T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ ŞAFT YATAĞI BOŞLUĞUNUN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÖNGÖRÜSÜ VE HAVUZ BAKIM PLANLAMASI

SOYKAN KALENDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYKUT SAFA

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ ŞAFT YATAĞI BOŞLUĞUNUN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÖNGÖRÜSÜ VE HAVUZ BAKIM PLANLAMASI

Soykan KALENDER tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Aykut SAFA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr Üyesi Aykut SAFA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr Üyesi Yalçın DURMUŞOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışması sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Aykut SAFA başta olmak üzere, bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan değerli ailem ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2019

Soykan KALENDER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

GEMİ GÜÇ VE SEVK SİSTEMLERİ 4

2.1 Tarihçe 4
2.2 Genel Bakış 7
2.3 Konvansiyonel Tahrik Seçenekleri 10
2.3.1 Dizel Makineler 10
2.3.2 Gaz Türbinleri 11
2.3.3 Elektrik Tahrik Sistemleri 12
2.4 Savaş Gemilerinde Ana Tahrik Sistemi Kombinasyonları 13
2.5 Genel Tahrik Ekipmanları 16
2.5.1 Pervane 17
2.5.2 Redüktör ve Pervane Şaftı 18
2.5.3 Şaft ve Sterntüp Yatakları 20

BÖLÜM 3

BAKIM SİSTEMLERİ VE PLANLAMASI 23

3.1 Bakım Sistemlerine Genel Bakış 23
3.2 Bakım Sistemlerinin Faydaları ve Önemi 26
3.3 Bakım Yönetimi ve Planlaması 28
3.3.1 Bakım Yönetimi Tarihsel Gelişimi 28
3.3.2 Bakım Yönetimi 29
3.3.3 Bakım Planlaması 30
3.4 Bakım Yöntemleri 31
3.4.1 Plansız Bakım 32
3.4.2 Planlı Bakım 33
3.5 Güvenilirlik ve Bakım 35
3.5.1 Üretken Bakım (PM) 36
3.5.2 Toplam Üretken Bakım (TPM) 36
3.5.3 Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) 37
3.6 Bakım Yöntemlerinin Genel Değerlendirmesi 39
3.7 Gemi Bakım ve Onarım Faaliyetleri 40
3.7.1 Gemi Havuzlama Faaliyeti 45
3.7.2 Gemi Bakım Sistemi 46

BÖLÜM 4

BAKIM SİSTEMLERİNİ MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ 48

4.1 Giriş 48
4.2 Bakım Tahmin Yöntemleri 49
4.2.1 Niteliksel Tahmin Yöntemleri 51
4.2.2 Niceliksel Tahmin Yöntemleri 51
4.2.2.1 Hareketli Ortalama Yöntemi 52
4.2.2.2 Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi 52
4.2.2.3 Üssel Düzeltme Yöntemi 53
4.2.2.4 Regresyon Analizi 53
4.2.3 Hata analizi 54
4.3 Yapay Sinir Ağları (YSA) 55
4.3.1 Giriş 55
4.3.2 Tarihsel Gelişim 56
4.3.3 YSA'nın Temel Yapısı 57
4.3.3.1 Biyolojik Sinir Hücre Yapısı 57
4.3.3.2 Yapay Sinir Hücre Yapısı 58
4.3.3.3 Yapay Sinir Ağı Yapısı 62
4.3.4 YSA'nın Genel Özellikleri 63
4.3.4.1 Avantajları 64
4.3.4.2 Dezavantajları 65
4.3.5 YSA'nın Sınıflandırılması 66
4.3.5.1 Bağlantı Tipine Göre YSA Modelleri 66
4.3.5.2 Öğrenme Türlerine Göre YSA Modelleri 67
4.3.5.3 Katman Sayısına göre YSA Modelleri 69
4.3.6 Yapay Sinir Ağları Tahmin Modellemesi 71

4.3.7 Yapay Sinir Ağları Hata Analizi ve Performans Kriterleri 74

BÖLÜM 5

UYGULAMA 75

5.1 Örnek Gemi ve Uygulama Modeli 75
5.2 Problemin Tanımı 75
5.2.1 Örnek Gemi Şaft Yatakları ve Veri Seti 77
5.3 Ölçüm Yöntemleri 86
5.3.1 Deniz Suyu Debi Ölçümü 86
5.3.2 Şaft Yük Test Yöntemi 87
5.3.2.1 Kullanılan Malzemeler 87
5.3.2.2 Ölçüm Hazırlığı 87
5.3.2.3 Uygulama 89
5.3.2.4 Ölçüm Sonu Değerlendirme 90
5.3.2.5 Örnek Hesaplama 92
5.3.2.6 Yatak Yük Aralığı 92
5.4 Veri Tahmini ve Yapay Sinir Ağı Modeli 93

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 105

KAYNAKLAR 108

EK-A 114

SANCAK ŞAFT ANA BRAKET YATAK BOŞLUĞU TAHMİNİ 114

ÖZGEÇMİŞ 121

SİMGE LİSTESİ

k	Periyot
e	Hata oranı
x	Gerçek değer veya girdi değeri
$\hat{x}$	Tahmin edilen değer
N	Periyot sayısı
w	Ağırlık
z	Ağın çıktısı
n	Girdi nöron sayısı
i	İndeks
y	Gerçek çıktı
$\hat{y}$	Tahmin edilen çıktı
F	Basınç kuvveti
P	Çalışma basıncı
A	Alan
F_{yeni}	Düzeltilmiş basınç kuvveti

KISALTMA LİSTESİ

ART	Adaptif Rezonans Teori
CODAG	Dizel ve Gaz Türbini Birleşimi
CODLAG	Dizel Elektrik ve Gaz Türbini Birleşimi
CODOG	Dizel veya Gaz Türbini Birleşimi
CPP	Pitch Kontrollü Pervane
F(Net)	Aktivasyon Fonksiyonu
GMSM	Körfez Denizcilik Nakliye İşletmeciliği Şirketi
GT	Gaz Türbini
INNS	Uluslararası Sinir Ağları Birliği
KLTT	Kuveyt Hayvancılık Nakliye ve Ticaret Şirketi
PM	Üretken Bakım
RCM	Güvenilirlik Merkezli Bakım
TPM	Toplam Üretken Bakım
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Çark sistemi çizimi 5
Şekil 2.2 Dizel makine tahrikli yüksek süratli bir fırkateynin enerji kayıpları 9
Şekil 2.3 Ticari tankerin tipik güç kullanımı 9
Şekil 2.4 Konvansiyonel dizel-elektrik sevk sistemi konfigürasyonu 12
Şekil 2.5 Savaş gemileri ve kargo gemileri için yaklaşık ihtiyaç duyulan güç 13
Şekil 2.6 Farklı kombine edilmiş sevk sistemleri için özgül yakıt tüketimi 14
Şekil 2.7 CODOG ve CODLAG sistemlerinin yerleşimi 15
Şekil 2.8 Yakıt ikmali yapmadan ve belirlenen hız aralığında bir savaş gemisinin dayanıklılığı 16
Şekil 2.9 Gemi tahrik sistemi genel yerleşimi 16
Şekil 2.10 Pervane kanadı pitch açısı 18
Şekil 2.11 Sterntüp siğil örneği 20
Şekil 2.12 Deniz suyu yağlamalı sterntüp yatağı 21
Şekil 2.13 Şaft deniz suyu soğutma/yağlama sistemi örneği 22
Şekil 3.1 Üretim sistemi 24
Şekil 3.2 Bakım sistemi fonksiyonu 25
Şekil 3.3 Bakım hedefleri 25
Şekil 3.4 Stratejik bakım sınıfları 32
Şekil 3.5 Kestirimci bakım uygulaması 35
Şekil 3.6 RCM analiz basamakları 38
Şekil 3.7 Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması 39
Şekil 3.8 Gemi bakımlarının sınıflandırılması 43
Şekil 4.1 Gelecek tahmin modelleri 50
Şekil 4.2 Öngörü süreci çevrimi 51
Şekil 4.3 Sinir hücresi yapısı 58
Şekil 4.4 Yapay sinir hücre yapısı 59
Şekil 4.5 Yapay sinir ağı yapısı 62
Şekil 4.6 İleri beslemeli yapay sinir ağı 66
Şekil 4.7 Geri beslemeli yapay sinir ağı 67
Şekil 4.8 Öğretmenli öğrenme ağı örneği 68
Şekil 4.9 Öğretmensiz öğrenme blok diyagramı 68
Şekil 4.10 Tek katmanlı YSA 69
Şekil 4.11 Çok katmanlı YSA 70

Şekil 4.12 Tahmin modeli oluşum süreci 71
Şekil 4.13 YSA tasarım süreci 73
Şekil 5.1 Şaft genel yerleşimi 78
Şekil 5.2 Alt-üst polimer yatak 79
Şekil 5.3 Şaft yatakları soğutma suyu sistemi 80
Şekil 5.4 Pervane şaftı yük dağılımı 81
Şekil 5.5 Ana braket polimer yatak yerleşimi 82
Şekil 5.6 Polimer yatak aşınma grafiği 83
Şekil 5.7 Ana braket yatak boşluğu 83
Şekil 5.8 Deniz suyu balans valfi 86
Şekil 5.9 Debi ölçüm cihazı bağlantı şeması 86
Şekil 5.10 Yatak ölçüm noktaları 88
Şekil 5.11 Hidrolik kaldırma aparatı yerleşimi 89
Şekil 5.12 Komparatör yerleşimi 89
Şekil 5.13 Şaft yük test sonuçları 91
Şekil 5.14 Yapay sinir ağları çözüm yöntemi seçimi 93
Şekil 5.15 Zaman serisi algoritma seçimi 93
Şekil 5.16 Veri setinin tanıtımı 94
Şekil 5.17 Veri setinin bölünmesi 94
Şekil 5.18 Ağ mimarisi 95
Şekil 5.19 Eğitim algoritması seçimi 95
Şekil 5.20 Yapay sinir ağının sonuçları 96
Şekil 5.21 Yapay sinir ağının doğrulanması 96
Şekil 5.22 Hata diyagramı 97
Şekil 5.23 Regresyon değerleri 98
Şekil 5.24 Örnek seti sonuçları 98
Şekil 5.25 Yapay sinir ağı diyagramı 99
Şekil 5.26 Yapay sinir ağı kapalı çevrim diyagramı 99
Şekil 5.27 Yapay sinir ağı tahmin diyagramı 100
Şekil 5.28 Eğitim algoritması seçimi 100
Şekil 5.29 Farklı eğitim algoritması seçimi ile elde edilen örnek veri seti sonuçları 101
Şekil 5.30 Gerçek değer ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Levenberg-Marquardt) 102
Şekil 5.31 Gerçek değer ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Bayesian Regularization) 102

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 6000 ton'luk bir savaş gemisi için tahrik sistemi kombinasyonları 15
Çizelge 2.2 Deniz suyu yağlamalı yatakların avantaj ve dezavantajları 22
Çizelge 3.1 Gemi bakım planlama faktörleri 43
Çizelge 4.1 Toplama fonksiyonu örnekleri 60
Çizelge 4.2 Aktivasyon fonksiyonları 61
Çizelge 4.3 Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırması 62
Çizelge 4.4 Model performans kriterleri 74
Çizelge 5.1 Polimer yatak ölçüleri 78
Çizelge 5.2 Sancak şaft sistemi deniz suyu yağlama dizayn debi değerleri 81
Çizelge 5.3 Teorik yük dağılım tablosu 81
Çizelge 5.4 Örnek gemide yaşanan ana tahrik sistemi şaft arızaları 84
Çizelge 5.5 Hidrolik kaldırma aparatı basınç ve şaft hareket değerleri 90
Çizelge 5.6 Örnek veri seti 92
Çizelge 5.7 Sancak şaft ana braket yatak boşluk değerlerinin karşılaştırılması 101
Çizelge 5.8 Eğitim çıktıları performans ölçümleri 102
Çizelge 5.9 Tahmin değerleri performans ölçümleri 103
Çizelge 5.10 Havuzlama değerine göre, tahmin edilen değerlerin performans ölçümleri 103

ÖZET

GEMİ ŞAFT YATAĞI BOŞLUĞUNUN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÖNGÖRÜSÜ VE HAVUZ BAKIM PLANLAMASI

Soykan KALENDER

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Aykut SAFA

Gemi işletim sistemlerinin uzun ömürlü olması ve düzenli çalışması, uygulanan planlı bakım sistemleri ile mümkün olmaktadır. İşletmeler tarafından cevaplanmak istenen soruların başında, kısıtlı bütçe ortamında bakımın tatmin edici bir şekilde yapılma olasılığı ile; başlangıç ve bitiş zamanlarının doğru öngörülme isteği gelmektedir. Gemi bakımlarının planlanmasında önceliklerin kısa sürede belirlenmesi hedeflenilerek, gemilerin faal kalma sürelerinin uzatılması ve icra ettiği faaliyetlerden en fazla kazancı sağlaması amaçlanmaktadır. Ancak, gemilerin beklenmedik zamanlarda karşılaştığı arızalara bağlı bakım faaliyetlerinin tahmin edilmesi oldukça zordur. İşletmeler havuz onarımları gibi ağır bakımları yapmak zorunda kaldıklarında büyük zaman ve mali kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tüm işletmelerde arıza ile onarım kayıtlarının eksiksiz tutulması, personel eğitimlerinin aksatılmadan yapılması, düzenli denetim faaliyetlerinin icra edilmesi ve tüm bakım prosedürlerinin üretici talimatlarına uygun, bilinçli ve planlı yürütülmesi gerekmektedir.

Gemilerde, yataklama donanımının yerleşimine göre, şaft ve pervane ağırlığından kaynaklı, yataklarda büyük aşınmalar meydana gelebilmektedir. Aşınma; yatak ve şaft aşınmasından dolayı şaftın sarkma ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Şaftlarda yatak aşınmalarının ölçümü oldukça zordur. Genelde çift parçalı polimer yatakların uygulandığı sistemlerde, tasarım karakteristiği olarak şaft ile alt yatak arasındaki boşluk

sıfır kabul edilmekte, üst yatak ile şaft arasında ise, yatak montajının yapılabilmesi için belirlenen oranlarda boşluk bulunmaktadır. Dolayısıyla, şaft yataklarında oluşacak herhangi bir aşınmada bu boşluk artma eğilimindedir. Ve bahse konu yatak boşluğunun ölçümü aşınma kriteri olarak belirlenmektedir.

Bu çalışmada; örnek gemide en son yatak değişimden itibaren yapılan ölçümlere dayalı aşınma miktarının sınır değerlere gelme zamanı tahmin edilmeye çalışılarak, geminin havuz onarımının planlanması ve geminin işletim süresinin uzatılması amaçlanmıştır.

Sonuç olarak, limanda ölçülen yatak boşluk değeri, YSA modelinin tahmin ettiği değer ve geminin havuzlanması neticesinde elde edilen değerler birlikte karşılaştırılmıştır. Oluşturulan model ile yapılan tahmin değerinin, havuzda ölçülen değere yakın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şaft Yatağı Boşluğu, Gemi Havuzlama, Bakım Planlama, Yapay Sinir Ağları (YSA)

ABSTRACT

THE PREDICTION OF SHIP SHAFT BEARING GAP BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND DRY DOCKING MAINTENANCE PLANNING

Soykan KALENDER

Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Aykut SAFA

The long service life and regular operation of ship operating systems are possible with planned maintenance systems. The leading questions asked by the shipowners to be answered, are the possibility of satisfactory maintenance within a limited budget, and correct prediction of start and end times. The priorities in the planning of ship maintenance is aimed to determine within a short period of time and to ensure the maximum benefit from the activities of the ships. However, it is very difficult to estimate maintenance activities due to malfunctions encountered by the ships at unexpected times. Great time and financial losses occur when shipowners have to do heavy maintenance, such as dry docking repairs. For this reason, it is necessary to keep the records of failures and repairs completely, to perform the personnel training without negligence, to perform the regular inspection activities. Additionally, it is important to perform all the maintenance procedures in accordance with the manufacturer's instructions.

In ships, depending on the placement of the bearing, extensive wear may occur in the bearings causing from the shaft and the propeller weights. Wear is expressed as the dimension of sag on the shaft due to bearing and shaft wear. Measurement of bearing wear on a shaft is quite difficult. In the systems, where the two part polymer bearings are generally applied, the space between the shaft and the lower bearing is considered

as the design characteristics and between the upper bearing and the shaft, a gap is present within the aspects determined for the installation of the bearing. Therefore, this gap tends to increase by any wear in the shaft bearings. And, the measurement of the bearing clearance is determined as a wear criterion.

In this study, the time taken to limit the amount of wear based on the measurements since the last change and to plan the ship's repair and to extend the operation time of the ship has been aimed to be estimated using the collected data from a sample vessel.

As a result, the value of the bearing gap measured in the port, the value predicted by the ANN model and the dry docking of the ship were all compared. It is concluded that the estimated value made with the model is quite close to the value measured in the dry docking.

Keywords: Shaft Bearing Clearance, Dry docking, Ship Maintenance, Artificial Neural Networks (ANN)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gemilerin kapsamlı bakım onarımlarının planlanmasına yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Alhouli, geminin havuzlama programını optimize etmek için matemetiksel bir model geliştirmiştir [1]. Dekker, bakım optimizasyonu sağlamanın yollarından birini, hem maliyetlerin hem de bakım faydalarının ölçüldüğü ve her ikisi arasında optimum dengenin elde edildiği, bir matematiksel model üretmek olduğunu ifade etmiştir [2].

Deneysel verilerin incelenmesinde; Mongeau ve Bes, karışık tamsayılı bir doğrusal programlama modeli ortaya koymuşlardır. Geçmiş veriler üzerinde yapılan deneylerde önemli sonuçlar elde etmişlerdir [3]. Fu ve ark., kış aylarında yol bakım faaliyetleri için yöneticiler tarafından kullanılabilecek, gerçek zamanlı bir optimizasyon modeli oluşturmuşlar ve modeli gerçek bir durumu analiz etmek amacıyla kullanmışlardır [4]. Yuniarto ve Osada, bakım personelinin yaşadığı sorunları görüp, çözüm amacıyla bakım planlamalarını sağlayan bir süreç geliştirmişlerdir [5].

Bakım planlama sürecinde karar verme esnasında yardımcı olacak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin büyük bir bölümü araştırma metodolojisine dayanmaktadır. Tamsayılı programlama tekniğinin bakım programlarında en çok tercih edilen yöntem olduğu değerlendirilmektedir [1].

Dedopoulos ve Shak, çok amaçlı tesislerde her bir sistem için doğru bakım politikasını belirlemeyi amaçlamışlardır [6].

Ashayeri ve ark., önleyici bakım ve üretimi planlamak amacıyla karma tamsayılı doğrusal bir programlama modeli oluşturmuşlardır. Modelin bakım planlama maliyetlerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir [7]. Chen ve ark., toplam bakım maliyetlerini en düşük seviyeye indirmek amacıyla bir model sunmuşlardır [8]. Alardhi ve Labib, önleyici bakım planlamaları için tamsayılı doğrusal bir programlama modeli geliştirmişlerdir [9].

Bohlin ve ark., gaz türbinleri bakım planlaması için maliyetleri düşürmek amacıyla, karar yazılım aracı geliştirmişlerdir [10]. Jambulingam ve Jardine, güvenilirlik merkezli bakım ve yaşam döngüsü maliyet modellerini araştırmışlardır. Bir geminin iklimlendirme sistemi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır [11]. Perakis ve Inozu, deniz dizel motorlarının güvenilirliğe dayalı modellerini geliştirmişlerdir [12].

Pillay ve ark., zaman geciktirme analizini kullanarak, balıkçı teknelerini incelemişler ve teknelerin rutin denetim sürelerini optimize edebilmek amacıyla bir model meydana getirmişlerdir. Balıkçı teknelerinden çeşitli değerler toplamış ve uzman personelin deneyimlerinden de yararlanarak Weibull dağılımını kullanmışlardır [13]. Bitros ve Kavussanos, gemi bakımları için yarı-log, doğrusal bir model tahmininde bulunmuşlardır [14].

Deris ve ark., bir gemi veya filonun kullanılabilirliğini en üst seviyeye çıkarabilmek amacıyla gemi bakım çizelgelemesini modellemişlerdir [15]. Baliwangi ve ark., yaşam döngüsü maliyetlerini incelemişler ve bakım planlama yöntemi önerisinde bulunmuşlardır [16].

Literatürde yapılan inceleme sonucunda, tamsayılı doğrusal programlama yönteminin, bakım zamanlaması optimizasyonunda en çok tercih edilen yöntem olduğu tespit edilmiştir. Yapılan modellemeler içinde bakım zamanlaması optimizasyon modellerinin, öngörüde bulunabilme ve karar verme sürecinde faydalı olabileceği değerlendirilmiş ve genel bakım maliyetlerini azaltabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, gelecekte karşılaşılması muhtemel olayları tahmin etmek ve çeşitli verileri kullanarak çözümler üretebilmek amacıyla istatiksel tahmin tekniklerinden biri olan yapay sinir ağı modellerinin de öngörü sürecine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Modellerin, tesisin kullanılabilirliğini artırmak

amacında olduğu ve bakım planlamaları ile arıza risklerinin azaltılıp, çevre korumasına da katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada, değerlendirilen ölçümler dört adet eş gemiye sahip filonun bir gemisindeki sancak şaft yataklarından alınmıştır. Örnek gemide geçmiş dönemde yatak aşınması toplam iki kez üretici tarafından belirlenen sınır değerlere ulaşmış ve şaft yataklarının plansız olarak değişimleri yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu kapsamda geminin limanda olduğu durumda yapılan ana braket ölçümleri ve kayıt altına alınan diğer değerler ile birlikte bir yapay sinir ağı (YSA) modeli oluşturulmuş ve ana braket yatak boşluklarının sınır değere ulaşma zamanı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda geminin havuz onarımının planlanması ve geminin işletim süresinin uzatılması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Geçmişte yaşanan arızalar sonucu elde edilen tecrübelere dayalı olarak oluşturulan veri seti ile polimer şaft yatak aşınmaları arasında bir ilişki vardır ve yatak aşınma oranları tahmin edilebilir.

BÖLÜM 2

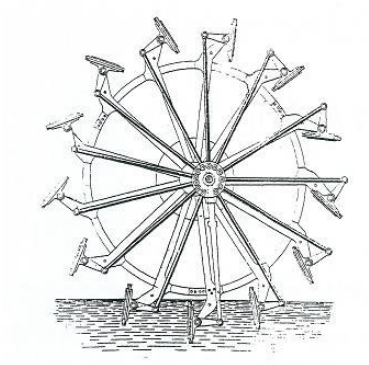
GEMİ GÜÇ VE SEVK SİSTEMLERİ

2.1 Tarihçe

Deniz yolu ulaşımının başladığı ilk yıllardan günümüze kadar gemilerin sevk edilmesi amacıyla birçok yöntem denenmiş ve hız, konfor, güvenlik gibi ihtiyaçların ön plana çıkmasıyla gemi sevk sistemlerinde de her sektörde olduğu gibi gelişmeler yaşanmıştır. Ancak tüm gelişmelere rağmen deniz ulaşımının ilk yıllarında gemilerin sevkinde kullanılan yelken, özellikle yat sektöründe maliyet ve enerji verimliliği açısından sunduğu avantajlar nedeniyle, günümüzde de tercih edilmeye devam etmektedir. Gemi sevk sistemlerindeki gelişim, teknolojik konulardaki ilerlemeye bağlı olarak tarihin her döneminde olduğu gibi günümüzde de devam etmekte olup, yakıt tasarrufu, enerji verimliliği, çevre kirliliğindeki sınırlamaların karşılanması ve ilk yatırım ile bakım maliyetlerinin düşürülmesi hedefi ile ilerlemektedir.

Arıkan ve ark. [17] de, Bulgaristan'da 2004 yılında bulunan tarihi kalıntılardan edinilen bilgiye göre padıl kürek kullanımının, M.Ö. 9500 yıllarına kadar dayandığını ifade etmişlerdir.

Tarih kaynaklarından edinilen bilgilere göre padıl kürek kullanımından sonra kürekler gemi bordasına yerleştirilerek gemilerin sevki sağlanmış, sonrasında ise küreğin oluşturduğu itme kuvvetinin çevrimsel hareketle daha kolay sağlanabileceği fikri doğmuştur. Bu düşüncelerin rehberliğinde kimi uygulamalarda, gemilerin kıç tarafına kimi uygulamalarda ise bordalarına yerleştirilen çarklar ile itme kuvvetleri meydana getirilmiştir.



Şekil 2.1 Çark sistemi çizimi [18]

Özellikle medeniyetin ilk olarak geliştiği düşünülen Mezopotamya'daki Dicle ve Fırat, Mısır'daki Nil Nehirleri boyunca insanoğlu su üzerinde kalabilen her şeyi deniz taşıtı olarak kullanmış ve göl ile akarsular üzerinde yol alabilmişlerdir. Kürekli teknelerin inşa edilmesi ile birlikte kürek kullanımı, M.Ö. 1500 yıllarında yelkenin Mısırlılar tarafından keşif edilmesine kadar dünya üzerinde artarak devam etmiştir. Rüzgarın yön ve şiddetinin tahmininde yaşanılan güçlükler ve nehirlerin darlığı sebebiyle oluşan manevra kısıtlamaları sonucunda, yelken kullanımı nehirlerde çok tercih edilmemiştir. İnsanoğlu başlangıçta kürek ile yelken kullanımını beraber yapamamıştır. Ancak akarsular aracılığı ile denize ulaştıktan sonra yaklaşık 5000 yıl boyunca yelken kullanımına devam etmiştir.

1850-1860 yılları arasında yük taşımacılığında yelkenli gemiler çok tercih edilmişlerdir. 17. yüzyılda modern bilimin gelişmeye başlaması ile birlikte, öncelikle buhar makineleri üzerinde yoğunlaşan çalışmalar, 18. yüzyılda ürünlerini vermeye başlamıştır. 18 ve 19. yüzyıllarda yelken kullanımına paralel olarak, mekanik ve hidrodinamik tahrik sistemlerinin kullanımı da hızla artmıştır.

Sevk sistemlerinde yaşanan gelişmeler beraberinde gemilerin ve ticaret rotalarının gelişimini getirmiştir. Ticari gemilerin bu gelişimi, 19. yüzyılın ikinci yarısında, daha küçük ve basit yelkenliyle çalışan gemilerden, daha büyük ve daha karmaşık, hızlı gemilere kademeli bir geçiş şeklinde meydana gelmiştir. Bu yıllar Amerikan yelkenli gemileri ile İngiliz pervaneli gemilerinin rekabetine sahne olmuştur. Daha sonra, kömür istasyonları dünyanın dört bir yanına yayıldıkça, buhar gemileri de inşa edilmeye ve sayıları artmaya başlamıştır [19].

1827 yılında Joseph Ressel tarafından gemi pervanesi geliştirilmesinin, ahşap çark sisteminin birçok dayanıksız parçası düşünüldüğünde, oldukça büyük bir gelişme olduğu tüm dünya tarafından kabul edilmiştir. Uskur pervanenin tecrübe edilerek kullanılmaya başlandığı günden günümüze kadar geçen süreçte en uygun sevk ekipmanı olduğu kabul edilmektedir [20].

1906 yılında RMS Moritanya inşa edilip vidalı pervane ile tahrik edilerek, 76.000 SHP gücündeki buhar türbinleri ile sevk edilmiştir. Bundan sekiz yıl sonra Transilvanya tahrik verimini geliştirmek için dişli buhar türbinlerini kullanan ilk gemi olmuştur [19].

Pistonlu buhar makinelerinde pistonun hareketini sağlayan basınçlı buhar yerine bir maddenin yakılması ile elde edilebilecek basınçlı gazların kullanılabileceği fikri, içten yanmalı makinelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 1678 yılında İngiliz bilim adamı Robert Hooke, silindir içinde hareket eden bir piston mekanizması için barut kullanımını önermiştir. 1794 yılında ise İngiliz bilim adamı Street, buharlaştırılmış terepentin (neft yağı)-hava karışımının sıkıştırılması ve dıştan ateşleme ile yanmanın başlatıldığı ilk içten yanmalı makinenin patentini almıştır.

İçten yanmalı makineler ile ilgili çalışmalar 19. yüzyıl başlarında giderek yoğunlaşmıştır. Daha yüksek ısıl verimli buhar makineleri üzerinde çalışan Fransız bilim insanı Nicolas Leonard Sadi Carnot, 1824 yılında içten yanmalı makinelerin, özellikle dizel motorların temel ilkelerini ortaya koymuştur. 1860 yılında, Fransız bilim insanı Etienne Leonir ve 1862 yılında, Beau De Rochas içten yanmalı makinelerin ısıl verimlerinin yükseltilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır.

1910 yıllarında dizel makinelerin gemilerde kullanılmaya başlandığı günden, günümüze kadar dizel makineler benzersiz gelişim sürecinden geçerek istenilen her performansa uygulanabilecek seviyeye gelmişlerdir [18].

Burada ana hatları ile verilmeye çalışılan tarihçe, aslında araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmelidir. 18-19. yüzyıllarda teknolojik yetersizlikler nedeni ile başarısızlığa uğrayan ve terk edilen çalışmaların ve teorilerin, günümüzde çeşitli gelişmelere ışık tutabilecek olması daima göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2 Genel Bakış

Gemilerin içinde bulunduğu çalışma konseptine bağlı olarak, görevlerini yerine getirebilmesi amacıyla suda ihtiyaç duyulan performansta hareket etmesi gerekmektedir. Deniz araçlarının çoğunda sevk sistemi; bir veya daha fazla pervanenin, bir şaft sistemi ile güç kaynağından güç alması şeklinde optimize edilmiştir. Tahrik sistemlerinin tasarımı, bakımlarının planlanması ve edinilen tecrübeler ışığında gerekli iyileştirmelerinin yapılması büyük önem arz etmektedir.

Tarih boyunca insanoğlu gerek taşımacılık gerekse ulaşım maksadıyla deniz yolundan sürekli fayda sağlamıştır. Günümüzün modern gemilerinin inşasına kadar geçen süreçte denizcilik sektörünün her alanında farklı gelişmeler meydana gelmiştir. 20. yüzyıl başlarında buhar türbinli sevk sistemleri oldukça yaygın kullanılmıştır. Ancak yüksek güçlerde daha az dayanıklı oluşu, bakım sürelerinin maliyetli ve uzun süreli olması, işletmesinde fazla personel ihtiyacı bulunması gibi sebeplerle yerini daha düşük maliyetli, ısıl verimi yüksek alternatif sevk sistemlerine bırakmıştır.

Mekanik tahrikli sevk sistemleri genel olarak pervaneyi döndüren bir makine veya makinelerden oluşmaktadır. Tüm makine sistemlerinde, kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüşümü ve çalışan maddeye yüklenmesi, yanma odasında olduğundan makine sistemleri yanma olayının yerine göre sınıflandırılabilmektedir.

Gemilerde kullanılan ilk mekanik tahrik tertibatı; ileriye doğru bir itme sağlayan, geminin etrafındaki suya ters yönde bir momentum kazandıran, radyal plakalar veya kanatlardan oluşan ve enine eksen etrafında dönen çarklı sistemlerdir [21].

Tahrik sistemleri, gemilerin sadece su, rüzgar gibi doğal güçlere karşı durmasını sağlamak yerine, aynı zamanda geminin her türlü manevrasını sağlayan temel sistemlerdir. Bir gemi sevk sistemi genel olarak üç bölümden oluşmaktadır [22].

- Enerji kaynağı (yakıt, rüzgar, güneş enerjisi v.b.)
- Enerjiyi mekanik enerjiye çeviren makine
- İtici (pervane/şaft sistemleri)

Savaş gemilerinin en önemli unsuru; duruş ve vuruş gücünü sağlayan savaş sistemleri ile sevk sistemleri olmuştur. Günümüzde insansız silah sistemlerinin, atış kontrol

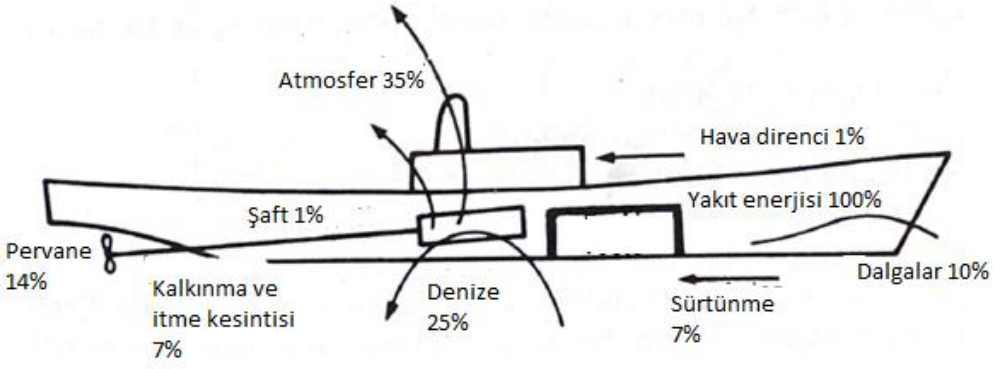
sistemlerinin gelişimi büyük bir hızla devam etmekle beraber, tahrik sistemleri için aynı şeyi söylemek çok doğru olmayacaktır. Çünkü hem ticari gemi filoları hem de askeri gemi filolarına bakıldığında sevk sistemlerinde konvansiyonel sistemlerin tercih edildiği görülmektedir.

Gemiler için sevk sistemi seçimi, dizayn edilen geminin boyutlarına ve talep edilen hız gibi faktörlere bağlı olarak yapılmaktadır. Çoğu ticari gemi çalışma hayatı boyunca ekonomik hızlarla kullanılacağından, sevk sistemleri nispeten daha basit şekilde optimize edilirken, savaş gemileri için sevk ünitelerinin seçilmesi ve kombine edilmesi başlı başına büyük bir sorundur [23].

Tarihsel gelişim sürecinde yapılan tasarım uygulamalarının aksine, günümüz tasarım mühendisliğinde geleneksel çözümlerden radikal şekilde ayrılıp, daha geniş bir açıyla bakılarak, alternatif tahrik sistemlerinin uygulanabilirliğini tespit etmek ve analizleri yapmak amaçlanmaktadır. Ayrıca tasarımda, gemi işletme ve yakıt maliyetlerindeki dalgalanmaların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir [19].

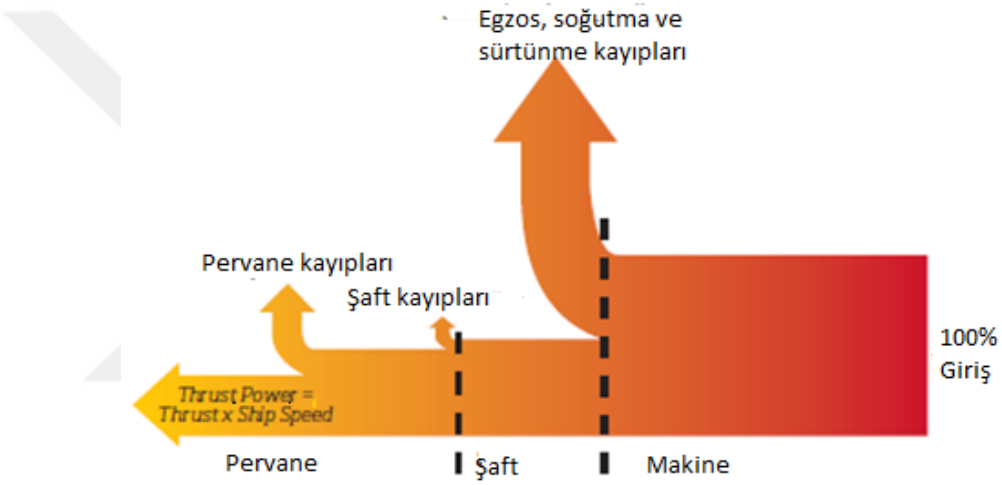
Fosil yakıtlara olan bağlılığın düşürülüp, çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmak, yenilenebilir enerji kaynaklarından azami şekilde faydalanabilmek gibi hedefleri başarabilmek adına, gemilerde kullanılan tahrik sistemlerini en az yakıt tüketimi ile yüksek verimde uzun süre kullanabilmek için yapılan çalışmalar, teknolojik gelişmelere bağlı olarak hız kesmeden devam etmektedir. Bu kapsamda, daha etkin sevk sistemleri arayışına da gemi işletmecileri tarafından devam edilmektedir.

Günümüzde yakıt maliyetlerinde yaşanan artışlar sebebiyle, tasarımlarda akıllıca öngörülerde bulunmak başlıca hedefler arasında yer almaktadır. Gemiler için yakıt depolama kısıtlamaları (özellikle savaş gemileri için) ve yakıt maliyeti önemli tedbirler alınmasını gerektirdiğinden, tasarıma, tüketilen yakıttan elde edilen enerjinin ne şekilde harcandığını anlayarak başlamak daha doğru olacaktır [23].



Şekil 2.2 Dizel makine tahrikli yüksek süratli bir fırkateynin enerji kayıpları [23]

Ticari tankerde tasarruf tedbirleri düşünülmeden önceki enerji akışı Şekil 2.3'te yer almaktadır [19].



Şekil 2.3 Ticari tankerin tipik güç kullanımı [19]

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, gemilerin güç kullanımında enerji kayıplarının dağılımı her gemi için farklı olsa da, genelde benzer sınıf gemiler için birbirine yakın olacaktır. Yakıtta bulunan toplam enerjinin %60'ı kulerler ile denize, egzos gazları ile atmosfere atılarak kaybolmaktadır. Toplam enerjinin %20'den daha azı sürtünme ve dalgaların üstesinden gelmekte harcanmaktadır. Buna rağmen dizel makineler, gaz türbinlerinin %35'lik termal verimine bakıldığında %43'lük termal verimleri ile sevk sistemleri içinde kullanılabilecek en verimli ürünler olarak göze çarpmaktadır [23].

Farklı bir makine seçeneğinin tercih edilmesinin geminin diğer alt sistemlerine etkisinin de incelenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle ana tahrik güç kaynağı seçimi sadece maliyetlere bağlı olarak yapılmamaktadır. Aşağıda yer alan başlıklar da göz önünde bulundurulmaktadır.

- Geminin kütle ve hacim bakımından incelenmesi
- Tedarik, kurulum, işletme ve lojistik maliyetleri
- Bakım ve işletme masrafları
- Kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve güvenilirlik etkenleri
- Sayısının arttırılarak kombine edilebilirliği
- Düşük hızlarda seyir ve manevra istekleri
- Gürültü ve titreşim faktörleri
- Montaj kolaylığı

2.3 Konvansiyonel Tahrik Seçenekleri

2.3.1 Dizel Makineler

Günümüzde dizel sevk sistemleri balık avlama teknelerinden uçak gemilerine kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dizel makineler düşük ilk maliyetleri, değişken yük koşullarında yüksek verime sahip olmaları ve güvenilirliklerinin yüksek olması gibi avantajlarının yanında, kısa süreli bakım aralığına sahip olmaları gibi dezavantajlara da sahiptir. Son yıllarda getirilen çevresel düzenlemeler nedeniyle üreticiler, emisyon kriterlerini sağlayıp, uzun süreli bakım ihtiyaçları ile plansız bakımları önleyerek gemi işletme sürelerini uzatabilmek için, çalışmalarını artırarak sürdürmektedirler.

Ayrıca üretilmekte olan yüksek devirli ve giderek daha modüler hale gelen dizel makineler üzerinde; yakıtın en verimli şekilde yakılabilmesi için yanma odası geometrisi, yanma modelleri, yakıt püskürtme sistemlerinin yapısı, NO_x emisyonlarının düşürülmesi ve dolgu havasının artırılması gibi konular ağırlık kazanmaktadır. Tasarım çalışmalarında, deneysel yöntemler yerine makineleri güvenilir bir şekilde simüle edebilen bilgisayar programları kullanılmakta olup, makineyi oluşturan alt sistemler ayrı ayrı incelenmektedir. Dizayn parametrelerinde en küçük değişimlerin dahi makine performansına etkileri değerlendirilebilmektedir.

Ticari gemi taşımacılığında, sevk sistemleri geçtiğimiz yüzyılda önemli bir değişim geçirmiştir. Günümüzde gemiler, dizel tahrikli makinelerin, işletme maliyetlerinin

büyük bir kısmına karşılık gelen yakıt maliyetiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu arka plandaki gelişmeler, denizcilik endüstrisinde yer alan işletmelerin pek çoğunun gemi sevk yöntemlerini üç ana faktörden dolayı sürdürülebilir olup olmadığını sorgulamasına yol açmıştır [19].

- Yükselen petrol fiyatları sebebiyle artan yakıt maliyetleri
- İklim değişikliği etkilerinin azaltılması maksadıyla getirilen çevresel düzenlemeler
- Karbon salınım vergileri uygulamasının planlanması

2.3.2 Gaz Türbinleri

1940'lı yıllardan itibaren özellikle savaş gemilerinde dizel makinelerin yerine gaz türbinlerinin kullanılmasına başlanmıştır. Ancak yakıt tüketimi açısından ekonomik olmaması sebebiyle ticari gemilerde çok fazla yer bulamamışlardır. Gaz türbinlerinin gemilerde kullanımının sağladığı kazanımlar; düşük ağırlık ve hacimleri, yüksek güvenilirlikleri, yüksek hız, az personel ihtiyacı, düşük bakım ve düşük emisyonlardır.

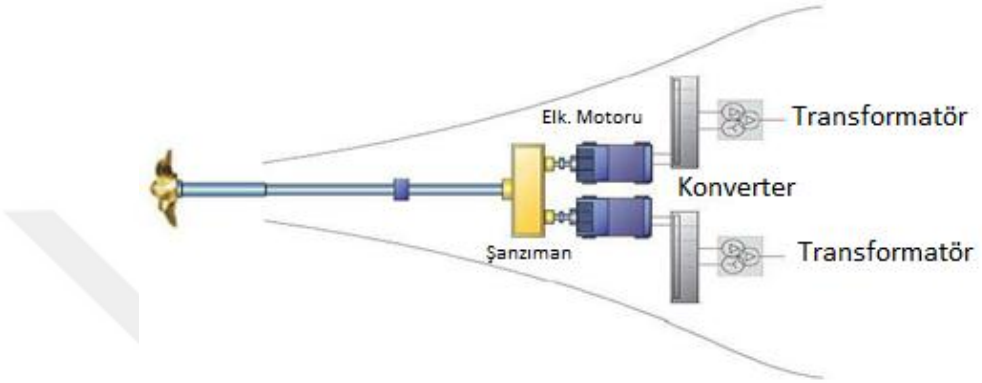
2004 yılında yolcu gemileri üzerinde yapılmış bir araştırmada, makine dairelerinin geminin toplam hacminin %8'i ile %17,5'i arasında olduğu ve gaz türbinleri tercih edilerek makine dairelerinde kullanılan bu hacmin %75'nin etkin kullanıma kazandırılabileceği ifade edilmiştir [24].

Gaz türbinleri doğrudan ana tahrik sisteminde güç kaynağı olarak kullanılabildiği gibi elektrik tahrik sistemli gemilerde elektrik üretmek amacıyla da kullanılabilmektedir.

Genel olarak gaz türbinlerinin avantajları; yüksek itme gücü sağlaması, ağırlıklarının azlığı nedeniyle büyük esneklik sağlaması, NO_x emisyonlarının düşük olması, bakımlarının saate göre yapılması ve gerektiğinde gemiden çıkarılmalarının kolay olmasıdır. Dezavantajları ise; aero türevli gaz türbinleri yakıtının, yüksek distile yakıtlar sınıfında olduğundan nispeten pahalı olması, ortam sıcaklığı artışına bağlı olarak verimlerinin azalması ve benzer güçteki dizel makinelere göre termal verimlerinin düşük olmasıdır [19].

2.3.3 Elektrik Tahrik Sistemleri

Gemilerde bulunan dizel veya gaz türbinleri tarafından üretilen elektriğin, gemi sevk sistemine aktarılması şeklinde dizayn edilmiş sistemlerdir. Burada üretilen elektrik, hem sevk sistemi hem de geminin diğer sistemlerine yönlendirilebilmektedir. Ana jeneratörler, frekans konverterleri, itici motorlar ve sevk sistemi ünitelerinden oluşmaktadır [25].



Şekil 2.4 Konvansiyonel dizel-elektrik sevk sistemi konfigürasyonu [26]

Genel olarak dizel elektrik tahrik sisteminin avantajları; düşük yakıt tüketimi ve emisyonu, yüksek güvenilirlikte olması, düşük bakım maliyeti, düşük gürültü ve titreşimli olmasıdır.

Üreticiler bir taraftan ekonomik çözüm arayışını sürdürürken, diğer taraftan da daha temiz bir dünya bırakmak için çevreci çözümler üzerinde çalışmalarına devam etmektedir.

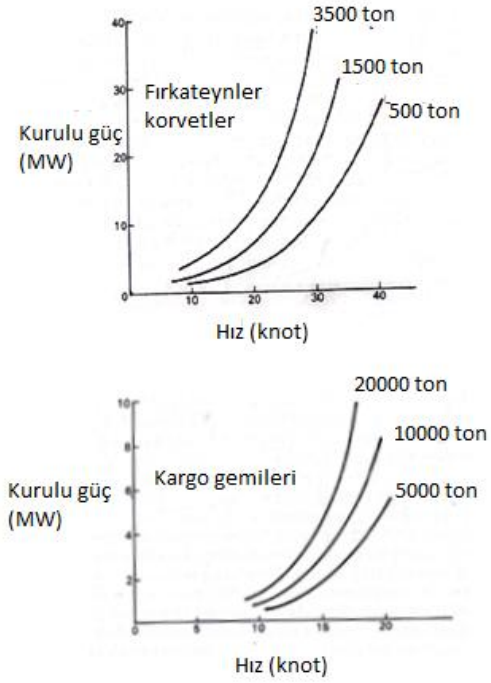
Bu kapsamda kısa vadede düşünülecek ana güç sistem seçenekleri içinde dizel makineler en yaygın kullanılan güç kaynakları olmakla beraber, makine üreticilerinin dünya çapında kurmuş olduğu onarım ve yedek parça ağı ile çok güvenilir sistemler haline gelmişlerdir.

Çift yakıtlı sistemler günümüzde sınırlı sayıda kullanılmasına rağmen, LNG (Likit natural gas) kullanan, dönüştürülmüş dizel makineler çeşitli avantajlar sunmaktadır. LNG konvansiyonel yakıtlardan oldukça ucuz olup, zararlı emisyonlardan tamamen arınmış olmamakla birlikte, CO_2, NO_x, SO_x emisyonları açısından avantajlar sunmaktadır.

Rüzgar enerjisi; hem itici bir güç hem de ekonomikleştirme açısından ciddi şekilde düşünülmektedir. Güneş panelleri, gerekli olan büyük alan ihtiyaçlarından dolayı pek umut verici gözükmemektedir. Dizel makineler için bio-yakıt kullanımı orta-uzun vadeli potansiyel alternatiflerden biridir. Yakıt hücreleri, düşük ve yardımcı güç sistemleri açısından önemli bir potansiyeldir. Ancak hidrojen, yakıt hücrelerinde kullanılacak en kolay yakıt olmasına rağmen, gemilere tedarik için dünya çapında bir altyapının geliştirilmesini gerektirmektedir. Nükleer tahrik daha çok denizaltılarda kullanılmaktadır. Nükleer reaktörler son derece güvenli olsalar da, ciddi arızaların sonuçları endişe verici düzeydedir. Akü teknolojisi hızla ilerlemesine rağmen, tamamen akü tahrik sistemli bir geminin inşası için daha fazla teknik gelişmeye ihtiyaç duyulmaktadır [19].

2.4 Savaş Gemilerinde Ana Tahrik Sistemi Kombinasyonları

Savaş gemilerinde ana tahrik sistemlerinin yapılandırılması ve uyum içinde birleşimi, geminin çalışma koşullarına ve talep edilen yeteneklerine bağlı olarak; maliyet, sürdürülebilirlik ve güvenilirlik etkenlerinin sağlanmasına yönelik yürütülmektedir. Bu konuda yapılmış birçok uygulama ve çalışma bulunmakta olup, her birinin sağladığı yarar ve zararlar birbirinden farklık göstermektedir.



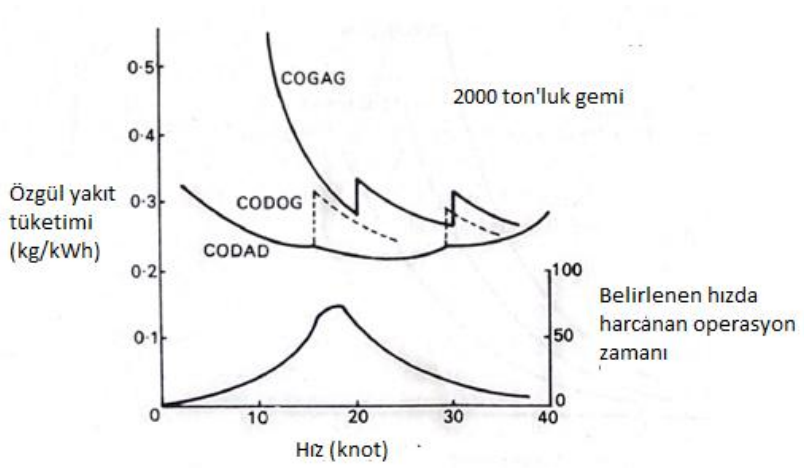
Şekil 2.5 Savaş gemileri ve kargo gemileri için yaklaşık ihtiyaç duyulan güç [23]

Küçük sayılabilecek savaş gemileri için güç gereklilikleri Şekil 2.5'te yer almaktadır. Bir savaş gemisi için çalışma ömrünün büyük bir kısmını ekonomik süratle devam ettirmek ve gerektiğinde yüksek hızlara çıkmak olağan bir durumdur. Ayrıca askeri gemiler, denizaltı savunma harbi maksadıyla maksimum sessizlikte çalışmak zorundadırlar. Bu nedenle en küçük ve basit savaş gemilerinin çeşitli standart güç ünitelerinin birleşimi ile yapılması hedeflenmektedir. Böylece her çalışma koşulunun karşılanması amacıyla, donanma için farklı unsurlar yapılmış olacaktır [23].

Gemilerde konvansiyonel olarak tercih edilen ana makineler; dizel makineler, buhar türbinleri, gaz türbinleri ve elektrikli makineler olup, bunların kombinasyonları ile oluşturulan sevk sistemlerinden bazı kısaltmalar aşağıda yer almaktadır.

- CODOG; dizel veya gaz türbini birleşimi; pervane şaftı, dizel makine veya gaz türbini ile tahrik edilebilir.
- CODLAG; dizel elektrik ve gaz türbini birleşimi
- CODAG; dizel ve gaz türbini birleşimi; pervane şaftı, dizel makineyle veya gaz türbiniyle veya her ikisi ile birden tahrik edilebilir.

Dünyada kullanılan savaş gemilerinin uzun süreler boyunca, yakıt ikmali yapmaksızın tasarlanan hız aralığında görev yapmalarını sağlamak amacıyla, dayanıklı ve belli bir esnekliğe sahip tahrik sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [27].

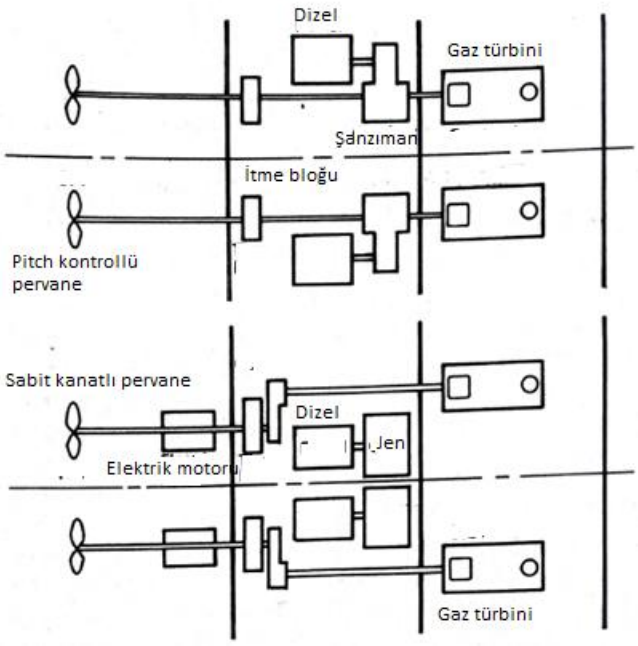


Şekil 2.6 Farklı kombine edilmiş sevk sistemleri için özgül yakıt tüketimi [23]

Şekil 2.6'da, farklı kombinasyonlar için, benzer çalışma koşullarında, özgül yakıt tüketim değerleri yer almaktadır. Verim ve özgül yakıt tüketimindeki ani değişimler arzu

edilmediğinden ve dizel makine ile gaz türbini karakteristiklerinin benzer oluşlarından, bu ünitelerin bir araya getirilmesi sıklıkla tercih edilmektedir [23].

İkiz gaz türbinine sahip (CODOG) sistemler dünya çapındaki birçok donanma için sık tercih edilen bir sistem haline gelmiştir. Ancak başlangıçtaki satın alma maliyetlerini düşürmek amacıyla tek gaz türbininin yer aldığı sistemlerde (CODAG / CODOG) kullanılmaktadır [27].



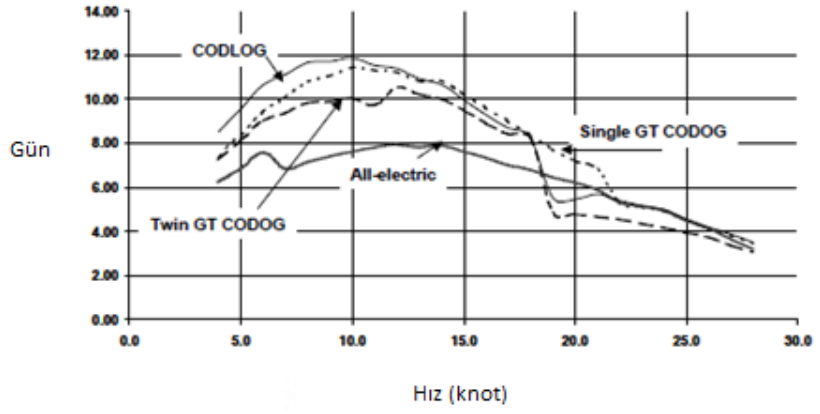
Şekil 2.7 CODOG ve CODLAG sistemlerinin yerleşimi [23]

28 knot sürate sahip 6000 ton ağırlığında bir savaş gemisi için; standart işletme koşullarında yıllık yakıt tüketimi, makine ağırlığı, kombine makine ve yakıt ağırlığı karşılaştırması Çizelge 2.1'de yer almaktadır [27].

Çizelge 2.1 6000 ton'luk bir savaş gemisi için tahrik sistemi kombinasyonları [27]

Sistem	Yakıt ağırlığı 7000 nm 18 knt.	Yıllık yakıt tüketimi	Makine ağırlığı	Kombine makine ve yakıt ağırılığı
İkiz GT CODOG	853 ton	7840 ton	416 ton	1269 ton
Tek GT CODOG	836 ton	7991 ton	388 ton	1224 ton
Elektrik	1028 ton	7758 ton	800 ton	1828 ton
Tek GT CODLAG	729 ton	6964 ton	559 ton	1288 ton

6000 ton ağırlığında bir savaş gemisinin çalışma hız aralığı boyunca yakıt ikmali yapmaksızın dayanıklılığı, Şekil 2.8'de gösterilmektedir [27].



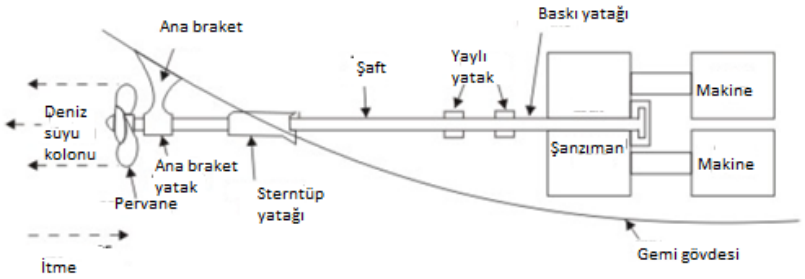
Şekil 2.8 Yakıt ikmali yapmadan ve belirlenen hız aralığında bir savaş gemisinin dayanıklılığı [27]

Amerikan Deniz Kuvvetleri 34 adet Arleigh Burke Sınıfı Destroyerinin düşük süratlerde gaz türbinlerinin yakıt tüketimlerinin çok yüksek olması nedeni ile hibrid tahrik sistemine sahip olacak şekilde modernize edilmesine karar vermiştir [25].

2.5 Genel Tahrik Ekipmanları

Gemi sevki; geminin ileri hareketi sırasında içinde bulunduğu ortam sebebiyle meydana gelen güç kayıplarını yenmesi için, belirlenen gücü kullanarak geminin manevralarının sağlanmasına yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Geminin hareketi için ihtiyaç duyulan itme kuvveti; ana makine veya makineler tarafından oluşturulan güç, sevk sistemi yerleşiminde mevcut ise redüktör, pervane şaftı ve pervane gibi üç temel ekipman ile sağlanmaktadır [20].

Gemi tasarımcısının amacı, çalışılacak ticaret ve deniz alanına göre en verimli tahrik sistemini sağlayarak makine, redüktör, şaft ve pervaneyi eşleştirmektir [28].



Şekil 2.9 Gemi tahrik sistemi genel yerleşimi [22]

2.5.1 Pervane

Döner bir şaft üzerine yerleştirilmiş, uygun bir aerodinamik veya hidrodinamik biçim verilmiş kanatlardan oluşan, akışkana momentum kazandıran, itme veya çekme gücü sağlayan sistemlere pervane denir [29].

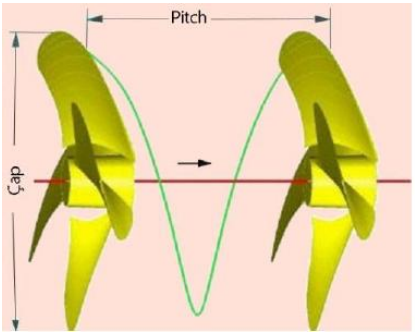
1804 yılında Amerikalı Albay Stevens tarafından, bir gemiyi hareket ettirmek için ilk kez uskur pervanenin kullanıldığı bilinmektedir. Uskur pervanelerin ilk pratik uygulamaları ise 1836'da Amerika'da Ericsson ve İngiltere'de Petit Smith tarafından yapılmıştır.

Petit Smith'in geliştirdiği pervanenin, yaptığı denemeler esnasında ahşap bir kısmının kırılması, şaşırtıcı şekilde geminin hızının artmasına neden olmuştur. Bunun üzerine Petit Smith kanatların genişliğini azaltarak modern deniz taşıtlarında kullanılanlara çok benzer bir uskur pervanenin tasarımını geliştirmiştir. Uskur pervane o günden beri gemilerde en sık kullanılan itici sistem olmuştur [21].

Uskur pervaneler, bir göbek etrafına yerleştirilmiş kanatlardan meydana gelmektedir. Göbek, pervane şaftı üzerinde olup makinelerden sağlanan gücü pervane kanatlarına iletmektedir. Bu güç pervaneye verildiğinde, pervanenin ekseni etrafında belli bir devirde dönmesini sağlayan bir tork uygulanır. Böylece pervanenin içinde bulunduğu ortama göre belli bir hızda ilerlemesini sağlayan bir itme kuvveti üretilmiş olur [21].

Gürültü seviyesini asgaride tutabilmek için fazla kanat sayısı içerecek şekilde tasarlanan pervaneler kullanılsa da, gemilerde en çok üç, dört veya beş kanatlı pervaneler tercih edilmektedir. Bir gemiye kıç taraftan bakıldığında pervanelerin manevra kabiliyetini artırmak amacıyla, dümenin baş tarafında olacak şekilde konumlandırıldığı ve yapılan tercihe göre saat yönünde veya saatin tersi yönde dönerek dizayn edildiği görülebilir.

Uskur pervaneler genel olarak sabit pitch açılı ve pitch kontrollü olarak sınıflandırılmaktadır. Pitch (Hatve); pervanenin tam bir dönüşünde ilerlediği mesafeye denilmektedir.



Şekil 2.10 Pervane kanadı pitch açısı [29]

Sabit pitch açılı pervaneler; kanatları göbeğe sabitlenmiş olup hareket esnasında kanatların pitch açıları değiştirilemez. Pitch kontrollü pervanelere göre hareketli parçalar bulunmadığından daha sağlamdırlar. Montaj ve işletme maliyetleri daha düşüktür. Ancak manevra kabiliyetleri de aynı oranda daha sınırlıdır.

Pitch kontrollü pervaneler; kanat açılarının köprü üstü veya makine kontrolden istenilen zamanda değiştirilebildiği, şaft dönüş yönünü değiştirmeden geminin hareket yönünün değiştirilebildiği ve şaft dönüş hızına müdahale etmeden geminin hızının artırılıp azaltılabildiği pervane sistemleridir. Kanatların pitch açısı hidrolik veya mekanik sistemlerle dikey eksen etrafında döndürülerek değiştirilmektedir. İstenilen çalışma koşuluna kolaylıkla uyum sağlayabildiğinden manevra kabiliyeti ve buna bağlı olarak makine verimi yüksektir. Hidrolik yağ ile kanat açıları değiştirildiğinden herhangi bir yağ sızıntısı oluşup çevre kirliliğine neden olma riski fazladır. Karmaşık sistemler olduğu için bakım ve onarım masrafları yüksektir [30].

2.5.2 Redüktör ve Pervane Şaftı

Redüktörler, deniz araçlarında ana makine ve pervanenin optimum şekilde çalışmasını sağlayan sevk sisteminin temel elemanlarından biridir. Pervane dönüş hızını, makine dönüş hızına göre düşürmek için makine ve pervane arasına yerleştirilmişlerdir. Düşük devirli makineler bulunan gemilerde makine devri doğrudan pervaneye iletilebilmektedir. Ancak yüksek devirli makineye sahip gemilerde ise şaft devrini düşürmek, kavrama mekanizması ile pervane şaftını ayırabilmek ve tersine itme sağlayabilmek için redüktörler kullanılmaktadır. Redüktörler bakımları aksatılmadan yapıldığı takdirde oldukça güvenilir sistemlerdir.

Redüktörlerin bir tarafı makine krank şaftına diğer tarafı ise pervane şaftına iştiraklidir. Pervane şaftının bağlı olduğu dişlinin diş sayısı dönüş hızının azaltılması maksadıyla makine krank şaftının bağlı olduğu dişlinin diş sayısından daha fazladır. Dişli gruplarındaki diş sayısı sadece hız aktarımı ile ilgili olmayıp aynı zamanda tork aktarımı ile de doğrudan ilişki içindedir.

Gemi redüktör sistemleri ağır olduklarından ve kayda değer bir ivme yaratmaları nedeniyle, genellikle giriş ve çıkış şaftlarını ayırıp bağlamayı sağlayan kavrama sistemleri ile beraber kullanılmaktadır. Ağırlık ve yer tasarrufu gemilerde önemli etkenler olduğundan genellikle şanzıman içinde çalışan çoklu disk kavrama sistemleri tercih edilmektedir. Çok diskli kavrama sistemleri bağlandığında güç; giriş şaftından ve kavramadan, içi boş pinyon şaftı, çıkış dişlisi ve çıkış şaftından geçerek makineden pervane şaftına geçmektedir.

Ana baskı (eksenel) yatağı, çıkış milinin üzerinde yer almakta olup, görevi pervane itme kuvvetini taşımak ve reaksiyonu redüktör bloğu üzerinden tekneye iletmektir. Kısacası bulunma amacı, pervane kuvvetinin makineye iletilmesini önleyerek, taban plakasından gemi gövdesine aktarılmasını sağlamaktır. Ayrıca, dişlilerin ve makinenin etkilenmemesini ve doğrusal bir düzlemde hizada kalmasını sağlamaktadır [28], [31]. Ani yük değişimlerine dayanacak kadar sağlam bir yapıda olmaları gerekmektedir.

Geminin makinesi ve pervanesi arasındaki en son eleman pervane şaftıdır. Pervane şaftının asıl amacı, pervaneyi taşımaktır. Redüktörden sonra pervaneye kadar uzanmakta olup tek veya birden fazla parçadan oluşabilmektedir. Pervane şaftı gemi gövdesinden çıkarılırken deniz suyu sızdırmazlığının korunabilmesi amacıyla, sterntüp (şaft bosası) olarak ifade edilen bir kanal içinde yataklanıp gemi dışına çıkarılması gerekmektedir.

Şaft sterntüpün hem baş hem de kıç tarafında yataklar ile desteklenmektedir. Deniz suyunun gemiye girişini önlemek için Şekil 2.11'de bir örneği görülen, mekanik siğil (sızdırmazlık) sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.11 Sterntüp siğil örneği [32]

Mekanik siğillerde sızdırmazlık, sit ile yüz olarak ifade edilen iki parça arasında sürekli sürtünme teması ile sağlanmaktadır. Bu temas, esnek bir körük tertibatı aracılığı ile monte edilen yay basıncı ile oluşturulur. Kullanılan şişirilebilir siğiller sayesinde gemi havuzlanmadan siğil bileşenlerinin değişimi mümkün olmaktadır. Günümüzde sterntüp siğilleri uzun süre zorlu çalışma koşullarına dayanacak şekilde dizayn edilmiş sistemlerdir.

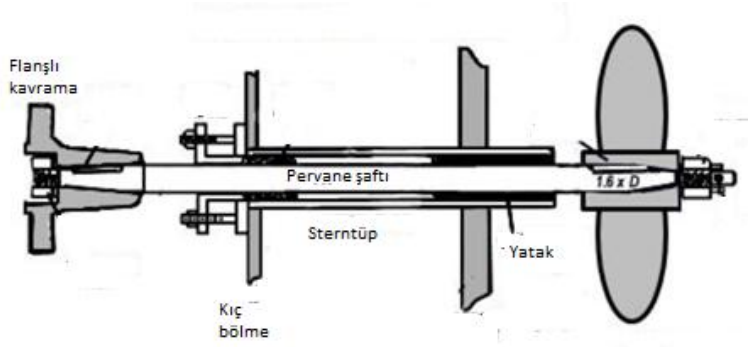
2.5.3 Şaft ve Sterntüp Yatakları

Gemilerde pervane şaftının layna alınarak salgılı dönmesinin önlenmesi oldukça önemlidir. Oluşacak en küçük salgı gemi gövdesinde aşırı titreşime neden olacağı için şaftın layn ayarı son derece hassas yapılmalıdır. Pervane şaftları genel olarak sterntüpte yağ ile yağlanan beyaz metalle kaplanmış yataklar ile yataklanmaktadır. Ancak şafta uygulanacak yatak sayısı çok farklık göstermekte olup, gemi gövdesi dışında ve içinde yatak sayısı çeşitli parametrelere bağlı olarak dizayn mühendisleri tarafından artırılabilmektedir.

Şaft yatakları dizayn edilirken, şaftın ve pervanenin ağırlığı, şaft çapı, şaft uzunluğu, çalıştığı ortam gibi parametreler göz önünde bulundurularak yatak sayısı belirlenmektedir. Toplam yük yataklar üzerine belli oransal hesaplamalar sonucunda dağıtılır.

Günümüzde beyaz metal ile kaplı yatakların yerine su ile yağlanan polimer yataklar da kullanılmaktadır. Bu sayede çok önemli faydalar sağlayan alternatif (çevre dostu) çözümler üretilebilmektedir [33].

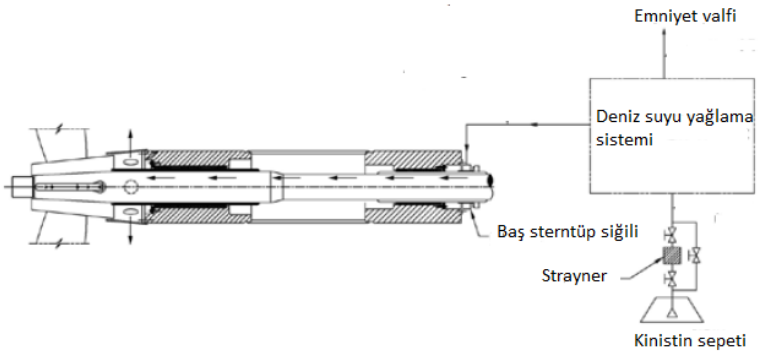
Su ile yağlanan yataklarda; yatak kovanı tamamen deniz suyu ile dolmaktadır. Şaft, su ile yağlanan burçlar arasına yerleştirilmiş yataklar arasında çalışmaktadır [28]. Bu yataklar, yatak yüzeyini şaft yüzeyinden ayıran hidrodinamik yağlama (HL) prensibi ile çalışmaktadır [33].



Şekil 2.12 Deniz suyu yağlamalı sterntüp yatağı [28]

Gemi pervane şaft yatakları genel olarak beyaz metalden yapılır ve yağ ile yağlanır. Beyaz metalden yapılan yağlı yataklar yerine su ile yağlanan polimer yataklar alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Her şeyden önce deniz suyu ile yağlanan polimer yataklar aynı yükleme ve şaft hızına sahip çalışma koşullarında hidrodinamik sürtünme nedeniyle beyaz metal yataklara göre daha az ısı kaybına neden olurlar. Bu da daha az güç kaybı, dolayısıyla yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir [33]. Ayrıca deniz suyu ile yağlanan şaft yatakları, yağ kirliliği riskini ortadan kaldırdıklarından, kesinlikle çevreci çözümler sunmaktadırlar [31].

Nispeten aşındırıcı olan deniz suyunun sabit oranda yataklara sağlanması, uzun yatak aşınma ömürlerinin elde edilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle yatak üreticileri tarafından deniz suyu ile yağlanan yataklarda kullanılmak üzere, sürekli istenilen sıcaklık ve miktarda deniz suyu, ilave şaft deniz suyu soğutma/yağlama sistemlerinin montajı ile sağlanmaktadır. (Şekil 2.13) Geliştirilen bu sistemlerde deniz suyunun şaft çapına göre, zamana bağlı miktarı hesaplanır. Belirlenen filtreleme sistemlerinden geçirilen deniz suyunun yataklara ulaşması sağlanır. Ayrıca bu sistemlerde kullanıcı tarafından akışın uzaktan kontrol edilebilmesi maksadıyla akış sensörleri de kullanılmaktadır [34].



Şekil 2.13 Şaft deniz suyu soğutma/yağlama sistemi örneği [35]

Yağlı şaft sistemlerinde meydana gelen arızalar; tersane ve karina bakım şirketleri açısından önemli bir kazanç kaynağı iken, gemi sahipleri için gemi faaliyet takvimini olumsuz etkileyen arızalardır. Dolayısıyla operasyonel faaliyetlerin aksaması sonucunda oluşan mali zararlar ve işletme itibarı üzerindeki negatif etkileri nedeniyle hiç istenmeyen sorunlardır. Buna ilave olarak, yağlı yatak seçimi ile başlangıç maliyetlerinde elde edildiği düşünülen kazanımlar, meydana gelen bu arızalar sebebiyle oldukça önemsiz hale gelebilmektedir.

Petrol türevli kirliliği önlemek, maliyetleri düşürmek ve ilk kurulum prosedürlerini sadeleştirmek için deniz suyu yağlamalı yataklar, işletmeciler tarafından önemli bir alternatif olarak görülmektedir [35].

Bu kapsamda, deniz suyu ile yağlanan şaft yataklarının avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.2'de yer almaktadır [28].

Çizelge 2.2 Deniz suyu yağlamalı yatakların avantaj ve dezavantajları [28]

Avantajları	Dezavantajları
Birçok uygulamada kullanılmış ve test edilmiştir.	Yüksek aşınma oranlarına sahiptir.
Aşınan parçaların değişimi veya onarımı kolaydır. Ancak geminin havuzlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.	
Karmaşık olmayan mekanik siğiller kullanılmaktadır.	Şaftın korozyona karşı korunması gerekmektedir.

BÖLÜM 3

BAKIM SİSTEMLERİ VE PLANLAMASI

3.1 Bakım Sistemlerine Genel Bakış

Bakım fonksiyonu; işletmelerin sahip olduğu tüm unsurların, her koşulda görev yapmaya hazır olmasını temin etmek, meydana gelen arızalara süratle müdahale ederek dizayn parametrelerine uygun çalışmasını sağlamak için gerçekleştirilen faaliyetlerin tümünü içermektedir. Onarım ve yenileme işlemleri ile sistemin güvenilirliğinin sürdürülmesi olarak da tanımlanmaktadır [36].

Ekipmanların işletme ömürleri süresince mümkün olan en az sayıda arıza ile etkin bir şekilde çalışması en temel hedeftir. Günümüzde ilk kurulum ve enerji maliyetlerinin çok yüksek seviyelerde olması nedeniyle, işletmeler maliyetlerini düşürerek rekabet ortamında yer almaya çalışmaktadır. Ancak bu ortamda yer alabilmek, yüksek kapasite ile çalışma şartlarının sağlanması ile mümkün olmaktadır.

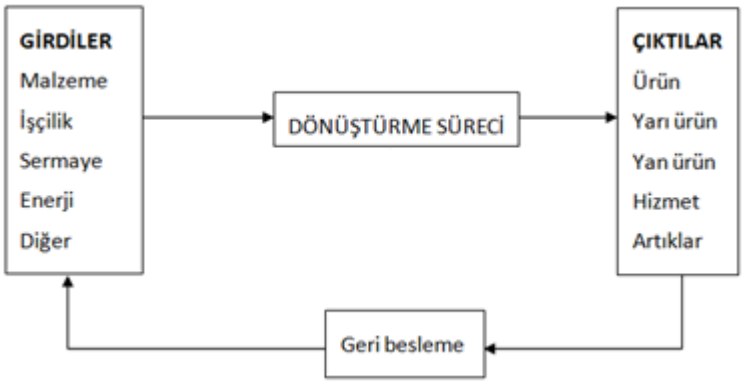
Bakım, işletmenin devamlılığı ve verimi dikkate alındığında göz önünde bulundurulması gereken temel yapı taşlarından biridir. Yapılan doğru uygulamalar ile birlikte etkili bir bakım programı, toplam işletme maliyetinin yanı sıra düzeltici ve acil bakım ihtiyacını da azaltacaktır.

Literatürde bakım için yapılan tanımlamalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Lewis ve Pearson'a göre [37] de bakım; tüm varlıkları uyum içinde aralıksız kullanabilmemiz için, tekrar eden bir yapıya sahiptir. Moore [38] de bakımı, üretimin durmasını engellememizi sağlayan bir süreç olarak belirtmiştir. White [39] da bakımı,

tüm üretim ekipmanlarını makul bir maliyetle koruyan çalışmalardır, şeklinde ifade etmiştir. Amrine ve ark., tarafından [40] da bakım; tesisleri ve makineleri sürekli çalışma durumunda tutmak, şeklinde belirtilmiştir. Bakım; bir sistemin ideal seviyede çalışmasını sürdürmek veya kapasitesi düşen sistemi tekrar eski haline getirmek için her türlü işlemi kapsayan lojistik bir faaliyettir [41].

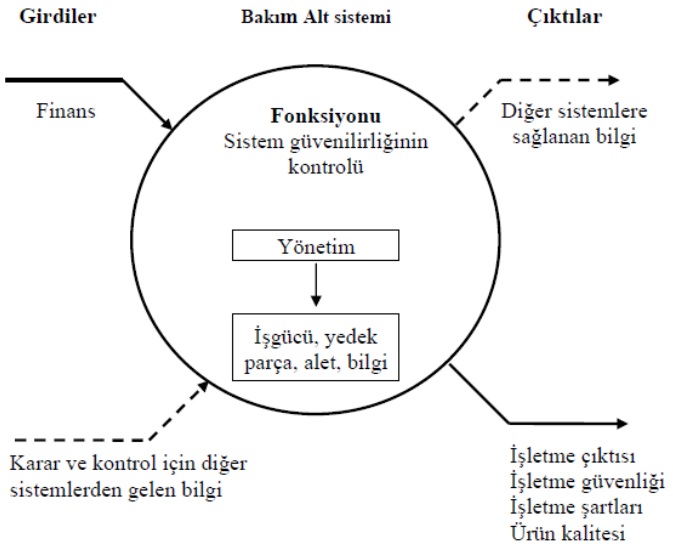
Şekil 3.1'de yer alan bir üretim sisteminde, ürün ve hizmetlerin istenilen kalite standartlarında düşük maliyetle elde edilebilmesi için; uygun cihaz ve sistemlerle kurulu tesis, insan, hammadde, enerji ve ekipman gerekmektedir. Bunlardan herhangi birinde meydana gelen aksaklık veya arıza durumu, tüm üretimin aksamasına neden olup hem para hem de işletmenin itibar kaybına neden olmaktadır. Üretim girdilerinden biri olan sistem ve cihazların etkin çalışması adına yapılan faaliyetlerin bütününe bakım denilmektedir [42].



Şekil 3.1 Üretim sistemi [43]

En genel anlamda bakım, tüm üretim sistemini çalışır durumda bulundurmak için yapılan faaliyetlerdir. Bu tanım; sadece "reaktif" değil "proaktif" görevlerinde bakım fonksiyonu içinde yer aldığını göstermektedir [43].

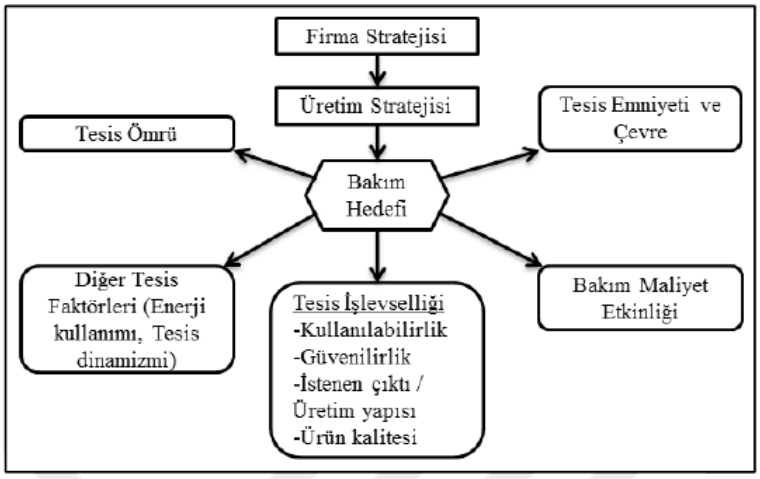
Devamlılığın sağlanması gerekliliğine dayalı olarak, önemli sistem ve cihazların tedarik fonksiyonunun bakım fonksiyonu üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Ayrıca bakım ile diğer alt sistemler arasındaki organizasyon yapısı net bir şekilde ortaya koyulmalı ve doğru tanımlamalar yapılmalıdır. Bakım sisteminin alt sistemler ile ilişkisini gösteren bir organizasyon Şekil 3.2'de gösterilmiştir [44].



Şekil 3.2 Bakım sistemi fonksiyonu [44]

Teknik sorunların mümkün olduğunca erken tespit ve teşhisini müteakiben, büyümeden mevcut imkanlar ile giderilmesini sağlamak, her işletmecinin öncelikleri arasında yer almaktadır.

Bakım hedefleri; yüksek verim ile kalite standartlarını oluşturabilmek, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini uygulayabilmek, düşük enerji tüketimi ile istenilen seviye ve zamanda üretimi gerçekleştirip, karşılaşılan maliyetleri optimize edebilmektir [42].



Şekil 3.3 Bakım hedefleri [42]

Şekil 3.3'te bakım hedefine etki eden faktörler, hedef merkeze koyularak görselleştirilmiştir [42].

3.2 Bakım Sistemlerinin Faydaları ve Önemi

Herhangi bir makinede, tesisin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini sağlamak için bakım yapmak şarttır. Bir bakım programı, onarım, yenileme gibi sayısız kararla sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle bakımın sistematik bir şekilde organize edilmesi gerekmektedir [1].

Bir bakım kuruluşunda iki ana hedef bulunmaktadır. İlki; bakımın etkinliği, diğeri ise; kurumun verimliliğidir. Bu iki hedefin doğrudan bakım maliyetleri ve ürün çıktılarına etkisi olduğu bilinmektedir [1].

Dünya denizcilik sektörünün, yaşanan tüm olumsuzluklara ve krizlere rağmen büyüklüğü, bu sektöre ilgi duyan yatırımcılar için her zaman cazip bir rekabet alanı doğurmuştur. Bu büyük rekabet ortamı içerisinde birçok şirket, belirledikleri hedeflere ulaşabilmek, beklenen görev ve hizmetleri eksiksiz yerine getirebilmek için tüm kaynaklarını en verimli şekilde kullanmayı amaçlayarak, getirisi yüksek yatırımlar yapmayı hedeflemektedir.

Yapılan bu yatırımlardan elde edilen kar oranının yükseltilebilmesi maksadıyla başlangıç ve bakım-onarım maliyetlerinin en düşük seviyede tutulabilmesi ve gelecek maliyetlerin öngörülebilmesi oldukça önemlidir. Mevcut imkanların en etkin şekilde kullanılması ve doğru bakım planlaması yapılarak, oluşması muhtemel acil onarım maliyetlerinin önlenmesi ile bakım maliyetleri oldukça düşürülebilmektedir.

Harekat ihtiyaçlarının giderek yoğunlaştığı ve gelişen teknoloji ile cihaz ve sistemlerin giderek karmaşık bir hal aldığı günümüzde, uygun bir bakım temin ve idame edebilmek amacıyla çeşitli bakım sistemleri kurularak planlamalar yapılmaktadır. Bu sistemler, cihaz ve ekipmanın bakımının yapılmasının yanı sıra, mühendislik analizleri ve daha uygun manejman geliştirebilmek için teknik bilgilerin toplanmasını ve ilgili personele ulaştırılmasını da sağlamaktadır. Ayrıca planlama, programlama ve kaynak kullanımı kontrol edilerek, herhangi bir cihazın dizayn karakteristiklerine uygun olarak çalışması mümkün olmaktadır.

Dizayn parametreleri hassas bir şekilde belirlenen makine sistemlerinin, yüksek verimde çalıştırılarak, belirlenen çalışma konseptine uygun kullanılabilmesi hedeflenir. Tüm şartlar göz önünde bulundurularak oluşturulan makine sistemleri çalışma

sürelerine bağlı olarak çeşitli şekillerde deformasyona uğrayarak performansları düşer ve arızaya bağlı kullanım dışı kalma süreleri uzamaya başlar. Makine sistemlerinde meydana gelen bu arızalar ile çalışma kapasiteleri azalarak, işletme maliyetleri artar, iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli zafiyetler doğar. Oluşan bu kayıp ve zararları önleyebilmenin en etkin yolu, doğru şekilde tasarlanmış bakım sistemlerinin hazırlanarak uygulamaya konulmasıdır.

Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde; İngiltere'de imalat endüstrisindeki bakım harcamalarının toplam üretim maliyetinin %12 ile 23'ü arasında olduğu bilinmektedir. Petrol rafinerilerinde toplam personel maliyetinin yaklaşık %30'unun bakım maliyetlerinden oluştuğu belirtilmiştir. 75.000 tonluk bir dökme yük gemisinde işletme maliyetlerindeki en büyük payın %40 ile bakım maliyetlerine ait olduğu başka bir çalışmada ifade edilmiştir [1].

Yanlış uygulanan bakım onarım faaliyetleri, sistem performansının düşmesine neden olduğu gibi, doğurduğu riskler sebebiyle iş sağlığı ve güvenliği açısından da olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. İşletmeler, bünyesinde bulunan tüm unsurların materyal hazırlık derecelerini en üst düzeyde sürdürebilmek maksadıyla, bakım konusunda yapılması gereken tüm faaliyetleri en kısa sürede gerçekleştirmek zorundadır.

Sistem ve ekipman güvenilirliği ile sürdürülebilirliğinin arttırılmasına yaptığı etki, arızaların tamamen önlenemese dahi azaltılabilme oranındaki başarısı ve oluşan arızalar sebebi ile meydana gelen onarım maliyetlerinde sağladığı düşüş nedeni ile bakım sistemleri geliştirme stratejilerinin önemi giderek artmıştır.

Belirlenen hedeflere ulaşmanın yanında, sadece işletmenin genel performansına yaptığı etki nedeni ile oluşturulacak bir bakım sisteminin sağlayacağı faydalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir [1].

- Kullanıcı personelin daha güvenli şartlarda çalışmasına katkı sağlar.
- Elde edilen devamlılık sayesinde zaman kayıpları azalır ve üretim miktarı artar.
- Bakım sistemlerine göre işletilen makineler, dizayn karakteristiğine en uygun şekilde çalışarak, kalite standartları korunur.
- Periyodik yapılan bakımlarla beraber işletme maliyetleri azalır.

- Makinelerin verimli çalışma ömürleri uzatılarak, tüm tesisin etkin ömrü uzatılabilir.
- Yenileme sürecinde, bakımlı makinelerin elden çıkarılması daha kolay olacaktır.
- Uzun süre kullanılmayan makinelerin, acil kullanım ihtiyacında kullanılabilme olasılığı artırılır.
- Makinelerin arızalanma oranları oldukça azaltılabilir.
- Öngörülemeyen maliyetlerde azalma sağlanır.

3.3 Bakım Yönetimi ve Planlaması

3.3.1 Bakım Yönetimi Tarihsel Gelişimi

Makine sistemlerinin tarihsel gelişimi göz önüne alındığında, bakım faaliyetlerinin çok geçmiş tarihlere dayandığını öngörmek hiçte zor olmayacaktır.

Çeşitli zamanlarda icat edilmiş makine ve sistemlerde yaşanan arızalara bağlı olarak geliştirilen bakım faaliyetlerinin literatürde üç farklı tarihsel gelişim evresinden geçtiğini söylemek mümkündür.

Birinci nesil, İkinci Dünya Savaşı'na kadar olan süreyi kapsamaktadır. Bu süreçte kullanılan makine sistemlerinin sayısının oldukça az olması sebebi ile üretim ve hizmet oranı zaten yeterince düşük olduğundan, teknik yapıları oldukça basit olan bu makinelere, gayri faal kalana kadar herhangi bir bakım planı uygulanıp kısıtlı olan kullanım süreleri daha da kısaltılmamıştır. Sadece basit temizlik ve yağlama gibi her çalışan tarafından çok kısa sürede kolaylıkla yapılabilecek işlemler uygulanmıştır.

Bakım-onarım faaliyetlerinin ikinci nesli olarak ifade edilen periyot, İkinci Dünya Savaşı ile başlayıp 1970'li yılların ortalarına kadar gelen süreçten oluşmaktadır. Savaştan çıkmış olmanın getirdiği iş gücü kaybına rağmen, eş zamanlı olarak üretim artışına duyulan ihtiyacın sonucunda, sanayide makineleşme giderek artmıştır. Makineleşme sayısındaki artışa bağlı olarak sistem çeşitliliği ve karmaşıklık düzeyi de aynı oranda artış göstermiştir. Bahse konu bu artışlar sebebiyle her sektörde kendine yer bulan makine ve sistemlerin her ne sebeple olursa olsun arızalanarak kullanım dışı kalmasına

tahammül edilememesinden, cihazların arızalanmadan önce bakımlarının yapılması gerektiği düşüncesi her işletmede hakim hale gelmiştir. Bu oluşum doğrultusunda önleyici bakım uygulamaları doğmuş ve bu yönde yapılan çalışmalar ile arızaların oluşmadan engellenebileceği fikirleri giderek yerleşmiştir.

1970'li yılların ortalarından itibaren sanayideki gelişmeye dayalı olarak artan beklentiler ve oluşan rekabet ortamı ile birlikte üçüncü nesil olarak ifade edilen süreç başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. Üretim sistemlerinin teknolojik gelişimi sayesinde büyüyen beklentiler ile sahip olunan ekipmanların bakımlarına, güvenilirlik, kalite, uzun çalışma ömrü, iş sağlığı ve güvenliği kavramlarının da etkileri ortaya çıkmıştır [45].

3.3.2 Bakım Yönetimi

Bakım organizasyonu temel olarak üç ana karar alanına dayanmaktadır [1].

- Kaynak yapısı
- İdari yapı
- Kontrol sistemi

Kaynak yapısı; iş gücü, ekipman ve yedek parça gibi farklı elemanlardan oluşmaktadır. Kaynakların yapısını kontrol etmek için kararların yapılandırılması idari yapının işlevidir. En önemli karar alanı ise kontrol sistemidir.

Teknik sistemlerin işletim sürelerinin her safhasında bakım yönetimi başlığı altında, unsurların planlanması, işletilmesi, performans değerlendirmesi, yenilenmesi ve hurdaya ayrılması ile ilgili kararlar alınır [43].

Otomasyona dayalı üretim sistemlerinin artışı ile birlikte işletmelerde çalışmakta olan personel sayısı giderek azalmış ve teknolojik üretim ekipmanlarının kullanımının artmasına dayalı olarak, ekipman maliyetlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Pahalı sistemlerin kullanımı, bakım fonksiyonu ve yönetimi kavramlarının önemini gün geçtikçe artırmıştır. Bunun sonucu olarak, bakım faaliyetlerinde çalışanlar ile bakım harcamalarının toplam operasyonel maliyet içerisindeki oranı artmış ve işletmelerin

enerji maliyetlerinden sonra bakım maliyetleri, işletme bütçesinde önemli bir yere sahip olmuştur.

Arızalı makine sistemlerinin onarımı, planlanacak bakım periyotları, ihtiyaç duyulan personelin branşı ve eğitim seviyesi, kaç personelin ne kadar süre ile çalışacağı gibi konular, bakım yönetimi dahilinde ele alınan hususlardır.

Bakım, en iyi ihtimalle bir üretim alt sistemi veya planlanmamış bir ek yük olarak görülürken, yapılan son çalışmalarda, etkili bakım ile işletme verimliliği arasındaki kuvvetli ilişkinin ortaya koyulmasıyla etkin bakım yönetimi için ihtiyaç duyulan odaklanma artırılmıştır.

Bakım yönetiminin ihmali ile, ilgili sistemin gayri faal kalma süresinin ve sıklıklarının ilişkili olduğu bilinse de, işletme ömrü ile doğrudan ilişkili olduğunu söylemek oldukça güçtür. Bu nedenle, sistemin yaşam döngüsü boyunca faal kalma süresini uzatacak bakım prosedürlerinin belirlenmesi asıl amaç ve yöntem olmalıdır.

Bakım uygulamaları ile ilgili olarak faal bir sistemde değişkenlerin tam olarak hesaplanamaması sebebiyle, doğru programı ve kesin bakımı seçmek oldukça güçtür. Sistem üzerinden yeterli sayıda veri toplanması ile ideal program seçimi daha uygun olmaktadır [46].

Bakım sistemlerinde, tüm sistemlere ait konfigürasyon bilgileri ile parça kırılımlarının oluşturulması ve üretici kullanım dökümanları ışığında bakım periyotlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bakım periyotları belirlenirken maliyetlerin de dikkate alınarak, mümkün olan en az sıklıkta düzenlenmesinin uygun olacağı unutulmamalıdır.

3.3.3 Bakım Planlaması

Yaşam döngüsü terimi; planlama, inşa, işletme ve hurdaya ayırmaya kadar tüm süreci ifade etmekte kullanılan bir kavramdır. Yaşam döngüsü verimliliği, işletmelerden en uzun şekilde yararlanarak geliri iyileştirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Wärtsilä tarafından yaşam döngüsü verimliliği üç başlık altında incelenmiştir [47].

- Beklenmeyen durumları önlemek
- Performansı optimize etmek

- Çevresel verimliliği artırmak

Yaşam döngüsü verimliliği operasyonel maliyetleri en aza indirecek, ömrünü en üst düzeye çıkaracak ve döngü boyunca karlılığı artıracak şekilde oluşturulan iyi bir tasarımla başlar. Rekabet ortamının tüm zamanlardan daha sert olması, kar beklentilerindeki artış, çevre düzenlemelerinin giderek daha kısıtlayıcı bir hal alması, artan teknoloji nedeniyle uzman personel ihtiyacı, enerji ve işletme maliyetlerindeki artışların devam etmesi gibi nedenlerle gerçek zamanlı ve bilgi tabanlı çözümlemelere dayalı iyileştirmeler yapılması gerekmektedir [47].

Beklenmeyeni önleme sürecinde; bir işletmenin çalışma süresi boyunca güvenilir, performanslı ve öngörülebilir maliyetler ile çalışması esastır. Beklenmeyen arızalar ile karşılaşılması çok masraflı olabileceğinden, maliyetleri önlemek için önceden hazırlık yapmak, yaşam döngüsü yaklaşımının temel unsurlarından biridir. Düzensiz ve plansız tüm eylemler reaktif olduğundan performansı garanti etmemektedir [47].

Planlama, etkili yönetim koşullarının oluşturulmasında önemli işlevlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönetici tarafından tespit edilmiş amaç ve hedeflerin kısa sürede gerçekleştirilmesinde, hız kazanılmasını sağlayan faktörlerden biridir. Planlama belirlenen hedeflere göre üç seviyeye ayrılmaktadır [48].

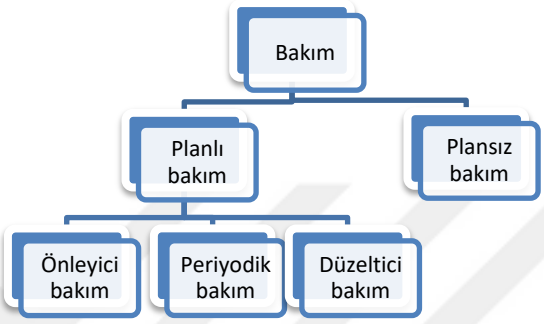
- Uzun vadeli planlama (Beş yıl veya daha uzun süreyi kapsar.)
- Orta seviye planlama (Bir ay ile üç yıl arası);
- Kısa vadeli planlama (Günlük, haftalık ve aylık planlar)

3.4 Bakım Yöntemleri

İşletmelere stratejik planları ve hedeflerini gerçekleştirebilmesi yönünde avantajlar sağlanması amacıyla, etkin bakım yöntemi oluşturulmalı ve tüm sistemlerin her seviye bakımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle her ekipman ayrı ayrı ele alınmalı ve uygun bakım tipine karar verilmelidir.

Farklı üretim ve hizmet sistemlerine sahip kuruluşlar veya gemiler gibi çok farklı sistemlerin bir arada bulunduğu unsurlarda, her ekipman için uygulanacak bakımlar birbirinden farklılık göstermektedir. Bazı cihazlarda periyodik olan bakımlar

bulunmayıp, "*gerektiğinde*" uygulanacak bakımlar yer alırken, bazılarında ise periyodik olarak eğitimli personel tarafından uygulanması gereken bakımlar mevcuttur. Hatta bazı bakımların seçimleri üretici firmalar tarafından kullanıcı personele bırakılarak periyotlarda değişiklik yapılmasına olanak sağlanmıştır. Tüm kullanıcılar istenen performansı yakalayıp koruyabilmek adına, bakım prosedürlerini çalışma koşullarına göre belirleyip, uygulaması en uygun olan bakım tiplerini seçmektedir. Şekil 3.4'te farklı stratejik bakım sınıfları yer almaktadır.



Şekil 3.4 Stratejik bakım sınıfları [41]

3.4.1 Plansız Bakım

Cihaz ve sistemlerde çalışma fonksiyonlarının normal olarak gözlemlendiği sırada, aniden oluşan arıza onarımının yapılması şeklinde uygulanan bakımlardır. Üretimin plansız olarak durması sebebiyle bakım-onarımdan sorumlu personelin süratle hareket ederek arızanın teşhisini yapması, varsa alternatif sistemlerin devreye alınmasını sağlaması ve ihtiyaç duyulacak yedek parça listelerini oluşturması gerekmektedir.

Plansız bakım yöntemlerinin uygulandığı sistemler, genellikle tedarik maliyeti daha uygun olan, gerektiğinde tamamen yenilenebilecek veya yedek sistemler ile faal tutulabilecek cihazlardır. Bu cihazların yedek parça maliyetleri düşük olduğu gibi, oluşabilecek arızaların da boyutları küçük olduğundan müdahalede bulunacak personel sayısı, eğitim ve tecrübe düzeyinin de yüksek olmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Arızaların ne zaman hangi sıklıkla meydana geleceği bilinmediğinden bahse konu bakım yöntemi; arızi bakım, acil bakım, düzeltici bakım şeklinde de ifade edilmektedir [42].

İşletmeler maliyetleri yüksek arıza onarımlarına sebep olacak sistemlere sahip olduklarında ve plansız bakım yöntemini tercih ettiklerinde, ansızın gerçekleşen üretim duruşlarına bağlı olarak yüksek bakım-onarım maliyetleri ile karşılaşabilmektedir.

Bununla birlikte oluşan arıza ile bağlantılı diğer cihazlarda da, daha büyük arızalar meydana gelebileceğinden plansız bakım çok sık kullanılan bir yöntem değildir.

Arızaya göre bakım prosedürünü belirlemek en pahalı yöntem olabilmektedir. Bakım maliyetleri analizleri incelendiğinde, reaktif yöntem ile yapılan onarımın, planlı veya önleyici yöntem ile yapılan onarımlardan yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [49].

3.4.2 Planlı Bakım

Planlı bakım sistemleri, işletmeyi belli bir materyal hazırlık durumunda ve sahip olunması istenen asgari standartlarda tutabilmek amacıyla, tüm unsurlarda icra edilecek bakımları zamanlama, kontrol, tedarik, uygulama ve kayıt gibi bütün faaliyetleri kapsamaktadır.

Planlı bakım sistemi, plansız bakımlardan farklı olarak sistemlerde herhangi bir arıza olmasını beklemeden, çoğu zaman periyodik aralıklar veya çalışma saatlerine bağlı olarak yapılan, eğitimli ve tecrübeli personeller tarafından uygulanması ile daha verimli sonuçlar elde edilen bakım sistemleridir. Planlı bakım sistemlerinde hazırlanan zaman çizelgesine göre bakımların yapılması asıl hedef olsa da çalışma koşulları, maliyet analizleri ve yaşanan arızalara dayalı olarak bakım zamanlarında değişiklik veya bazı bakımları birleştirerek modellemek mümkün olmaktadır.

İkinci nesil sürecinde arızaların önlenebileceği fikrinin tüm sektörlerde yaygınlaşmasıyla planlı bakım faaliyetlerine verilen önem de giderek artmıştır [1].

Önleyici bakım; çoğunlukla üretici firma kullanım talimatları doğrultusunda oluşturulan, arıza yaşanmadan uygulanarak muhtemel arızaların önüne geçmeyi hedefleyen bakımlardır. Bakımlar belli zaman aralıklarında gerçekleştirildiğinden periyodik bakım olarak da adlandırılmaktadır.

Süre kaynaklı modellendiği gibi çalışma saatlerine göre de planlar yapılmaktadır. En basit O-ring değişimi ile eğitimli personel tarafından yapılan en ağır bakımları da içerdiğinden çok farklı maliyetler ile karşılaşılabilmektedir.

Benzer sistemlerin farklı tesislerde ve farklı çalışma koşullarında çalışmasına bağlı olarak ortaya çıkan değişkenlerin göz önünde bulundurulmaması, tamamen standart bakım prosedürlerinin uygulanması ve gereksiz sayılabilecek birçok bakımın yer almasından dolayı yaşanan zaman ve maliyet kayıpları, sistemin dezavantajları arasında sayılabilir.

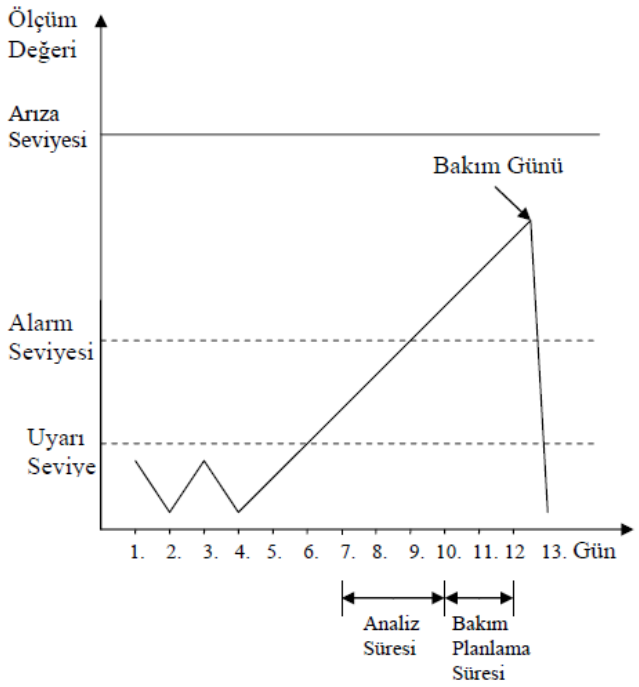
Kestirimci bakım; işletmelerde yer alan tüm cihazların veya bir kısmının, belli ölçüm cihaz ve metotlar kullanılarak, belirlenen zaman aralığında veya en son yapılan parça değişiminden itibaren izlenmesi neticesinde elde edilen sonuçların, analiz edilip yapılan tahminlere göre bakım prosedürlerinin oluşturulmasıdır. Şarta dayalı bakım olarak da tanımlanmakta olup durum izlemesi gerçekleştirilmektedir [41].

Uzun süre yapılan ölçümler ile elde edilen verilerin kullanılarak, gerekli önlemlerin alınması felsefesine dayanmaktadır. Kestirimci bakım sayesinde gereksiz bakımlar ile oluşan zaman kayıpları azaltılıp, temel bakımların daha sağlıklı yapılması sağlanabilmektedir. Ayrıca makinelerde yapılacak kapsamlı bakımların, tesisin en düşük yoğunlukta olduğu çalışma periyoduna planlanması sağlanabilmekte, gerçek veriler kullanıldığından aynı makinede farklı çalışma koşulları için, farklı zaman ve bakımlar planlanabilmekte, bakım güncellemeleri kolaylaşmakta ve en önemlisi arızalar asgari seviyeye indirilip gayri faal kalma süreleri kısaltılabilmektedir.

Kestirimci bakım yönetim süreci, dört basamaktan oluşmaktadır [44].

- Ölçüm
- Analiz
- Planlama
- Onarım ve sınıflandırma

Şekil 3.5’de ekipmanın normal koşullarda çalışıp çalışmadığının periyodik ölçümlerle izlenerek, arıza olasılıklarının belirlenmesi ve bakım planlamasının yapılması esasına dayalı grafik yer almaktadır.



Şekil 3.5 Kestirimci bakım uygulaması [43]

3.5 Güvenilirlik ve Bakım

Bakımlar, güvenilirlik uygulamasına göre üç ana grupta toplanmaktadır.

- Üretken Bakım (PM)
- Toplam Üretken Bakım (TPM)
- Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM)

Son yıllarda işletmeler, ekipman ve sistem güvenilirliği ile daha çok ilgilenmeye başlamışlardır. Etkili şekilde uygulanan bu kavramlar sayesinde yıllık üretimde %15-25'lik bir artış meydana geldiği belirtilmektedir. Uygulanan güvenilirlik stratejileri ile maliyetler azaltılabilmektedir. Bakım faaliyetlerinin en yoğun olacağı zamanın bilinmesi ile yedek parça tedariği konusunda avantajlar elde edilmektedir. Güvenilirlik ve bakım stratejilerinin yararları şu şekilde sıralanabilir [50];

- Onarıma ilişkin analiz yapabilme
- Ekipman güvenilirliğinde artış sağlama
- Beklenmeyen masraflarda azalma sağlama
- Gelir artışı

3.5.1 Üretken Bakım (PM)

Önleyici, kestirimci ve bakım geliştirici teknikleri tasarım-ürün döngüsü maliyetlerine dayalı olarak birleştiren sistematik bir faaliyettir. “Tasarıma yönelik bakım” olarak da adlandırılmaktadır [35].

Sistemlerin arızalarını düzeltmek yerine buna neden olan değişkenleri belirleyip ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Ekipmanın üretimi sırasında yapılan hatalar çoğu arızanın sebebi olarak görülmektedir [42].

3.5.2 Toplam Üretken Bakım (TPM)

Küçük ekipler ile yapılan bakımın, tüm çalışanlar tarafından yapılır hale getirilerek sistematik bir şekilde uygulanmasıdır [1].

Toplam üretken bakım, kuruluşların kullandığı ekipmanlarda oluşabilecek her türlü arıza, verim kaybı ve buna bağlı olarak ürünlerde ortaya çıkan kusur ve kalite düşüşünün önlenmesini hedefleyen bir yöntemdir [42].

1980’li yılların başlarından itibaren, kaynakların en verimli şekilde kullanılarak, kalite seviyesi yüksek ürünlerin tam zamanında ve rekabetçi bir maliyet ile üretebilmenin yolunun “Tam zamanında teslimat” ve “Yalın üretim” olarak adlandırılan bir anlayıştan geçtiği tespit edilmiştir. Yalın üretimin işletmelerde uygulanabilmesi için ihtiyaç duyulan kavram ise toplam üretken bakım olarak karşımıza çıkmaktadır [52].

Kullanıcının rutin bakımları üstlenmesine dayalı bakım türü olup, her çalışanın sorumlu olduğu cihaz ve bakımlar bulunmaktadır [53].

Toplam üretken bakımın amacı, aşağıda belirlenen hedefler doğrultusunda iyi bir bakım uygulaması oluşturmaktır [1], [51].

- Ekipman etkinliğini artırmak
- Yöneticilerden başlayıp operatörlere kadar tüm personeli günlük bakımlara dahil etmek
- İş sağlığı ve güvenliğini sağlamak
- Her departman tarafından uygulanmasını sağlamak

- Bakım verimliliğini arttırmak için tasarım yapmak
- Kaliteli ürün istikrarını sağlamak
- Personeli eğitmek
- Yüksek karlılık oranı elde etmek

Toplam üretken bakım, günümüzde yaşanan zorlu rekabet koşulları ile mücadele edebilmeyi kolaylaştırmak için, maliyet kayıpları ile hatalı üretim sebebiyle oluşan ilk yatırım kayıplarının ortadan kaldırılması ve kalite standartlarının arttırılmasının istenmesi nedeniyle ortaya çıkmış bir uygulamadır.

Tüm çalışanların cihazlarını sahiplenmesini sağlayarak tesisin veriminin kısa sürede artırılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kronik olarak ortaya çıkan arızaların giderilmesine yönelik etkili bir yöntemdir.

Toplam üretken bakım ile personelin eğitim seviyesi artırıldığından ve herkes uygulamaya dahil edildiğinden, uzman personel ile düşük maliyetli kaliteli ürünlerin üretildiği ve ekip çalışmalarının etkin rol aldığı, çevreye saygılı tesisler ortaya çıkmaktadır.

Toplam üretken bakım faaliyetlerinin yararı üzerine yapılan bir çalışmada; bu yöntemin, arızaların onarımından ziyade, önleyici planlı bakım ile kullanılan makinelerin etkin kullanımı ve maliyetlerin düşürülmesinde oldukça faydalı olduğu vurgulanmaktadır [42].

3.5.3 Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM)

1950'lerin sonlarından itibaren arızayı önleme süreci olarak önleyici bakımın detaylı inceleme çalışmaları başlamıştır. 1970'lerin başlarında Amerika Birleşik Devletleri Donanması hem yeni tasarlanan hem de görevde bulunan uçaklara güvenilirlik merkezli bakım (RCM) adı verilen metodu uygulayan ilk kurum olmuştur. 1978'de Nowlan ve Howard Heap tarafından yayınlanan "Güvenilirlik Odaklı Bakım" isimli kitap ile beraber RCM'nin gemi taşımacılığında da uygulanmasının temelleri atılmıştır.

Güvenilirlik merkezli bakım, karmaşık sistemlerin bakım gereksinimlerini karşılamak için geliştirilen bir yoldur. Yetmişli yılların ortalarından itibaren diğer endüstrilerde de

uygulanmaya başlamıştır [49]. Askeri unsurlardan, nükleer enerji endüstrisine kadar birçok sektöre uygulanmıştır. Ticaret gemileri güvenilirlik merkezli bakım tekniklerinin uygulamasında ilk adımı atsalar da bazı zorluklarla karşılaşmışlardır [1].

Bir tesiste yer alan tüm unsurların hazır bulundurulmalarının sağlanmasında, iki yöntem izlenmektedir. Birincisi varlıkların zamanında bakımlarının yapılması, diğeri ise geçmiş çalışma süresince edinilen tecrübeler ışığında gerekli yenileme çalışmalarının yapılmasıdır. Güvenilirlik merkezli bakım, bir dizi faaliyetten meydana gelmekte olup mevcut çalışma şartları içerisinde belirlenen faaliyetlerin yapılmaya devam edilmesi için tüm gereksinimleri oluşturmada kullanılan bir yaklaşımdır [45].

Güvenilirlik merkezli bakımın herhangi bir fiziksel makine veya sistemin en az bir işlevi olduğu ve kullanıcıların bu işlev için performans gereksinimlerine sahip olduğu düşüncesi ile ortaya çıktığı bilinmektedir. Güvenilirlik merkezli bakımın temel amacı, sistemin en önemli işlevlerine odaklanarak, kesinlikle gerekli olmayan bakım eylemlerinden kaçınarak veya sonlandırarak bakım maliyetlerini düşürmektir [54].

Kısacası RCM; bir bakım stratejisi olup, bakım prosedürünün tercih edilme sürecini ve bu süreçte takip edilecek metodu tanımlamaktadır.

RCM analizleri geçmiş kayıtlara ve tecrübelere dayalıdır. Çalışanların sayısından çok, uzman personelin analizlere katılması doğru ve hızlı sonuçlara ulaşabilmek adına tercih edilmektedir.

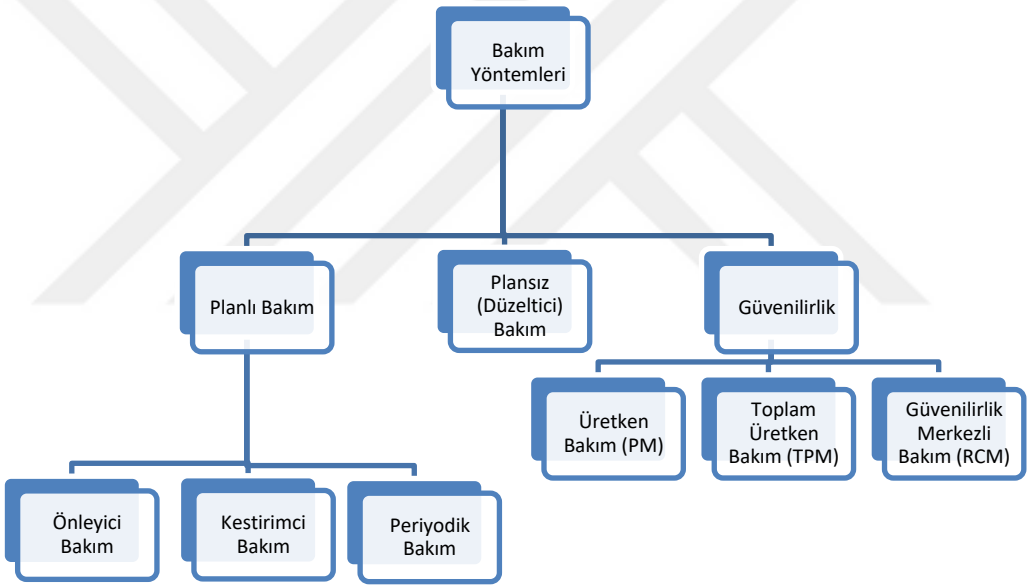


Şekil 3.6 RCM analiz basamakları [55]

Güvenilirlik merkezli bakım yönteminde, tüm araçların aynı önemde olmadığı değerlendirilmekte olup, gereksiz bakım faaliyetleri elenerek maliyetler azalır ve daha önemli olduğu düşünülen cihazlara odaklanılabilir. Arızalar kategorize edilerek, ekipman performansını etkileyecek arızalar belirlenmektedir [53], [55]. RCM yöntemi, uygun maliyetli bakım programları oluşturmak için en başarılı ve pratik yöntemlerden biridir. RCM'nin uygulanması bakım maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlamış ve güvenilirliği artırmıştır.

3.6 Bakım Yöntemlerinin Genel Değerlendirmesi

Yukarıda yapılan tüm tanımlamalar çerçevesinde bakım yöntemleri Şekil 3.7'de verilen biçimde sınıflandırılabilir.



Şekil 3.7 Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması

İçinde bulunulan sektörün çalışma koşullarına bağlı olarak her cihaz ve sistem için farklı bakım stratejileri belirlenebilir. Önemli olan seçilen stratejinin, kurumun amaç ve hedeflerine uygun olup olmadığıdır.

Plansız bakım politikasının pahalı olduğu değerlendirilse de, tedarik zincirinde oluşan sorunlar nedeniyle bazı durumlarda, seçmenin uygun olacağı düşünülmektedir. Günümüzde pek fazla tercih edilen bir yaklaşım olmadığından genel olarak onarım faaliyeti olarak tanımlanmaktadır.

Duruma dayalı önleyici bakımın zamana göre önleyici bakımdan en belirgin farkı, gereksiz olan bakımların önlenebilmesidir. Önleyici bakım uygulamaları ile maliyetli arızaların meydana gelmesi engellenerek, gayri faal kalma süreleri kısaltılabilmektedir.

Kestirimci bakım, bir sistemin mevcut durumuna dayalı olarak karar vermekten ibaret olan bir yaklaşımdır. Makine veya makine kontrol sistemi üzerinden yapılan fiziki parametre ölçümleri ile geleceğe yönelik kestirimde bulunma faaliyetidir. Kestirimci bakım ile arıza tahmin edilerek, malzeme tedariği arıza meydana gelmeden önce yapıldığından stok maliyetleri oldukça azalmaktadır.

Ticaret ve savaş gemilerinde birbiriyle direkt veya dolaylı bağlantılı birçok sistem ve cihaz bulunduğundan en etkili bakım sonucuna ulaşabilmek için birden fazla bakım yaklaşımının seçilmesi gerekmektedir.

3.7 Gemi Bakım ve Onarım Faaliyetleri

Dünya ticareti gün geçtikçe hızla büyürken, deniz taşımacılığı bu gelişime en büyük katkıyı sunan endüstri olmaktadır.

Denizcilik sektöründe, gemilerin görev konseptleri gereği uzun süre seyir maksadıyla denizde bulunmasından dolayı sarf ve yedek parça malzeme tedariğine yönelik yaşadığı imkansızlıklar nedeniyle, planlı ve plansız tüm bakımların uygulamalarında çeşitli zorluklarla karşılaşılmaktadır. Yaşanan malzeme sıkıntısı sonucunda güvenli olmayan, onarım görmüş malzeme kullanımı veya yetersiz bakım yapılması gibi sebeplerle maliyetli arızalarla karşılaşılmakta ve çevresel zararlara neden olunabilmektedir.

Bu nedenle, gemi sahipleri gemilerin kullanım dışı kalarak gelir üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilmek için bakım performansını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Gemi bakım sektörünün inşa sektöründen farklı yanları bulunmaktadır. Mevcut rekabet ortamında güçlü bir şekilde yer alabilmek için bakım faaliyetleri ile ilgili olarak maliyet, kalite ve zaman kavramları ön plana çıkmaktadır.

Deniz taşımacılığında işletme maliyetlerinin yaklaşık %40'ının bakım maliyetleri olduğu bilinmektedir. Birçok gemi işletmecisi tarafından gemi bakım-onarım maliyetlerini minimize etmek amacıyla geminin ne zaman, ne kadar süre ile bakımda bulunacağı önceden belirlenmektedir.

Yetersiz bakım yapılması sonucu oluşan arızalar ile meydana gelen zararların önlenebilmesi, deniz kirliliği gibi çevresel zararların yaşanmaması için gemilerde bakım ve onarım planlamalarının en doğru şekilde yapılması, uygulanması ve performansın iyileştirilmesi her dönem önem arz eden hususlar olmuştur.

Gemideki her bir sistemin, geminin kullanılabilirliğini en üst seviyeye çıkarmak için, bakım çizelgeleme planı içerisinde planlamalarının ayrı ayrı tutulması gerekmektedir. Sevk, güç ve iklimlendirme gibi tüm ana bileşenleri faal durumda ise, gemi operasyonel faaliyetlerine devam edebilir. Ana bileşenlerden herhangi biri arızalı veya kısıtlı kullanıma sahip ise, bakım yapılması gerekebilmektedir [1].

Donanma Bakım ve Malzeme Yönetimi El Kitabı'nda bakım; sistemlerin, ekipmanların ve bileşenlerin gerektiğinde amaçlanan işlevlerini yerine getirmelerini sağlamak için alınan önlemler olarak tanımlanmaktadır [55].

Gemide çeşitli sistemler üzerinde yer alan her bir bileşenin, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirliğini en üst seviyede tutabilmek için, plan dahilinde ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Sevk sistemleri, atık kontrol sistemleri ve askeri gemilerde silah sistemleri gibi tüm ana bileşenlerin faal olduğu durumlarda, geminin faal olma durumu ortaya çıkabilir. Kısacası gemide ana bileşenlerden herhangi birinin arızalı faal veya gayri faal olması durumlarında geminin dizayn karakteristiğine uygun kullanılabilmesi mümkün olmayabilir ve gerekli bakımların yapılmasına ihtiyaç duyulabilir [15].

Gemi makine ve ekipmanlarının bakım periyotları, bakım planlamasının en önemli ve zor kısmını oluşturmaktadır. Bu tür ekipmanlara bakım planlaması yapılırken aşağıda yer alan hususlar göz önüne alınmalıdır [56];

- Üretici tavsiyeleri
- Öngörücü bakım teknikleri
- Bakım yapacak personelin tecrübesi ve eğitimi
- İşletme koşullarına bağlı kısıtlamalar

Gemilerde bakımlar, teknoloji alanındaki tüm gelişmeler takip edilerek, mevcut sistemlere bir zarar vermeden gerçek ihtiyaçlara göre dinamik olarak planlanmalıdır. Dinamik bakım planları ile plansız gerçekleştirilen eylemler azaltıldığından

kullanılabilirlik artırılır. Dinamik bakım planlaması ile amaçlanan, kritik sorunların en az %90'nını 7-30 gün içinde bulmak ve gerekli bakımların %90'nından fazlasını 2-6 ay önce tahmin etmektir.

İdeal dinamik bakım planı ile çalışma koşulları korunup bakım maliyetlerinde tasarruf sağlanarak, yakıt tüketimi normal seviyede tutulabilir. Parametrelerin sürekli izlenmesi ile güvenilirlik artar. Çalışma saatine bağlı olarak daha az yedek parça ihtiyacı oluşur [47].

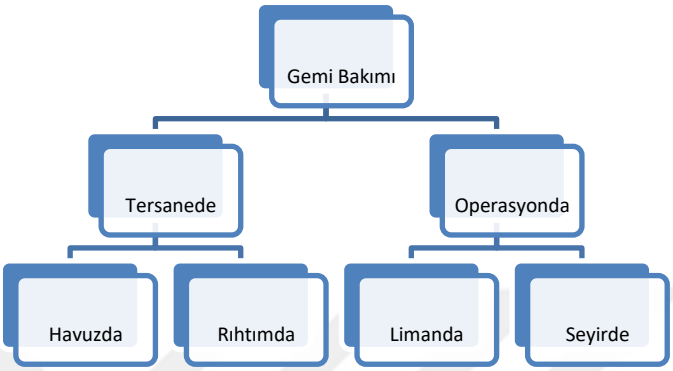
Gemilerde tüm sistemler makine kontrol sistemleri ile anlık olarak seyirde ve limanda takip edilmektedir. İşletme kapsamında yapılan sürekli izleme ile birçok veri toplanıp, edinilen tecrübeler ve üretici kullanım prosedürleri ışığında analizler yapılabilmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler deneyimli bir uzman personel tarafından doğru şekilde işlendiğinde değerli bilgiler haline gelmektedir. Gelecekte gemilerde uzun yıllar çalışmış personelin deneyimleri ile geliştirdiği algoritmalar daha fazla veri analizine imkan verecek, böylece ölçeklenebilirliği artacak ve gerçek zamanlı yanıtlar almak mümkün olacaktır.

Bir gemide çalışma ömrü boyunca standart özelliklere sahip, üreticiler tarafından onaylanmış yedek parçalar kullanılarak modern yönetim tarzları elde edilmelidir. Günümüzde her ne kadar ihmal edilse de güvenilirliği etkileyen önemli unsurlardan biri orijinal parça kullanımıdır.

Gemi işletim sistemlerinin uzun ömürlü olması ve düzenli çalışması, uygulanan planlı bakım sistemleri ile mümkün olmaktadır. İşletmeler tarafından cevaplanmak istenen soruların başında, kısıtlı bütçe ortamında bakımın tatmin edici bir şekilde yapılma olasılığı ile; başlangıç ve bitiş zamanlarının doğru öngörülme isteği gelmektedir. Gemi bakımlarının planlanmasında önceliklerin kısa sürede belirlenmesi hedeflenilerek, gemilerin faal kalma sürelerinin uzatılması ve icra ettiği faaliyetlerden en fazla kazancı sağlaması amaçlanılmaktadır. Ancak, gemilerin beklenmedik zamanlarda karşılaştığı arızalara bağlı bakım faaliyetlerinin tahmin edilmesi oldukça zordur. İşletmeler havuz onarımları gibi ağır bakımları yapmak zorunda kaldıklarında büyük zaman ve mali kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tüm işletmelerde arıza ile onarım kayıtlarının eksiksiz tutulması, personel eğitimlerinin aksatılmadan yapılması, düzenli denetim

faaliyetlerinin icra edilmesi ve tüm bakım prosedürlerinin üretici talimatlarına uygun, bilinçli ve planlı yürütülmesi gerekmektedir.

Gemilerde bakım ve onarım faaliyetleri, Şekil 3.8'de gösterildiği üzere tersanelerde yapılan havuz bakımları ile seyir veya limanda yapılan günlük bakımlar olmak üzere iki şekilde yürütülebilmektedir.



Şekil 3.8 Gemi bakımlarının sınıflandırılması [56]

Gemilerde bakım planlama faktörleri iki ana gruba ayrılmaktadır. Bazı faktörler kontrol edilebilir olup, optimizasyon teknikleri uygulanarak maliyetler düşürülebilmektedir. Diğer faktörler ise kontrol dışı olarak adlandırılmaktadır. Tüm faktörler Çizelge 3.1'de listelenmiştir [1].

Çizelge 3.1 Gemi bakım planlama faktörleri [1]

Kontrol Edilebilen Faktörler	Kontrol Edilemeyen Faktörler
Bakım zamanlaması	Gemi yaşı
Bakım stratejisi seçimi	Gemi boyutu
Gemi inşa	Kullanım şekli
Personel sayısı ve branşı	Gemi tipi
Tersanenin yeri	Klas kuruluşları

Gemilerde genel olarak uygulanan bakımlar düzeltici ve önleyici bakımlar olup yapılan rutin faaliyetler aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir [57].

- Havuzlama
- Yüzey temizleme, raspa ve boya

- Pervane bakımı
- Dümen bakımı
- Sac işçiliği
- Ana makine bakımı
- Pompa ve boru işlemleri
- Baş itici (bow thruster) işlemleri
- Yaşam mahali işlemleri
- İklimlendirme sistemi bakımları
- Atık kontrol sistemleri bakımları
- Silah sistemleri bakımları (askeri gemiler)

Gemilerin temel bakımı su hattı altında kalan alanları da kapsayacak şekilde havuzlama esnasında ortalama üç yılda bir gerçekleştirilmektedir. Tersanede yapılan işlerin yaklaşık %75'i rutin, kalan %25'i ise hasar onarımı ve geri dönüşüm faaliyetlerini içermektedir. Gemi onarım işleri maliyetlerine göre; seyir onarımları, rutin liman onarımları, büyük onarımlar, hasar onarımları, tamir ve dönüşüm faaliyetleri olarak sıralanabilir [57].

Gemi bakım performansının ölçülmesinde kullanılcak altı temel faktör bulunmaktadır [1].

- Bakım stratejisi
- Maliyet
- Havuzlama planı ve zamanı
- Personelin eğitimi
- Klas kuruluşu isterleri
- Müşteri memnuniyeti

Havuzlama planlaması ve zaman kriterlerinin performans göstergeleri ise dört başlık altında toplanmıştır [1].

- Havuzlama maliyeti
- Havuzlama zamanı
- Tersane seçimi
- Gemilerin kullanılabilirliği

3.7.1 Gemi Havuzlama Faaliyeti

Karina kısmında yapılması gereken (pervane, dümen, şaft vb.) onarım işlemlerini gerçekleştirebilmek için, gemilerin yüzen veya taş havuzların içine alınarak takarya adı verilen blokların üzerine oturtulması ile tamir edilmesi ve kuruya çıkarılması işlemidir [57].

Genelde gemi sahipleri, son yapılan havuzlama zamanına göre veya klas kuruluşlarının denetim şartlarını yerine getirebilecek şekilde havuzlama zamanını planlamaktadır. Asıl sorun, böyle bir zamanın optimum çözümü sağlayacak şekilde belirlenebilmesidir.

Havuzlama bakımının etkin şekilde planlanması, stratejik yönetim planı içerisinde hayati bir konudur. Bu süreç doğru yönetildiği takdirde, gayri faal kalma süresi azaltılabileceği gibi, gelir ve verim konusunda da önemli kazanımlar elde edilebilecektir [58].

Bir geminin havuzlanabilmesi için gerekli şartlar ile dikkat edilmesi gerekli konuların bazıları aşağıda yer almaktadır.

Havuzlama girişinde geminin meyilinin sıfır derece olması gerekmektedir. Gemi meyili güverteye konulan ilave ağırlıklar ile de düzeltilebilmektedir.

Havuzlamadan önce omurga altına uzanan takıntıların mutlaka bildirilmesi gerekmektedir.

Havuzlama esnasında ve sonrasında tersane yetkililerinin bilgisi olmadan yük transfer faaliyetleri yapılmamalıdır.

Takaryalar geminin kinistin ızgaraları gibi kritik bölgelerine denk gelmemelidir.

Havuzlama işlemi esnasında gemi personeli dikkatli ve eğitimli olmalıdır.

Gemi karina sörvey ve boya, sevk sistemleri (pervane, şaft, şaft yatakları, dümen, baş itici vb.) ve hareketli yalpa kanat bakımları havuzlama esnasında yapılan başlıca bakımlardır.

3.7.2 Gemi Bakım Sistemi

Gemilerin materyal hazırlık seviyelerini en üst düzeyde sürdürebilmek maksadıyla planlı bakım konusunda yapılması gerekenlerin bildirildiği sistemlerdir.

Planlı bakım sistemleri gemilerin uluslararası denizcilik ve çevre koruma yönetmeliklerine uygun olarak çalışmasını sağlamaktadır [56].

Gemilerde görevli her personelin sorumluluğunda olan cihazların her an her göreve hazır bulundurulması ilgili personelin sorumluluğundadır.

Bakım planları gemideki sistemlerin kontrol periyotlarına göre yapılmakta olup günlük, gerektiğinde, haftalık, aylık, üç aylık, yıllık veya daha uzun periyotlarda icra edilmektedir. Bakım planları en az beş yıllık olarak hazırlanmaktadır. Bu planlar;

- Tekne, makine vb. sistem bakımlarını,
- Bakımların nasıl yapılacağını,
- Bakımların kimler tarafından yapılacağını,
- Bakımların ne kadar süreceğini,
- Tersane seviyesi yardım ihtiyacı olup olmadığını,

içermektedir.

Gemilerde bakım faaliyetleri, uzman personel tarafından, kaliteli parça kullanılarak yapılmalıdır. Aksi takdirde yetersiz bakımla sonuçlanabilmektedir. Yetersiz bakım sonucunda da gemi önemli sayılabilecek tehlikeler ile karşılaşabilmektedir.

Bakım planlarında, yapılacak bakım tarif edilirken; test ölçüm yöntemleri, kullanılacak araç-gereç listeleri, ihtiyaç duyulacak yedek parça listeleri ve koruyucu ekipman özellikleri açıkça belirtilmelidir.

Bazı gemilerde öncelikli planlı bakım sistemleri de kullanılmakta olup, yoğun görev periyotları sebebiyle bakımların aksatılmadan icra edilebilmesi amaçlanmıştır. Bu tür

sistemlerde bakımlar geminin gayri faal kalma durumunu etkileyip etkilememesi ve gemi seviyesinde yapılıp yapılamayacağına göre önceliklendirilmiştir.

Sonuç olarak bakım giderleri, işletme maliyetleri içinde en büyük paya sahip olan harcamalardır. Ancak bu maliyetin çoğunluğu kontrol edilebilir faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu faktörler de optimize edilebildikleri için maliyetleri düşürmek mümkün olmaktadır. Bu nedenle maliyetleri düşürebilmek ve gemi operasyonlarını devam ettirebilmek amacıyla bakım planlama ve uygulama faaliyetlerine çok özen gösterilmesi gerekmektedir [1].

BÖLÜM 4

BAKIM SİSTEMLERİNİ MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.1 Giriş

Bir bakım organizasyon modeli geliştirebilmek için dört temel konu göz önünde bulundurulmalıdır. İlki, sistemin teknik olarak tanımlanması, ikincisi, sistemin zamana bağlı değişimi ve olası sonuçların modellenmesidir. Üçüncüsü, mevcut sistem bilgisinin ifadesi ve son olarak, en iyi çözümü bulmada yardımcı olabilecek optimizasyon tekniklerinin belirtilmesidir [1]. Modeller, bakım politikalarını değerlendirmeyi sağlayıp, güvenilirlik ve maliyet etkinliği açısından karşılaştırmada kullanılabilmektedir. Ayrıca zamanlama özelliği sayesinde karar verme sürecini desteklemekte, etkili bakım planları belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Bakım optimizasyonu elde edebilmenin yollarından biri de, planlamaların düzenlenmesidir. Planlama, tesisin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak için, matematiksel bir model geliştirilerek elde edilebilir.

Problemlerin çözümü amacıyla model oluşturulduktan sonra, sonuca ulaşabilmek için algoritmik bilgisayar yazılım programları da kullanılmaktadır [59].

Oluşturulan modelin istenilen amaca uygun olup olmadığını belirleyebilmek için test edilmesi gerekmektedir. Testin sonucunda model tarafından üretilen sonucun, programcı tarafından doğrulanması, çözümün anlam taşıyıp taşımadığını ifade edebilmek adına önemlidir.

Stratejik planlama aşamasında tahminde bulunmak, ön şart olarak kabul edilebilir. Bakım tahmini, bakım organizasyonları yapılırken planlanan işlemleri yerine getirebilme kabiliyetini artırmaktadır.

Stratejik bakım planlamaları; uzun vadeli, amaçların belirlenmesini sağlayan, bakım hedeflerinin işletme misyon ve vizyonu ile ittifakını benimseyen bir süreç olarak değerlendirilmektedir.

Tsang [60], Murthy ve ark. [61], ile Al-Turki [62] tarafından yapılan çalışmalarda; teslimat, organizasyon, metodoloji ve destek gibi önemli konuların stratejik planların oluşturulmasında dikkate alınmasının faydalı olacağı belirtilmiştir [48].

Bakım planlaması, güvenilirlik, sürdürülebilirlik ve kalite gibi organizasyonel hedeflere ulaşılması amacıyla tüm bakım konseptinin belirlenmesini içermektedir. Planlama yapılırken bazı bakımların ne zaman yapılacağını tahmin edebilmek hem maliyet hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır.

Planlama faaliyetleri tahmin çalışmalarının sonuçları ile doğrudan ilişkili olduğundan, tahmin çalışmalarının performansı, planlamanın daha gerçekçi bir şekilde yapılması sonucunu doğuracaktır. Kısacası bakım tahminleri ne kadar doğru olursa, planlama çalışmalarının da o kadar başarılı ve verimli olacağı kesindir.

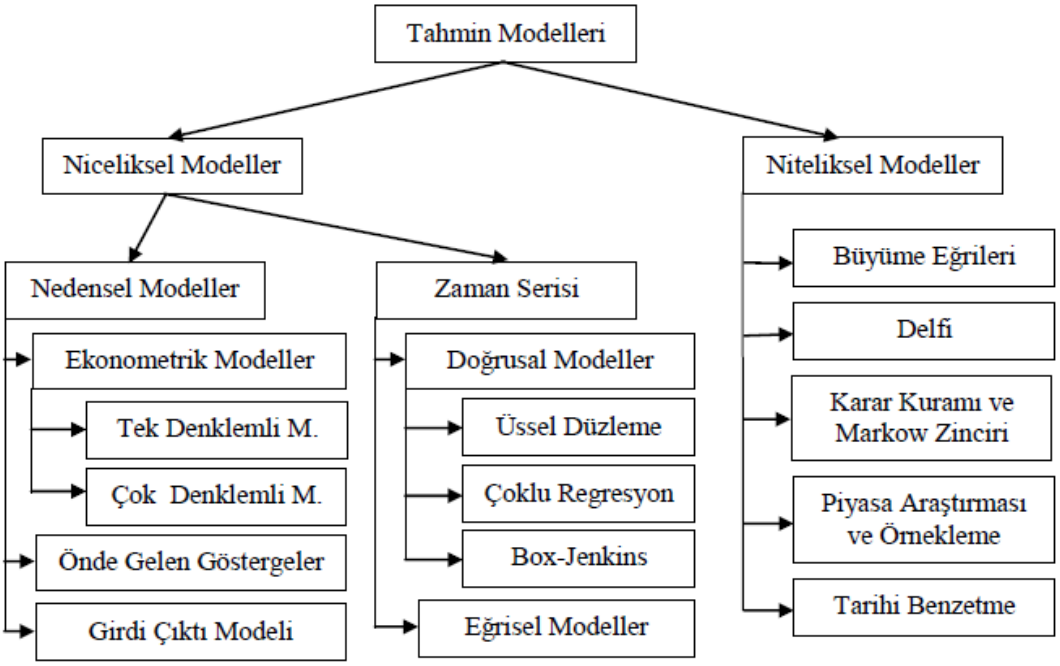
Zaman serisine dayalı bakım tahminlerinde kullanılan yöntemlerden birisi de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları, ön bilgiye ve varsayıma ihtiyaç duymadan gerekli modellemeyi yaparak kullanıcıya avantajlar sunabilmektedir.

4.2 Bakım Tahmin Yöntemleri

GMSM İcra Kurulu Başkanı tarafından, bakım tahminlerinin esas olarak kişisel deneyimlere dayandığı ve bakımdan sorumlu personel tarafından geliştirildiği ifade edilmiştir. Ayrıca KLTT Filo Bölümü Teknik Operasyon Sorumlusu, “Kaydedilen bilgilerin mevcudiyeti, doğru bakım tahminleri yapılmasını sağlayabilmektedir.” şeklinde bir ifade kullanmıştır [1].

Bakım tahmininde kullanılan yöntemler, tüm değişkenler arasında bağlantı kurarak matematiksel bir fonksiyon elde edilmesini sağlar.

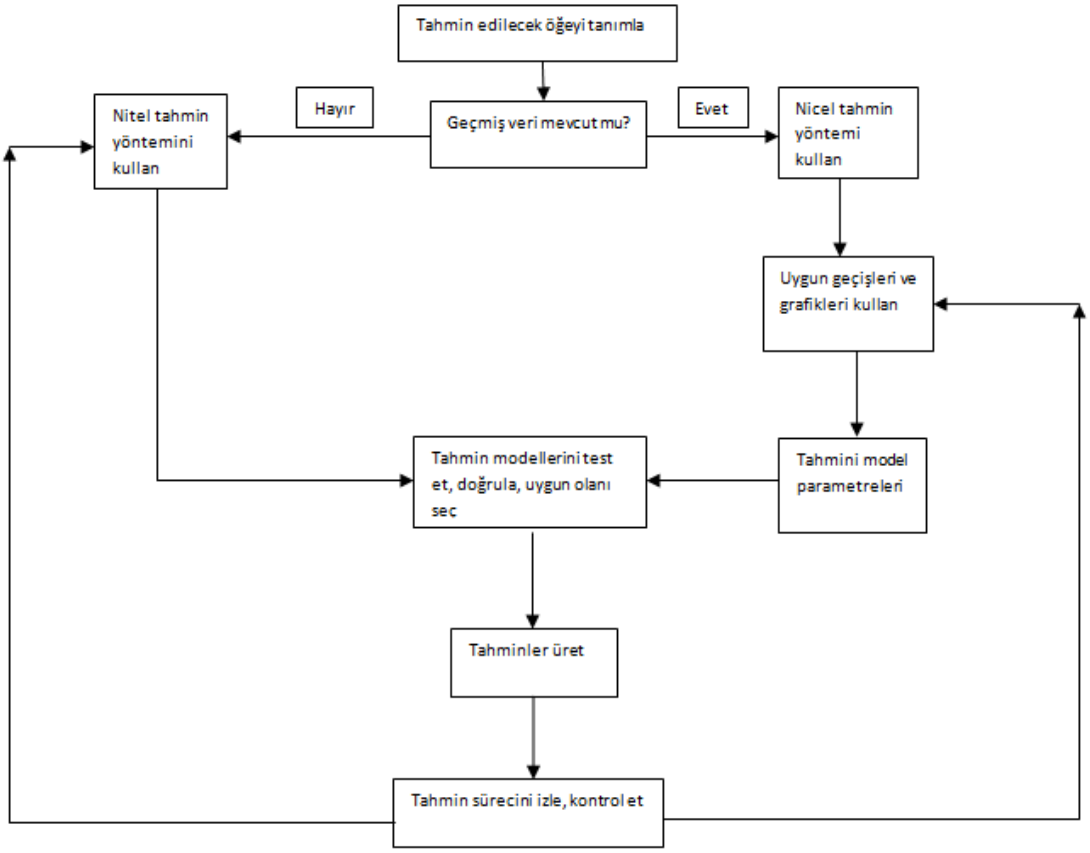
Literatürde tahmin yöntemleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, çok çeşitli yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımlar iki başlık altında toplanarak, Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Gelecek tahmin modelleri [63]

Tahmin yöntemlerinin performansı; modelin gelecekteki değerleri ne derece doğru tahmin ettiğini ölçen ve tahminler ile gerçek değerler arasındaki farkı değerlendiren "*doğruluk*" kavramı, koşullara uyum yeteneği olarak nitelendirilen "*esneklik*" kavramı, "*hesaplama kolaylığı*" ve "*model için ihtiyaç duyulan veriler*" ile ölçülmektedir.

Tahmin performansını geliştirmek ve tahminleri hassaslaştırmak için oluşturulan tahmin çevrimi Şekil 4.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.2 Öngörü süreci çevrimi [48]

4.2.1 Niteliksel Tahmin Yöntemleri

Öngörüde bulunulacak konu ile ilgili olarak mesleki tecrübesi veya mühendislik deneyimi olan personelin değerlendirmeleri doğrultusunda yapılan bir öngörü yöntemidir.

İnsanların düşünceleriyle ilgilenen karmaşık bir yaklaşım olup, araştırma sonucunda elde edilen verileri tanımlayabilmek için resim ve kelimeler kullanılmaktadır.

Kobu tarafından niteliksel modeller, kişisel deneyimler ışığında edinilen görüşleri esas alan yaklaşımlar olarak tanımlanmış olup, geçmiş döneme ait sayısal parametrelerin erişilemediği durumlarda kullanıldığı belirtilmiştir [64].

4.2.2 Niceliksel Tahmin Yöntemleri

Bilgilerin sayılara dönüştürüldüğü yöntemlerdir. Hipotezleri test etmeyi ve sonrasında aralarında oluşan sayısal farkları karşılaştırmayı hedeflemektedir.

Gelecek eğilimleri belirlemek için geçmiş verileri kullanarak oluşturulan matematiksel modellere dayalı tahminleri içeren yaklaşımlardır. Niceliksel modelleri; nedensel teknikler ve zaman serisi modelleri olarak iki başlık altında incelemek mümkündür.

Zaman serisi modelleri ile, geçmiş gözlemlere bağlı olarak geleceğe yönelik tahminlerde bulunulmaktadır. Geçmişte toplanan veriler belli bir zaman aralığını kapsayacak şekilde toplanmaktadır. Toplanan verilerin hesaplanan eğilimleri doğrultusunda, gelecekteki hedefin de gerçekleşeceğine dayanarak tahminler yapılmaktadır. Korelasyon özelliği her bir gözlemin kendinden önce gelen gözleme istatistiksel olarak bağlı olması anlamına gelirken, mevsimsel değişkenlik ise uzun vadede verilerin birbirini tekrar eden özellikler göstermesidir [63], [65].

Niceliksel tahmin yöntemleri; hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama, regresyon analizi ve üssel düzeltme olarak ayrılmaktadır.

4.2.2.1 Hareketli Ortalama Yöntemi

Hareketli ortalama yöntemi, yaygın şekilde kullanılan, uzak geçmişten çok, yakın geçmişe ağırlık veren bir modeldir. Örneğin geçmiş tarihli dönem verilerinin üçü, dördü veya beşi alınarak, en son gerçekleşen dönem bunlara ilave edilir. Daha sonra, bu verilerin ortalaması, bir sonraki dönem değeri olarak kabul edilir [65].

Bu yöntem ile n dönem için mevcut gerçek gözlemlerin ortalaması alınarak bir sonraki dönemin tahmini oluşturulmaktadır.

4.2.2.2 Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi

Hareketli ortalama yönteminin sakıncalı görülen kısımlarının bir bölümü, ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi kullanılarak giderilebilir. Bu yöntemde en yakın veriye en büyük ağırlık verilir [65].

Gözlenen verilerin kararlı olmadığı değerlendirildiğinde, gelecek tahmini için uzak geçmişte elde edilen verilere oranla yakın geçmişte elde edilen verilerin ağırlıklarının daha fazla olduğuna dayanan bir yaklaşımdır. Her gözlem için farklı bir ağırlık verilmektedir.

4.2.2.3 Üssel Düzeltme Yöntemi

Üssel düzeltme yöntemi de, hareketli ortalama tahmin yönteminde olduğu gibi tüm geçmiş verileri göz önünde bulundurup, yakın geçmişteki verilere daha fazla ağırlık veren bir yaklaşımdır. Kısacası geçmiş dönemlere yakınlığı ile doğru orantılı olarak ağırlık verilmektedir. Bunu, bir sonraki dönemin tahminini oluşturmak için yalnızca üç veriye ihtiyaç duyarak yapmaktadır [48].

- Son dönem tahmini
- Son dönem gerçek gözlemi
- Son gerçek gözleme verilen ağırlığı düzeltme faktörü

Üssel düzeltme yönteminin kullanılmasındaki temel düşünce gözlenen verilerdeki dalgalanmaların etkilerini azaltarak genel yönelime uygun bir tahminde bulunabilmektir [65].

4.2.2.4 Regresyon Analizi

Bağımlı bir değişkeni tahmin etmek için bağımsız değişken veya değişkenler varsa ve bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında bir korelasyon mevcut ise regresyon analizi kullanılabilmektedir.

Bağımsız değişken sayısına bağlı olarak regresyon analizi farklılık göstermektedir. Eğer bağımsız değişken sayısı bir ise bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki iliski doğrusal regresyon denklemi ile açıklanmaya çalışılır. Bağımsız değişken sayısı birden fazla ise çoklu regresyon analizi ile açıklanır. Bu kez iliski doğru denklemi, parabol, üssel ifade veya logaritmik fonksiyon olabilir.

Regresyon denklemleri bize bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek ilişkiyi göstermemektedir. Bu nedenle gerçek değer olan bir x değerine karşılık tahmin edilen f(x) değeri, regresyon fonksiyonunun üzerinde olacaktır. Ancak aslında gerçekleşen değerler regresyon fonksiyonunun civarında dağılmışlardır. Bu yüzden bulacağımız tahmin değerlerinde hatalar meydana gelecektir [66].

Regresyon analizi, en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin etme sürecini ifade etmektedir. Bu nedenle elde edilen doğruya dikey mesafeler toplamının en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

En küçük kareler yöntemine göre, bir zaman serisine en iyi uyan doğru veya eğri, geçmiş yıllara ait gerçek değerlerle formülün uygulanması sonucu bulunacak teorik değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını en az yapan doğru veya eğridir [65].

4.2.3 Hata analizi

Tahmin modellerinin performansının incelenebilmesini sağlayan, modeller arasında değerlendirme yaparak en iyi modeli seçme metodolojisini sunan yaklaşımlardır. Tahmin modelinin etkinliğinin geçerli ölçütü olmayıp sadece bir önyargı ölçütüdür.

Modelde en küçük kareler yöntemi kullanılıyorsa hataların toplamının sıfıra en yakın değer olması beklenmektedir. Ancak hatalar toplamı yapılırken pozitif hata değerleri negatif hata değerlerini dengeleyebildiğinden hataların mutlak değerinin veya karesinin alınması gerekmektedir. Hata analizi ile tahmin modellerinin etkinliğinin değerlendirilebilmesi için ;

k süresinde tahmin hatası; gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farktır.

$$e(k) = x(k) - \hat{x}(k) \tag{4.1}$$

Hataların toplamı;

$$\sum_{k=1}^{N} e(k) = \sum_{k=1}^{N} [x(k) - \hat{x}\,(k)] \tag{4.2}$$

Ortalama Mutlak Sapma (MAD);

$$MAD = \sum_{k=1}^{N} \frac{|x(k) - \hat{x}(k)|}{N} \tag{4.3}$$

Ortalama Kare Hatası (MSE);

Regresyon eğrisinin bir dizi noktaya yakınlığını belirtmektedir. Daima pozitif değerdir ve sıfıra yakın olan modellerin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

$$MSE = \sum_{k=1}^{N} \frac{(x(k) - \hat{x}(k))^2}{N} \tag{4.4}$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE);

Regresyon ve zaman serileri modellerinde tahminlerin doğruluğunu ölçmek için sıkça kullanılmaktadır. Gerçek değerler arasında sıfır varsa MAPE kullanılamamaktadır.

$$MAPE = \frac{100}{N}\sum_{k=1}^{N}\left[\left|\frac{x(k)-\hat{x}(k)}{x(k)}\right|\right] \quad (4.5)$$

4.3 Yapay Sinir Ağları (YSA)

4.3.1 Giriş

Günümüzde teknolojik gelişmelerin önemli seviyelere ulaşmasıyla, insanoğlunun yapay zeka kavramı ile düşünebilme ve öğrenebilme yeteneklerini modelleyebilme arzusu en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Özellikle son zamanlarda bilgisayar kullanımının hızla artması sonucunda yapay zeka çalışmaları da bir ivme kazanmıştır [67].

Yapay zeka ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda odaklanılan nokta, tamamen insanı taklit edebilme becerisini geliştirmek olduğundan, bahse konu ile ilgili yapılan araştırmalar genellikle mühendislik ve tıp alanlarında yoğunlaşmıştır.

Yapay zeka araştırmaları sonucunda elde edilen teknolojilerden biri de yapay sinir ağları teknolojisidir. İnsan beyninin temel unsuru olan nörona yapısal ve işlevsel olarak benzetilen YSA'lar, bu yolla biyolojik sinir sisteminin basit bir modellemesi için oluşturulmuş programlardır [67].

Yapılan çalışmalarda yapay sinir ağlarının tanımına ilişkin kullanılan bazı ifadeler aşağıda yer almaktadır.

Yapay sinir ağları beynin doğası üzerine elde edilen kavramlardan geliştirilmiş algoritmalar olarak ifade edilmiştir [68]. Yapay sinir ağları, insan beyninin sinir yapısını simüle ettiği bilgisayar sistemleridir [69]. YSA, ilgili bağlantı ağırlıklarıyla bir ağa bağlanmış nöronlardan oluşan bir sistemdir [67].

YSA'lar; model seçimi, en uygun değerin tahmini gibi oldukça karmaşık ilişkilere sahip sorunların matematiksel modellerinin oluşturulabilmesi için kurulan sistemlerdir. İnsan beyninin sahip olduğu düşünme yöntemlerini analiz edip, benzer yeteneklerin

makinelere kazandırılabilmesi için biyolojik sinir hücrelerinden esinlenerek tasarlanan, mevcut örnekler üzerinden kendini eğitip öğrenebilme kabiliyetine sahip, belli bir sistematiğe bağlı kalmadan yeni bilgiler ile belirlediği ağırlıklar oranında bağlar oluşturan yapılardır.

YSA'lar genel olarak insan beyninin birbirinden tamamen bağımsız gibi görünen parametreler arasında çok kısa sürelerde gerçekleştirdiği ilişkilendirme yeteneğine sahip makinelerin geliştirilmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle, sınıflandırma, örüntü tanıma, sinyal filtreleme, veri sıkıştırma ve optimizasyon çalışmalarında yapay sinir ağları en güçlü teknikler arasında sayılmaktadır [42].

Günümüzde, geliştirilen yapay sinir ağları, beynin ağ yapısının sahip olduğu yüksek hızın oldukça gerisinde kalmaktadır. Ancak, karmaşık değişkenleri ilişkilendirme yeteneği sayesinde her geçen gün uygulama alanı artmaktadır. Mühendislik başta olmak üzere ekonomi ve tıp gibi alanlarda kullanılmaktadır [70].

4.3.2 Tarihsel Gelişim

YSA'lar büyük işlemcilerin geliştirilmesinden sonra yeni bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bilgisayarların kullanım alanının gelişmesiyle birlikte, YSA alanında oldukça önemli gelişmeler olmuştur [67].

Nöro-biyoloji konusuna ilginin artması ve elde edilen bilgilerin modellenebilmesi ile YSA'ya ilgi oranı da artış göstermiştir. Yaygın olarak kullanılan mimarilerin ve algoritmaların gelişimi açısından yapay sinir ağlarının tarihi, dört periyoda ayrılarak incelenebilir.

1940'lar yapay sinir ağlarının başlangıcı olarak kabul edilmektedir. 1940'larda ve 1950'lerin başlarında nöro hesaplamayı kapsayan konuları inceleyen pek çok araştırmacı bulunmaktadır. Mc.Culloch ve Pitts [71] tarafından 1943'te yayınlanan ve bilgisayar hesaplamasının başlangıcı sayılan araştırma makalesi, basit sinir ağlarının en basit türlerinin bile herhangi bir aritmetik veya mantıksal işlevi hesaplayabildiğini göstermiştir. Hebb [71] tarafından 1949 yılında, klasik psikolojik koşullanmanın her bir nöronun özelliği olduğu fikrini benimseyen Davranış Örgütü adlı bir kitap yayınlanmıştır. Bu düşüncenin kendisi yeni olmamakla beraber, Hebb nöronların

sinapsları için özel bir öğrenme yasası önererek konuyu daha ileri götürebilmiştir. Bu dönemin en önemli özelliği, Marvin Minsky [71] tarafından ilk nöro-bilgisayarın (Snark) inşa edilmesi olmuştur. Snark, teknik olarak başarılı bir şekilde çalışmış, ancak hiçbir bilgi işlem fonksiyonu gerçekleştirememiştir.

1950'ler ve 1960'lar, yapay sinir ağlarının ilk altın çağı veya umut verici yıllar [50] olarak ifade edilmektedir. YSA'ların gelişmesinde tek etkisi olan nörobilim değildir. Mühendisler de YSA'nın gelişimine katkı sunmuşlardır. 1957 ve 1958'de Frank Rosenblatt, Charles Wightman ve diğerleri [71] tarafından ilk başarılı nöro-bilgisayar (Mark I perceptron) geliştirilmiştir. Rosenblatt, nöro hesaplamanın kurucusu sayılmaktadır. Ayrıca nörobilim ve nörodinamik ilkeleri üzerine bir kitap yayınlamıştır. Nöro hesaplama araştırmacılarının başarılarına rağmen, belirgin şekilde iki sorun ortaya çıkmıştır. Birincisi; araştırmacılar çoğu konuya nitel ve deneysel bir bakış açısıyla yaklaşmıştır. İkincisi ise araştırmacıların büyük bir kesimi ifadelerinde ve yazılarında konudan çok abartılı şekilde bahsetmişlerdir [71].

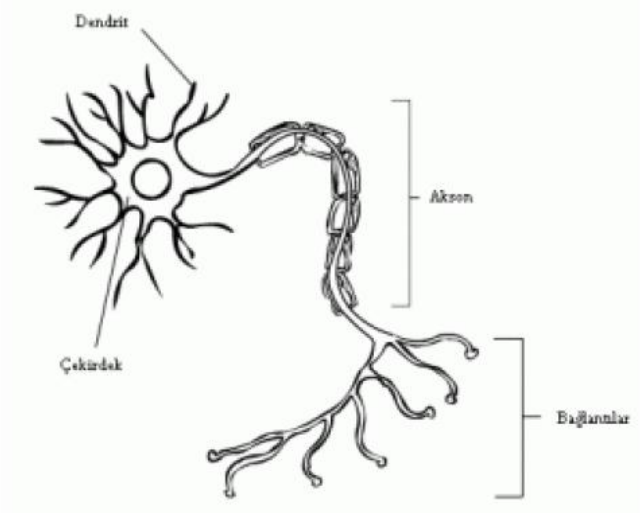
Literatürde 1970'ler sessiz yıllar veya olumsuz gelişmeler [50] olarak belirtilmektedir. Minsky ve Papert perseptronların sınırlamalarını göstermelerine rağmen, sinir ağı araştırmaları devam etmiştir [71].

1980'li yıllar yeniden canlanma olarak ifade edilmektedir [67]. 1987'de, sinir ağları üzerine ilk açık konferans, Yapay Sinir Ağları Uluslararası Konferansı San Diego'da yapılmış ve Uluslararası Sinir Ağları Birliği (INNS) kurulmuştur [71]. Günümüzde ise bu alan bir geçiş dönemi içinde görülmektedir [67].

4.3.3 YSA'nın Temel Yapısı

4.3.3.1 Biyolojik Sinir Hücre Yapısı

Yapay sinir ağları insan vücudunda bulunan sinir hücrelerinden yola çıkılarak oluşturulan modeller olduğundan, başlangıçta biyolojik sinir hücrelerinin incelenmesi daha doğru olacaktır. Biyolojik sinir hücrelerini meydana getiren bölümlere bakıldığında; dendrit, akson, çekirdek ve bağlantılar olmak üzere dört ana bölümden oluştuğu Şekil 4.3'te görülmektedir [63].



Şekil 4.3 Sinir hücresi yapısı [72]

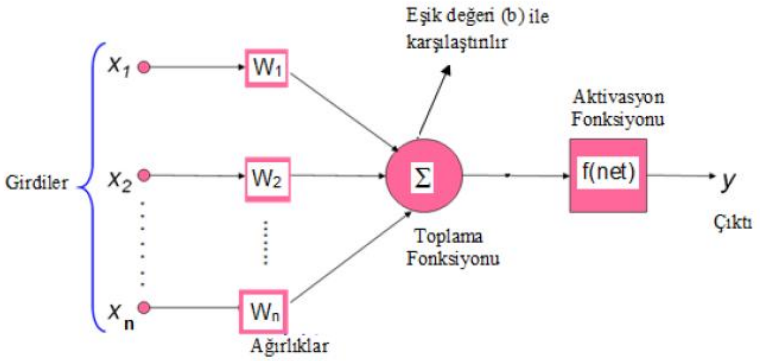
Dendritler; diğer nöronlar vasıtası ile duyu organlarından gelen sinyalleri çekirdeğe iletir. Çekirdek; dendrit tarafından getirilen sinyalleri toplayıp aksona iletir. Akson; toplanan tüm sinyalleri nöronun diğer ucundaki bağlantılara iletir. İki sinir hücresi arasındaki bu bağlantı bir hücrenin aksonu ile diğerinin dendritleri arasında sinaps denilen bağlantı noktaları ile sağlanır [63].

4.3.3.2 Yapay Sinir Hücre Yapısı

İnsanın merkezi sinir sisteminde yer alan biyolojik sinirler olduğu gibi yapay sinir ağlarında da yapay sinir hücreleri yer almaktadır. Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücrelerinde benzer işlevler yerine getirilmektedir. Bu nedenle yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerinin bir matematiksel modeli olarak düşünülmektedir [73].

Yapay sinir ağları, insan beynindeki sinir hücrelerini ve bu hücrelerin birbiri arasındaki bağları modelleyen yapılardır [63].

Yapay sinir hücresi tarafından gerçekleştirilen ve Şekil 4.4'te açıkça görülmekte olan beş temel işlev; biyolojik sinir hücrelerinde, duyulardan veya bir önceki sinir hücresinden gelen girdiler, toplama işlevi dendritler, etkinlik (aktivasyon) işlevi çekirdek, çıktı işlevi akson, ağırlıklar ise sinapslar şeklinde temsil edilmektedir [74].



Şekil 4.4 Yapay sinir hücre yapısı [73]

Bu kapsamda yapay sinir hücresi tarafından yapılan beş temel işlev; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardır.

Girdiler ($x_1 \ldots x_n$): Kendinden önceki sinir hücresinden veya çevreden (duyu organlarından) öğrenilmesi istenen nümerik bilgiyi sinire getirirler. Bu şekilde sinir hücresine gelen nümerik veriler biyolojik sinir hücresinde olduğu gibi toplanmak üzere çekirdeğe iletilirler [72].

Ağırlıklar ($W_1 \ldots W_n$): Nümerik olarak hücreye gelen veriler çekirdeğe iletilmeden önce önem derecelerine göre belirlenen ağırlıklar ile çarpılarak çekirdeğe iletilirler. Bu nedenle ağırlıkların değeri pozitif ve negatif olmak üzere çok farklılık gösterebilir. Ağırlık değeri sıfır olan girdinin etkisi yoktur [72].

Toplama fonksiyonu (∑): Ağırlıklar ile çarpılarak gelen nümerik girdileri toplayarak net girdi verisini oluşturan toplama fonksiyonudur. Bazı durumlarda toplama işleminde normalleştirme algoritmaları da kullanılabilmektedir. Bir toplama fonksiyonu belirlenirken izlenen bir yöntem bulunmamakta olup, seçilmesi tamamen programcıya kalmıştır. Çizelge 4.1'de bazı toplama fonksiyonları görülmektedir [72].

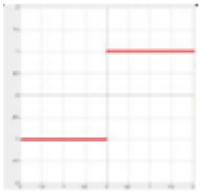
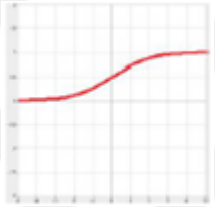
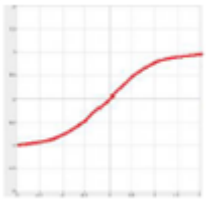
Çizelge 4.1 Toplama fonksiyonu örnekleri [72]

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

Aktivasyon fonksiyonu (F(Net)): Toplama fonksiyonu ile elde edilen net girdi verilerini işleyerek çıktıları türeten işlevdir. Bu işlevi yerine getiren fonksiyonlara aktivasyon veya transfer fonksiyonları da denilmektedir. (Çizelge 4.2)

Mandic ve Chambers [75], aktivasyon fonksiyonlarının, net girdiyi işleyerek karşılık gelen çıktıları belirlediğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.2 Aktivasyon fonksiyonları [72]

Doğrusal (Lineer) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = A * Net$ (A sabit bir 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		$F(Net) = \begin{cases} 1 \; if \; Net > Eşik \; değer \\ 0 \; if \; Net \leq Eşik \; değer \end{cases}$	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 YSA uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerinin 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 değeri 0 ile 1 arasında değişirken, tanjant hiperbolik fonksiyonunda çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişir.
Eşik Değer Fonksiyonu		$F(Net) = \begin{cases} 0 \; if \; Net \leq 0 \\ Net \; if \; 0 < Net < 1 \\ 1 \; if \; Net \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgiler 0'dan küçük eşit olduğunda 0 çıktısı, 1'den büyük eşit olduğunda 1 çıktısı, 0 ile 1 aralığında olduğunda yine kendisini veren çıktılar üretilmektedir.
Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = Sin(Net)$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.

Çıktılar (y_1….y_2): Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değerler, çıktı değerlerini oluşturmaktadır. Bu çıktı değerleri, çevreye, başka bir sinir hücresine veya aynı sinir hücresine girdi olarak kullanılabilmektedir [72].

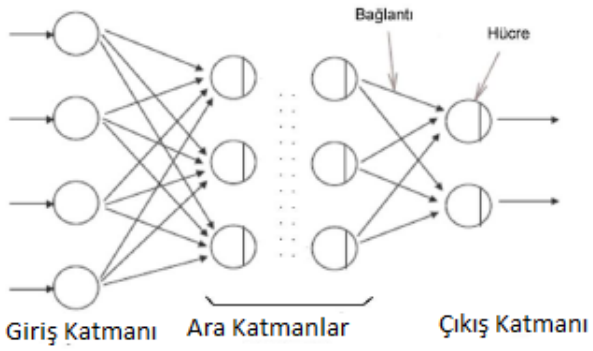
Bütün bu bilgiler ışığında yapay sinir ağları ile biyolojik sinir ağları arasındaki benzerlik Çizelge 4.3'de yer almaktadır [66].

Çizelge 4.3 Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırması [66]

Biyolojik Sinir Ağı	**Yapay Sinir Ağı**
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Sinir	Düğüm (Sinir, İşlem Elemanı)
Sinaps	Sinirler Arası Bağlantı Aralıkları
Dentrit	Toplama İşlevi
Hücre Gövdesi	Etkinlik İşlevi
Akson	Sinir Çıkışı

4.3.3.3 Yapay Sinir Ağı Yapısı

Yapay sinir hücrelerinin bir araya gelmesiyle yapay sinir ağları oluşmaktadır. Yapay sinir ağları da rastgele oluşmayıp her katman kendi içinde paralel olacak şekilde üç ana katmandan meydana gelmektedir. Katmanlarda, farklı sayılarda bulunan yapay sinir hücreleri ve bağlantılarından oluşmaktadır [63]. Şekil 4.5'de yapay sinir ağını meydana getiren girdi, ara (gizli) ve çıktı katmanları belirtilmiştir.



Şekil 4.5 Yapay sinir ağı yapısı [72]

Girdi Katmanı: Dış dünyadan nümerik verileri alıp ara (gizli) katmana iletmekle sorumludur [66]. Genelde veriler her hangi bir işleme tabi tutulmadan transfer edilmektedir.

Ara (Gizli) Katman: Girdi katmanından gelen verileri işleyerek çıktı katmanına iletmekle sorumludur. Gizli katman sayısı birden fazla olabilir [63]. Gizli katmanda yer alan hücre sayıları girdi ve çıktı katmanlarından bağımsız olup, birden fazla gizli katman olduğu durumlarda da bu katmanlar arasındaki hücre sayısı farklılık gösterebilir. Gizli

katmandaki hücre sayısı artırılarak nispeten karmaşık problemlerin çözümüne katkı sağlandığı gibi çözüm süresinin de uzamasına neden olunabilmektedir [72].

Çıktı Katmanı: Gizli katmandan gelen bilgiler işlenerek örnek girdi verilerine karşılık gelen çıktı verileri türetilir. Üretilen çıktılar geri beslemeli ağ değilse dış dünyaya gönderilir. Çıktı katmanı hücre sayısı girdi katmanında olduğu gibi çıktı sayısına eşittir [63].

Bu kapsamda yapay sinir ağı ve hücre yapılarını özetleyecek olursak:

Yapay sinir hücrelerinde; nümerik girdi verilerinin bir toplama fonksiyonu kullanılarak net girdi verilerinin elde edildiği toplama işlevi ve girdilerin toplama fonksiyonu ile anlam kazanmasından sonra, doğrusal ve doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları kullanılarak çıktıların üretildiği iki adet ana işlev gerçekleştirilmektedir.

Dolayısı ile yapay sinir ağlarında genel olarak, örnek nümerik girdi verilerinin çıktı verilerine dönüştürülmesi hedeflenmektedir [66].

Bahse konu hedefin başarılabilmesi amacıyla ilk olarak programcı tarafından belirlenen hücre sayılarında dizayn edilen katmanlar ile yapay sinir ağı oluşturulur. Oluşturulan yapay sinir ağına girilen örnek girdiler tasarlanan aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hedef çıktılar üretilir. Üretilen bu hedef çıktıların gerçek çıktılar ile karşılaştırılması sonucunda bir hata oranı tespit edilir. Çeşitli öğrenme kuralları ile bu hata oranının azaltılması amaçlanmaktadır. Sonuç olarak hata oranı belirlenen seviyeye geldiği takdirde ağın eğitim sürecini tamamladığı değerlendirilerek test sürecine geçilmektedir. Ağın eğitiminin tamamlanmasından sonra geçilen test aşamasında ağa karşılaşmadığı veriler girilerek performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Başlangıçta belirlenen girdi grubu, yapılan çalışmalarda genel olarak %70 eğitim seti, %30 test seti olarak ayrılmaktadır.

4.3.4 YSA'nın Genel Özellikleri

YSA'lar girdi ve çıktılar arasında kendi belirlediği ağırlıklar oranında ilişkiler kurup insan beyninin eğitim ve öğrenme yeteneğini taklit edebilen yapılardır. Otomotiv, elektronik ve finans sektörleri gibi birçok alanda sınıflandırma, tahmin uygulamalarında tercih

edilmektedir. Tercih edilmelerinin çok farklı sebepleri olsa da veri gruplarına kolay uyum sağlama kabiliyeti en belirgin olanlarından biridir [76].

Yapay sinir ağlarının istenilen sonuçlar elde edilene kadar geliştirilmesi oldukça kolaydır. Ancak gelişimin sağlanabilmesi için yapay sinir ağlarının avantaj ve dezavantajlarının bilinmesinin faydalı olacağı unutulmamalıdır.

4.3.4.1 Avantajları

YSA'ların genel olarak diğer modellere göre üstünlükleri; öğrenme yeteneği, doğrusal olmayan yapıyı modelleyebilme kabiliyeti, genelleştirilebilirliği, uyarlanabilirlik ve esnekliği, bilginin saklanması ve hata toleransına sahip olmasıdır.

Yapay sinir ağları makine öğrenmesini gerçekleştirip benzer olaylar karşısında benzer kararlar verilmesini sağlamaktadır. Bilgi ağın tamamında saklanmakta ve doğrusal olmadığından doğrusal olmayan sorunların çözümünde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bu nedenle etkin tahmin aracı olarak tercih edilmektedirler.

Yapay sinir ağları klasik programlar gibi programcı tarafından tam olarak tanımlanan programlar değillerdir. Eğitim örnekleri üzerinde çalışarak veriler arasındaki ilişkiyi keşfetmektedirler [63]. İstenilen davranışı gösterebilmesi için nöronlar arasında uygun ağırlıklar oluşturulmalı ve ağın eğitim örnekleri ile öğrenmesi sağlanmalıdır. Ancak sadece eğitim için kullanılan verileri değil, bilinmeyen veriler de işlenebildiğinden ağ genelleştirilebilmektedir. Ağda kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri eğitilirken gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki hata oranı en az olacak şekilde modelleme yapılarak, ağın en iyi seviyede öğrenmesi sağlanmaya çalışılmakta ve hata oranı en düşük model seçilmektedir.

Yapay sinir ağları deneysel verilerde farklılık olması durumunda, mevcut ortama kolaylıkla uyum sağlayabildiklerinden esnek bir yapıya sahiptirler.

Ağlar eğitilmesini müteakip eksik bilgi ile de sonuç üretebilme yeteneğine sahip olduğundan hatalara karşı toleranslıdırlar ve hataları düzeltme yetenekleri diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Bu nedenle ağlar hata karşısında bir anda değil kademeli olarak bozulmaktadırlar.

Yapay sinir ağları basit bir yapıya sahip işlem elemanlarından meydana gelmiş olup her bir hücre elemanı sadece kendisi ile ilgili olan kısmı işledikleri için paralel olarak oluşturulmuşlardır. Bu paralel yapıları sayesinde dinamik ve gerçek zamanlı çözümlemeler de kolaylıkla yapılabilmektedir. Sadece deneysel olarak yapılan ölçümler veya sistemler üzerindeki kontrol yazılımları sayesinde elde edilen parametrelerin oluşturduğu örneklere ihtiyaç duyması ve düşük maliyetli bir çözümleme yöntemi olması sebebiyle, günümüzde özellikle örüntü tanıma ve öngörü faaliyetlerinde büyük oranda tercih edilmektedirler.

4.3.4.2 Dezavantajları

Yapay sinir ağları sonuçlarının analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için avantajları kadar dezavantajlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Günümüzde kullanılan makinelerin büyük kısmı seri işlemcilere sahiptir. Paralel işlemleri seri makineler ile gerçekleştirmenin yol açtığı zaman kaybı ve yapay sinir ağlarının paralel yapıları dikkate alındığında yaşanacak zaman kayıplarını öngörmek hiçte zor olmayacaktır. Dolayısı ile hızlı çalışan ağların oluşturulup, çalıştırılabilmesi için güçlü donanıma sahip makinelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapay sinir ağları oluşturulurken izlenmesi gereken adımlar belli olmasına rağmen modelin oluşumunda kullanılacak parametrelerin belli bir seçim kriterinin olmaması ve programcının bu konudaki deneyiminin önemli bir faktör olması sebebiyle, kişisel beceriye dayalı model oluşumu bir dezavantaj olarak görülmektedir.

Yapay sinir ağlarına sunulan örnekler ile yapılan eğitimin sonlanma zamanının tam olarak belirlenememesi de zaman kayıpları yaşanmasında rol oynamaktadır.

Ağın girdi ve çıktıları arasındaki ilişkinin belirlenme kuralı bilinmediğinden, yapay sinir ağlarına güven azalmaktadır. Fakat çeşitli alanlarda yapılan çalışmalarda elde edilen olumlu sonuçlar ile de bu alana olan ilgi artmaktadır.

Yapay sinir ağları tarafından yapılan çözümlerin nasıl yapıldığı hakkında net bir bilgi olmadığından bir kapalı kutu (black box modelling) olarak değerlendirilmektedirler [63]. Bu nedenle öğrenme faaliyetinde başarısız olma olasılığı yüksektir.

Bütün bu avantaj ve dezavantajlar ışığında yapılan değerlendirmede, deneyimli programcılar tarafından modellemenin doğru değişkenler seçilerek yapılması halinde yapay sinir ağları ile doğru ve düşük maliyetli analizler yapılabilmektedir.

4.3.5 YSA'nın Sınıflandırılması

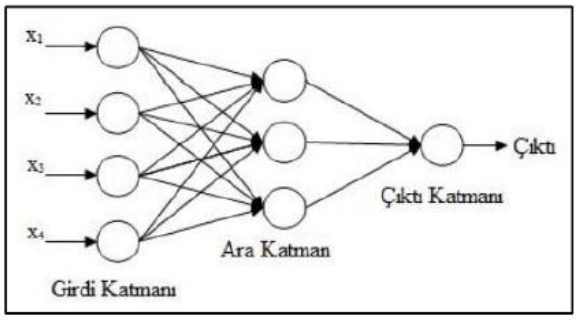
Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kullanım alanlarına bağlı olarak birbirinden tamamen farklı problemlerin çözümünde kullanılması sebebiyle, çok farklı yapıda ağ modelleri ile karşılaşmak mümkündür. Ancak oluşturulan ağ modelleri için genel bir sınıflandırma yapılmak istendiğinde ağlar üç başlık altında toplanmaktadır.

- Bağlantı tiplerine göre YSA modelleri
- Öğrenme algoritmalarına göre YSA modelleri
- Katman yapısına göre YSA modelleri

4.3.5.1 Bağlantı Tipine Göre YSA Modelleri

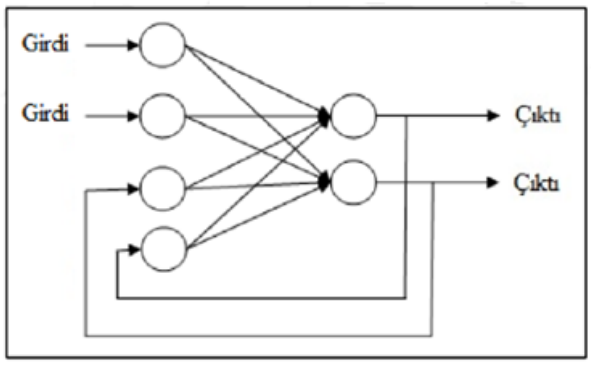
Yapay sinir ağları nöronların birbirine bağlanış şekillerine, kısacası ağın mimari yapısına göre ayrılmaktadır. İleri beslemeli şekilde oluşturulan ağların yanında, bazı ağlar ise geri beslemeli ağ yapısı içermektedirler.

İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Katmanlara ayrılan nöronlar arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmayıp, aktivasyon yönünün girdi katmanından çıktı katmanına doğru, tek yönlü olduğu sistemlerdir. Her bir katmandaki nöronlar bir sonraki katmandaki nöronlar ile belirlenen ağırlıklar oranında ilişkilidir. Bu ağlar girilen veriye karşı genellikle hızlı bir şekilde çıkış verisi üretirler. Şekil 4.6'da ileri beslemeli bir ağ yapısı yer almaktadır.



Şekil 4.6 İleri beslemeli yapay sinir ağı [42]

Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Katmanlara ayrılan nöronlar arasında bağlantılar bir döngü oluştururlar ve nöronun çıktısı sadece kendinden sonra gelen nöronun katmanına girdi olarak verilmeyip, kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye de girdi olarak bağlanabilir [72]. Bu ağlar, döngü sebebiyle çıkış verisini ileri beslemeli ağlara göre daha yavaş bir şekilde oluşturduklarından, eğitim süreçleri de daha uzun sürebilmektedir [72]. Şekil 4.7'de örnek bir geri beslemeli ağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Geri beslemeli yapay sinir ağı [42]

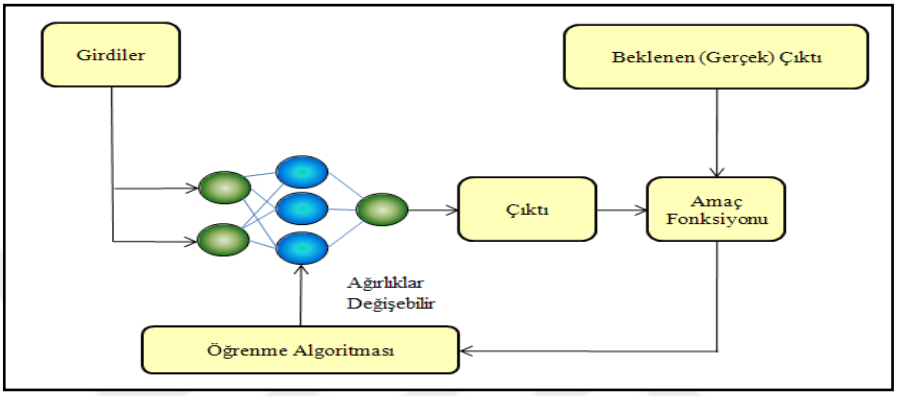
Eğitimde kullanılan veri sayısının artması sonucu geri beslemeli YSA'lar, ileri beslemeli YSA'lara göre daha uzun sürede eğitildiğinden, çok fazla bağımsız değişkenli problemlerin çözümünde genel olarak ileri beslemeli ağlar tercih edilmektedir.

4.3.5.2 Öğrenme Türlerine Göre YSA Modelleri

Öğrenmenin temel prensibi, bir problem ile ilgili olarak geçmiş örnekleri kullanıp, olayın girdi ve çıktıları arasındaki ilişkileri öğrenmek, ağırlıklarını belirlemek ve yeni örneklere yönelik tahminler yapabilmektir. Bir yapay sinir ağına ait nöronlar arasında oluşturulan bağlantıların ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağın eğitilmesi denir [42].

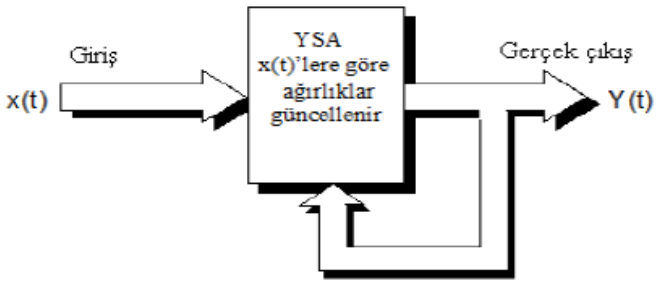
Başlangıçta rastgele seçilerek öğrenme işlemi başlatılır. Belirlenen veri grubu ağa tanıtıldıkça ağın ağırlık değerleri değişir ve süreç, ağ istenen sonuçları verip ağırlıklar belirlenene kadar devam eder. Ağın belli kurallar ve genellemeler dahilinde yaptığı bu faaliyete de öğrenme denir. Problemin çözümü sürecinde ağırlıkların en iyi oranda öğrenilmesi iki temel şekilde yapılabilmektedir [42].

Öğretmenli öğrenme: Ağa hem girdi değerleri hem de çıktı değerleri verilmektedir. Ağ, verilen girdiler için istenen çıkışları oluşturabilmek amacıyla kendi ağırlıklarını, ağın çıktıları ile hedeflenen çıktılar arasındaki fark oranında günceller. Ağın çıktıları ile hedeflenen çıktılar arasındaki fark, ağın hatası olup en düşük seviyeye gelinceye kadar ağırlıklar sürekli düzenlenerek bu süreç tekrarlanır. Bu sebeple bir yardımcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Tam öğrenmeyi sağlayacak yeterli veri yoksa ağın hata oranı azalmayabilir.



Şekil 4.8 Öğretmenli öğrenme ağı örneği [77]

Öğretmensiz öğrenme: Ağa sadece girdi değerleri verilip hedef çıktı değerleri verilmemektedir. Girdiler arasındaki ilişkinin kendiliğinden öğrenilmesi beklenir. Genel olarak sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Öğrenme faaliyeti tamamlandıktan sonra elde edilen çıktıların ne anlama geldiğinin programcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Örnek olarak, Hebb, Hopfield ve Kohonen öğrenme algoritmaları ve ART ağları verilebilir.

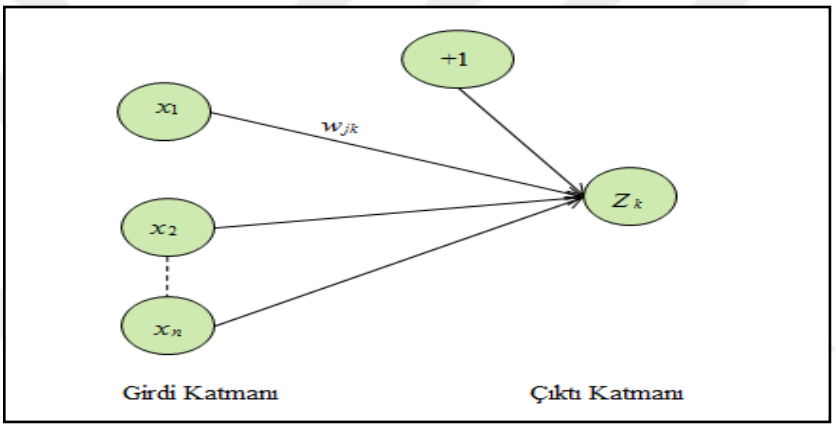


Şekil 4.9 Öğretmensiz öğrenme blok diyagramı [73]

4.3.5.3 Katman Sayısına göre YSA Modelleri

Katman sayısına göre YSA'lar, tek katmanlı YSA'lar ve çok katmanlı YSA'lar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

Tek katmanlı YSA: Ara katman bulunmayıp sadece girdi ve çıktı katmanları yer almaktadır. Ara katman olmadığı için eğrisellik sağlanamayacağından genelde doğrusal problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Eğitilebilme özelliği olan ilk yapay sinir ağlarıdır. Girdiler ile bağlantılı ağırlık değerlerinin çarpımlarının toplamından oluşan net değer, eşik değerini aştığı zaman çıkış değeri türetilmektedir. Öğrenme süreci, bu ağırlıkların değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Şekil 4.10'da tek katmanlı bir YSA modeli yer almaktadır.



Şekil 4.10 Tek katmanlı YSA [78]

$x_1 \ldots x_n$; ağın girdileri,

w_{jk}; j=1…n, k=1; bağlantı ağırlığı,

z_k; ağın bir adet çıktısı,

+1; eşik değeri

olarak ifade edilmektedir.

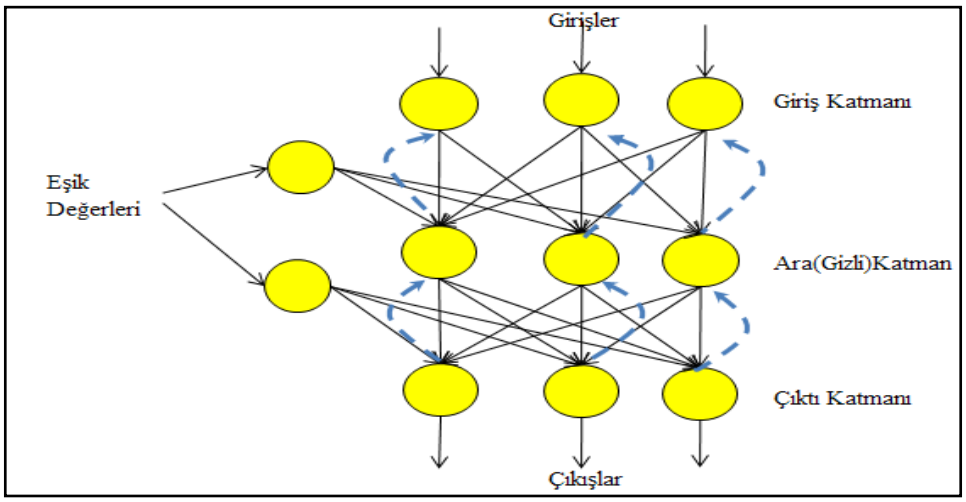
Tek katmanlı YSA'lara örnek olarak verilebilecek önemli yapılar; Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron) ve Adaptif Doğrusal Eleman Modeli'dir.

Tek katmanlı yapay sinir ağı modelleri ile doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenilememesi sorununun çözülebilmesi amacıyla çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir [79].

Günümüzde tüm mühendislik sektörlerindeki problemlerin çözümünde en çok tercih edilen modeller çok katmanlı ağ modelleridir. Özellikle sınıflandırma ve tahmine yönelik problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok katmanlı YSA'da, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında da bir veya birden fazla gizli katman bulunmaktadır. Bu katmanların sayısına, mevcut probleme göre bir yönteme bağlı kalmaksızın programcı tarafından karar verilmektedir. Ara katmandaki her nöron, doğrusal olmayan bir transfer fonksiyonuna sahip olup, oluşturulan çıktılar bir sonraki nöronlara girdi olarak sağlanmaktadır. Hiperbolik tanjant, sigmoid fonksiyonu, logaritmik sigmoid fonksiyonu ve lineer fonksiyon yaygın olarak kullanılmakta olan dört transfer fonksiyonudur [42]. Böylece ara katman veya katmanlar sayesinde doğrusal olmayan problemleri çözme yeteneğine sahip olunmaktadır.

Çok katmanlı yapay sinir ağlarının zaman serisi tahmininde kullanılabilmesi için ağın mimari yapısının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kısacası, ağın kaç katmandan oluşacağının, her katmanda kaç işlem elemanı bulunacağının, bu işlem elemanlarının hangi transfer fonksiyonuna sahip olacağının belirlenmesi gibi işlemlerin yapılması gerekmektedir [73].

Çok katmanlı algılayıcıların öğrenme kuralında temel düşünce; başlangıçta ağa hem girdi hem de çıktılar tanıtıldığından gerçek çıktılar ile öngörülen çıktılar arasındaki farkın bağlantı ağırlıkları ile asgari seviyeye indirilmesidir. Şekil 4.14'de çok katmanlı yapay sinir ağı modeli yer almaktadır.



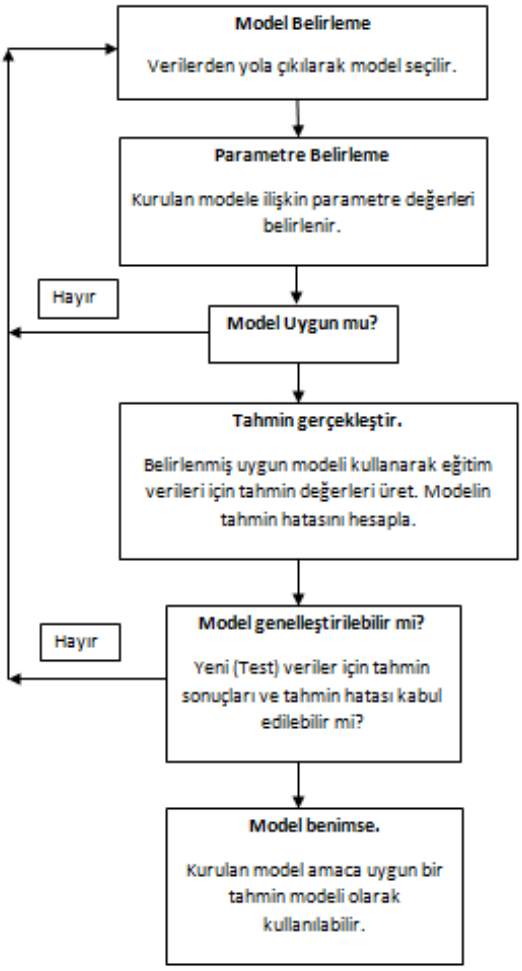
Şekil 4.11 Çok katmanlı YSA [80]

4.3.6 Yapay Sinir Ağları Tahmin Modellemesi

Planlama aşamasında olan bütün işletmelerin gelecekte durumlarını koruyarak gelişebilmeleri ve gelecek tahmini yapabilmeleri, doğru oluşturulmuş bir model çerçevesinde uygun çözümler bulmaları ile mümkündür.

Makine kontrol sistemleri veya deney sonucunda oluşturulmuş girdi verileri kullanılarak gelecek değerlerin tahmin edilmesi amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tahmin sistemleri uygun modelin tasarlanması ile oluşturulmaktadır. Bu yöntemlerin tümünde, veri setinin belirli bir sisteme göre geliştiği ve ayrıca sistemin yapısında rastgele unsurların da mevcut olduğu yaklaşımı ile hareket edilmektedir [81].

Gerçek durumun anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılan faaliyetlerin bütününe modelleme denilmektedir. Genel olarak bir tahmin modeli oluşturulurken izlenecek adımlar Şekil 4.12'de yer almaktadır.



Şekil 4.12 Tahmin modeli oluşum süreci [82]

Matematiksel modellemeye bağlı tahmin yöntemlerinden biri olan zaman serileri analizine dayalı metot; gelecekteki verilerin geçmişteki veriler ile uyumlu olan öngörüsü rehberliğinde dizayn edilen zamana bağlı modellerdir [73].

Yapay sinir ağları ile tahmin modelleri oluşturulurken, her dizaynda tekrarlanması gereken aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

Problemin tespiti: İlk olarak yaşanan tecrübeler kapsamında problemin detaylı bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

Bağımsız girdi verilerinin tespiti ve toplanması: Belirlenen problem kapsamında oluşturulacak ağın öğrenmesi için, istenilen verilerin oluşturulan deney süreci veya mevcut kontrol sistemleri üzerinden toplanarak, çıktı verileri ile ilişkili olduğu düşünülen girdi veri setinin oluşturulmasına ihtiyaç duyulur.

Girdi verilerinin hazırlanması: Toplanan girdi verilerinin gerektiğinde bir normalizasyon işleminden geçirilerek işlenmesi faaliyetidir.

Zaman serisi tahmin problemlerinde ilk öngörünün girdi olarak kullanılıp bir sonraki öngörünün elde edilmesine iteratif öngörü yöntemi denir [73].

Eğitim ve test verilerinin belirlenmesi: Genel olarak toplanan ve işlenen girdi verilerinin %70'i eğitim, %30'u test seti olarak belirlenmelidir.

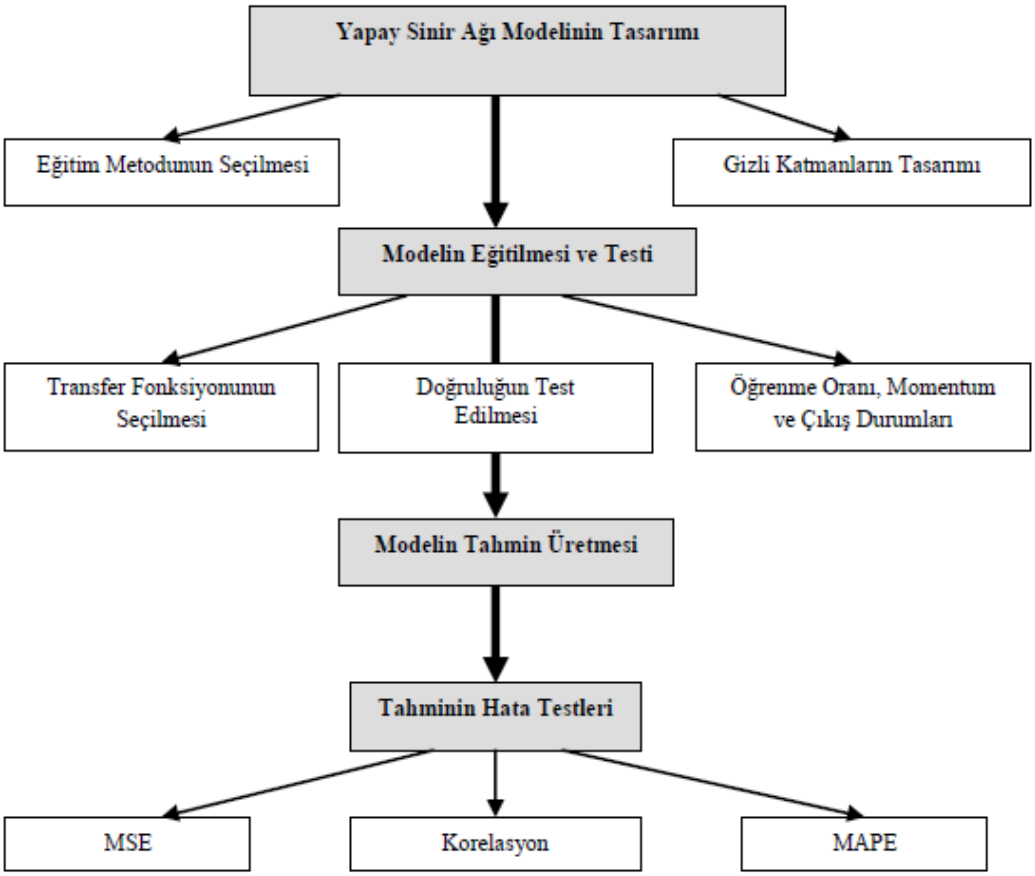
Ağın tasarlanması: Bu aşamada her katmanda bulunacak nöron sayısı, toplama ve aktivasyon fonksiyonları, performans ölçütü (hata fonksiyonunun belirlenmesi) ile ağın mimarisinin oluşturulması gerekmektedir. Yapay sinir ağı uygulama başarısını belirleyen en önemli faktörler, ağın yapısının ve öğrenme algoritmasının seçimidir. Ağ yapısı öğrenme algoritmasının seçiminde belirleyici rol oynar. Yapay sinir ağının geliştirilmesinde kullanılacak çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. En çok kullanılan algoritma ise geri yayılım algoritmasıdır [73]. Girdi nöron sayısı girdi veri sayısı kadar olmaktadır. Gizli katman ve gizli katman nöron sayısı, problemin karmaşıklık düzeyi ile ilgili olup, nöron sayısı YSA'nın doğruluğunu ve genelleştirme yeteneğini etkilemektedir. Gizli katmanda fazla nöron kullanımı ile hassasiyet azaltılırken, çok fazla nöron tercih edilerek uyum süreci zorlaştırılır. Lipmann [70] de

gizli nöron sayısının 2n+1, 2n, n, n/2 kadar olması gerektiğini söylemiş, ancak bazı araştırmacılar bunun tüm problemlere uyumlu olmadığını belirtmişlerdir.

Ağın eğitilmesi: Eğitim veri setinin ağa sunulması ile gerçekleşen ve hedef çıktılar arasındaki hata oranı belirlenen düzeye ininceye kadar devam eden sürece denilmektedir. Hata düzeyinin belirlenen düzeyin üstünde kaldığı durumlarda ağ mimarisinde, ağ parametrelerinde, eğitim veri seti sayılarında değişiklik yapılarak hata oranı düşürülebilir. Belli bir iterasyon sonucunda hata oranındaki değişimin azaldığının tespit edilmesi ile eğitim sonlandırılmalıdır.

Ağın test edilmesi: Ağa belirlenen test veri kümesinin sunulması ve gerçek test çıktıları ile test hedef çıktılarının karşılaştırılmasıdır.

Karahan [82] tarafından yapay sinir ağı tasarım süreci Şekil 4.13'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.13 YSA tasarım süreci [82]

4.3.7 Yapay Sinir Ağları Hata Analizi ve Performans Kriterleri

Bir YSA tasarımcısı için, modelleme veya eğitim zamanı gibi farklı performans ölçütleri olmasına rağmen, en önemli performans ölçütü yapılan öngörünün doğruluğudur. Doğruluk ölçütü, gerçek değer ile öngörülen değerler arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu fark, tahmin hatası olarak adlandırılır.

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra test girdi setinin ağa tanıtılması ile test aşamasına geçilmektedir. Test aşamasında ağa daha önce görmediği veriler uygulanarak çıktılar tahmin edilmekte ve bu veriler gerçek veriler ile karşılaştırılarak ağın performansı ölçülmektedir [42], [73]. YSA'nın performans ölçütleri Çizelge 4.4'de belirtilen fonksiyonlar ile belirlenmektedir.

Çizelge 4.4 Model performans kriterleri

MODEL	DENKLEM
Ortalama Hata	$ME = {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)$
Ortalama Mutlak Hata	$MAE = {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} \lvert y_i - \hat{y}_i \rvert$
Ortalama Kare Hata	$MSE = {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2$
Kök Ortalama Karesel Hata	$RMSE = \sqrt{{}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Ortalama Mutlak Yüzde Hata	$MAPE = {}^{100}/_{n} \sum_{i=1}^{n} \left\lvert {}^{y_i - \hat{y}_i}/_{y_i} \right\rvert$

Bir i periyodu boyunca y_i; gerçek çıktı, $\hat{y}_i$; tahmin edilen çıktı olarak ifade edilmektedir. Bu performans ölçütleri içinde en sık kullanılan MSE'dir. Bu ölçütün önemli bir özelliği, tahmin hatasının varyans toplamlarına ayrıştırılabilmesidir. Bu özellik, MSE ölçütünün sadece gerçekleşme ve öngörülere ait dağılımın ikinci momentine bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yararlı bilgiler sağlayan bir ölçüdür. Bununla beraber, gerçek dağılımla ilgili tam bilgi sağlayamadığı da belirtilmelidir.

BÖLÜM 5

UYGULAMA

5.1 Örnek Gemi ve Uygulama Modeli

Bu bölüm üç ana başlık altında toplanmıştır. İlk olarak; örnek gemi şaft yataklarının özellikleri ve yaşanan problemin tanımı, örnek veri setinin oluşturulma nedenleri hakkında bilgi verilmiş, ikinci olarak; toplanan verilerin hangi yöntemler kullanılarak elde edildiğinden bahsedilmiş ve son olarak; problemin gelecekte meydana gelme zamanının belirlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı modellenmiştir.

5.2 Problemin Tanımı

Bilimsel olarak, sorunların çözümü için iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. Birincisi; yönetim bilimi olup ekonomistlerin yaklaşımlarını desteklemektedir. İkincisi ise; operasyon araştırmasıdır. Genelde mühendislik yaklaşımlarında tercih edilmektedir. II. Dünya Savaşı başlarında İngiliz ordusu tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bir yöneticiye, karar verme sürecinde analitik ve nesnel temeller sağlayan bilimsel bir yöntemdir [1].

Bilimsel yöntem araştırma süreci dört aşamadan meydana gelmektedir [83].

- Sorunun tanımı
- Modelin oluşturulması
- Modelin doğrulanması
- Çözümün uygulanması

Bakım, bir unsurun kullanıcı tarafından talep edilen tüm fonksiyonlarını sürdürebilmesi için yapılan faaliyetlerin bütünüdür. Günümüzde değişken şartların etkisiyle, tüm kurum ve kuruluşlar operasyonel hazırlık seviyelerini en üst düzeyde tutabilmek, arızi bakım sayılarını azaltıp, sistemlerinin öngörülen ömürleri içinde çalışmasını hedeflemektedir [55].

Bakım ve onarım faaliyetleri gerek ticari gemiler gerekse askeri gemilerde kritik önem derecesine sahip iki kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle askeri gemilerde yapılacak eksik bakım planlamaları ile sistem/cihazların kullanımı engellendiği gibi, bazı durumlarda uygun onarım periyodunun ve yerinin bulunamaması (gemi havuzlama vb. faaliyetler için) sebebiyle, onarım süresinin uzamasına bağlı olarak gayri faal kalma zamanları çok uzun olabilmektedir. Meydana gelen arızalar, zaman zaman güvenlik risklerini artırmakta ve çevresel kirlilik zafiyeti yaşanabilmesine de neden olmaktadır.

Plansız olarak meydana gelen arızalar nedeniyle oluşan zaman ve maliyet kayıpları da iki önemli husustur. Ayrıca gayri faal kalma süreleri uzadıkça her an eğitim düzeyinin en üst seviyede olması gereken askeri gemilerde personelin eğitim düzeyleri de gün geçtikçe azalmaktadır.

Bu nedenle gemilerde bakım planlama ve stratejilerinin doğru belirlenmesi ve yaşanan tecrübelere dayalı yapılan öngörülerle planlama konusunda iyileştirmelerin yapılması, zaman ve maliyet açısından büyük yararlar sağlamaktadır. Bu da, deneyimli personelin katkılarıyla; düzenli test, kontrol ve kayıt faaliyetlerinin yürütülmesi ile başarılabilmektedir.

Bakım yapan personel ve yöneticilerin deneyimleri ile tamamlanmış, durum izleme değişkenlerine dayanarak arızanın tespiti ve giderilmesi süreci yürütülebilmektedir. Maliyet, zaman, sürdürülebilirlik ve güvenilirlik gibi etkenler göz önünde bulundurulmakta, bakım planlaması için personel ve yedek parça tedarik organizasyonları yapılmaktadır. Kayıt edilen verilere bağlı olarak yapılan tahminlerle optimize edilmiş bir bakım, hem bakım yapan personel hem de yöneticiler açısından yol gösterici olmaktadır [42].

Yapılan tahminlerde en önemli konu, gemilerde pervane şaftı, pervane, braket ve pervane şaft yatakları gibi su hattı altında kalan unsurlarda yaşanan arızalarda,

havuzlama gibi zaman ve maliyeti oldukça yüksek bakım onarım faaliyeti gerektiren sistemlere yoğunlaşmak gerektiğidir. Bu sistemlerin aynı zamanda geminin sevk sisteminin ana unsurları olduğu ve meydana gelebilecek arızaların tekrarlanma zamanının tahmin edilmesi ile alınacak tedbirler sayesinde, meydana gelmesi muhtemel daha büyük arızaların da önlenebilmesinin mümkün olacağı değerlendirilmektedir.

Tecrübeler ışığında belirlenen yöntemlerle elde edilen veriler kullanılarak yapılacak arıza zamanlaması tahminlerinde, tüm sistem/cihazlarda uygulanan planlı bakım sisteminin eksiksiz uygulandığı ve yedek parça stoklarının güncel olduğu kabulü ile şaft donanımı tasarımının ve montajının doğru yapıldığı varsayımı problemin kısıtlarını oluşturmaktadır.

5.2.1 Örnek Gemi Şaft Yatakları ve Veri Seti

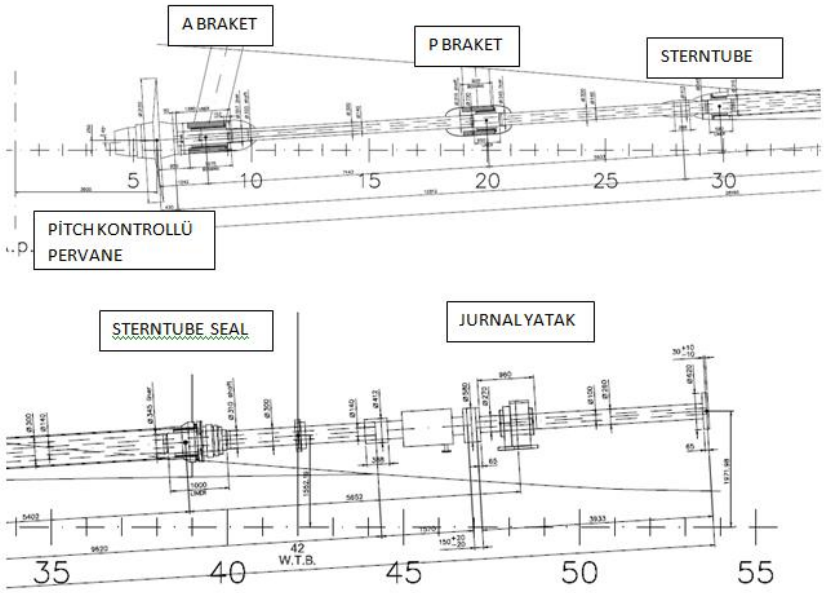
Nicel veri analizi, dört ana faaliyetten meydana gelmektedir.

- Veri toplama
- Veri azaltma
- Veri görüntüleme
- Sonuçları görüntüleme

Gerçekte bir problemin optimum çözümünün elde edilebileceği garanti edilememektedir. Çünkü, çok fazla belirsizlik ve bilinmeyen bulunabilmektedir. Bu nedenle uygun verileri bulmak ve çözüm elde etmek için çok özenli davranmak gerekmektedir [1].

Bu çalışmada; dört adet eş gemiye sahip filonun bir gemisinde, şaft yataklarında meydana gelen aşınma miktarının daha önce iki kez üretici tarafından belirlenen sınır değerlere ulaşması sonucunda, tüm yatakların beklenmedik zamanlarda değişimi yapılmıştır. Bu nedenle en son yatak değişiminden itibaren yapılan ölçümler ışığında, aşınma miktarının sınır değerlere gelme zamanı tahmin edilerek, geminin havuz onarım periyodunun planlanması ve geminin işletim süresinin uzatılması amaçlanmıştır. Yapılan uygulamada herhangi bir ticari kaygı bulunmadığı gibi tamamen gemide

yaşanan problemlere dayalı olarak, mevcut sistemlere uygulanan bakım stratejisi ve planlamasını iyileştirmek ve arıza tespit yöntemlerini geliştirmek hedeflenmiştir.



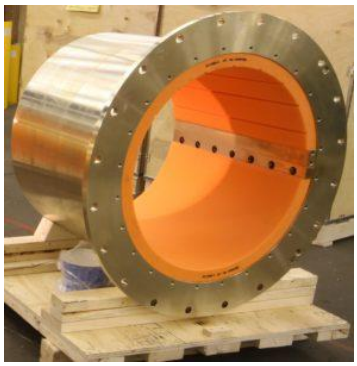
Şekil 5.1 Şaft genel yerleşimi

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi pervane şaftı toplam dört noktadan elastomerik polimer yataklar kullanılıp, dizayn parametrelerine tamamen bağlı kalınarak yataklanmıştır. Kullanılan/işlenen yatakların ölçüleri Çizelge 5.1'de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 Polimer yatak ölçüleri

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Şaft çapı (mm)	Yataklama yapılan yer	Dizayn Ölçüleri			
				Dış çap (mm)	İç çap (mm)	Uzunluk (mm)	Yatak et kalınlığı (mm)
1	14	357	A Braket	412,03	361,21	875,17	25,41
2	14	345	P Braket	397,04	349,23	479,61	23,9
3	14	345	Sterntüp Baş	397,04	349,23	380,72	23,90
4	14	345	Sterntüp Kıç	397,04	349,23	380,72	23,90

A ve P braketler gemi gövdesinden uzanan, pervane şaftını desteklemede kullanılan yataklama elemanlarıdır. Yataklar, pervane şaftını yataklayan A ve P braketler ile sterntüpün baş ve kıç kısmında yer almaktadır. Elastomerik polimer yataklar Şekil 5.2'de görüldüğü gibi alt ve üst olarak iki kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 5.2 Alt-üst polimer yatak [84]

Deniz suyu ile yağlanan yataklar uzun ömürlü elemanlardır. Polimer alaşım yatağı, et kalınlığı boyunca homojen özellikler göstermektedir. Şaft ile yatak arasında hidrodinamik filmin erken oluşmasını sağlamak için alt kısım pürüzsüz, üst kısım ise suyun kayganlaştırıcı ve soğutucu özelliğinden faydalanmak için akışı sağlayacak şekilde kanallı olarak üretilmiştir. Her ne kadar başlangıçta sürtünme, yağ kullanılan sistemlere göre daha fazla olsa da, nominal hızlarda dönen şaft üzerine etki eden viskoz sürtünme daha düşüktür.

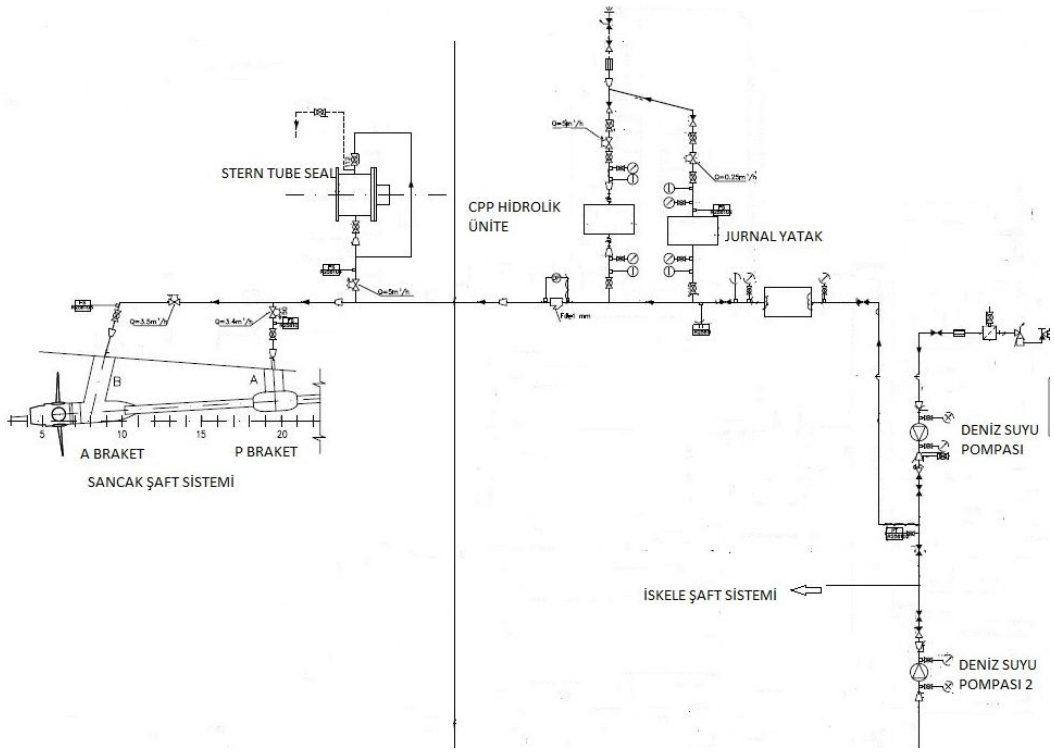
Deniz suyu ile yağlanan polimer yataklar sadece aşınma ömürlerinin tahmin edilebilirliği ve güvenilirlikleri açısından değil, bakımlarının ucuz ve kolay olması, geleceğe uyumlu olmaları nedeniyle gemi sahiplerine avantajlar sunmaktadır. Ayrıca yağ içermediğinden minimum kirlilik riski, uzun garanti sürelerinin sunulduğu uygulamaların bulunması, şaftın çekilmeden değerlendirme ile tespitlerin yapılabilmesi ve global kullanılabilirlik özellikleri sebebiyle oldukça tercih edilen yatak gruplarıdır.

Polimer yatakların kullanıldığı şaft donanımlarında genel olarak; yataklar, şaft laynerleri ve deniz suyu yağlama sistemleri olarak üç temel sistem yer almaktadır. Bu yatakları kullanan gemilere gerekli şartları sağlaması halinde ömür boyu garanti verildiği durumlar söz konusu olabilmektedir. Ancak üreticiler tarafından Sahil Güvenlik ve Deniz Kuvvetleri gemileri gibi devletlere ait gemilerin bu durumun dışında tutulduğu zamanlarda söz konusudur. Genelde sağlanması istenilen gereksinimler aşağıda sıralanmıştır [85].

- 300 mm. veya daha fazla şaft çapına sahip olunması
- Deniz suyu soğutma/yağlama sistemine sahip olunması

- Yataklama kısımlarında şaft laynerlerinin bulunması
- Şaft kaplamasının olması

Örnek gemide yatak üreticisinin tavsiye ettiği deniz suyu soğutma sistemi kullanılmamıştır. Ancak gerekli görülen debi değerlerini sağlayan, Şekil 5.3'de bulunan uygulamaya benzer bir dizayn yapılarak, şaftların devreye alındığı her durumda kullanılabilen bir sistem oluşturulmuştur. Mevcut sistem üzerinde her bir yatağa giren suyun debileri seyyar debi ölçer cihazlarla ölçülebilmekte, ayrıca sistemde yer alan deniz suyu basıncı ve sıcaklığı makine kontrol sistemi üzerinden takip edilebilmektedir. Ayrıca pervane şaftı, deniz suyu ile temas eden kısımlarının korozyona karşı korunması amacıyla epoksi kaplama ile kaplanmıştır.



Şekil 5.3 Şaft yatakları soğutma suyu sistemi

Şaft yataklarının deniz suyu ile yağlama sisteminde, ilgili olmayan personelin müdahalesini önlemek maksadıyla kilit mekanizması ile donatılmış balans valfleri yer almaktadır. Oluşturulan sistem için belirlenen asgari deniz suyu debi değerleri (m^3/sa) Çizelge 5.2'de bulunmaktadır. Yağlama sisteminin çalıştığı her durumda Çizelge 5.2'de bulunan değerlerin sağlanması gerekmektedir.

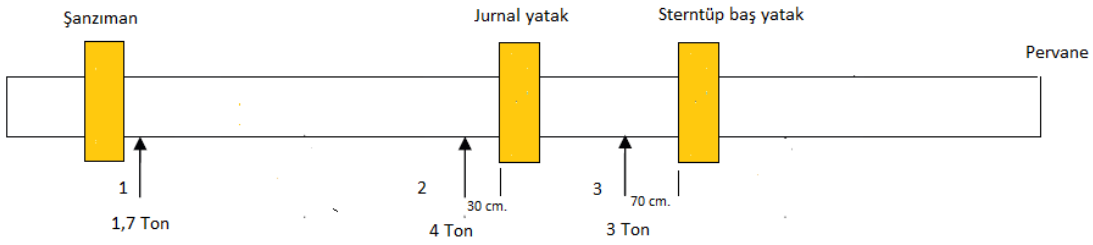
Çizelge 5.2 Sancak şaft sistemi deniz suyu yağlama dizayn debi değerleri

Sterntüp Deniz Suyu Debi Değeri (m^3/sa)	P Braket Deniz Suyu Debi Değeri (m^3/sa)	A Braket Deniz Suyu Debi Değeri (m^3/sa)	Pitch Kontrol Sistemi Deniz Suyu Debi Değeri (m^3/sa)	Palamar Yatak Deniz Suyu Debi Değeri (m^3/sa)
5	3.4	3.5	5	0.25

Pervane şaftı ve pervane yükünün, yataklar üzerine nominal dağılımı Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'te yer almaktadır.

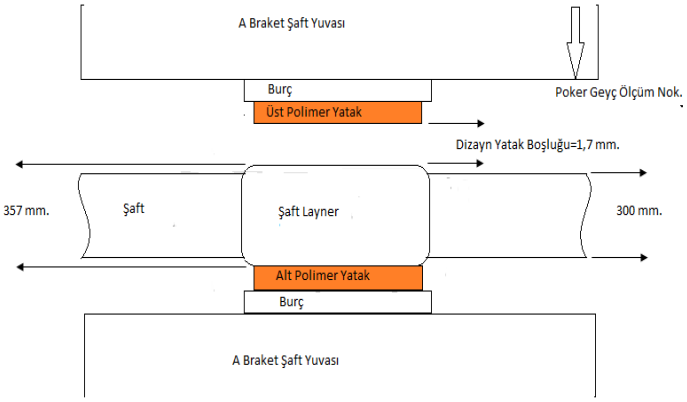
Çizelge 5.3 Teorik yük dağılım tablosu

YATAKLAR	DİZAYN DEĞERLERİ (TON)
Sterntüp baş yatak	3
Palamar yatak	4
R/G yatak	1,7

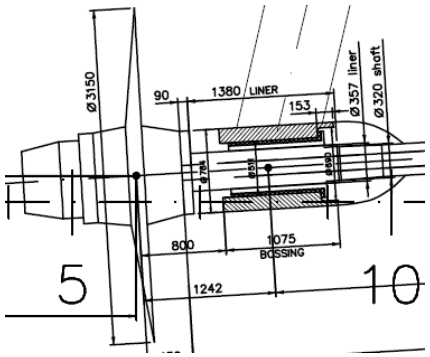


Şekil 5.4 Pervane şaftı yük dağılımı

Gemilerde, yataklama donanımının yerleşimine göre, şaft ve pervane ağırlığından kaynaklı olarak, yataklarda büyük aşınmalar meydana gelebilmektedir. Aşınma; yatak ve şaft aşınmasından dolayı şaftın sarkma ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Şaftlarda yatak aşınmalarının ölçümü oldukça zordur. Genelde çift parçalı polimer yatakların uygulandığı sistemlerde, dizayn karakteristiği olarak şaft ile alt yatak arasındaki boşluk sıfır kabul edilmekte, üst yatak ile şaft arasında ise, yatak montajının yapılabilmesi için Şekil 5.5'te görüldüğü gibi, belirlenen oranlarda boşluk bulunmaktadır. Dolayısıyla, şaft yataklarında oluşacak herhangi bir aşınmada bu boşluk artma eğilimindedir. Ve bahse konu yatak boşluğunun ölçümü aşınma kriteri olarak belirlenmektedir.



A braket polimer yatak yerleşimi



A braket polimer yatak dizaynı

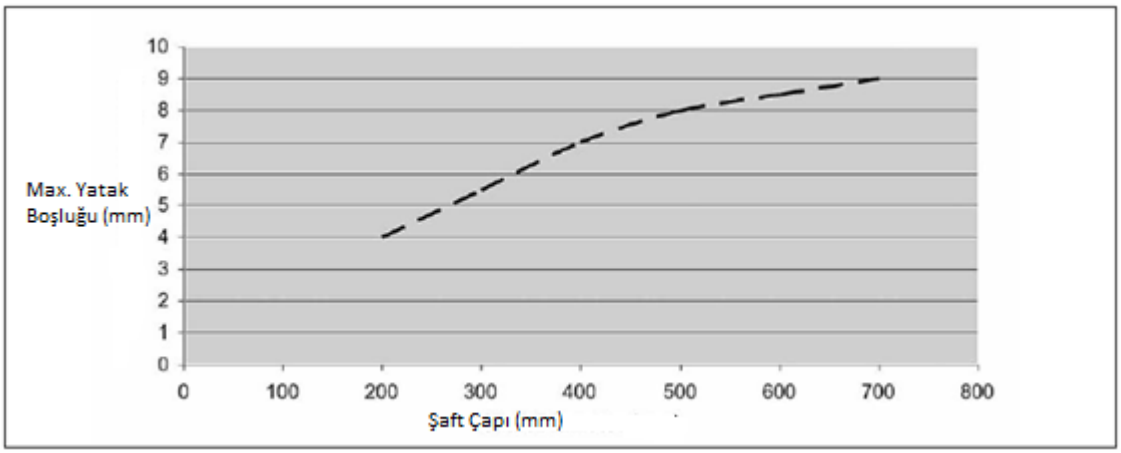


A braket polimer yatak yerleşimi

Şekil 5.5 Ana braket polimer yatak yerleşimi

Pervane şaft yatak sisteminde bulunan yatak aşınmalarının tespiti büyük oranda kullanıcı personelin deneyimi ve buna bağlı gerçekleştirdiği ilave ölçümler ile anlaşılabilmektedir. Sterntüp siğil kısmında üreticinin belirlediği oranlarda deniz suyu damlaması/sızıntısı normal olarak görülse de, hiç damlama olmadan çalışması da mümkün olmaktadır. Geminin inşa aşamasında şaft hizalamasının en iyi şekilde yapıldığı varsayıldığında, siğilde meydana gelen aşırı damlama ve şafttan gelen gürültü seviyesinin arttığının fark edilmesi, şaft yataklarında bir problem yaşandığı şeklinde yorumlanabilir. Gemi kıç tarafında da artan gürültü seviyesinin, yatakların aşınmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yataklarda meydana gelen aşınmalar sadece çalışma koşullarına bağlı olarak meydana gelmeyip, deniz suyunun ve deniz canlılarının aşındırıcı etkisi nedeniyle de oluşabilmektedir.

Yatak değişiminin gerçekleşmesi gereken aşınma miktarı, genelde klas kuruluşları tarafından belirlenmektedir. Örnek gemide kullanılan yatakların, şaft çapına dayalı yatak boşluğu sınır değer grafiği Şekil 5.6'da yer almaktadır. Ayrıca üst yatakta bulunan su kanalları bir gösterge olarak kullanılabilmekte ve kanal derinliği 0,5-1 mm. olduğunda yatak değiştirilmektedir [86].



Şekil 5.6 Polimer yatak aşınma grafiği [86]

Şekil 5.5 incelendiğinde ana brakette şaft çapının layner ile birlikte 357 mm. olduğu görülmektedir. Şekil 5.6'da 357 mm. şaft çapına karşılık gelen yatak sınır boşluğu değerinin yaklaşık 6,5 mm. olduğu kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Dolayısıyla örnek gemide ana brakette yatak boşluğu 6,5 mm. olduğu takdirde yatakların değiştirilmesi gerekmektedir. (Şekil 5.7) Bu değişim değeri P braket ve sterntüp yatakları içinde aynı kabul edilmektedir.



Şekil 5.7 Ana braket yatak boşluğu

Tüm bu dizayn karakteristikleri belirlenen ve eksiksiz olarak uygulanan örnek geminin yaklaşık beş yıllık işletme süresince, şaft yataklarına bağlı olarak yaşadığı arızalar Çizelge 5.4'te yer almaktadır.

Çizelge 5.4 Örnek gemide yaşanan ana tahrik sistemi şaft arızaları

Arıza Sıra No	Arızanın Tanımı	Yapılan Onarım
1	Ana tahrik sistemi şaft yatak aşınması	İskele ve sancak şaft sistemi polimer yatakların tamamının değişimi
2	Ana tahrik sistemi şaft yatak yük dağılımının bozulması, gemi gövdesinde aşırı titreşim ve şaft yatak aşınması	İskele ve sancak şaft istemi sterntüp baş/kıç alt polimer yataklar ile A ve P braket alt polimer yatakların değişimi

Örnek gemide yaşanan arızaların benzerleri filoda yer alan diğer üç gemide de yaşanmış ve bahse konu yatakların büyük bir bölümü bu gemilerde de değiştirilmiştir. Filoda yer alan gemiler yılda ortalama 1500-2000 saat seyir yapmakta ve çoğunlukla benzer görevler icra etmektedirler.

Yaşanan bu plansız arızalara bağlı olarak yapılan bakım ve onarımlar neticesinde büyük maliyet ve zaman kayıpları yaşanmış ve benzer arızaların tekrar yaşanmaması amacıyla çeşitli tedbirler alınmıştır. Bu kapsamda; şaft deniz suyu soğutma sistemi pompasının impeller yarıçapı, yaklaşık %30 oranında daha iyi akış sağlayacak şekilde artırılmış ve yatak yuvalarının baş/kıç tarafında yer alan muhafazaların çapları deniz suyu girişini artırmak maksadıyla yaklaşık 2 cm. oranında artırılmıştır. Ayrıca gemi personeli tarafından şaft soğutma suyu sistemi üzerinde yer alan balans valflerinden debi kontrolleri ile şaft yatak yük ölçümlerinin sıklaştırılması sağlanmış, şaft topraklama ve katodik koruma sistemlerinin kontrolleri artırılmıştır.

Belirlenen periyotlarda dalgıç personelin yardımı ile şaft yataklarında A braket üzerinde bulunan, yatak yuvası ile şaft layneri arasındaki mesafenin ölçülmesini sağlayan poker ölçüm aleti ile ölçümler yapılmış ve yatak boşluğu hesaplanmıştır. Bu ölçümler kapsamında gemi personeli tarafından sterntüp baş yataklarının ölçümleri de rutin aralıklar ile gerçekleştirilmiştir.

Poker ölçüm aleti ile yapılan ölçüm; A braket şaft yuvası üzerinde bulunan ölçüm noktasından şafta kadar olan kısmın ölçülmesi anlamına gelmektedir. Yatak değişiminden sonra havuzlama esnasında yapılan poker ölçümü, başlangıç değer olarak kabul edilmekte ve her yatak değişiminden sonra veya gemiden gemiye farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle her yatak değişiminden sonra mutlaka havuzlama

esnasında poker ölçüm aleti ile ölçüm yapılması gerekmektedir. Çünkü bu ölçüm başlangıç değeri olarak kabul edilip, daha sonra limanda yapılan ölçümler bu değer üzerinden ilerlemektedir.

Poker ölçüm aleti ile yapılan ölçüm yöntemini içeren örnek bir uygulama aşağıda yer almaktadır.

Dizayn yatak boşluk değeri=1,7 mm. (Her yatak değişiminden sonra farklılıklar gösterebilir.)

Havuzda poker ölçüm değeri= 2,5 mm. (Başlangıç değeri)

Limanda poker ölçüm değeri= 3,5 mm. ise;

Yeni yatak boşluğu= (3,5-2,5)+1,7 =2,7 mm. (5.1)

olacaktır.

Örnek gemide polimer yatak değişimlerinden sonra yapılan tüm ölçümler, alınan tedbirler sonucunda gerçekleştirilmiştir. Ancak dalgıç personel tarafından yapılan poker ölçümleri esnasında gerek dalgıç personelin deneyimsizliği gerekse ölçüm noktasında yaşanan deformasyona bağlı olarak veya deniz canlı oluşumlarının olumsuz etkileri sebebi ile beklenen hassasiyet sağlanamamıştır. Bu maksatla A braket, P braket ve sterntüp yataklarından, tecrübeli personelin izleyerek değerlendirmede bulunabilmesi amacıyla kamera görüntüleri alınmış, fakat deniz suyunda yaşanan olumsuz görüş şartları ve görüntüler üzerinden yorumlamada yaşanan zorluklar sebebi ile sağlıklı sonuçlar elde edilemediği değerlendirilmiştir. Bu nedenle yapılan tüm bu ölçümlere ilave olarak örnek geminin çalışma saatlerine dayalı, edinilen deneyimler ışığında arıza olasılığı yüksek görülen sancak şaftın devirleri, pitch açılarının kullanılma süreleri ve şaft donanımı üzerinde yer alan jurnal yatağın hidrolik yağ sıcaklığının ölçümü kayıt altına alınmıştır. Bu kapsamda, sancak şaft ana braket yatak boşluğunun belirlenebilmesi maksadıyla kullanıcı personel tarafından yaklaşık üç yıl süre ile ölçümler yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan değerler ile bir yapay sinir ağı (YSA) modeli oluşturulmuş ve ana braket yatak boşluğunun sınır değere ulaşma zamanı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

5.3 Ölçüm Yöntemleri

Ölçüm, işletmenin belirlediği hedeflere doğru, ne derece iyi ilerlediğini değerlendirmeyi, güçlü ve zayıf yönleri tespit edebilmeyi ve gelecekte alınması muhtemel kararlara bir katkı sunulmasını sağlamaktadır. Ayrıca bir eylemi nicelleştirme faaliyeti olarak da tanımlanabilmektedir. Performans ölçümlerinin özellikleri; yorumlanabilirlik, zamanındalık, güvenilirlik ve geçerliliktir [1].

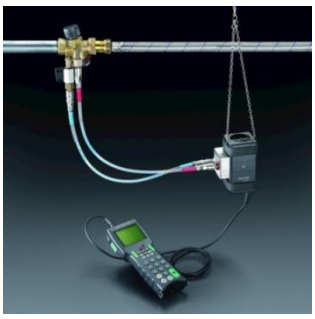
5.3.1 Deniz Suyu Debi Ölçümü

Ölçüm, Oventrop OV-DMC 2 debi ve basınç farkı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şaft deniz suyu sistemi balans valfi debi ölçümü, beş adet istasyonda yapılmış olup, tamamı istasyonlara deniz suyunun giriş yaptığı kısımlarda yer almaktadır. Bunlar; Şekil 5.8'de görüntüsü yer alan, sterntüp deniz suyu balans valfi, P braket deniz suyu balans valfi, A braket deniz suyu balans valfi, pitch kontrol sistemi deniz suyu balans valfi, jurnal (palamar) yatak deniz suyu balans valfleridir.



Şekil 5.8 Deniz suyu balans valfi

Her bir ölçümde, Şekil 5.9'da olduğu gibi mavi ve kırmızı devreler, balans valfleri üzerinde uygun olan renklere bağlanarak cihaza deniz suyunun giriş ve çıkışı sağlanmıştır.



Şekil 5.9 Debi ölçüm cihazı bağlantı şeması

Her bir valfin debi ölçüm testlerine başlamadan önce, cihazın üzerinde yer alan filtreler temizlenmiştir. Pitch kontrol sistemi kuleri ve sterntüp besleme devresi üzerinde yer alan Y tipi filtrelerin temizlikleri yapılarak montajı yapılmıştır. Pitch kontrol sistemi kulerinde yer alan tutyaların durumları her ölçümden önce kontrol edilmiştir.

Her bir valfin ölçümünde ilk olarak, cihaz ana menüsünde valf ayarları kısmından ölçülecek valfin özelliklerine göre valf tipi ve çapı seçilmiştir. İkinci adım olarak, ayarlanmış olan valf tur sayısı seçilmiştir. Aslında cihaz üzerinde, belirlenecek tur sayısına göre elde edilecek debi değeri gösterilmektedir. Ancak, herhangi bir valfin tur sayısında yapılacak değişiklikle sistem üzerinde yer alan tüm debi değerleri değişeceğinden valf tur sayılarına kesinlikle müdahale edilmemiştir. Her bir valf için son adım olarak ana menü üzerinden ölçüm işlemine geçilmiş olup, ölçüm değeri ortalama bir değerde sabitlenene kadar ölçüm tekrarlanmış ve ölçülen değer kayıt altına alınmıştır.

Ölçülen değerler her bir istasyon için ayrı ayrı tabloya işlenmiştir. Sonuçlar incelenirken sistemdeki doğal yaşlanma ihmal edilmiştir. Kinistin sepetlerinde deniz canlısı oluşumunu önlemek maksadıyla kullanılan antifouling sisteminin devrede olması sağlanmıştır.

5.3.2 Şaft Yük Test Yöntemi

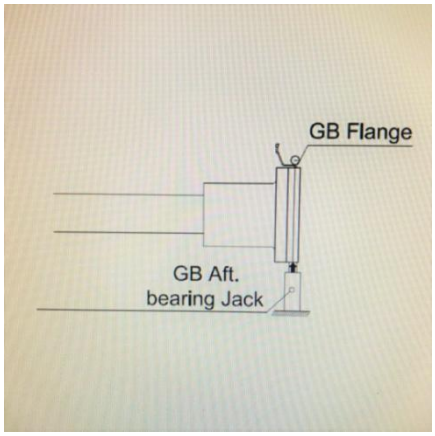
5.3.2.1 Kullanılan Malzemeler

- Hidrolik kaldırma aparatı (kriko) ve hidrolik el pompası
- Mıknatıslı komparatör (0,01 mm. hassasiyetli, iki yönlü, kalibreli)
- 700 bar skalalı manometre (kalibreli, analog/dijital)
- Muhtelif ebatlarda rijit sert takoz

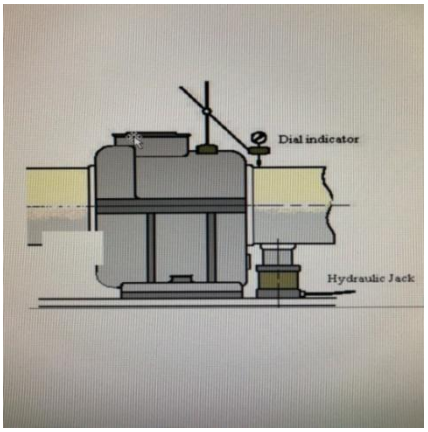
5.3.2.2 Ölçüm Hazırlığı

Yatak yük ölçümü üç istasyonda yapılmıştır. Bunlar; şanzıman çıkışı, jurnal (palamar) yatak ve sterntüp baş yatağıdır. Şanzıman yatak yük ölçümü tam olarak şanzıman çıkış flenci altından (Şekil 5.10.a), jurnal (palamar) yatak yük ölçümü yatak merkezinden 30

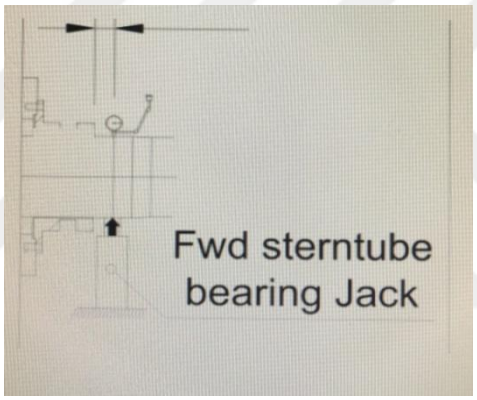
cm. başa doğru (Şekil 5.10.b), sterntüp baş yatak yük ölçümü ise şaft bosasından 70 cm. başa doğru (Şekil 5.10.c) olmak üzere yapılmıştır.



a. Şanzıman yatak ölçüm noktası



b. Jurnal yatak ölçüm noktası



c. Sterntüp baş yatak ölçüm noktası

Şekil 5.10 Yatak ölçüm noktaları

Her bir ölçümde; hidrolik kaldırma aparatı şaft hattı ekseninde tam olarak şaftın altına, komparatör ise tam olarak şaft hattı ekseninde hidrolik kaldırma aparatı düşey karşılığında şaft yüzeyinin üst kısmına Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 ‘de olduğu gibi konumlandırılmıştır.



Şekil 5.11 Hidrolik kaldırma aparatı yerleşimi



Şekil 5.12 Komparatör yerleşimi

Yük testine başlamadan önce; şaft, hidrolik kaldırma aparatı ile en üst ölçüm noktasına kadar kaldırılmış ve sonra indirilmiştir. Bu işlem şafttaki gecikme/kesikliği azaltmak ve kaldırma aparatını kontrol etmek için yapılmıştır.

Sterntüp baş yatak yük ölçümünün yapılabilmesi için hidrolik kaldırma aparatının takozlarla yükseltilmesi gerekmiştir.

5.3.2.3 Uygulama

Hidrolik kaldırma aparatı ve komparatör doğru olarak yerleştirildikten sonra piston yüzeyi şaftla temas edinceye kadar kademeli olarak basınç arttırılmıştır.

Redüktör yatak yük testi için 0,05'er mm. olmak üzere 0,30 mm.'ye kadar, jurnal (palamar) yatak yük testi için 0,05'er mm. olmak üzere 0,40 mm.'ye kadar, sterntüp baş yatak yük testi için 0,10'ar mm. olmak üzere 1,20 mm.'ye kadar şaft hidrolik kaldırma aparatı ile kaldırılarak her bir kalkınma hareketine karşılık gelen basınç değeri kayıt edilmiştir.

Daha sonra aynı değerler üzerinden kademeli olarak şaft indirilmeye başlanmış ve her bir inme hareketine karşılık gelen değer, Çizelge 5.5'de olduğu gibi kayıt altına alınmıştır.

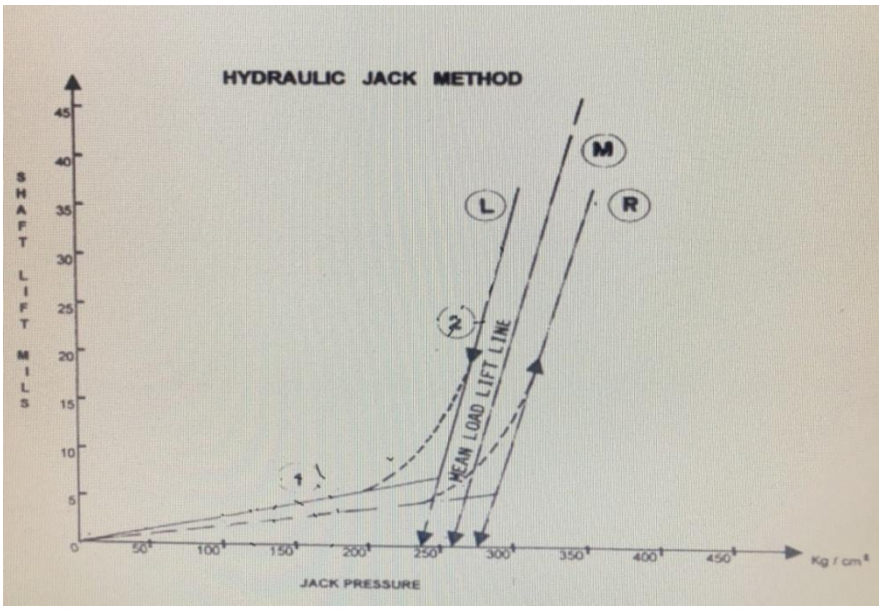
Çizelge 5.5 Hidrolik kaldırma aparatı basınç ve şaft hareket değerleri

Redüktör			
Şaft yukarı hareketi (mm)	Basınç (bar)	Şaft aşağı hareketi (mm)	Basınç (bar)
0,05	170	0,30	230
0,10	180	0,25	155
0,15	195	0,20	133
0,20	205	0,15	104
0,25	210	0,10	70
0,30	230	0,05	35

Bu ölçüm işlemi oldukça hassas olduğundan uygulama sırasında kademeli olarak yapılan artırma ve azaltmaların dikkatli yapılması gerekmektedir. İşlemin herhangi bir adımında ölçünün kaçırılması durumunda uygulamanın baştan başlatılması gerekmektedir. Kayıt alınırken komparatörde ve manometrede sabit değer görene kadar beklenmelidir.

5.3.2.4 Ölçüm Sonu Değerlendirme

Alınan değerler her bir istasyon için ayrı ayrı Şekil 5.13'de örneği yer alan grafiğe işlenmiştir. Grafiğin yatay ekseni bar cinsinden uygulanan basınç değeri, düşey ekseni ise mm. cinsinden şaftın hareketidir.



Şekil 5.13 Şaft yük test sonuçları

Dikkat edilirse, yukarı kaldırmada, belli bir basınç değerinden sonra grafik aniden yukarı eğimli olmaya başlamıştır. Bu, artık şaft yükünün tamamen yataktan kaldırma aparatına taşındığı anlamına gelmektedir. Aynı şekilde, indirme hareketinde belli bir basınç değerinden sonra grafik aniden yatay eğimli olmaya başlamıştır. Bu da, artık şaft yükünün tamamen kaldırma aparatından yatağa taşındığı anlamına gelmektedir.

Yatakta meydana gelen gerçek yük, grafikte basınç ekseni kesilene kadar çizilen iki düz çizgi ile elde edilmiştir. Bu iki çizgi birbirine paralel olmalıdır. İnme ve kalkma yük eğrilerinden elde edilen basınç değerleri arasında %40'dan fazla fark olmamalıdır. Aksi takdirde yük testi tekrarlanmalıdır.

Yatakların, yapılan yük testleri sonrası hesaplanan yük değeri o yatağa ait teorik yük değerinin +/-%50 limit içerisinde olmalıdır.

İlgili yatakta ölçülen kg. cinsinden yük, grafikte okunan bar cinsinden ortalama basınç değerinin cm^2 cinsinden kaldırma aparatı piston yüzey alanı (43 mm. piston çapı için 14,5 cm^2) ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

Yük ölçümleri tam olarak yatak merkezlerinden yapılmadığı için bulunan sonuçlar bazı düzeltme faktörleri ile çarpılmıştır. Bu değerler şanzıman kıç yatak için 1,2727; jurnal (palamar) yatak için 0,9752; sterntüp baş yatak için 1,0058'dir.

5.3.2.5 Örnek Hesaplama

Örnek olarak verilen grafikteki ölçümlerin sancak palamar yatak için yapıldığı varsayıldığında; grafikteki ortalama yük yaklaşık 257 kg/cm^{2}'dir. Bu değer piston yüzey alanı ile çarpılmıştır.

$F = P * A$ =257*14,5=3726,5 kg (5.2)

Çıkan sonuç, palamar yatak için düzeltme faktörü ile çarpılır.

$F_{yeni} = F * D\ddot{u}zeltme\ Fakt\ddot{o}r$ü=3726,5*0,9752=3634,08 kg (5.3)

Elde edilen sonuç sancak palamar yatağın gerçek yüküdür.

Yapılan ölçümler sonucunda, yatak yük dağılımında büyük farklar çıkması durumunda jurnal (palamar) yatağın yukarı kaldırılması veya aşağı indirilmesi ile yük dengelenebilir. Ancak ölçümler esnasında jurnal yatağa herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.

5.3.2.6 Yatak Yük Aralığı

Yük dağılımı, limitleri aşmamalıdır. Soğuk koşullarda, pervane tarafındaki yataklar ile makine tarafındaki yataklardaki yük farkı %50'den fazla olmamalıdır. Sıcak koşullarda ise pervane tarafındaki yataklar ile makine tarafındaki yataklardaki yük farkı %30'dan fazla olmamalıdır.

Yaşanan arızalar sonucunda edinilen tecrübeler ve ilgili kurum tarafından verilen direktifler doğrultusunda belirlenen yöntemlere bağlı kalınarak alınan kayıtlara göre oluşturulan veri kümesinin bir bölümü Çizelge 5.6'de yer almaktadır.

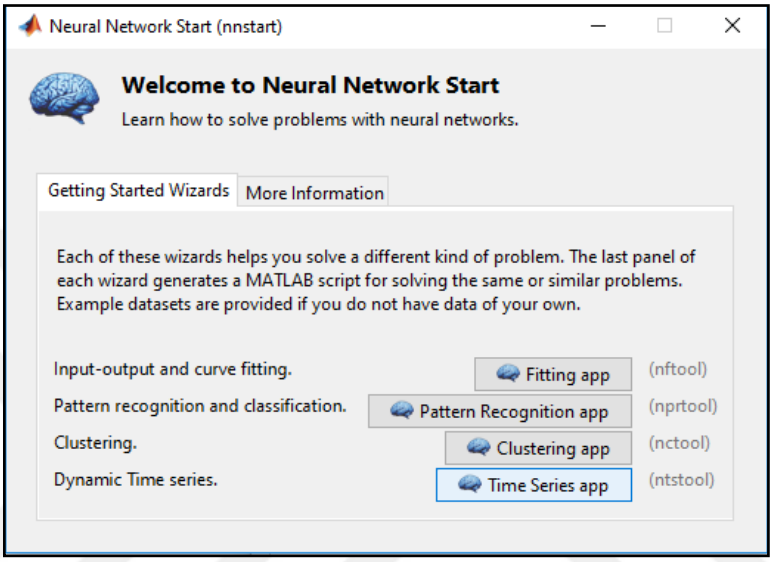
Çizelge 5.6 Örnek veri seti

Ölçüm Zamanı	Toplam Çalışma Saati	Şaft Devri 90-110 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 110-130 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 130-150 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 150-170 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 170-190 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 190-210 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 210-230 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Şaft Devri 230-250 (rpm) Çalışma Süresi (sa)	Pitch Açısı 0-3 (Derece) Çalışma Süresi (sa)	Pitch Açısı 3-14,9 (Derece) Çalışma Süresi (sa)	Pitch Açısı 14.9-23.8 (Derece) Çalışma Süresi (sa)	Pitch Açısı 23.8-28.8 (Derece) Çalışma Süresi (sa)	Jurnal Yatak Ortalama Sıcaklık °C	Sterntüp Poker Geyç Ölçüm Değeri (mm)	Sterntüp Deniz Suyu Debi Değeri (m³/sa)	P Braket Deniz Suyu Debi Değeri (m³/sa)	A Braket Deniz Suyu Debi Değeri (m³/sa)	Pitch Kontrol Sistemi Deniz Suyu Debi Değeri (m³/sa)	Palamar Yatak Deniz Suyu Debi Değeri (m³/sa)	Deniz Suyu Sıcaklığı °C	Şaft Deniz Suyu Yağlama Sistemi Deniz Suyu Basıncı (Bar)	Sterntüp Yük Miktarı (Ton)	Palamar Yatak Yük Miktarı (Ton)	Şanzıman Yük Miktarı (Ton)	A Braket Poker Geyç Ölçüm Değeri (mm)
Ocak 16	252	127	39	10	11	17	2	34	12	24	89	38	107	42.2	68.6	6.19	3.1	3.42	3.11	0.5	12	2.9	2.61	3.87	1.45	2.73
Şubat 16	39	5	3	2	4	9	0	5	11	0	4	5	30	45.3	68.6	5.81	2.58	2.76	3.12	1.8	10	3	2.62	4.14	1.09	2.86
Mart 16	162	115	12	15	3	13	0	4	0	2	83	18	58	41.5	68.75	5.72	2.4	2.4	2.18	0.65	12	3	2.45	4.01	1.58	2.91
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Aralik 18	66	0	0	0	4	7	22	19	14	0	10	23	33	47.7	69.1	6.05	3.18	2.59	8.9	0.97	16	3	4.91	3.16	0.98	?
Ocak 19	129	0	8	14	8	10	19	65	5	4	23	40	62	55.8	69.11	5.75	2.79	2.1	8.6	0.65	15	3.1	5.12	3.01	0.88	?

Çeşitli şekillerde elde edilmiş tüm bu veriler ile örnek veri seti oluşturulmuş ve sancak şaft sisteminde yer alan A braket yatak boşluk değerlerinin zamana dayalı tahmini yapılmaya çalışılmıştır.

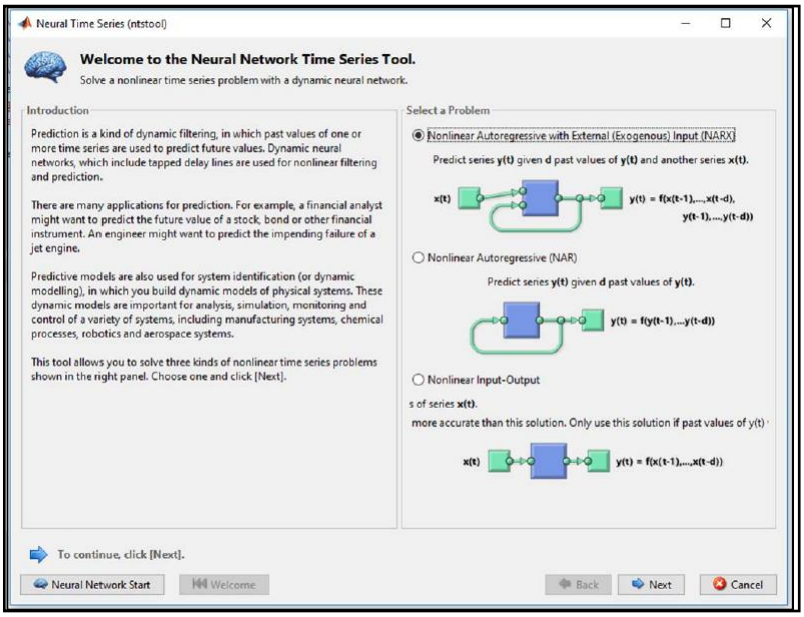
5.4 Veri Tahmini ve Yapay Sinir Ağı Modeli

Sancak şaft sistemi ana braket yatak boşluğunun, en son yatak değişiminden itibaren kayıt edilen değerleri yardımı ile yatak boşluk değerinin, sınır değere ulaşacağı zamanın belirlenmesi maksadıyla EK-A'da detayları yer alan, MATLAB® Yapay Sinir Ağı uygulamalarından ''Zaman Serileri'' kullanılarak tahminde bulunulmaya çalışılmıştır. Modelin oluşum süreci, Şekil 5.14 İle Şekil 5.19 arasında detaylı olarak belirtilmektedir.

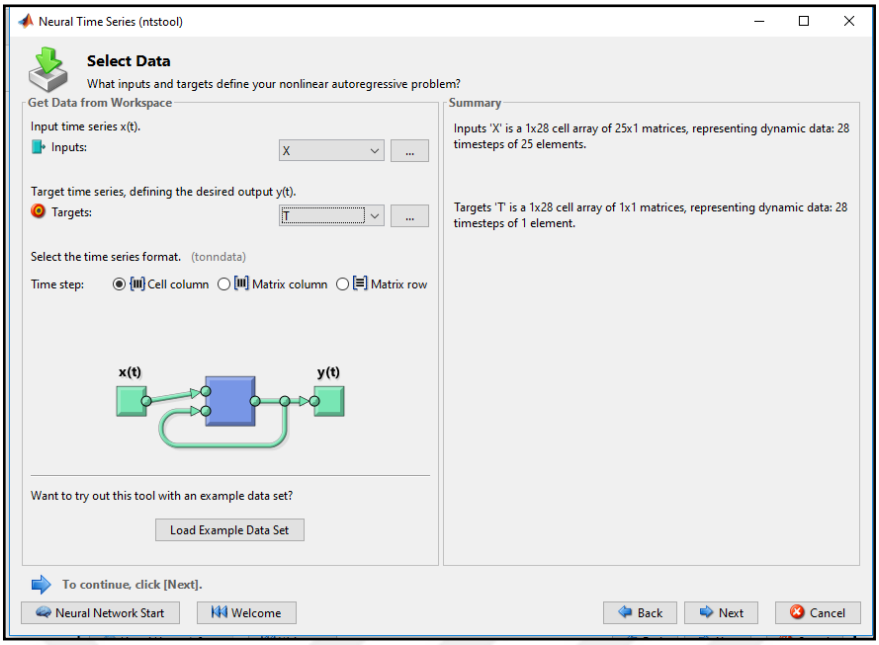


Şekil 5.14 Yapay sinir ağları çözüm yöntemi seçimi

MATLAB Yapay Sinir Ağları araç kutusundan "Zaman Serisi" uygulamasının seçimi Şekil 5.15'te yer almaktadır.

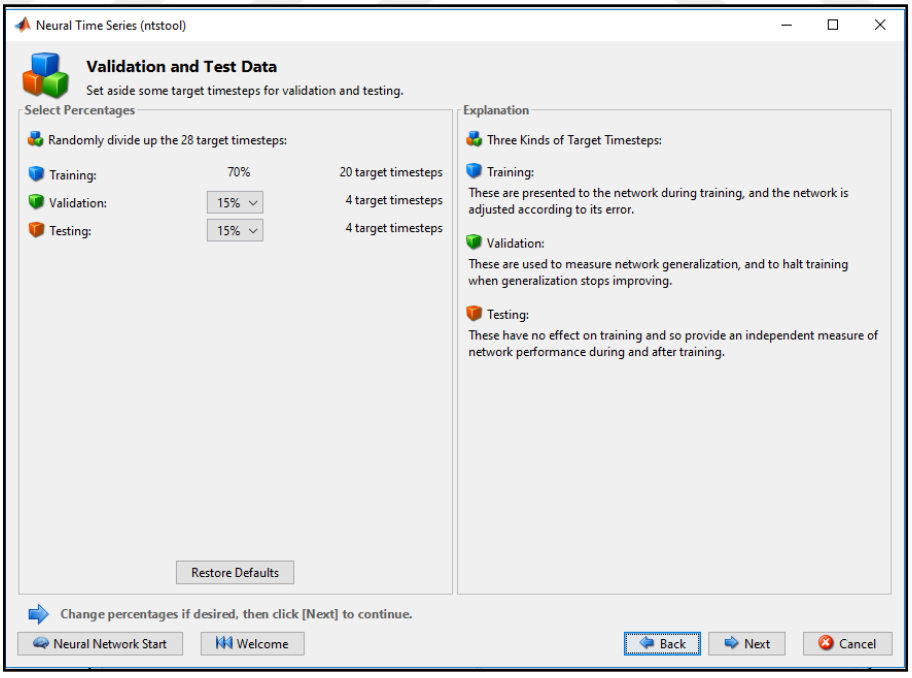


Şekil 5.15 Zaman serisi algoritma seçimi



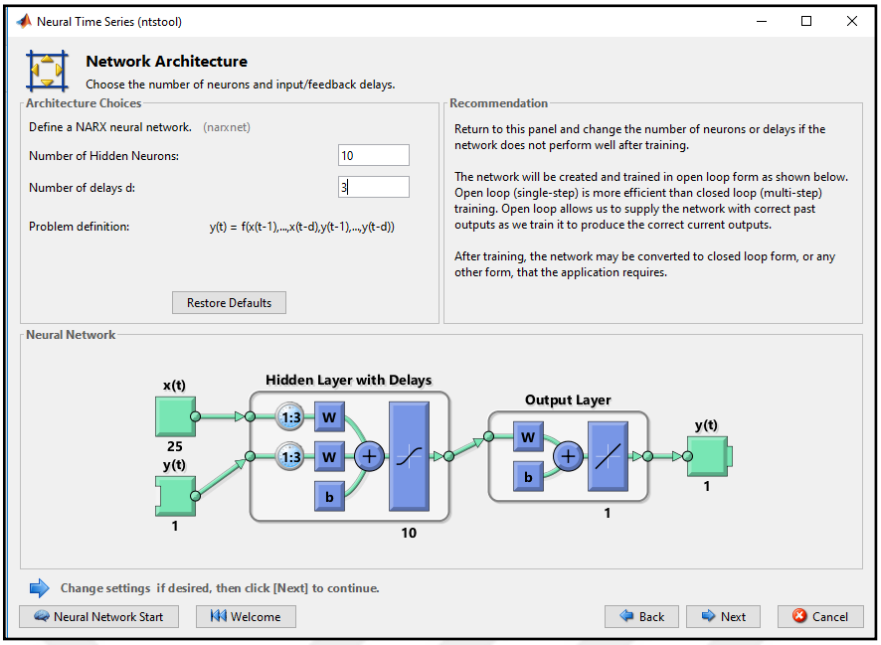
Şekil 5.16 Veri setinin tanıtımı

Şekil 5.16'da veri setinin tanıtılması bulunmaktadır. "X" , eğitim girdi verisi olarak seçilmiş olup, her bir sütun 28 satırdan oluşan, toplam 25 sütundan meydana gelmektedir. "T" ise eğitim çıktı verisi olup bir sütun, 28 satırdan oluşan A braket poker ölçüm sonuçlarını içermektedir.



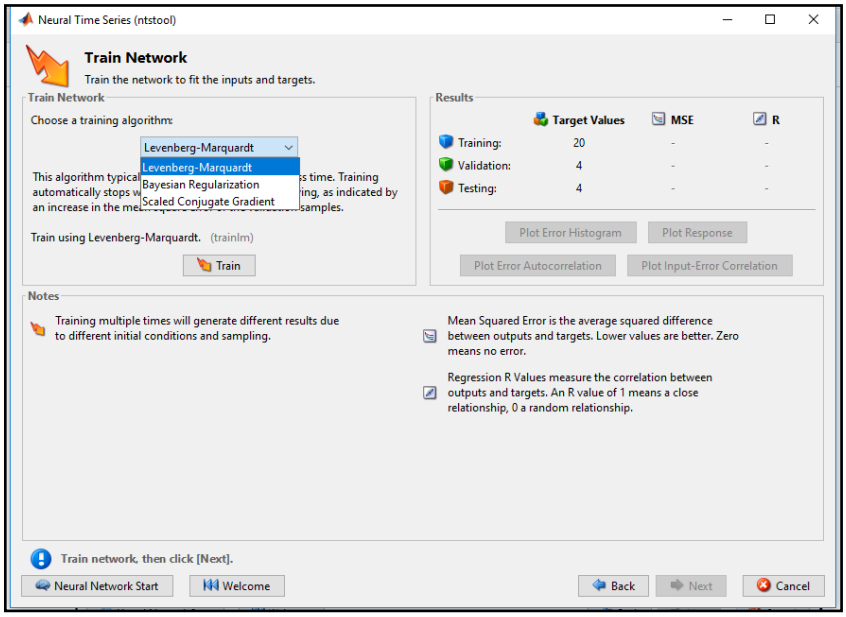
Şekil 5.17 Veri setinin bölünmesi

Şekil 5.17'de eğitim veri setinin bölümlendirilmesi yer almaktadır. "X" girdi veri setinin %70'i "eğitim", %15'i "test", kalan %15'i ise "doğrulama" verisi olarak ayrılmıştır.



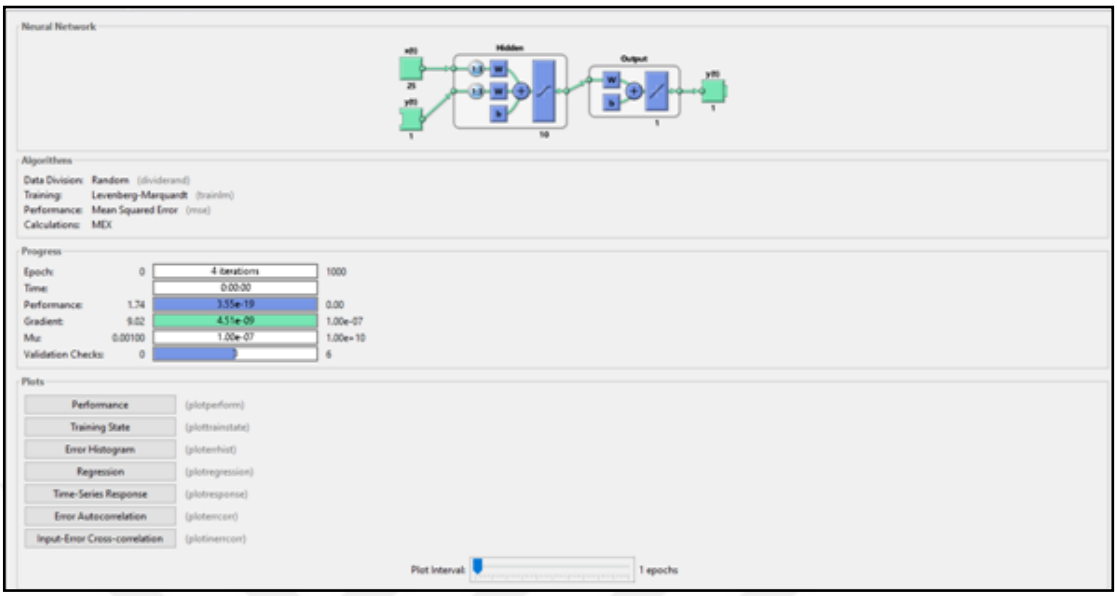
Şekil 5.18 Ağ mimarisi

Şekil 5.18'de ağın mimarisi gösterilmektedir. "Number of Hidden Neurons" ifadesi ile gizli katmanda bulunan nöronların sayısı belirlenmekte, "Number of delays d" ifadesi ile de, ağın gecikmesinin ne olacağına karar verilmektedir. Gecikmenin amacı, ağın öğrenme işlemine geçmeden önce verileri hafızasında tutarak daha sonra öğrenmeye başlamasını sağlamaktır. Çözülen problemde bu değer üç olup, ilk üç periyoda ait veriler hafızada tutulduktan sonra, dördüncü periyot ile beraber öğrenmeye geçilmektedir. Şekil 5.19'da eğitim algoritmasının seçimi gösterilmektedir.



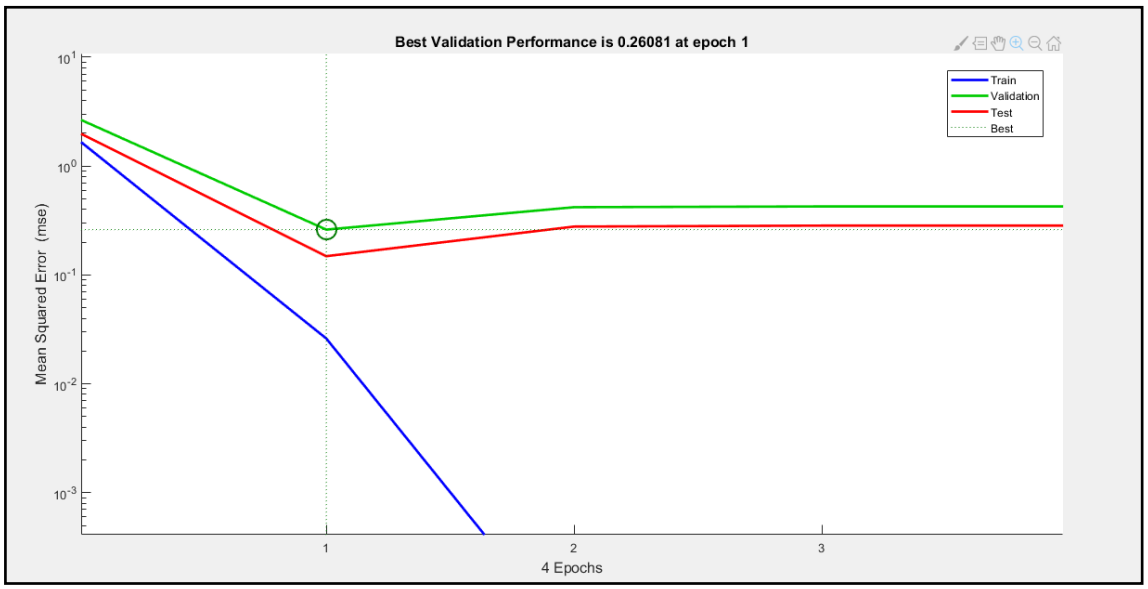
Şekil 5.19 Eğitim algoritması seçimi

Örnek setinin %70'i ile eğitilen ve sonrasında %15'i ile doğrulanan, kalan %15'lik kısmıyla da test edilen yapay sinir ağı Şekil 5.20'de görülmektedir.

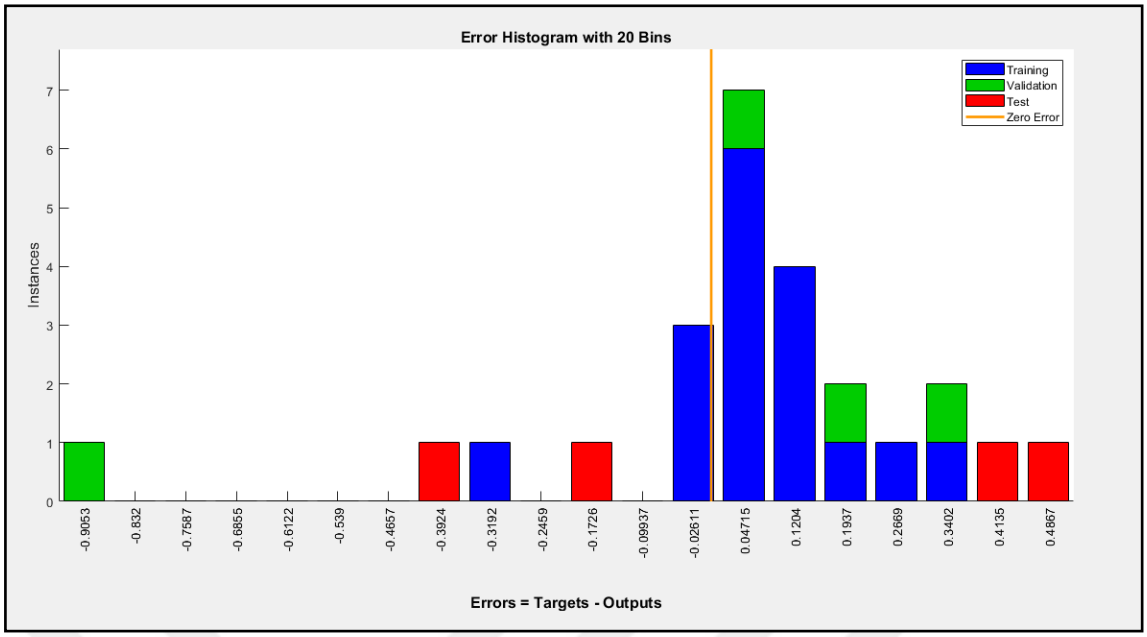


Şekil 5.20 Yapay sinir ağının sonuçları

Şekil 5.20'de "Validation Checks" değeri, en küçük hata değerine ulaştıktan sonra denenen iterasyon sayısını ifade etmektedir. İterasyonlar ve hata değerleri Şekil 5.21'de açıkça gösterilmektedir.

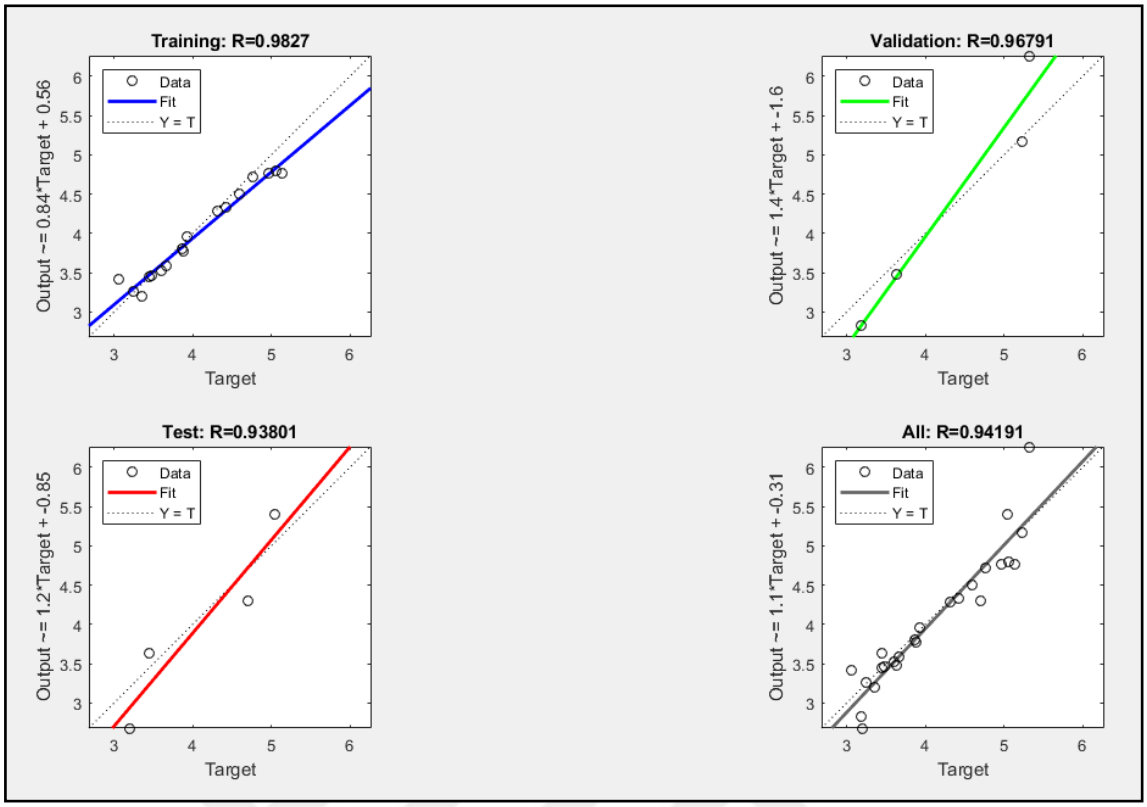


Şekil 5.21 Yapay sinir ağının doğrulanması



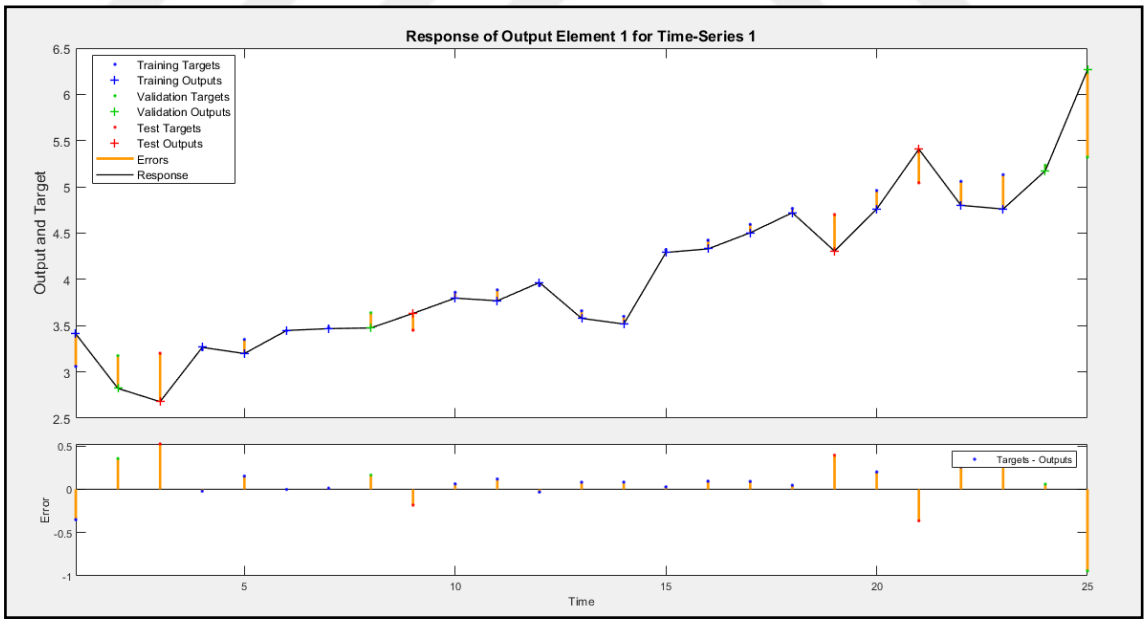
Şekil 5.22 Hata diyagramı

Şekil 5.22'de veri setinin eğitim, doğrulama ve test aşamalarında gerçek değerlerin ne kadar hata ile tahmin edildiği gösterilmektedir. Tahmin edilen değer ile gerçek değerin farkı alınıp hata değeri bulunmaktadır. Bu da tahmin edilen ana braket yatak boşluğu değerlerinin yaklaşık 0,45 oranında fazla veya eksik tahmin edildiği anlamına gelmektedir. Benzer hata oranlarıyla dalgıçlar tarafından su altında poker ölçüm aleti ile yapılan ölçümlerde de karşılaşıldığından, hatta ölçümlerinin bir önceki ölçümlerden daha az çıktığı görüldüğünden, kullanıcı ve yöneticiler tarafından havuzlama faaliyetleri planlamalarında her zaman bu oranda hata oranları ihmal edilebilmektedir. Yatak boşluğunun tahmininde yapılacak bu orandaki hata, yatak değişimi amacı ile yapılacak havuz planlamasını etkilemeyecektir. Çünkü havuz planlamaları arızanın tespitinin yapılışından sonra geçen ortalama iki aylık süre içerisinde yapılabilmektedir.



Şekil 5.23 Regresyon değerleri

Şekil 5.23'te değerlerin 1'e yakınlığı uygulanan çözümün doğruluğunu göstermektedir.

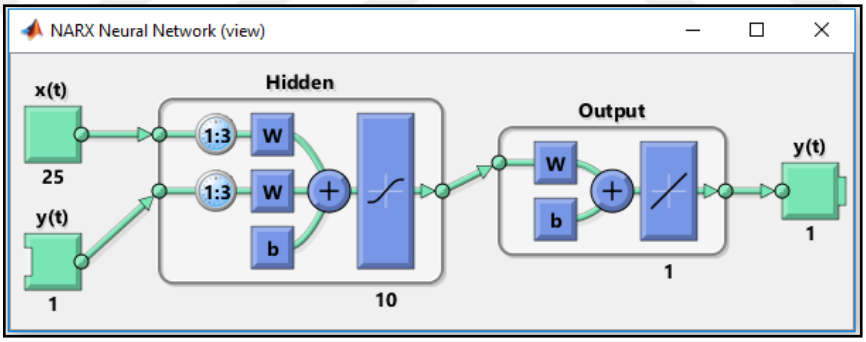


Şekil 5.24 Örnek seti sonuçları

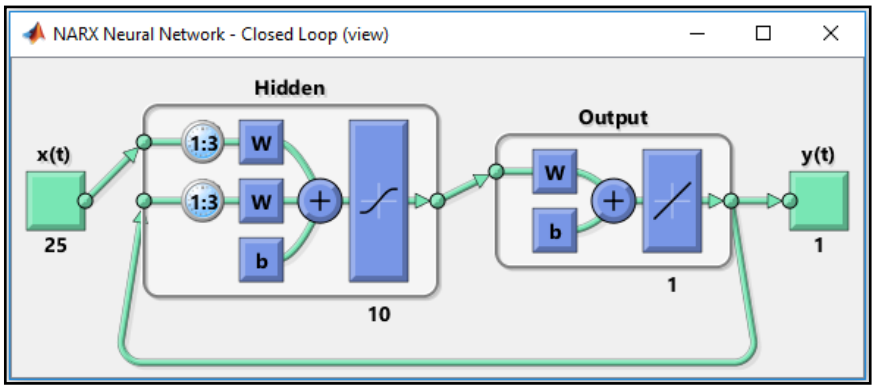
Şekil 5.24' te görüldüğü gibi test verilerindeki en büyük hata yaklaşık 0,45 oranındadır. Ayrıca eğitim ve doğrulama veri setleri içinde tahmin ve gerçek değerler arasındaki farklar da görülebilmektedir.

Bu aşamaya kadar yapılan tüm işlemler yapay sinir ağının oluşturulmasına yönelik yapılan faaliyetler olup, geçmiş dönem verileri kullanılarak ağın eğitimi ve öğrenmesi oluşum sürecidir. Ayrıca Şekil 5.14 ile Şekil 5.19 arasında yer alan tüm görüntüler ağın oluşumunun görsel bir şekilde anlatılabilmesi maksadıyla MATLAB programının "Neural Network Time Series" uygulaması üzerinden alınmıştır. Ancak yapılan çalışmada bahse konu uygulama üzerinden birebir yapılabilen mimari, kodlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada temel amaç, sancak şaft ana braket yatak boşluğunun geçmiş verileri kullanılarak, gelecekte üretici tarafından belirlenen sınır değere ne zaman ulaşacağını tahmin etmektir. Bu aşamada önemli olan husus geçmiş verilerin toplandığı son zamanının yapılan tahminin başlangıç zamanı olduğunun göz önünde bulundurulmasıdır. Kısaca ifade etmek gerekirse; geçmiş veriler aylık periyotlar halinde oluşturulduğundan, tahmin edilen değer sayısı, yaklaşık dört ay sonrasında oluşacak sınır değeri ifade ettiği şeklinde yorumlanmalıdır.

Yazılan kodlar üzerinden devam edilidiğinde; ilk aşamada; Şekil 5.25'de yer alan ağın gelecek tahmini yapılabilmesi amacıyla, eğitimi sırasında elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak Şekil 5.26'de görülen kapalı tahmin döngüsü oluşturulmuştur.

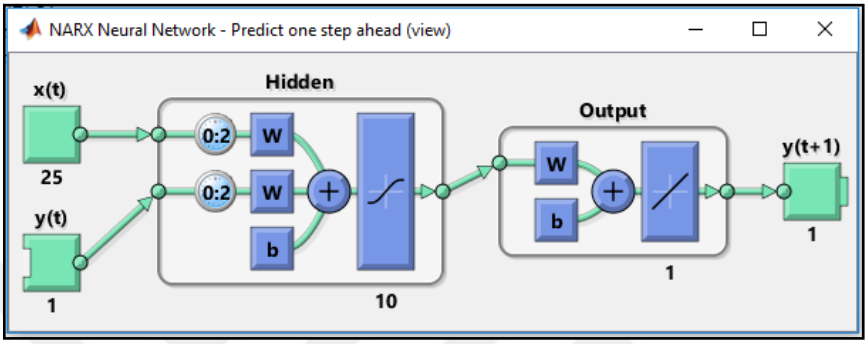


Şekil 5.25 Yapay sinir ağı diyagramı



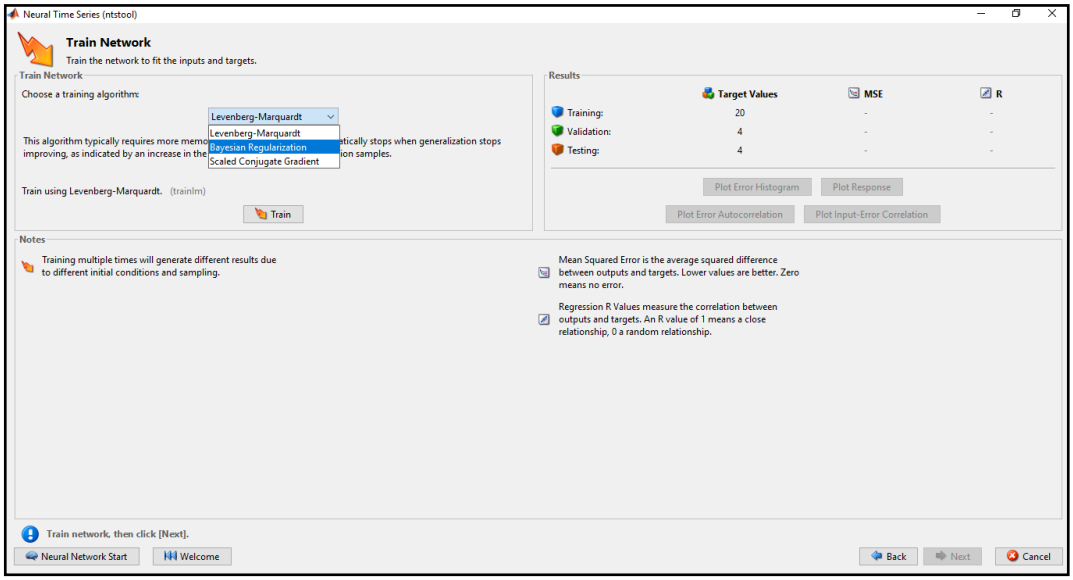
Şekil 5.26 Yapay sinir ağı kapalı çevrim diyagramı

Ağın öğrenmesi tamamlandığından ve ağın ağırlıkları belli olduğundan gecikme değerleri sıfırlanmaktadır. Şekil 5.27'de görülen ağ üzerinden bir sonraki ilk adım tahmin değeri belirlenmektedir. Belirlenen bu ilk gelecek tahmini de kullanılarak girdi veri seti tekrar düzenlenmekte ve buna göre ikinci gelecek tahmini yapılmaktadır. Kısacası kurulan ağ ile ilk adımdaki gelecek tahmini yapılmakta, sonrasında gelecek tahmininde bulunmak maksadıyla bulunan girdi setine bağlı olarak tahmin, adım sayısı tekrarlanarak bir adım ileriye götürülmektedir.

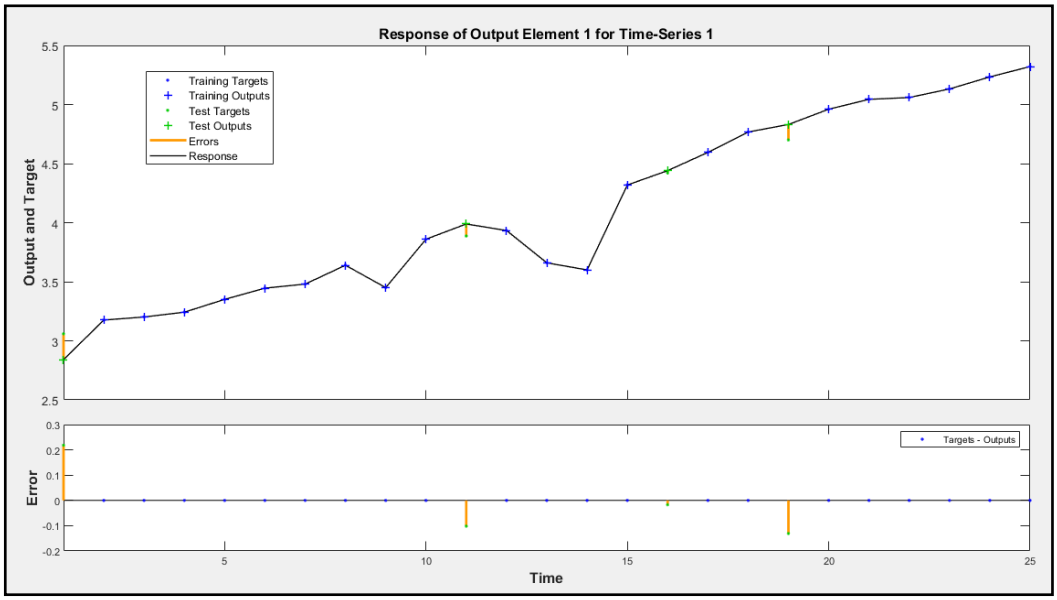


Şekil 5.27 Yapay sinir ağı tahmin diyagramı

Son olarak, yukarıda beliritilen tüm adımlardan sadece eğitim algoritması Şekil 5.28' de yer aldığı gibi değiştirilip, farklı bir ağ oluşturularak tüm sonuçlar incelenmiştir. Oluşturulan ikinci ağda en küçük hata değerine 262. iterasyon sonucunda ulaşılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde, test veri hatalarında en büyük değerin yaklaşık 0,2 olduğu Şekil 5.29'da görülmektedir.



Şekil 5.28 Eğitim algoritması seçimi

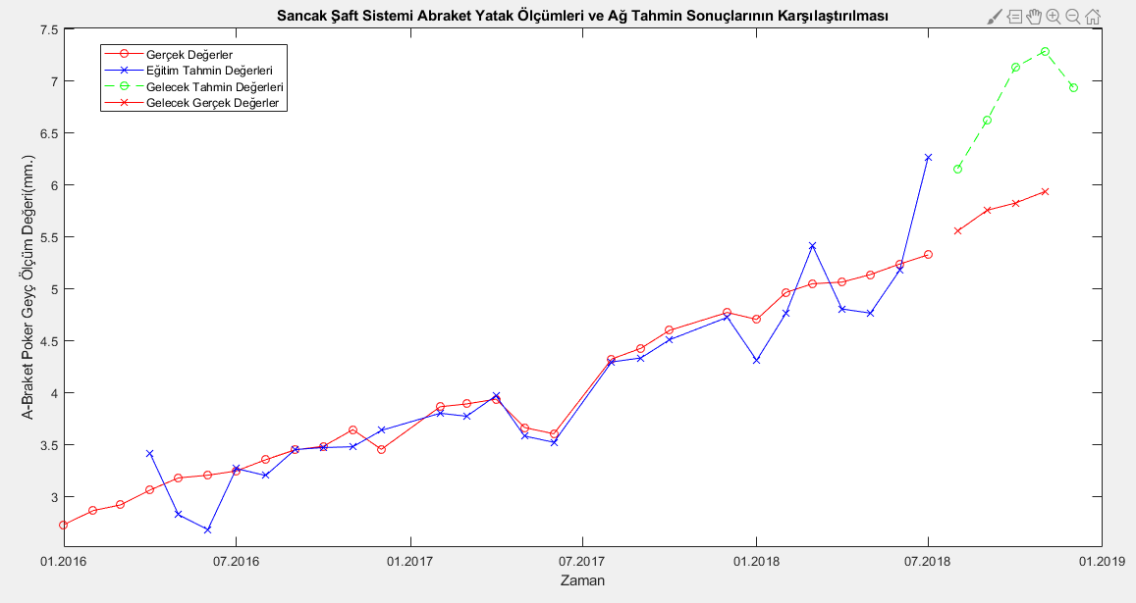


Şekil 5.29 Farklı eğitim algoritması seçimi ile elde edilen örnek veri seti sonuçları

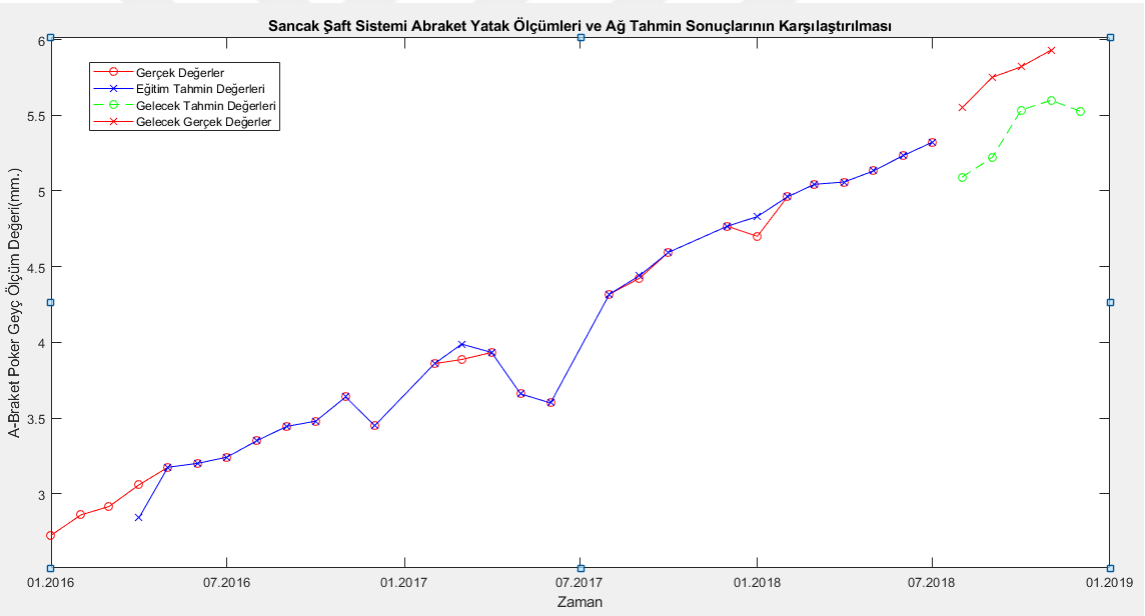
Bu çalışmada, belirlenen ağırlık değerleri ile dört adım (periyot) sonrasına kadar iki farklı eğitim algoritması kullanılarak tahmin yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile limanda yapılan ölçüm sonuçları ve geminin havuzlanması ile elde edilen gerçek değerler Çizelge 5.7 ve Şekil 5.30 ile Şekil 5.31'de sunulmuştur.

Çizelge 5.7 Sancak şaft ana braket yatak boşluk değerlerinin karşılaştırılması

Ölçüm yapılan yer	Ölçüm sayısı	Poker ölçüm aleti, ölçüm sonuçları (mm.)	YSA ile tahmin edilen değer (Levenberg Marquardt) (mm.)	YSA ile tahmin edilen değer (Bayesian Regularization) (mm.)	Havuzlama esnasında ölçülen değer (mm.)
Sancak şaft ana braket yatak boşluğu	Birinci ölçüm	5,55	6,15	5,09	-
Sancak şaft ana braket yatak boşluğu	İkinci ölçüm	5,75	6,61	5,22	-
Sancak şaft ana braket yatak boşluğu	Üçüncü ölçüm	5,82	7,13	5,53	-
Sancak şaft ana braket yatak boşluğu	Dördüncü ölçüm	5,93	7,28	5,60	-
Sancak şaft ana braket yatak boşluğu	Beşinci ölçüm	-	6,93	5,52	7,1



Şekil 5.30 Gerçek değer ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Levenberg-Marquardt)



Şekil 5.31 Gerçek değer ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (Bayesian Regularization)

Çizelge 5.8 Eğitim çıktıları performans ölçümleri

Eğitim Algoritması	MAD	MSE	RMSE	MAPE (%)
Levenberg-Marquardt	0,20	0,08	0,29	19,35
Bayesian Regularization	0,02	0,003	0,05	2,07

Çizelge 5.9 Tahmin değerleri performans ölçümleri

Eğitim Algoritması	MAD	MSE	RMSE	MAPE (%)
Levenberg-Marquardt	1,02	1,12	1,06	17,53
Bayesian Regularization	0,41	0,17	0,41	7,01

Çizelge 5.10 Havuzlama değerine göre, tahmin edilen değerlerin performans ölçümleri

Eğitim Algoritması	MAD	MSE	RMSE	MAPE (%)
Levenberg-Marquardt	0,17	0,029	0,17	2,4
Bayesian Regularization	1,57	2,4649	1,57	22,11

Kullanıcı personel tarafından en son şaft yatak değişim zamanından sonra yapılan ölçümler kayıt altına alınmıştır. Personel tarafından daha önce yaşanan tecrübeler ışığında alınan bu veriler ile oluşturulan veri setinde en son alınan ölçümlerin Temmuz 2018 tarihine ait olduğu açıkça görülmektedir. Bu tarihten sonra Eylül 18-Ocak 19 tarihleri arasında toplam dört kez daha ölçümler yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Ancak kullanıcı personel tarafından yapılan ölçümlerde gerek ölçüm noktalarında yaşanan deformasyon, gerekse oluşan deniz canlılarına bağlı olarak yaşanan hata oranlarının (belirsizlik) giderek fazlalaştığı değerlendirildiğinden, son dört ölçümün daha önce yapılan ölçümler ışığında tahmin edilmesi sağlanmıştır. Bu tahmin edilen dört değer ve farklı eğitim algoritmaları ile oluşturulan iki adet ağın dizaynı nedeniyle oluşan beşinci değer, Çizelge 5.7'de yer almaktadır. Ayrıca bahse konu tabloda kullanıcı personel tarafından yapılan fiili ölçümlerin sonuçları da bulunmaktadır.

Çizelge 5.8'de eğitim çıktıları performans ölçümleri ile Çizelge 5.9'da yer alan tahmin değerleri ile gerçek değerlerin performans ölçümleri incelendiğinde, hata oranlarının Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılan ağda bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Ancak örnek geminin Mart 2019 tarihinde yapılan havuzlama faaliyeti neticesinde ölçülen değere bağlı olarak Çizelge 5.10'da yer alan performans ölçümlerine bakıldığında, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile oluşturulan ağın daha yakın tahminde bulunduğu, Çizelge 5.7'nin son satırında açıkça görülmektedir.

Dolayısı ile geminin limanda bulunduğu zamanlarda dalgıç personel tarafından yapılan ölçümler her ne kadar ağın tahmin ettiği değerlere çok uyumlu değilmiş gibi gözükse de

gerçek değerin alındığı havuzlama faaliyetinde alınan değer, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile oluşturulan ağın tahmin ettiği değere oldukça yakın bulunmuştur.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Literartürde, her sektör için bakımın çok önemli olduğu ve göz ardı edilemeyeceği gibi, aynı zamanda en iyi şekilde yönetilmesi gerektiği belirtilmektedir. Yapılan çalışma ile önemli tasarruflar elde edilebileceği ve arıza riskinin azaltılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca bakım yönetimi doğru yapıldığı takdirde, sistemlerin kullanılabilirliği ve güvenilirliği arttırılıp, personelin emniyetli bir ortamda çalışması sağlanır. Tüm sistemler için yüksek işletme ömrü değerlerine ulaşılabilir.

Denizcilik sektörü için gemilerin planlı bakımlarının önemli rol oynadığı birçok çalışmada vurgulanmıştır. Bakım maliyetleri, kontrol edilebilir faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Kontrol edilebilir temel faktörler; bakım planlamasının yapılması, doğru strateji seçimi, doğru model oluşumu, uzman personel istihdamı ve geminin zamanında havuzlanması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bakım konusunda karar vermek, özellikle gemiler için zor bir süreçtir. Bakım performanslarının ölçümü, karar verme sürecinde gemi sahiplerine oldukça yardımcı olmaktadır.

İlk olarak, gemilerde tercih edilen sevk sistemlerinin çeşitliliği ifade edilerek, sevk sistemlerinin seçiminde talep edilen kriterlerin yanı sıra maliyetlerin de önemli bir faktör olduğu ifade edilmiştir. Gemi işletme maliyetlerinde en büyük kalemlerden biri olan bakım planlanmasının öneminin vurgulanması ve planlama sürecini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde; gemi bakımlarının her aşamasının göz önünde bulundurulması gerektiği, yapılan harcamalar

ile güvenlik ve çevre üzerinde olumlu etkilerin doğduğu belirtilmiştir. Gemi sahiplerine havuzlama gibi ağır maliyet ve zaman kayıpları doğuran faaliyetlerin, zaman tahminlerinin yapılmasının, karar verme sürecinde olumlu etkileri olduğu düşünülmektedir.

Bu tezde asıl amaç; incelenen geminin ait olduğu filo için, bakım planlamalarının yapılmasında, öngörüde bulunabilecekleri bir model oluşturarak, özellikle havuzlama faaliyetlerinin gerçekleştirilme zamanının karar verilmesinde yardımcı olacak bir araç geliştirmektir.

Bir geminin havuzlama nedenleri çok farklılık gösterse de, neden olabilecek en büyük etken, sevk sistemlerinde yaşanacak bir arıza olacaktır. Çünkü geminin özellikle su kesimi altında bulunan sevk sistemi unsurlarında meydana gelen bir arıza, geminin tüm faaliyet takvimine etki etmektedir. Bu nedenle incelenen gemiye ait filoda yaşanan şaft sistemi arızaları sonucunda elde edilen tecrübeler ile zamana dayalı şaft yatak boşluğu üzerinde etkisi olduğu değerlendirilen bağımsız değişkenler, bir veri setinde toplanmıştır.

Başlangıçta veri setinin oluşturulmasındaki hedef, şaft sistemine ait tüm kayıtların takip edilmesi olsa da, yaşanan süreçte ölçüm noktasında oluşan deformasyon ve limanda yapılan ölçüm hassasiyetinin düşük olduğunun değerlendirilmesi gibi sebeplerle, sancak şaft sistemi için veri seti kullanılarak bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Model kullanılarak sancak şaft ana braket yatak boşluğunun sınır değere ulaşma zamanı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Gemide son dört aylık dönemde yapılan ölçümler, oluşturulan ağın test edilebilmesi amacıyla, gelecek olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca oluşturulan yapay sinir ağı ile bu dört dönemlik tahmine ilave olarak, hiçbir veri kaydı bulunmamasına rağmen, ileri bir periyot değeri daha öngörülebilmiştir.

Gelecek ilk dört periyot için yapılan tahmin sonuçları ile limanda yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve hata analizi yapılmıştır. Ayrıca geminin havuzlanması sonucunda elde edilen gerçek yatak boşluğu değeri de bu süreçte elde edilmiş olup model tarafından öngörülen gelecek beşinci periyot değeri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan

bu incelemeler sonucunda, havuzlama sırasında edinilen yatak boşluk değeri ile modelin tahmin ettiği değerin yakınsadığı tespit edilmiştir.

Değerlendirme yapılırken, veri setinin, geminin tüm yataklarının en son değişim tarihinden itibaren aylık periyotlar ile yapılan ölçümlerden oluştuğu, bu nedenle yapılan tahminlerin gelecek beş aylık periyodu kapsadığı unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, YSA modeli kullanılarak geminin sancak şaft ana braket yatak boşluk değerinin sınır değere ulaşma zamanı için bir tahminde bulunularak, gemilerin havuzlanması ve polimer yatak değişimleri ile sonuçlanan bu aşınma sebebinin tespit edilebilmesi amacıyla, gemilerin çalışma saati ve konseptinin, deniz suyu sıcaklık ve tuzluluk oranının, en önemlisi şaft sistemi ekipman boşluklarında deniz canlısı oluşum miktarı etkilerinin araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aşınma süresinin uzatılabilmesi amacıyla, yatak boy/çap oranını artırılabileceği, daha az pürüzlülük oranına sahip şaft layneri kullanılabileceği, yatak modelinin değiştirilebileceği, şaft yatak yük dağılımlarının ve deniz suyu yağlama sistemi debi dizayn değerlerinin tekrar incelenebileceği değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda arızanın meydana gelmesini önleyebilmek adına, şaftın belirlenen periyot ve sürelerde rutin olarak limanda döndürülmesi, şaft ve şaft laynerinin limanda belirlenen periyotlarla deniz canlılarından temizlenmesi ve son olarak deniz canlısı oluşumunu önlemek amacıyla katodik koruma ile anti fouling sistemlerinin gözden geçirilmesi şeklinde koruyucu bakım tedbirlerinin alınabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Alhouli, Y., (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance Planning, Doctoral thesis, Manchester University, Manchester.

[2] Dekker, R., (1996). "Applications of Maintenance Optimization Models: A Review and Analysis", Reliability Engineering & System Safety, 51(3): 229-240.

[3] Mongeau, M. and Bes, C., (2005). "Aircraft Maintenance Jacking Problem Via Optimization", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 41(1): 99-109.

[4] Fu, L., Trudel, M. and Kim, V., (2009). "Optimizing Winter Road Maintenance Operations Under Real-Time Information", European Journal of Operational Research, 196(1): 332-341.

[5] Yuniarto, H. A. and Osada, H., (2009). “Developing a Novel Framework for Quality System and Systems Thinking to Integrate: A Paradigm Shift in Maintenance”, Proceedings of the World Congress on Engineering, London.

[6] Dedopoulos, I. T. and Shah, N., (1996). "Long-Term Maintenance Policy Optimization in Multipurpose Process Plants", Chemical Engineering Research and Design, 74(A3): 307-320.

[7] Ashayeri, J., Teelen, A. and Selen W., (1996). "Production and Maintenance Planning Model for the Process Industry", International Journal of Production Research, 34(12): 3311-3326.

[8] Chen, C., Meng, M. Q. H. and Zuo, M. J., (1999). “Selective Maintenance Optimization for Multi-State Systems”, Edmonton, Alberta, Can, IEEE.

[9] Alardhi, M. and Labib, A. W., (2008). Preventive Maintenance Scheduling of Multi-Cogeneration Plants Using Integer Programming, Palgrave Macmillan Ltd., Houndmills, Basingstoke, Hants., RG21 6XS, United Kingdom,

[10] Bohlin, M., Doganay, K., Kreuger, P., Steinert, R. and Warja, M., (2009). “A Tool for Gas Turbine Maintenance Scheduling”, American Association for Artificial Intelligence, Pasadena, CA, United States.

[11] Jambulingam, N. and Jardine, A. K. S., (1986). "Life Cycle Costing Considerations in Reliability Centered Maintenance: An Application to Marine Equipment", Reliability Engineering, 15(4): 307-317.

[12] Perakis, A. N. and Inozu, B., (1991). "Optimal Maintenance, Repair, and Replacement for Great Lakes Marine Diesels", European Journal of Operational Research, 55(2): 165-182.

[13] Pillay, A., Wang, J., Wall, A. D. and Ruxton, T., (2001). "A Maintenance Study of Fishing Vessel Equipment Using Delay-Time Analysis", Journal of Quality in Maintenance Engineering, 7: 118-128.

[14] Bitros, G. C. and Kavussanos, M. G., (2005). "A Cross Sectional Analysis of Ship Maintenance Expenses", SSRN.

[15] Deris, S., Omatu, S., Ohta, H. and Shaharudin Kutar, L., (1999). "Ship Maintenance Scheduling By Genetic Algorithm and Constraint-Based Reasoning", European Journal of Operational Research, 112(3): 489-502.

[16] Baliwangi, L., Arima, H., Ishida, K. and Artana, K. B., (2006). "Optimizing Ship Machinery Maintenance Scheduling Through Risk Analysis and Life Cycle Cost Analysis", American Society of Mechanical Engineers, New York, NY 10016-5990, United States.

[17] Arıkan, Y., Doğrul, A. Ve Çelik, F., (2010). "Gemi Sevk Sistemleri Tarihine Bakış", Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, 186:13-19.

[18] Röder, B., (2008). "The Propulsion of Sea Ships-in the Past, Present and Future-Speech by Bernd Röder on the Occasion of the VHT General Meeting", 11 December 2008, Hamburg-Bremen.

[19] Royal Academy of Enginneering, (2013). "Future Ship Powering Options", ISBN:978-1-909327-01-06:1-51.

[20] Güner, M. ve Bal, Ş., (2011). Gemi Mühendisliği El Kitabı, 2. Baskı, Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.

[21] Ghose, J. P. and Gokarn, R. P., (2004). Basic Ship Propulsion, Allied Publishers Put. Limited, Kharagpur.

[22] Martinez, I., (1995). Marine Propulsion, http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c17/Marine%20propulsion.pdf, 25 Mart 2019.

[23] Rawson, K. J. and Tupper, E. C., (1974). Basic Ship Theory, 4th Edition Vol. 2, Longman.

[24] Kayadelen, H. K., (2014). Gaz Türbinlerinde Su/Buhar Enjeksiyonunun Termoekonomik Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi ve Optimizasyonu, Doktara tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[25] Ispartalı, Z., (2018). Geleceğin Ana Tahrik ve Sevk Sistemleri, http://defencenetworkturkey.com/2018/07/10/geleceğin-ana-tahrik sistemleri/, 25 Mart 2019.

[26] Gümüştekin, S., (2015). Gemilerin Ana Tahrik Sistemi Seçiminde Maliyet Etkisinin İncelenmesi, Yükseklisans tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[27] Bricknell, D. J. and Partridge, R., (2009). "Power and Propulsion Options or The Modern Warship", WMTC 2009: 1-9.

[28] Hope, R., (2015). Marine Engines & Propulsion.

[29] Milli Eğitim Bakanlığı, (2013). Pervane Şaft ve Dümen Sistemleri, Ankara.

[30] Zisis, M., (2012). Description and Use of Various Propulsion Systems in Vessels, Merchant Marine Academy of Macedonia.

[31] Babicz, Z., (2015). Encyclopedia of Ship Technology, Second Edition, Wärtsilä Corporation, Helsinki.

[32] Wärtsilä Corporation, https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/seals-bearings/wartsila-water-lubricated-seals/wartsila-enviroguard-range, 01 Nisan 2019.

[33] Komar, I., Vulic, N. and Roldo, L., (2013). "Hydrodynamic and Elastohydrodynamic Lubrication Model to Verify the Performance of Marine Propulsion Shafting", Transactıons of Famena, XXXVII-1: 15-27.

[34] Thordon Bearings, https://thordonbearings.com/docs/default-source/marine/documents/water_quality_package_brochure.pdf?sfvrsn=511deec4_22, 02 Nisan 2019.

[35] Thordon Bearings Inc., (2018). "Our Future, Our Ocean; Environmental & Commerical Benefits of Sea Water Lubricated Propeller Shafts", A White Paper by Thordon Bearings Inc: 1-14.

[36] Gürbüz, H. ve Cömert, E., (2012). "Bakım Planlama Faaliyetlerinde Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama", Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 4 (7):101-122.

[37] Lewis, B. and Perason, W., (1960). Management Guide for Preventive Maintenance, John F. Rider Publisher Inc, New York.

[38] Moore, F. G., (1969). Manufacturing Management, R. D. Irwin, Illinois.

[39] White, E. N., (1973). Maintenance Planning-Control and Documentation, Gower Press, London.

[40] Amrine, H., Ritchey, J. and Moodie, C., (1987). Manufacturing Organization and Management, Prentice-Hall.

[41] Karabulut, B., (2015). Savunma Sektöründeki Binek Tip Tekerlekli Araçların Bakım Fonksiyonunun Entegre Lojistik Destek Sistemi İçerisinde İncelenmesi: Örnek Bir Maliyet Analizi, Yükseklisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

[42] Göksu, B., (2017). Gemi Dizel Makinelerinde Planlı Bakım Sistemi Uygulamaları ve Arıza Modlarının Analizi, Yükseklisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[43] Köksal, M., (2015). Bakım Planlaması, Seçkin 2. Baskı, Ankara.

[44] Cömert, E., (2010). Bakım Planlama Faaliyetlerinde Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama, Yükseklisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

[45] Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance, https://books.google.com.tr/books?id=bNCVF0B7vpIC&pg=PA4&lr=&hl=tr&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false, 11 Mart 2019.

[46] Sherwin, D., (2000). "A review of overall models for maintenance management", Journal of Quality in Maintenance Engineering, 6(3):137-165.

[47] Wärtsilä Corporation, (2014). https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/services-documents/white-papers/wartsila-bwp---lifecycle-efficiency---a-way-to-enhance-your-business.pdf?sfvrsn=a334e845_13, 02 Nisan 2019.

[48] Duffuaa, S. and Raouf, A., (2015). "Planning and Control of Maintenance Systems Modelling and Analysis", 2. August 2015, Buch. XXIII, 348 S. Gebunden:1-40.

[49] Mobley, R. K., (2002). An Introduction to Predictive Maintenance Butterworth-Heinemann, USA.

[50] Acar, B., (2001). Gemi Bakım-Tutumunda Karlılığı Artırıcı Yeni Stratejiler ve RAM/Shipnet Projesi, Yükseklisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[51] 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, MMO Yayın No:E/2001/274-1:331-341.

[52] Grupas Gelişim, https://www.grupas.com.tr/toplam-uretken-bakim-total-productive-maintenance, 16 Mart 2019.

[53] Çebi, S., Çelik, M. ve Kahraman, C., (2008). "Gemi Sistemleri için Entegre Bakım-Onarım Yönetimi Gereksiniminin Analizi", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 3, Sayı 4: 17-24.

[54] Rausand, M., (1998). "Reliability Centered Maintenance", Reliability Engineering & System Safety, 60(2): 121-132.

[55] Avcı, A., Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB), http://www.emo.org.tr/ekler/b7cab6e498c4424_ek.pdf, 02 Nisan 2019.

[56] Aydın, Ö., (2017). Maritime Transportation and Management Engineering MS Program, Yükseklisans tezi, Piri Reis Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[57] Tari, İ., (2014). Dünyada Gemi Bakım-Onarım Sektörü ve Gemi Bakım-Onarımının Ekonomik Maliyetinin Modellenmesi, Yükseklisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[58] Elkhouly, N., (2001). Maintenence Planning, College of Engineering Studies and Technology.

[59] Winston, W. L. and Goldberg, J. B., (1987). Operations Research: Applications and Algorithms, Duxbury Press, Belmont, CA.

[60] Tsang, A. H. C., (1998). "A strategic approach to managing maintenance Performance", J. Qualit. Maint. Eng., 4(2):87–94.

[61] Murthy, D. N., Atrens, P, Eccleston, J.A., (2002) "Strategic maintenance management", J. Qualit. Maint. Eng., 8(4):287–305.

[62] Al-Turki, O. M., (2011). "Strategic maintenance management", J. Qualit. Maint. Eng., 18(2):87–94.

[63] Akkurt, A., (2005). Yapay Sinir Ağları ve Türkiye Elektrik Tüketimi Tahmin Modeli, Yükseklisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[64] Üretim yönetimi,(2017). İ.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul.

[65] Bakım Tahmin Yöntemleri, http://kisi.deu.edu.tr/onur.dogan/sunumm.ppt, 10 Nisan 2019.

[66] Atmaca, E., (2009). Elektrik Enerji Sistemlerinde Talep Tahmin Yöntemleri ve Yapay Sinir Ağları Uygulaması, Yükseklisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[67] Yurtoğlu, H., (2005). Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği, Uzmanlık tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.

[68] Müller, B. ve Reinhardt, J., (1990). Neural networks an introduction, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[69] Basheer, I. A., Hajmeer, M., (2000). "Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application", Journal of Microbiological Methods, 43(1), 3-31.

[70] Lippmann, R. P., http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q = intitle: An Introduction to Computing with Haskell 2, 25 March 2019.

[71] Yadav, N., Yadav, A., Kumar, M., (2015). "An introduction to neural network methods for differential equations", XIII, 114p. 21 illus., softcover.

[72] Çayıroğlu, İ., İleri Algoritma Analizi, http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-5.Hafta-YapaySinirAglari.pdf, 02 Nisan 2019.

[73] Doğan, G., (2010). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Türkiye'deki Özel Bir Sigorta Şirketinde Portföy Değerlendirmesi, Yükseklisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

[74] Kocatepe, C. İ., (2017). Ekonomik Endeksler Kullanılarak Türkiye'deki Altın Fiyatındaki Değişim Yönünün Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Yükseklisans tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.

[75] Mandic, D. P., Chambers, J. A., (2001). Recurrent Neural Networks for Prediction - Learning Algorithms Architectures and Stability, John Wiley & Sons Ltd.

[76] Kavzoglu, T., and Mather, P. M., (1998). "Assessing Artificial Neural Network Pruning Algorithms", In Proceedings of the 24th Annual Conference and Exhibition of the Remote Sensing Society, Greenwich, UK, pp. 603-609.

[77] Bayramoğlu, M. F., (2007); Finansal Endekslerin Öngörüsünde YSA Modellerinin Kullanılması: İMKB Ulusal 100 Endeksinin Gün İçi En Yüksek ve En Düşük Değerlerinin Öngörüsü Üzerine Bir Uygulama, T.C. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi S.B.E., Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.

[78] Balkin, S. D., (1997); "Using Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting", International Symposium on Forecasting, Working Paper Series, No:97-11.

[79] Öztemel, E., (2012). Yapay Sinir Ağları, 3. basım, Papatya Yayıncılık.

[80] Zhang, G. P., (2004); Business Forecasting with Artificial Neural Networks: An Overview, Neural Networks in Business Forecasting, İdea Group Inc, USA.

[81] Ataseven, B., (2013). "Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi", Öneri.C.10.S.39s:101-115.

[82] Karahan, M., (2015). "Turizm Talebinin Yapay Sinir Ağaları Yöntemiyle Tahmin Edilmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Y.2015, C.20, S.2, s.195-209.

[83] Taha, H. A., (2003). Operations Research: An Introduction Pearson Education International, Prentice Hall.

[84] Bearingtips, (2017), Sea Water Lubricated Bearings, https://www.bearingtips.com/thordon-bearings-converts-ships-seawater-lubricated-shaft-lines/, 13 Nisan 2019.

[85] Thordon Bearings Inc., Sea Water Lubricated Bearings, https://thordonbearings.com/marine/merchant-marine/propeller-shaft-bearing-systems/compac, 13 Nisan 2019.

[86] Thordon Marine Bearing Inc, Installation Manual, Version: 2008.1, Ontario.

SANCAK ŞAFT ANA BRAKET YATAK BOŞLUĞU TAHMİNİ

```
                %%%%%%%%% VERİ YÜKLEME %%%%%%%%
clear all;  clc;
% Başlangıçta ölçüm sonuçları girilir.
veri=xlsread('son6');
            %%%%%%%%%% EĞİTİM %%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Tüm verileri girdi ve hedef(sonuç) olarak ayırırsak;
target=veri(1:28,end);
girdi=veri(1:28,1:25);
X=tonndata(girdi,false,false);
T=tonndata(target,false,false);
% Ağın eğitim fonksiyonunu seçersek;
trainFcn='trainlm';
% Harici giriş ile doğrusal olmayan bir ağ oluşturulursa;
feedbackDelays=1:3;
inputDelays=1:3;
hiddenLayerSize=10;
net=narxnet(inputDelays,feedbackDelays,hiddenLayerSize,'ope
n',trainFcn);
```

```
% Eğitim ve simülasyon için verilerin hazırlanması;
[x,xi,ai,t]=preparets(net,X,{},T);
%Eğitim,doğrulama ve test için verilerin ayrılması;
net.divideParam.trainRatio=0.7;
net.divideParam.valRatio=0.15;
net.divideParam.testRatio=0.15;
% Ağ eğitilirse;
[net,tr]=train(net,x,t,xi,ai);
%Ağ test edilirse;
y=net(x,xi,ai);
predictionoftest=net(x,xi,ai);
e=gsubtract(t,y);
performance=perform(net,t,y);
% Oluşturulan ağ;
view(net)
% Kapalı döngü ağ;
netc=closeloop(net);
netc.name=[net.name ' - Closed Loop'];
view(netc)
% Kapalı döngü ağ için verilerin hazırlanması;
[xc,xic,aic,tc]=preparets(netc,X,{},T);
yc=netc(xc,xic,aic);
closedloopperformance=perform(netc,tc,yc);
                %%%%%%%% TAHMİN&&&&&&&&&&&&
% İleriye doğru adım tahmini;
nets=removedelay(net);
```

```
nets.name=[net.name ' - Predict one step ahead'];
[xs,xis,ais,ts]=preparets(nets,X,{},T);
ys=nets(xs,xis,ais);
stepaheadperformance=perform(nets,ts,ys);
% İleriye doğru adım tahmininin tekrarlanması;
girdi2=veri(4:29,1:25);
X2=tonndata(girdi2,false,false);
T2=ys;
[x2,x2i,a2i,t2]=preparets(net,X2,{},T2);
y2=net(x2,x2i,a2i);
e2=gsubtract(t2,y2);
performance2=perform(net,t2,y2);
[x2c,x2ic,a2ic,t2c]=preparets(netc,X2,{},T2);
y2c=netc(x2c,x2ic,a2ic);
closedloopperformance2=perform(netc,t2c,y2c);
[x2s,x2is,a2is,t2s]=preparets(nets,X2,{},T2);
y2s=nets(x2s,x2is,a2is);
stepaheadperformance2=perform(nets,t2s,y2s);
% İleriye doğru adım tahmininin tekrarlanması;
girdi3=veri(7:30,1:25);
X3=tonndata(girdi3,false,false);
T3=y2s;
[x3,x3i,a3i,t3]=preparets(net,X3,{},T3);
y3=net(x3,x3i,a3i);
e3=gsubtract(t3,y3);
performance3=perform(net,t3,y3);
```

```
[x3c,x3ic,a3ic,t3c]=preparets(netc,X3,{},T3);
y3c=netc(x3c,x3ic,a3ic);
closedloopperformance3=perform(netc,t3c,y3c);
[x3s,x3is,a3is,t3s]=preparets(nets,X3,{},T3);
y3s=nets(x3s,x3is,a3is);
stepaheadperformance3=perform(nets,t3s,y3s);
% İleriye doğru adım tahmininin tekrarlanması;
girdi4=veri(10:31,1:25);
X4=tonndata(girdi4,false,false);
T4=y3s;
[x4,x4i,a4i,t4]=preparets(net,X4,{},T4);
y4=net(x4,x4i,a4i);
e4=gsubtract(t4,y4);
performance4=perform(net,t4,y4);
[x4c,x4ic,a4ic,t4c]=preparets(netc,X4,{},T4);
y4c=netc(x4c,x4ic,a4ic);
closedloopperformance4=perform(netc,t4c,y4c);
[x4s,x4is,a4is,t4s]=preparets(nets,X4,{},T4);
y4s=nets(x4s,x4is,a4is);
stepaheadperformance4=perform(nets,t4s,y4s);
% İleriye doğru adım tahmininin tekrarlanması;
girdi5=veri(13:32,1:25);
X5=tonndata(girdi5,false,false);
T5=y4s;
[x5,x5i,a5i,t5]=preparets(net,X5,{},T5);
y5=net(x5,x5i,a5i);
```

```
e5=gsubtract(t5,y5);
performance5=perform(net,t5,y5);
[x5c,x5ic,a5ic,t5c]=preparets(netc,X5,{},T5);
y5c=netc(x5c,x5ic,a5ic);
closedloopperformance5=perform(netc,t5c,y5c);
[x5s,x5is,a5is,t5s]=preparets(nets,X5,{},T5);
y5s=nets(x5s,x5is,a5is);
stepaheadperformance5=perform(nets,t5s,y5s);
y=y';
yc=yc';
ys=ys';
y2=y2';
y2c=y2c';
y2s=y2s';
y3=y3';
y3c=y3c';
y3s=y3s';
y4=y4';
y4c=y4c';
y4s=y4s';
y5=y5';
y5c=y5c';
y5s=y5s';
y_yeni=cell2mat(y);
y_tahmin=[ys(26,1);y2s(24,1);y3s(22,1);y4s(20,1);y5s(18,1);
y_tahmin=cell2mat(y_tahmin);
```

```
load('zamanveri.mat')
plot(zaman,target,'-ro')
hold on
plot(zaman2,y_yeni,'-bx')
hold on
plot(zaman3,y_tahmin,'--go')
ylabel('A-Braket Poker Ölçüm Değeri(mm.)');
xlabel('Zaman');
title('Sancak Şaft Sistemi Abraket Yatak Ölçümleri ve Ağ Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması');
                %%%%%%%% HATA ANALİZİ &&&&&&&&&&&&
load('nar6veri.mat')
load('zamanveri.mat')
y_yeni=cell2mat(y);
y_tahmin=[ys(26,1);y2s(24,1);y3s(22,1);y4s(20,1);y5s(18,1);
y_tahmin=cell2mat(y_tahmin);
load('zamanveri.mat')
plot(zaman,target,'-ro')
hold on
plot(zaman2,y_yeni,'-bx')
hold on
plot(zaman3,y_tahmin,'--go')
ylabel('A-Braket Poker Ölçüm Değeri(mm.)');
xlabel('Zaman');
title('Sancak Şaft Sistemi Abraket Yatak Ölçümleri ve Ağ Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması');
MSE=immse(target(4:end),y_yeni)
```

```
e_yeni=cell2mat(e);

e_yeni=e_yeni';

MAPE=mean(abs(e_yeni./target(4:end)))*100

RMSE=sqrt(MSE)
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Soykan KALENDER

Doğum Tarihi ve Yeri : 11.06.1982, Gölcük

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : soykankalender@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Deniz Harp Okulu	2005
Lise	Ağırlıklı Yabancı Dil	Selma Yiğitalp Lisesi	2000

YAYINLARI

Bildiri

1. Soykan KALENDER, Aykut SAFA, (2019). “"Gemi Şaft Yatağı Boşluğunun Yapay Sinir Ağları ile Öngörüsü ve Havuz Bakım Planlaması", III. Global Conference on Innovation in Marine Technology and The Future of Maritime Transportation, 18th-19th of April, Selçuk, İzmir.