'i ile doğrulanmakta, kalan %15'lik kısmıyla da test edilen yapay sinir ağına ait sonuç değerleri Şekil 5.14'te görülmektedir.

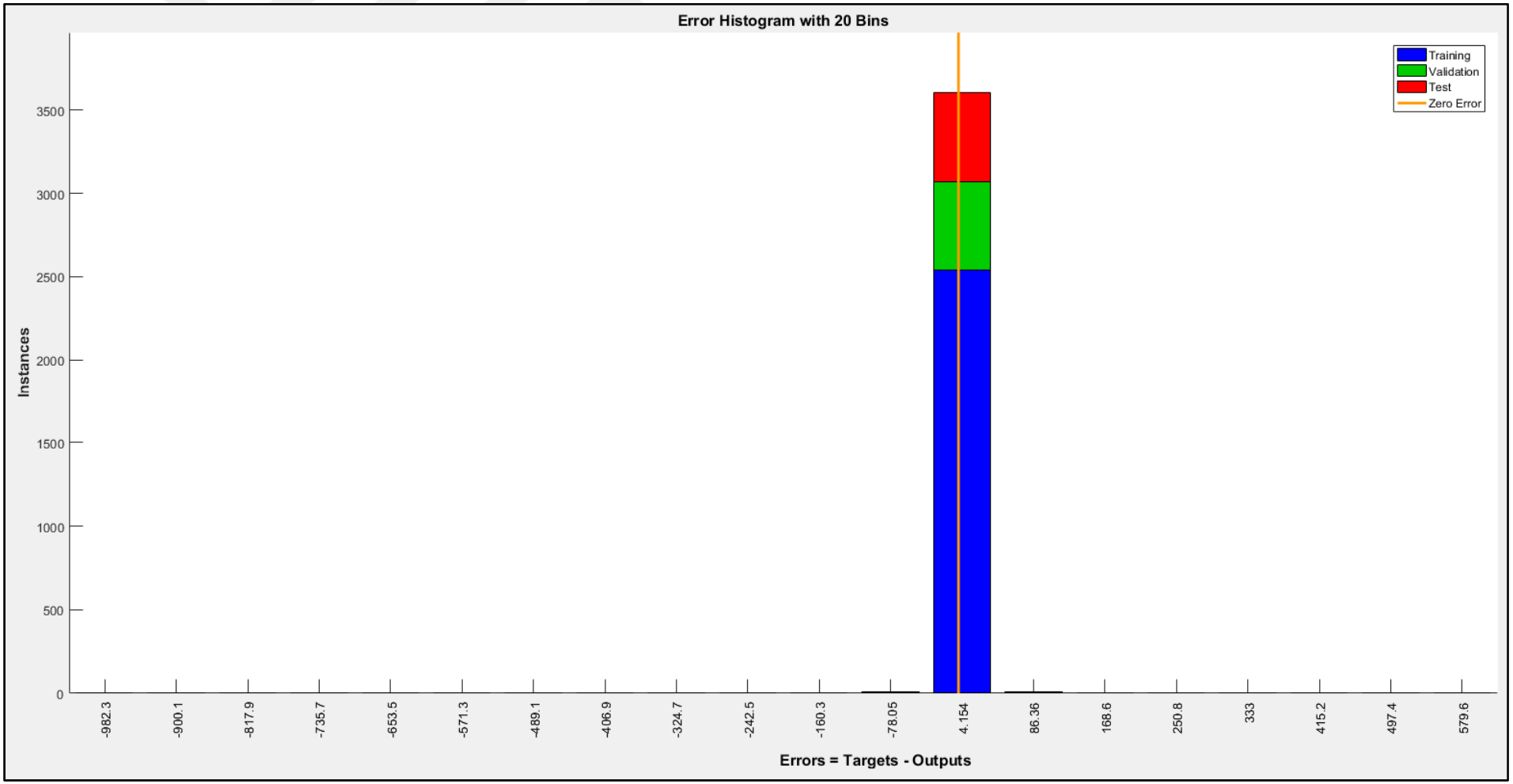


Şekil 5.14 Yapay sinir ağının sonuçları

Şekil 5.14'te 'Validation Checks' değeri en küçük hata değerine ulaştıktan sonra denenen iterasyon sayısını ifade etmektedir. Bu en küçük değer 25. denemede elde edilmekte, fakat üzerine 6 deneme daha eklenerek toplamda 31 deneme ile ağ doğrulanmaktadır. İterasyonlar ve hata değerleri Şekil 5.15'te açıkça gösterilmektedir.

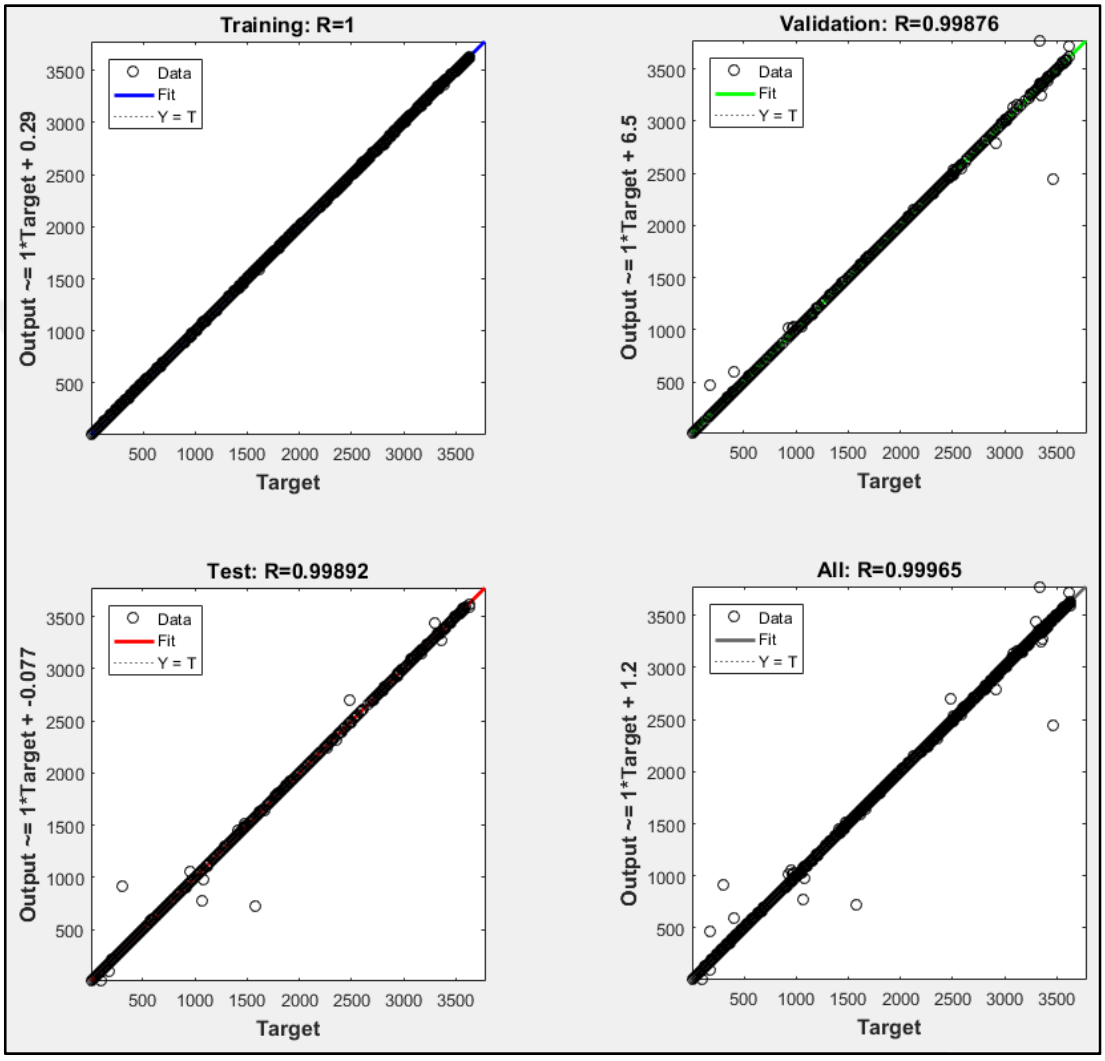


Şekil 5.15 Yapay sinir ağının doğrulanması



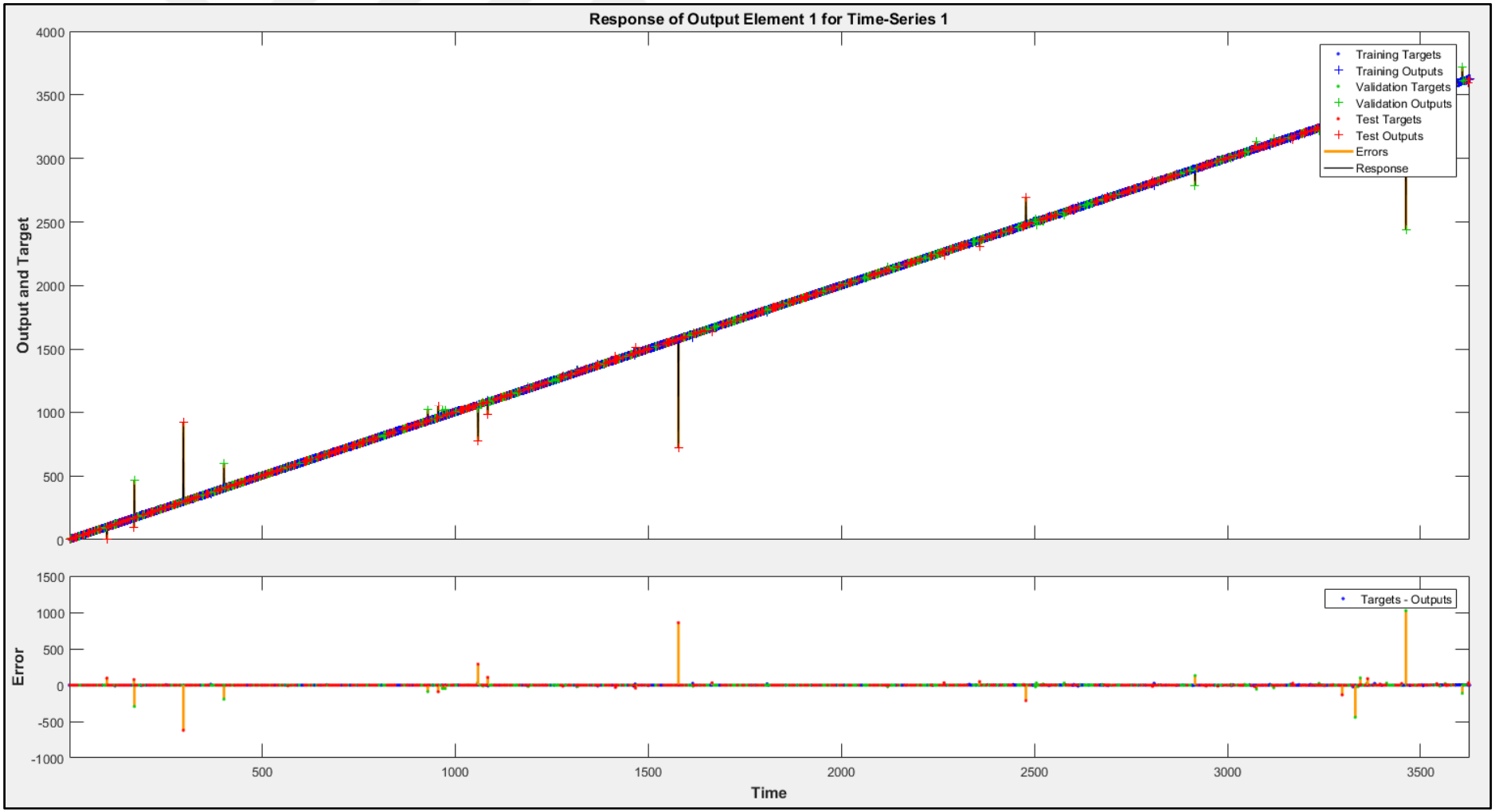
Şekil 5.16 Hata diyagramı

Şekil 5.16'da eğitim, doğrulama ve test aşamalarında olması gereken çıktı değerlerinden (hedefler) ne kadar hata ile tahmin edildiği gösterilmektedir. Bu çalışma için ortalama sapma 4 gündür. Örneğin; 750. günün verisi, ortalama olarak 754. gün olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 5.17 Yapay sinir ağının regresyon değerleri

Şekil 5.13'te de görüldüğü gibi ağa ait regresyon değerleri Şekil 5.17'de detaylı olarak grafik halinde gösterilmektedir. Değerlerin 1'e yakınlığı uygulanan çözümün doğruluğunu göstermektedir.

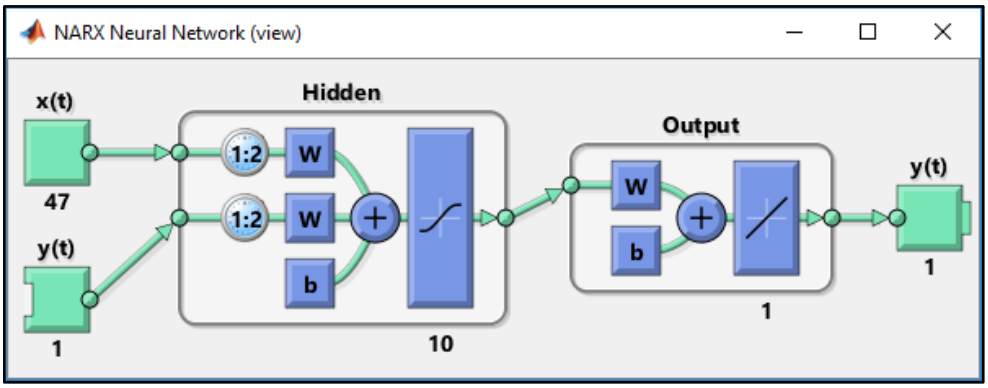


Şekil 5.18 Yapay sinir ağının örnek seti sonuçları

Şekil 5.18'de ise ağın eğitim, doğrulama ve test aşamalarında, girdi değerleri kullanılarak oluşturulan çıktı değerinin hedef değerlerden ne kadar farklı olduğu gösterilmektedir.

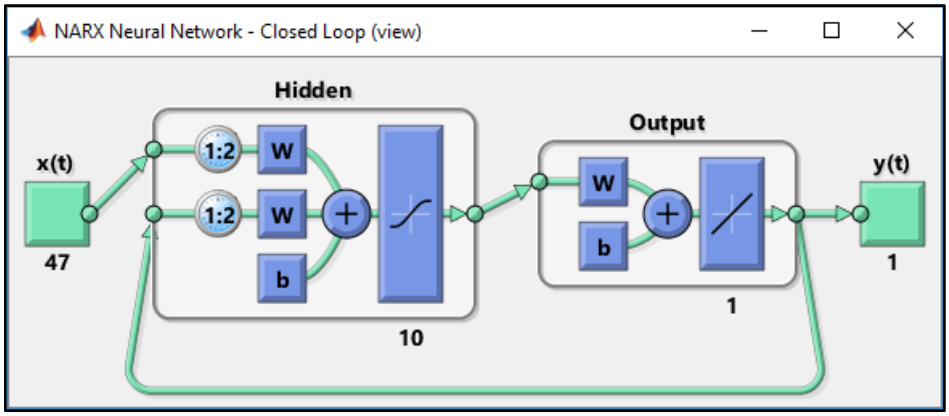
Şimdiye kadar yapılan bütün işlemlerin, 3630 günlük arıza geçmişi kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulma üzerine olduğu görülmektedir. Çalışmada ana amaç, geçmiş arıza verileri kullanılarak gelecekte hangi ekipmanın yaklaşık hangi günde arıza vereceğinin tahmin edilmesidir. Bütün yorumlar yapılırken bugünün 3630. gün olarak düşünüleceği unutulmamalıdır.

Eğitilen, doğrulanan ve test edilen, sonunda da 1'e yakın regresyon değerlerine ulaşan yapay sinir ağı modeli, gelecek tahmini yapabilmek için simüle edilmektedir. Bu işlem için MATLAB® yazılımının yapay sinir ağı modülü doğrudan kullanılmayıp, problem kod yazılarak çözülmektedir. Ekler bölümünde; yazılan bilgisayar programı kodunun, 105 nolu komponente ait içeriği, Ek-1 adıyla yer almaktadır. Programa kod ile müdahale edilmesinin sebebi, örnek seti kullanılarak oluşturulan YSA'nın ağırlık değerlerinin değiştirilmeden kullanılmak istenmesidir.



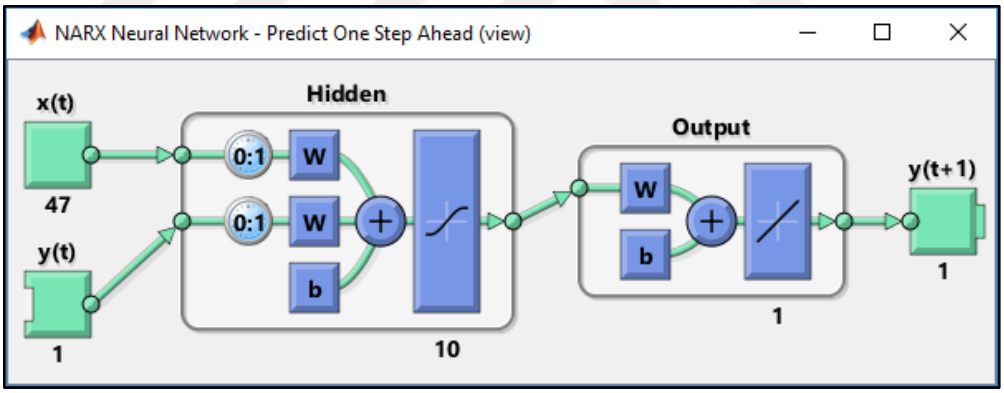
Şekil 5.19 Yapay sinir ağı diyagramı

İlk aşamada Şekil 5.19'da görülmekte olan ağ, gelecek tahmini yapmaya uygun değildir. Bu sebeple, ilk önce ağın giriş katmanındaki y(t)'nin ortadan kaldırılarak ağın eğitim sırasında sahip olduğu ağırlık değerleri ile kapalı döngü tahmini yapılmaktadır. Şekil 5.20'de kapalı döngüye çevrilmiş yapay sinir ağı görülmektedir.



Şekil 5.20 Yapay sinir ağı kapalı döngü diyagramı

Sonrasında ise, tahmin edilmesi istenen girdi değerleri ağa sunulmaktadır. Tahmin aşamasında gecikme değeri sıfırlanmakta, çünkü ağ artık öğrenmesini tamamlamakta ve ağırlık değerleri belli olmaktadır. Belirlenen ağırlık değerleri kullanılarak gelecek tahmini yapılmaktadır. Şekil 5.21'de verilen, gelecek tahmininde kullanılan ağın sonuçları Tablo 5.15'te sunulmaktadır.



Şekil 5.21 Yapay sinir ağı tahmin diyagramı

Tablo 5.15 Komponentlerin geçmiş arıza ve tahmini bir sonraki arıza verisi

Komp, no	Geçmiş arıza günü	Tahmini bir sonraki arıza	Komp. no	Geçmiş arıza günü	Tahmini bir sonraki arıza
105	119, 367, 2916, 2929, 3378	3719	**530**	967, 974, 1467, 2120, 2608, 3076	***3625***
110	169, 1465, 1495	3648	**535**	2711, 3624	3665
205	1029, 3431, 3449, 3568, 3627	3684	**540**	1688, 3298	3644
210	3120, 3319	3723	**545**	1579, 2504, 2505	3742
215	1107, 3071, 3401, 3608	3999	**550**	992	4024
220	2967	3797	**555**	1, 2478	3656
225	252, 362, 429, 567, 1072, 1084, 1085, 2331, 2618, 2671, 2690, 2916, 2957, 3121, 3202, 3221, 3227, 3232, 3289, 3563	4228	**560**	2500, 2596, 2597, 2934, 2981, 2987, 3095, 3141, 3353	3724
230	2691, 3328, 3505	3648	**605**	2969, 3327, 3343, 3364, 3629	3716
235	3063, 3109, 3185	3684	**610**	2627, 2699	3766
240	187, 668, 1059, 2380, 2600	3723	**615**	3579	3711
245	2608, 3195	3999	**620**	3332	3750
250	2296	3797	**705**	401, 1259, 3058, 3400	3649
255	2598	4228	**710**	1316, 1318, 1370, 1616, 2811, 3326, 3610	3663
260	1510	3656	**715**	401	3666
305	1579	3663	**720**	297, 2296, 2614, 2781, 2826, 3164, 3195, 3216, 3459, 3475, 3507, 3551	4124
405	2781, 2910, 2949, 3044, 3237	3801	**805**	2237, 2465, 3169, 3325, 3361, 3381, 3451, 3542, 3564	3708
410	3200, 3226	3698	**810**	1257, 1417, 1579, 1666, 3010, 3389, 3509, 3586, 3609, 3611	3712
415	1059, 1243, 1247, 1249, 1266, 2359, 3412	***3614***	**815**	3339, 3627	4270
420	2523, 2602, 2945, 2975, 3615	3681	**820**	3485, 3592	3681
505	2576, 2583, 2965, 2979, 2985, 3107, 3219, 3246, 3288, 3345, 3458	3700	**905**	98, 2216, 2465, 2806, 3453, 3493	3654
510	1463, 1809, 1810, 2578, 2596, 3014, 3178, 3192, 3252, 3344	3876	**910**	2539, 2788, 3111, 3364	3646
515	2267, 2870, 2887, 3002, 3124, 3172, 3198, 3272, 3395	3681	**915**	3459, 3462	3700
520	956, 2677, 2830, 2907, 3459	3661	**920**	1189, 1280, 1416, 3579	3746
525	929, 1501, 2445, 2470, 2472, 2567, 2694, 2696, 2812, 2838, 2840, 3129	3654			

Tablo 5.15 yorumlanacak olursa; geminin 410 nolu komponenti geçmişte 3200. ve 3226. günlerde arıza vermektedir. Gelecekte ise, 3698. gün yine arıza verebilme olasılığına sahiptir. Bu bilginin önceden bilinmesi bakım, durum izleme, gerekli eksik malzeme tedariği ve bütün planlama süreçlerine dahil edilmesini

sağlamaktadır. Ayrıca planlı bakım proseslerinde yer alan günlük, haftalık, aylık veya çalışma saati esaslı bakım işlemlerinin yeniden değerlendirilmesi için önemli bilgiler elde edilmektedir.

Tablo 5.15'te yer alan bütün komponentler düşünüldüğünde, aynı yorum diğer ekipmanlara da yapılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, yöntemin yaklaşık değerler üretmesinden dolayı 415 ve 530 nolu komponentlerin gelecek arıza tahmini, günümüz olan 3630. günden daha öncesinde bulunan 3614. ve 3625. günü göstermekte olmasıdır. Bunun yorumu ise, arıza kayıtlarında henüz yeni arızası bulunmayan 415 ve 530 nolu iki komponentin yakın zamanda arıza verme ihtimalinin bulunması olarak yapılmaktadır.

BÖLÜM ALTI
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Ticari gemi işletmecisi olan her şirketin emniyetli yönetim sistemine sahip olması gerektiği ISM Kod'da belirtilmektedir. Gemi ile ilgili geçmiş bilgilerin ve gelecek planlarının kayıt altına alındığı bu sistem, makine ve teçhizatlara ait her türlü veriyi içermektedir. Gemi sayısı ve çeşidi gün geçtikçe artmakta, karmaşık tasarımlar oluşmakta ve bu dai bakım organizasyonlarının gerekliliğini doğurmaktadır. Günümüzde; yüksek kullanılabilirlik, düşük maliyet, uzun donanım ömrü, yüksek güvenilirlik, daha iyi ürün kalitesi, güvenlik bütünlüğü, çevre bütünlüğü ve sonuçları izleme, bir sistemden beklenenler olarak sıralanmaktadır. Bu istekler, denizcilikte de değişmeden yerini almaktadır. Gemi işletmeci şirketler; düşük ilk yatırım maliyeti ile, uzun seneler kullanabileceği, aynı anda emniyetli, düşük işletme maliyetine sahip, kaliteli, çevreye minimum etkisi olan ve uluslararası kural ve prosedürlere uygun gemilere sahip olmak istemektedir. Bunun için; durum izleme, hata modları ve etkileri analizi, bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri, güvenilirlik merkezli bakım ve toplam üretken bakım gibi teknikler, beklenenleri karşılamak için kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile hedeflenen; herhangi bir gemi işletmeci şirketin kayıtlarında yer alan geçmiş arıza verilerinin kullanılarak, gelecekte hangi ekipmanın ne zaman arıza vereceğinin tahmin edilmesi istenmektedir. Bu sebeple, literatürde tahminleme için sıkça kullanılmakta olan *Yapay Sinir Ağları* yöntemine başvurulmaktadır. Geçmiş arıza verileri ile yapay sinir ağı eğitilmekte, sonrasında ise gelecek arıza tahmini için aynı ağ simüle edilmektedir. Şekil 5.21'de diyagramı gösterilen yapay sinir ağı kullanılarak, gelecekte hangi komponentin ne zaman arıza vereceği tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Komponentlere ait; geçmiş arıza kayıtları ve gelecekte hangi günde muhtemel arıza olacağına ilişkin değerler Tablo 5.15'te gösterilmektedir. Değerlendirme yaparken şu an ki günün 3630. gün olduğu unutulmamalıdır. 3631. gün dahil bütün günler çalışma için gelecek olarak tanımlanmaktadır.

Yapay sinir ağının daha iyi tahmin değerleri üretebilmesini sağlama önerisi ise; 3630. günün sonrasındaki günlerde elde edilen arıza verilerinin yapay sinir ağına tanıtılmasının gerekliliği olarak sunulmaktadır. Gelecek arıza verilerinin ağa tanıtılma işlemi, problemin amacına doğrudan uymakta ve tahmin için daha hassas bir çalışma yapmayı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Acar, B. (2001). *Gemi bakım tutumunda karlılığı artırıcı yeni stratejiler ve Ram/shipnet projesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Akyüz, E. ve Çelik, M. (2017). Using of A'WOT to design an enhanced planned maintenance system (E-PMS) on-board ship. *Brodogradnja, 68*(1), 61-75.

Alhouli, Y. (2011). *Development of ship maintenance performance measurement framework to assess the decision making process to optimise ship maintenance planning*. Doktora Tezi, University of Manchester, Manchester.

Analytics vidhya, (2017). *Fundamentals of Deep Learning – Starting with Artificial Neural Network*. 25 Ekim 2017, https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/03/introduction-deep-learning-fundamentals-neural-networks/.

Anderson, P. (2015). *The ISM Code: A Practical Guide to the Legal and Insurance Implications*. CRC Press.

Aras, S. (2013). *Yapay sinir ağlarıyla zaman serisi tahminlemesinde yeni bir model seçim stratejisi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Asilkan, Ö. ve Irmak, A. G. S. (2009). İkinci el otomobillerin gelecekteki fiyatlarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14*(2).

Ataseven, B. (2007). *Satış öngörü modellemesi tekniği olarak yapay sinir ağlarının kullanımı: Petkim'de uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

Ayyub, B. M., Beach, J. E., Sarkani, S., ve Assakkaf, I. A. (2002). Risk analysis and management for marine systems. *Naval Engineers Journal, 114*(2), 181-206.

Baraçlı, H., Coşkun, S., ve Sezer, A. (2001). Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği. *1. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1,* 274-1.

Beale, M.H., Hagan, M.T., ve Demuth, H.B. (2012). *Neural Network Toolbox User's Guide*. Natick: The Matworks Inc.

Ben-Daya, M., Ait-Kadi, D., Duffuaa, S. O., Knezevic, J., ve Raouf, A. (2009). *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer London.

Bilgili, M., Şimşek, E., ve Şahin, B. (2010). Ege bölgesindeki toprak sıcaklıklarının yapay sinir ağları yöntemi ile belirlenmesi. *Isı Bilimi ve Teknigi Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology, 30*(1).

Bitros, G. G. C. ve Kavussanos, M. G. (2005). A cross sectional analysis of ship maintenance expenses.

Cang, V. T., Dung, V. A., Thien, D. M., ve Bich, V. N. (2011). Implementation of the computerized maintenance management systems (CMMS) for the maritime industry. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*.

Carnero, M. C. ve Novés, J. L. (2006). Selection of computerised maintenance management system by means of multicriteria methods. *Production Planning and Control, 17*(4), 335-354.

Cato, W. W. ve Mobley, R. K. (2001). *Computer-managed maintenance systems: a step-by-step guide to effective management of maintenance, labor, and inventory*. Butterworth-Heinemann.

Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., ve Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics, 95*(1), 71-94.

Chauvel, A. M. (1997). *Managing Safety and Quality in Shipping: The Key to Success. A Guide to ISM, ISO 9002, TQM*. Nautical Institute.

Christer, A. H. ve Lee, S. K. (1997). Modelling ship operational reliability over a mission under regular inspections. *Journal of the Operational Research Society, 48*(7), 688-699.

Christer, A. H. ve Waller, W. M. (1984). An operational research approach to planned maintenance: modelling PM for a vehicle fleet. *Journal of the Operational Research Society,* 967-984.

Controleng, (2017). *Improve CMMS implementation in 10 ways*. 13 Haziran 2017, http://bt.e-ditionsbyfry.com/publication/?i=417352#{"issue_id":417352,"page":28}.

Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Sola Rosique, A., ve Gómez Fernández, J. F. (2016). Criticality analysis for maintenance purposes: A study for complex in□ service engineering assets. *Quality and Reliability Engineering International, 32*(2), 519-533.

Çayıroğlu, İ. (2017). *İleri algoritma analizi-5 yapay sinir ağları*. 25 Ekim 2017, http://www.ibrahimcayiroglu.com/dokumanlar/ilerialgoritmaanalizi/ilerialgoritmaanalizi-5.hafta-yapaysiniraglari.pdf.

Çebi, S., Çelik, M., ve Kahraman, C. (2008). Gemi sistemleri için entegre bakım-onarım yönetimi gereksiniminin analizi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, *3*(4), 17-24.

Çelik, B. (2008). *Yapay sinir ağları metodolojisi ile zaman serisi analizi: Teori ve uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering & System Safety, 51*(3), 229-240.

Demuth, H. B., Beale, M. H., De Jess, O., ve Hagan, M. T. (2014). *Neural network design*. Martin Hagan.

Deris, S., Omatu, S., Ohta, H., Kutar, L. C. S., ve Samat, P. A. (1999). Ship maintenance scheduling by genetic algorithm and constraint-based reasoning. *European Journal of Operational Research, 112*(3), 489-502.

Dev, A. K. ve Saha, M. (2015). Modeling and analysis of ship repairing time. *Journal of Ship Production and Design, 31*(2), 129-136.

Dev, A. K. ve Saha, M. (2016). Modeling and analysis of ship repairing labor. *Journal of Ship Production and Design, 32*(4), 258-271.

Duffuaa, S. O., Raouf, A., ve Campbell, J. D. (2000). *Planning and control of maintenance systems*. Wiley and Sons, 31-32.

Durán, O. (2011). Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. *Advances in Engineering Software*, *42*(10), 821-829.

Er, E. (2004). *Bakım yönetimi ve bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinin Türkiye'de uygulanma düzeyi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Eren, B., Yaqub, M., ve Eyüpoğlu, V. (2016). Polimer içerikli membran verimi tahmininde yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarının değerlendirilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20*(3), 533-542.

Erginer, K. E. (2003). *Armatör İşletmelerinin Teknik Kabiliyetlerinin Artırılmasında Bilgi Sistemleri Yaklaşımı ve Uluslararası Güvenlik Yönetimi (ISM) Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Eroğlu, A. (2008). Planlı bakım sistemleri için bazı stokastik yenileme modelleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *13*(2).

Faraway, J. ve Chatfield, C. (1998). Time series forecasting with neural networks: a comparative study using the air line data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 47*(2), 231-250.

Gaonkar, R. S. P., Xie, M., Ng, K. M., ve Habibullah, M. S. (2011). Subjective operational reliability assessment of maritime transportation system. *Expert Systems with Applications, 38*(11), 13835-13846.

Garg, A. ve Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12*(3), 205-238.

Görener, A. ve Yenen, V. Z. (2007). İşletmelerde toplam verimli bakım çalışmaları kapsamında yapılan faaliyetler ve verimliliğe katkıları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6*(11), 47-63.

Graupe, D. (2013). *Principles of artificial neural networks*. World Scientific.

Gurumeta, E. M., Cide, I. S., ve Factory, E. N. (2007). Reliability centered maintenance. In *9th International Conference Electrical Power Quality and Utilization*, 298-302.

Gürbüz, H. ve Cömert,, E. (2012). Bakım planlama faaliyetlerinde tamsayılı doğrusal programlama ve bir uygulama. *Türkiye Cumhuriyeti Giresun Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 101.

Güven, E. N., Onur, H., ve Sağıroğlu, Ş. (2008). Yapay sinir ağları ile web içeriklerini sınıflandırma. *Bilgi Dünyası, 9*(1), 158-178.

Hamzaçebi, C. (2005). *Geleceği tahminde yapay sinir ağları için sezgisel öğrenme algoritması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay sinir ağları: tahmin amaçlı kullanımı MATLAB ve Neurosolutions uygulamalı*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.

Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağlari ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19*(3).

Hayman, B., Dogliani, M., Kvale, I., ve Fet, A. M. (2000). Technologies for reduced environmental impact from ships - ship building, maintenance and dismantling aspects. *ENSUS-2000, Newcastle upon Tyne, UK*.

He, X. ve Xu, S. (2010). *Process neural networks: Theory and applications*. Springer Science & Business Media.

Hetherington, C., Flin, R., ve Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. *Journal of safety research, 37*(4), 401-411.

IMO, (2003). *ISPS Code*. 01 Haziran 2017, http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DISGM/tr/HTML/20130304_142647_66968_1_67502.pdf.

IMO, (2016). *Guidance for IACS Auditors to the ISM Code*. 13 Haziran 2017, http://www.iacs.org.uk/media/2601/rec_41_pdf189.pdf.

Jardine, A. K. ve Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications*. CRC Press.

Jones, K. ve Collis, S. (1996). Computerized maintenance management systems. *Property management, 14*(4), 33-37.

Kaio, N. ve Osaki, S. (1978). Optimum planned maintenance with salvage cost. *The International Journal of Production Research, 16*(3), 249-257.

Kaio, N. ve Osaki, S. (1980). Optimum planned maintenance with discounting. *International Journal of Production Research, 18*(4), 515-523.

Kans, M. (2008). An approach for determining the requirements of computerised maintenance management systems. *Computers in Industry, 59*(1), 32-40.

Karahan, M. (2015). Yapay sinir ağları metodu ile ihracat miktarlarının tahmini: ARIMA ve YSA metodunun karşılaştırmalı analizi. *Ege Academic Review, 15*(2).

Kocatepe, C. İ. (2017). *Ekonomik endeksler kullanılarak Türkiye'deki altın fiyatındaki değişim yönünün yapay sinir ağları ile tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Korka, J. W., Oloufa, A. A., ve Thomas, H. R. (1997). Facilities computerized maintenance management systems. *Journal of architectural engineering, 3*(3), 118-123.

Köksal, M. (2015). *Bakım planlaması* (2. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Kriesel, D. (2009). *A brief introduction to neural networks*. 27 Ekim 2017, http://www. dkriesel.com.

Krygin, A. A. (2010). Optimizing planned maintenance graphs for collections of engineering network sections. *Automation and Remote Control, 71*(9), 1816-1832.

Lazakis, I., Turan, O., Alkaner, S., ve Olcer, A. (2009). Effective ship maintenance strategy using a risk and criticality based approach. In *13th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2009)*.

Lazakis, I., Turan, O., ve Aksu, S. (2010). Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy. *Ships and Offshore Structures, 5*(4), 337-357.

Li, Y., Yao, Z., Huang, J., ve Xu, Y. (2011, June). Study on comprehensive evaluation method of ship equipment technical condition. In *Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (ICQR2MSE), 2011 International Conference on,* 702-705. IEEE.

Lyonnet, P. (1991). *Maintenance planning: Methods and mathematics*. 04 Nisan 2017, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=wXjwCAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP7&dq=maintenance+planning,+methods+and+mathematics&ots=6Svu1kMoWH&sig=OFYxZObaTkRRK6QHcjzt8bid3So&redir_esc=y#v=onepage&q=maintenance%20planning%2C%20methods%20and%20mathematics&f=false.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., ve Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. John Wiley & Sons.

Márquez, A. C. (2007). *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. New York: Springer Science & Business Media.

Mirghani, M. A. (2001). A framework for costing planned maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 7*(3), 170-182.

Mobley, R. K. (2008). *Introduction to the theory and practice of maintenance, Maintenance engineering handbook* (7. Baskı). New York: McGraw-Hill.

Mokashi, A. J., Wang, J., ve Vermar, A. K. (2002). A study of reliability-centred maintenance in maritime operations. *Marine Policy, 26*(5), 325-335.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. 04 Nisan 2017, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=bNCVF0B7vpIC&oi=fnd&pg=PR11&dq=reliability+centered+maintenance&ots=29XjzK7k9D&sig=YavkNSmt3-jMaldVmZZa-hKpSQg&redir_esc=y#v=onepage&q=reliability%20centered%20maintenance&f=false.

Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., ve Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics, 131*(1), 295-302.

Nas, S. (2012). Emniyet ve güvenlik sözcükleri üzerine bir çalışma. *Denizcilik Dergisi, 60*, 18-22.

Nguyen, T. V. ve Nelson, H. W. (2001). A systems approach to machinery condition monitoring and diagnosis. In *NDIA: Proceedings of the 4th annual systems engineering conference*.

O'Hanlon, T. (2004). CMMS best practices. *Maintenance Journal, 17*(3), 19-22.

O'Hanlon, T. (2005). Computerized maintenance management and enterprise asset management best practices. *Retrieved on Nov, 15*, 2009.

Özcan, E. C. ve Eren, T. (2014). Bakım planlamasında TOPSIS yöntemi uygulaması: Doğalgaz kombine çevrim santrali örneği. *International Journal of Engineering Research and Development, 6*(2).

Özkan, F. (2012). Döviz kuru tahmininde parasal model ve yapay sinir ağları karşılaştırması. *Business & Economics Research Journal, 3*(1).

Özkan, M. T., Eldem, C., ve Köksal, E. (2013). Eğilme gerilmesi etkisindeki millerin çentik faktörünün yapay sinir ağları ile belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19*(1), 24-32.

Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları* (3. Baskı). Istanbul: PapatyaYayıncılık.

Priddy, K. L. ve Keller, P. E. (2005). *Artificial neural networks: an introduction*. SPIE press.

Rausand, M. (1998). Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety, 60*(2), 121-132.

Rødseth, O. J., Steinbach, C., ve Mo, B. (2007). The use of technical condition indices in ship maintenance planning and the monitoring of the ship's safety condition. In *Proceedings of the international symposium on maritime, safety, security and environmental protection* (SSE), 20-21.

Rojas, R. (2013). *Neural networks: a systematic introduction*. Springer Science & Business Media.

Sharma, A., Yadava, G. S., ve Deshmukh, S. G. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 17*(1), 5-25.

Shen, Q. (1997). A comparative study of priority setting methods for planned maintenance of public buildings. *Facilities, 15*(12/13), 331-339.

Sherwin, D. (2000). A review of overall models for maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 6*(3), 138-164.

Shippernetix, (2017). *ShipperNetix*, 10 Eylül 2017, http://www.yddo.com.tr/yazilim/shippernetix.html.

Spires, C. (1996). Asset and maintenance management-becoming a boardroom issue. *Managing Service Quality: An International Journal, 6*(3), 13-15.

Suykens, J. A., Vandewalle, J. P., ve de Moor, B. L. (2012). *Artificial neural networks for modelling and control of non-linear systems*. Springer Science & Business Media.

Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International journal of production economics, 70*(3), 237-244.

Taflı, H. B. (2007). *Tanker işletmeciliğinde iç değerlendirme programı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tari, İ. (2014). *Dünyada gemi bakım-onarım sektörü ve gemi bakım-onarımının ekonomik maliyetinin modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Topaktaş, E. (2011). Gemi bakım ve onarımı. *Engineer & the Machinery Magazine*, (623).

Tovela, P. A. (1996). *Developing an academic programme of machinery maintenance for ship crew and shore personnel in Mozambique*. Yüksek Lisans Tezi, World Maritime University, İsveç.

Turan, O., Ölçer, A. İ., Lazakis, I., Rigo, P., ve Caprace, J. D. (2009). Maintenance/repair and production-oriented life cycle cost/earning model for ship structural optimisation during conceptual design stage. *Ships and Offshore Structures, 4*(2), 107-125.

Türk Loydu, (1995). *Gemi güvenliği ve kirliliğinin önlenmesi ve uluslararası güvenli yönetim kodu*. 01 Haziran 2017, http://www.turkloydu.org/pdf-files/turk-loydu-kurallari/ek-kurallar/gemi-guvenligi-ve-kirliliginin-onlenmesi-gemi-yonetimi-ve-liman-kontrolu.pdf.

Uysal, F. ve Tosun, Ö. (2012). Fuzzy TOPSIS-based computerized maintenance management system selection. *Journal of Manufacturing Technology Management, 23*(2), 212-228.

Uzun, A. (2011). *Bakım planlaması teknikleri ve RCM*. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Ünal, G. (2009). *Güvenilirlik merkezli bakım ve bir endüstriyel uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Visser, J. K., (1998). Modelling maintenance performance: a practical approach. *IMA Conference, Edinburgh*, 1-13.

Xu, X., Fan, S., Huang, H., Zhu, H., ve Wen, Q. (2013). Research on PHM technology application of ship maintenance program optimization. In *Prognostics and Health Management (PHM), 2013 IEEE Conference on,* 1-6. IEEE.

Yegnanarayana, B. (2009). *Artificial neural networks*. PHI Learning Pvt. Ltd..

Yüksek, A. G. (2007). *Hava kirliliği tahmininde çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları yönteminin karşılaştırılması*. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

Zorbacı, B. ve Baynal, K. (2011). Uçak bakım planlamada meydana gelen problemler ve çözüm önerileri.

EKLER

EK-1: 105 Nolu Komponente Ait Gelecek Arıza Tahmini

```
%%%%%%%%%     DATA LOAD   %%%%%%%%%
clear all; clc;
load('database.mat')
Y_output = gun;
X_input = ariza;

%%%%%%%%%%    TRAINING   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Solve an Autoregression Problem with External Input with a NARX Neural
    Network
% Script generated by Neural Time Series app
% Created 13-Nov-2017 11:27:43
%
% This script assumes these variables are defined:
%
%   ariza - input time series.
%   gun - feedback time series.

X = tonndata(ariza,false,false);
T = tonndata(gun,false,false);

% Choose a Training Function
% For a list of all training functions type: help nntrain
% 'trainlm' is usually fastest.
% 'trainbr' takes longer but may be better for challenging problems.
% 'trainscg' uses less memory. Suitable in low memory situations.
trainFcn = 'trainlm';  % Levenberg-Marquardt backpropagation.

% Create a Nonlinear Autoregressive Network with External Input
```

```
inputDelays = 1:2;
feedbackDelays = 1:2;
hiddenLayerSize = 10;
net = narxnet(inputDelays,feedbackDelays,hiddenLayerSize,'open',trainFcn);

% Prepare the Data for Training and Simulation
% The function PREPARETS prepares timeseries data for a particular network,
% shifting time by the minimum amount to fill input states and layer
% states. Using PREPARETS allows you to keep your original time series data
% unchanged, while easily customizing it for networks with differing
% numbers of delays, with open loop or closed loop feedback modes.
[x,xi,ai,t] = preparets(net,X,{},T);

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t,xi,ai);

% Test the Network
y = net(x,xi,ai);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

% View the Network
view(net)

% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotperform(tr)
```

```
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, ploterrhist(e)
%figure, plotregression(t,y)
%figure, plotresponse(t,y)
%figure, ploterrcorr(e)
%figure, plotinerrcorr(x,e)

% Closed Loop Network
% Use this network to do multi-step prediction.
% The function CLOSELOOP replaces the feedback input with a direct
% connection from the outout layer.
netc = closeloop(net);
netc.name = [net.name ' - Closed Loop'];
view(netc)
[xc,xic,aic,tc] = preparets(netc,X,{},T);
yc = netc(xc,xic,aic);
closedLoopPerformance = perform(net,tc,yc)

% Step-Ahead Prediction Network
% For some applications it helps to get the prediction a timestep early.
% The original network returns predicted y(t+1) at the same time it is
% given y(t+1). For some applications such as decision making, it would
% help to have predicted y(t+1) once y(t) is available, but before the
% actual y(t+1) occurs. The network can be made to return its output a
% timestep early by removing one delay so that its minimal tap delay is now
% 0 instead of 1. The new network returns the same outputs as the original
% network, but outputs are shifted left one timestep.
nets = removedelay(net);
nets.name = [net.name ' - Predict One Step Ahead'];
view(nets)
[xs,xis,ais,ts] = preparets(nets,X,{},T);
ys = nets(xs,xis,ais);
```

```
stepAheadPerformance = perform(nets,ts,ys)
%%%%%%%%   PREDICTION   &&&&&&&&&&&&&

% Load test data
%[knownInput, knownY] = load_data('data/test_data.csv');
%[predict_input, unknownY] = load_data('data/test_data_pred.csv');
knownInput=ariza;
knownY=gun;
predict_input=futurecase105;

% Format data
toPredict = tonndata(predict_input,false,false);
X = tonndata(knownInput,false,false);
A = tonndata(knownY,false,false);
[ai,ab,ac] = preparets(net,X,{},A);
[y1,xf,af] = net(ai,ab,ac);

% Close the loop to make multiple preds
[netc,xi,ai] = closeloop(net,xf,af);
[y2,xf,af]= netc(toPredict,xi,ai);
unknown105= y2
```