

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ SEFER YÖNETİMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Elif BAL BEŞİKÇİ

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özcan ARSLAN

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ SEFER YÖNETİMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

**Elif BAL BEŞİKÇİ
(512112002)**

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özcan ARSLAN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 512112002 numaralı Doktora Öğrencisi **Elif BAL BEŞİKÇİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEMİ SEFER YÖNETİMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr.Özcan ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayşe Nil GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cengiz DENİZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Aykut ÖLÇER
World Maritime University

Doç. Dr. Serap İNCAZ
Nişantaşı Üniversitesi

Teslim Tarihi : **1 Nisan 2015**
Savunma Tarihi : **11 Mayıs 2015**

Biricik eşime ve canım aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle doktora öğrenimim süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve doktora tezimde büyük emeği olan değerli danışmanım Doç. Dr. Özcan ARSLAN'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Doktora tezimin süresi boyunca araştırma çerçevesi kapsamındaki yapıcı yorumları ve katkılarından dolayı saygıdeğer tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Nil GÜLER ve Doç. Dr. Serap INCAZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım. Doktora tezim ile doğrudan ilişkisi bulunan 'Improving Energy Efficiency of Ships Through Optimisation of Ship Operations' isimli IAMU projemizin yürütücü ortaklarından Prof. Dr. Aykut ÖLÇER'e projeye ve dolayısıyla doktora tezime olan katkılarından dolayı teşekkür ederim. Strathclyde Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olduğum uzun süreli araştırmam süresince Gemilerde Enerji Verimliliği konusunda ki değerli görüş ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Osman TURAN'a teşekkür ederim. Ayrıca, yurtdışı doktora öğrenimim boyunca maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın yürütülmesi esnasında desteklerini esirgemeyen denizcilik camiamızın önemli firmalarından başta GEDEN Lines A.Ş. ve Ditaş Deniz İşletmeciliği ve Tankerciliği A.Ş ailesinin tüm fertleri olmak üzere; teknik konularda bilgilerini sürekli paylaşan sayın Burak ÇELİK; özellikle arkadaşlarım Berk ÖZBULAK ve Befrin BİNGÖL'e ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim. Son olarak, doktora öğrenimim süresince beni hep destekleyen ve güvenen biricik eşim Kaptan Oktay BEŞİKÇİ ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2015

Elif BAL BEŞİKÇİ
(U.yol Birinci Zabit)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Gemilerde Enerji Verimliliğine Yönelik Genel Yaklaşım ve Yakıt Tasarrufunun Önemi	1
1.2 Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliği Optimizasyonu için Geliştirilecek Karar Destek Sisteminin Önemi	3
1.3 Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Yazın İncelemesi.....	3
1.4 Yapay Sinir Ağları Tabanlı Karar Destek Sistemi için Kullanılacak Parametrelerin Belirlenmesi	5
1.5 Tezin Amacı	6
1.6 Tezin İçeriği ve Sınırları	7
2. ENERJİ	9
2.1 Enerji Kavramı ve Tüketimi.....	9
2.2 Enerji Yönetimi	10
2.3 Enerji Verimliliği	11
2.4 Enerji Politikası ve Enerji Verimliliği Çalışmaları	13
2.4.1 Kyoto Protokolü.....	13
2.4.2 Enerji verimliliği oluşum süreci ve politikaları	14
2.4.3 Avrupa Birliği enerji verimliliği yaklaşımı.....	14
2.5 Denizcilik Alanında Enerji Verimliliği	15
2.5.1 Uluslararası düzenlemeler ve gemilerden karbon salınımı	15
2.5.2 Enerji Verimlilik Tasarım İndeksi (EEDI).....	16
2.5.3 Gemiler için Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)	17
2.5.4 Enerji Verimlilik Operasyonel Göstergesi (EEOI)	17
3. GEMİLER İÇİN OPERASYONEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ	19
3.1 Sefer Yönetimi (SY).....	19
3.1.1 Hız optimizasyonu (HO).....	19
3.1.2 Otopilotu etkin kullanma (OEK).....	22
3.1.3 Hava rotalama (HR)	22
3.1.4 Trim optimizasyonu (TO)	23
3.2 Tekne ve Pervane Kondisyon Yönetimi (TPKY)	25
3.2.1 Tekne kondisyon yönetimi (TKY)	25
3.2.2 Pervane kondisyon yönetimi (PKY)	26
3.3 Makine Yönetimi (MY)	27
3.3.1 Ana makine yönetimi (AMY)	27
3.3.2 Yardımcı makine yönetimi (YMY).....	28
3.3.3 Kazan yönetimi (KY).....	28
3.4 Yakıt Yönetimi (YY)	29
3.5 Sistem Enerji Yönetimi (SEY).....	29

3.6 Enerji Farkındalığını Artırma (EFA).....	30
4. KULLANILACAK YÖNTEMLER.....	33
4.1 Bulanık Mantık Temelli Çok Kriterli Karar Verme	33
4.1.1 Çok kriterli karar verme	33
4.1.2 Bulanık mantık	34
4.1.3 Bulanık küme	35
4.1.4 Bulanık sayılar.....	35
4.1.4.1 Üçgensel bulanık sayılar	35
4.1.5 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS).....	37
4.1.5.1 Chang'ın genişletilmiş BAHS yöntemi.....	39
4.2 İstatistiksel Yöntemler.....	41
4.2.1 Serpilme grafiği.....	41
4.2.2 Pearson bağıntı analizi	41
4.2.3 Regresyon analizi	42
4.3 Yapay Sinir Ağları.....	42
4.3.1 Biyolojik sinir hücreleri	43
4.3.2 Yapay sinir hücreleri	44
4.3.3 Aktivasyon (Transfer) fonksiyonları.....	45
4.3.4 Yapay sinir ağlarının yapısı.....	45
4.3.4.1 İleri beslemeli sinir ağı	46
4.3.4.2 Geri beslemeli sinir ağı	47
4.3.5 Yapay sinir ağlarında öğrenme	47
4.3.5.1 Danışmanlı öğrenme	48
4.3.5.2 Danışmansız öğrenme	48
4.3.5.3 Takviyeli öğrenme.....	49
4.4 Karar Destek Sistemi.....	49
4.4.1 Karar destek sistemlerinin tanımı.....	50
4.4.2 Karar destek sistemlerinin bileşenleri	51
4.4.3 Karar destek sistem türleri.....	52
4.4.4 Karar destek sistemlerinin amaçları ve faydaları	53
5. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI VE ÇALIŞMANIN MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	55
5.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Uygulaması	55
5.2 İstatistiksel Yöntemlerin Uygulanması	61
5.2.1 Verilerin toplanması	61
5.2.2 Tez Çalışmasının kapsamı ve sınırlılıkları	62
5.2.3 SPSS programı ile verilerin analizi	63
5.2.3.1 Bulgular: gemi tipi 1	64
5.2.3.2 Bulgular: gemi tipi 2	68
5.2.3.3 Bulgular: gemi tipi 3	72
5.2.3.4 Bulgular: gemi tipi 4	76
5.2.3.5 Bulgular: gemi tipi 5	80
5.2.3.6 Bulgular: gemi tipi 6	84
5.3 Yapay Sinir Ağları Yönteminin Uygulanması	88
5.3.1 Yapay sinir ağları modelinin parametreleri.....	88
5.3.2 Yapay sinir ağları modelinin yapısı	89
5.3.2.1 YSA model yapısı: gemi tipi 1	92
5.3.2.2 YSA model yapısı: gemi tipi 2	92
5.3.2.3 YSA model yapısı: gemi tipi 3	93
5.3.2.4 YSA model yapısı: gemi tipi 4.....	93

5.3.2.5 YSA model yapısı: gemi tipi 5	93
5.3.2.6 YSA model yapısı: gemi tipi 6	94
5.3.3 Yapay sinir ağıları modelinin performansının değerlendirilmesi	94
5.3.3.1 Performans değerlendirme: gemi tipi 1	94
5.3.3.2 Performans değerlendirme: gemi tipi 2	96
5.3.3.3 Performans değerlendirme: gemi tipi 3	98
5.3.3.4 Performans değerlendirme: gemi tipi 4	100
5.3.3.5 Performans değerlendirme: gemi tipi 5	102
5.3.3.6 Performans değerlendirme: gemi tipi 6	104
5.4 Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliği Optimizasyonu Uygulanması ..	106
5.4.1 Örnek senaryolar	108
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR	117
EKLER.....	129
ÖZGEÇMİŞ.....	137

KISALTMALAR

IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
EEDI	: Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi
SEEMP	: Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
EEOI	: Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MARPOL	: Gemilerden Kirlenmenin Önlemesi Uluslararası Sözleşmesi
ETA	: Tahmini varış zamanı
YSA	: Yapay Sinir Ağları
BAHS	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
KDS	: Karar Destek Sistemi
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
RPM	: Revolutions per minute
mton	: Metrik ton
BN	: Bofor numarası
R²	: Belirlilik katsayısı
MSE	: Ortalama karesel hata
RMSE	: Ortalama karesel hatanın karakökü
WEC	: Dünya Enerji Konseyi
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Sanayi Kalkınma Örgütü
UNFCCC	: The United Nations Framework Conference on Climate Change
SECA	: Sulphur Emissions Control Areas
ECA	: Emissions Control Areas
PSC	: Port State Control
TMSA	: Tanker Managment Self Assesment
CDI	: Chemical Distrubution Institutions
MOC	: Major oil company

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Üçlü bulanık sayı değerleri.....	37
Çizelge 4.2 : Üçgensel bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları.	37
Çizelge 4.3 : BAHS yöntemlerinin karşılaştırılması	38
Çizelge 5.1 : Bulanık önem dereceleri tablosu	55
Çizelge 5.2 : Gemi operasyonel enerji verimliliği önlemleri karar hiyerarşisi	56
Çizelge 5.3 : Ana kriterlere ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar	57
Çizelge 5.4 : SY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar	58
Çizelge 5.5 : TPKY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar	59
Çizelge 5.6 : MY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar	59
Çizelge 5.7 : Alt faktörler için hesaplanan global bulanık ağırlıklar.....	60
Çizelge 5.8 : Günlük rapor örneği	62
Çizelge 5.9 : Gemilerin özellikleri.....	63
Çizelge 5.10 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 1.....	64
Çizelge 5.11 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 1	67
Çizelge 5.12 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 2.....	68
Çizelge 5.13 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 2	71
Çizelge 5.14 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 3.....	72
Çizelge 5.15 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 3	75
Çizelge 5.16 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 4.....	76
Çizelge 5.17 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 4	79
Çizelge 5.18 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 5.....	80
Çizelge 5.19 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 5	83
Çizelge 5.20 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 6.....	84
Çizelge 5.21 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 6	87
Çizelge 5.22 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 1	96
Çizelge 5.23 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 1	96
Çizelge 5.24 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 2	98
Çizelge 5.25 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 2	98
Çizelge 5.26 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 3	100
Çizelge 5.27 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 3	100
Çizelge 5.28 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 4	102
Çizelge 5.29 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 4	102
Çizelge 5.30 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 5	104
Çizelge 5.31 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 5	104
Çizelge 5.32 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 6	106
Çizelge 5.33 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 6	106
Çizelge 5.34 : Gemi kaptanı/operatörü tarafından kontrol edilebilen parametreler	107
Çizelge 5.35 : Karar destek bilgileri	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Araştırmanın akış şeması.....	8
Şekil 3.1 : Hava rotalama yazılım örneği	23
Şekil 3.2 : Trim için yazılım örneği.....	24
Şekil 3.3 : Mikro boyutlu canlıların gemi yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük örnekleri	25
Şekil 3.4 : Rapor görüntüsü.	28
Şekil 4.1 : M1 ve M2 değerlerinin kesişimi.	40
Şekil 4.2 : Biyolojik sinir hücre yapısı.	43
Şekil 4.3 : BAHS yöntemlerinin karşılaştırılması	44
Şekil 4.4 : Örnek YSA modeli.....	46
Şekil 4.5 : İleri beslemeli yapay sinir ağının blok gösterimi	47
Şekil 4.6 : Geri beslemeli yapay sinir ağının blok gösterimi.....	47
Şekil 4.7 : Danışmanlı öğrenme yapısı	48
Şekil 4.8 : Danışmansız öğrenme yapısı.....	49
Şekil 4.9 : Takviyeli öğrenme yapısı.	49
Şekil 4.10 : Bir KDS'nin bileşenleri.....	51
Şekil 5.1 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1	65
Şekil 5.2 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.....	65
Şekil 5.3 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1	66
Şekil 5.4 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi.....	66
Şekil 5.5 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1	67
Şekil 5.6 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2	69
Şekil 5.7 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.....	69
Şekil 5.8 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2	70
Şekil 5.9 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.....	70
Şekil 5.10 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2	71
Şekil 5.11 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3	73
Şekil 5.12 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.....	73
Şekil 5.13 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3	74
Şekil 5.14 : Relatif Rüzgar Yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3	74
Şekil 5.15 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3	75
Şekil 5.16 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4	77
Şekil 5.17 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.....	77
Şekil 5.18 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4	78
Şekil 5.19 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4	78
Şekil 5.20 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4	79
Şekil 5.21 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5	81
Şekil 5.22 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.....	81
Şekil 5.23 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5	82
Şekil 5.24 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5	82
Şekil 5.25 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5	83
Şekil 5.26 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6	85
Şekil 5.27 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.....	85
Şekil 5.28 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6	86
Şekil 5.29 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6	86
Şekil 5.30 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6	87

Şekil 5.31 : YSA modelinin parametreleri.....	89
Şekil 5.32 : NN Toolbox veri giriş sayfası	90
Şekil 5.33 : Ağ karakteristikleri belirleme sayfası.....	91
Şekil 5.34 : Yapay sinir ağı mimarisi.	92
Şekil 5.35 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 1.....	95
Şekil 5.36 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 1.....	95
Şekil 5.37 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 2.....	97
Şekil 5.38 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 2.....	97
Şekil 5.39 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 3.....	99
Şekil 5.40 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 3.....	99
Şekil 5.41 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 4.....	101
Şekil 5.42 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 4.....	101
Şekil 5.43 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 5.....	103
Şekil 5.44 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 5.....	103
Şekil 5.45 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 6.....	105
Şekil 5.46 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 6.....	105
Şekil 5.47 : Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için YSA tabanlı KDS tasarımı	108
Şekil 5.48 : Deneme seyri rapor örneği	109

GEMİ SEFER YÖNETİMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Denizcilik sektörü son yıllarda gemilerden kaynaklanan sera gazları salınımının azaltılması için ciddi önlemlerin alınması gerekliliği ve yakıt fiyatlarındaki hızlı artış nedenleriyle yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik büyük baskı altındadır. Denizcilik sektöründe, mevcut gemilerin daha verimli işletilmesi ve enerji verimliliği yüksek gemilerin tasarlanması ile gemilerde %25'den %75'e kadar yakıt tasarrufunda bulunmak mümkündür. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından bütün gemilere 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren; Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ve Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) zorunlu hale getirilmiştir. EEDI, yeni gemiler için yakıt verimliliğini etkileyen tüm bileşenlere yönelik asgari düzeyde enerji verimliliği uygulamalarını içeren teknik önlemler sunarken, SEEMP ise, gemilerin mevcut teknolojilerini kullanarak geliştirilen operasyonel uygulamalar ile enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli teknolojik ve tasarım bazlı yaklaşımlar bulunsada mevcut gemiler için bu önlemleri uygulama sınırlamaları gemilerin verimli işletilmesinin önemini artırmaktadır.

Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için bilgi sistemlerinin geliştirilip kullanıma sunulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt tasarrufu sağlayarak enerji kullanımını verimli bir hale getirebilmek amacıyla hızlı ve doğru kararlar vermeye yönelik bir karar destek sistemi gerekmektedir. Bu çalışmanın ana amaçları; (i) Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini kullanarak çeşitli operasyonel koşullar altında geminin yakıt tüketimini tahminlemek; (ii) gemi sefer yönetiminde enerji verimliliğinin optimizasyonuna yönelik kararların alınmasında gemi kaptanı/operatörü için yapay sinir ağları tabanlı karar destek sistemi oluşturmaktır. Bu bağlamda öncelikle, SEEMP kapsamındaki kilit operasyonel önlemler detaylı olarak incelenmiştir. Operasyonel önlemlerinin önem derecelerini saptamak için uzman yargılarının dahil edildiği Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi kullanılmıştır. Böylece, gemi sefer yönetiminin enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmış, ayrıca gemi sefer yönetimine dahil olan etkenlerin önceliklendirilmesi özenle yapılmıştır. Ardından, tez çalışması kapsamında gemilerden sefer verileri elde edilmiştir. Sefer verileri, sefer yönetimi kapsamındaki operasyonel faaliyetlerin yakıt tüketimi üzerindeki etkisini tespit etmek üzere istatistiksel olarak incelenmiştir. Yakıt tüketimine etkisi olduğu tespit edilen etkenler kullanılarak sefer ile ilgili çeşitli operasyonel koşullar altında geminin yakıt tüketimini tahminleyen ve yakıt tasarrufu sağlamaya yönelik kararların alınmasında gemi kaptanı/operatörü için yapay sinir ağları tabanlı karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Böylece, gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için yapay sinir ağları yaklaşımı ile gemi kaptanı/operatörünün sefer yönetimine ait karar tercihini yansıtabilecek bir fonksiyon tanımlamak hedef olmakta, bu hedefe ulaşılması sonucunda söz konusu fonksiyonun optimize edilmesi de amaç olmaktadır.

THE OPTIMIZATION OF SHIP VOYAGE MANAGEMENT ENERGY EFFICIENCY

SUMMARY

Lowering fuel consumption of ships against volatile fuel prices and greenhouse gas emissions resulted from international shipping are the challenges that the industry faces today. CO₂ emissions from maritime industry accounts for a significant part of total global greenhouse gas (GHG) emissions. According to the International Maritime Organisation (IMO), the contribution from ships was estimated to be 1016 million tonnes average for the period 2007-2012 which make up approximately 3.1% of global carbon emissions. With the tripling of world trade, if no action is taken, these emissions are forecasted to increase by 50% - 250% until 2050. OECD also stated a similar level of prediction in the increase in CO₂ emissions from shipping industry.

On the other hand, shipping companies encounters with high risks as a result of increased fuel prices to maintain their competitive power in the market. The fuel cost represents a large amount of the total operating cost of a shipping company which is estimated to be 50% or even more than 60%. Consequently, shipping companies focus on energy-efficient procedures and operations for decreasing energy consumption in order to lower their management costs and thus maintain their competitive position in the market.

In this respect, the amount of energy-savings by ships' fuel should be increased and energy consumption should be reduced as much as possible for the above mentioned economic pressure and international legislation. Ship energy efficiency measures propose various alternatives to ship owners and operators to lower fuel consumption and carbon emissions. The potential for fuel savings in shipping by 25% to 75% is achievable through more efficient operations of existing ships and increased energy efficiency in the design of newbuilds. IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC) adopted the addition of new regulations related energy efficiency of ships to MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) Annex VI, as a new chapter (Chapter 4). By the way of this, since 1st of January 2013, all new ships have to comply with an Energy Efficiency Design Index (EEDI) and all ships have to carry a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). Moreover, Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) was recommended as a form of guidance to monitor the progress of the SEEMP. While EEDI suggests technology and design based measures at a minimum level with a long term impact for new ships, the aim of SEEMP is to enhance the energy efficiency through energy efficient ship operations using existing technologies on board a ship. Although there are many technology and design based approaches, limitations of these measures due to the long payback duration have led to discussion about the potential of implementing operational changes. For the above reasons, the fuel saving of ships has become paramount for ship energy efficiency.

Decision support systems (DSS) is a computer-based approach that helps decision makers use data, models and other knowledge on the computer to solve semi structural and some non-structural problems, which cannot be measured or modelled. These problems requires human intervention, and therefore, solutions to semi-structured problems are often obtained by allowing a decision-maker to select and evaluate practical solutions the set of feasible alternatives. The goal of DSS is improving

decision-making effectiveness and efficiency by Integrating of information sources and analysis tools.

Combined effects of several factors are involved for evaluating ship voyage management energy efficiency measures. Providing a strategic approach to identify energy efficient solutions becomes more complicated for ship operators due to its complexity and difficulty. There is a need for decision support to provide quickly and directly solution for predicting fuel consumption at an operational level through implementing the most appropriate operational measures to increase energy efficiency against high oil prices and greenhouse emissions.

The main aim of this study is twofold: (i) predict ship fuel consumption for various operational conditions through an inexact method, Artificial Neural Network ANN; (ii) develop a decision support system (DSS) employing ANN based fuel prediction model to be used on-board ships on a real time basis for voyage management energy efficiency optimization.

Firstly, key operational energy efficiency measures within the scope of SEEMP have been examined in great detail. Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) which includes expert judgements is used to generate and calculate the quantitative importance of each operational measures. By this way, the importance of ship voyage management has been highlighted as a major ship operational energy efficiency measure, as well as, the voyage management measures- speed optimization, autopilot improvements, weather routing – safe and energy efficient route selection and trim optimization- have been prioritized subjectively.

Within the scope of this study, the information and data of ship fuel consumption are acquired from mainly from noon reports and also supported by ships particulars information of the tanker ships. Noon reports are a major indicator of the amount of fuel that ships consume in various loading, speed and weather conditions that can be utilised for development of the ship voyage management energy efficiency. Noon reports derived from shipping company are examined statistically to explore the effects of operational factors related voyage management on fuel consumption. Pearson's correlation coefficient is used to test the correlation between fuel consumption and operational parameters, which are used as measures of ship energy efficiency. The results of this study will provide the most appropriate operational measures related voyage performance management to create ANN based decision support system.

The parameters considered for fuel prediction have been determined through applying both subjective and objective approaches which are BAHP and statistical analyses, respectively. The results of these approaches reveal that reducing the speed of the ship is the most efficient method in terms of fuel economy and environmental impact. Although BAHP only assigns the weights of importance to the speed optimisation and trim optimization, correlation analyses also reveal a small but statistically significant correlation between fuel consumption and weather optimization. As a result, the fuel prediction model uses five input variables; revolutions per minute (RPM), mean draft, trim, (Beaufort number) BN and relative wind direction, in which output data is fuel consumption in metric ton per hour.

The first main contribution is that this study presents the development of ships' fuel consumption prediction model based on artificial neural networks (ANN) model. ANN, one of the best efficient computational methods simulating the working principles of human brain, can achieve good solutions where the other traditional methods could not be effective. Several distinguishing features of ANN make them

valuable for forecasting. First, it can learn from examples (past data) and capture subtle functional relationships among the data even if the underlying relationships are unknown or hard to describe. Second, ANN has generalization ability. After learning the data presented to them (a sample), ANN can often correctly infer the unseen part of a population even if the sample data contain noisy information. Third, ANN is nonlinear data-driven and it is capable for performing nonlinear modelling without an a priori knowledge about the relationships between input and outputs variables. The goal of the ANN is to predict ship fuel consumption under various operational conditions using operating data - 'Noon Data' - which provides information on a ship's daily fuel consumption.

The second main contribution of this study is to develop a decision support tool to help ship captain/operators making optimal decisions on a real time basis for energy efficient ship operations. By this way, ship captain / operator can manage the operational measures related voyage management depending on the speed optimization (RPM), draft optimization (trim and draft) and weather routing (BN and relative wind direction).

The proposed method can be considered as a successful decision support tool for ship captain/operator in forecasting fuel consumption based on different daily operational conditions related voyage management energy efficiency. The proposed decision support system provides a strategic approach when ship operators have to make their decisions at an operational level considering both the economic and environmental aspects. The obtained results make it clear that the neural network can learn very accurately the relationships between the input variables and a ship's fuel consumption.

As a further aspect, other decision support systems can be developed by using noon data derived from different types of ships such as bulk carriers, containers and etc. and larger number of ships with various characteristics. In addition, the scope of developed decision support systems can be extended by using other operational measures such as engine management and hull/propeller maintenance. Moreover, software engineers can structure the proposed decision support system as software package.

1. GİRİŞ

1.1 Gemilerde Enerji Verimliliğine Yönelik Genel Yaklaşım ve Yakıt Tasarrufunun Önemi

İklim değişikliği küresel ölçekte bugüne kadar karşılaşılan en büyük sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Küresel iklim değişikliği uzun vadeli bir sorun olup, azaltılması için önemli sosyal ve teknolojik yatırımlar gerekmektedir (Houghton, 2005; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). Küreselleşme nedeniyle artan uluslararası ticaret ile birlikte iklim değişikliğinin yarattığı çevresel sorunların bir sonucu olarak deniz taşımacılığında karbon salınımlarının azaltılması önemli hale gelmiştir. 1990 yılından bu yana, dünya ticaretindeki büyüme yüksek miktarlarda malların taşınmasını gerektirmekte olup bu malların %80’den fazlası denizyolu taşımacılığı ile yapılmaktadır (UNCTAD, 2009). Bunun bir sonucu olarak, deniz taşımacılığında kaynaklanan CO₂ salınımı toplam küresel sera gazı salınımının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü’ne (IMO) göre, gemilerden 2007-2012 dönemleri arasında 1046 milyon ton CO₂ salınımı gerçekleşmiş olup bu miktar toplam gaz salınımının yaklaşık olarak %3,3’ünü oluşturmaktadır (IMO, 2014). Dünya ticaretinin üçe katlanmasıyla, eğer hiç bir önlem alınmaz ise, gemilerden kaynaklanan salınımın 2050 yılına kadar %150-%250 artması beklenmektedir (IMO, 2014). OECD’de raporunda gemilerden kaynaklanan karbon gazı miktarında benzer artış tahmininde bulunmuştur (OECD, 2010). Gemilerden kaynaklanan sera gazlarının azaltılması yönünde güçlü talepler olmasından dolayı bu alanda yapılan birçok araştırma faaliyetleri küresel denizcilik salınımlarını tahminlemeye ve azaltıcı çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır (Walsh, 2012; Gilbert ve Bows, 2012; Lindstad ve diğ., 2012; Eyring ve diğ., 2009; Entec, 2002; Entec, 2005; Endresen ve diğ., 2003; CE Delft, 2009).

Öte yandan, yakıt fiyatlarındaki artış denizcilik şirketlerinin pazardaki rekabet güçlerini koruması açısından yüksek risk oluşturmaktadır. Yakıt maliyeti bir denizcilik şirketinin toplam işletme maliyetinin %50 (Notteboom, 2006) hatta %60 (Golias ve

diğ., 2009) kadarlık büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Örneğin, yakıt fiyatı ton başına 500 dolar civarında olduğunda, yakıt maliyeti bir konteyner gemisi için işletme maliyetinin yaklaşık dörtte üçünü oluşturmaktadır (Ronen, 2011). Bunun neticesinde, denizcilik şirketleri işletme maliyetlerini düşürmek ve piyasadaki rekabetlerini sürdürebilmek için enerji verimliliğine yönelik prosedürlere ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik uygulamalara yönelmişlerdir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü, yakıt tasarrufunda bulunmak hem çevresel hem de ekonomik açıdan en önemli konulardan biri haline gelmiştir.

Enerji verimliliği; enerji tasarrufu ve iklim değişikliği ile ilgili mücadelenin artırılması yönünde önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir. Enerjinin verimli kullanılmasını gerektiren ekonomik ve çevresel sebepler; fosil kaynakların rezervlerinin sınırlı olması, alternatif kaynakların ekonomik olmaması, artan enerji talebi nedeniyle gerçekleşen enerji fiyat artışları, yerel kaynakların yetersizliği sebebiyle artan dışa bağımlılık oranı ve çevresel sorunlardır. Enerji kullanımının daha verimli olması sadece sera gazları salınımlarını ve yerel hava kirliliğini azaltmayıp, aynı zamanda enerji altyapı yatırımlarının azalmasına, fosil yakıtta dışa bağımlılığın düşmesine ve rekabetin artmasına neden olmaktadır (Taylor ve diğ., 2010).

Gemi enerji verimliliği uygulamaları, geminin verimliliğini artırmak, yakıt tüketimini ve salınımları düşürmek için gemi sahiplerine ve operatörlere çeşitli seçenekler sunmaktadır. Denizcilik sektöründe, mevcut gemilerin daha verimli işletilmesi ve yeni gemilerin yüksek enerji verimliliğinde tasarlanması ile %25'den %75'e kadar yakıt tasarrufunda bulunmak mümkündür (IMO, 2009a). 1997 yılında gerçekleşen Kyoto protokolünde İklim Değişikliği Birleşmiş Milletler Çerçeve Konferansı (UNFCCC) tarafından Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemiler tarafından atmosfere salınan gazlar ile ilgili düzenlemelerden sorumlu olarak tayin edilmiştir. IMO'nun Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) gemi enerji verimliliği ile ilgili yeni düzenlemeleri Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) MARPOL Ek VI'ya yeni bir bölüm olarak kabul etmiştir. (Bölüm 4) Buna göre, IMO tarafından 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren bütün gemilere Enerji Verimliliği Yönetim Planları (SEEMP) ve bütün yeni gemilere Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) zorunlu hale getirilmiştir. EEDI, yeni gemiler için yakıt verimliliğini etkileyen tüm bileşenlerine yönelik asgari düzeyde enerji verimliliği uygulamaları içeren teknik (teknolojik ve tasarıma yönelik) önlemler sunarken,

SEEMP ise, gemilerin mevcut teknolojilerini kullanarak geliştirilen operasyonel uygulamalar ile enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Geminin enerji verimliliğini artırmaya yönelik pervanenin yeniden tasarımı, güvertede tortu oluşumu ve geliştirilmiş makina operasyonları da dahil çok sayıda teknoloji tabanlı yaklaşımlar olmasına rağmen bu teknik önlemlerin uygulama sınırlamaları hedefe ulaşmada operasyonel yaklaşımların geliştirilmesinin önemini artırmıştır (IMO, 2009a; Corbett ve diğ., 2009).

1.2 Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliği Optimizasyonu için Geliştirilecek Karar Destek Sisteminin Önemi

Karar destek sistemleri (KDS) yarı yapısal ve yapısal olmayan sorunların çözümünde karar alıcıya veri ve modeller kullanmak suretiyle yardımcı olan problemin çözümünü hızlandıran ve kullanıcıyla etkileşimli olarak çalışan bilgisayar sistemleridir. Karar destek sistemlerinin ana amacı karar verme etkinliğini ve kalitesini artırmaktır (Chen, 2004).

Gemi operasyonel enerji verimliliği önlemlerinin değerlendirilmesinde birbirine bağlı çeşitli etkenler bulunmaktadır. Operatörler tarafından uygulanacak stratejik yaklaşımların belirlenmesi karmaşık yapısı ve zorluğu nedeniyle oldukça güçtür.

Çevresel etkileri ve yakıt maliyetlerini düşürmek amacıyla gemideki mevcut teknolojiler kullanılarak enerji verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli operasyonel koşullar altında doğru ve hızlı kararlar verebilen bir karar destek sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için geliştirilecek karar desteği sayesinde durumun karmaşıklığı azaltılarak gemi kaptanının/operatörünün durum farkındalığı güçlendirilmiş olacak, sağlanan karar desteği ile sefer süresince tüketilen yakıt miktarı azalacak, enerji kullanımı verimli ve etkin hale getirilecek, enerjinin daha verimli kullanılmasıyla mali ve çevresel faydalar elde edilecektir.

1.3 Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Yazın İncelemesi

YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek için geliştirilen bilgisayar sistemidir. Bu

işlemleri geleneksel programlama metotları ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, YSA programlanması zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş bir bilgi işleme ve değerlendirme mekanizmasıdır (Öztemel, 2003).

YSA, çeşitli ayırt edici özellikleri sayesinde tahmin çalışmalarında başarılı bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Öncelikle, YSA geçmiş verilerden öğrenmekte olup, çıkarımların yapıldığı verinin bulanık olması (hatalı veriler) veya örneklerin tanımlanmasının zor olması (kolay anlaşılmayan örnek verileri) durumlarında YSA'nın tahmin gücü önem kazanmaktadır. İkinci özellik ise genelleme yeteneğidir. Bir başka deyişle, ağların, eğitimleri esnasında kullanılan sayısal bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen özellikleri üretmesi ve kullanılmayan girdiler için de anlamlı yanıtlar önermesidir. Üçüncü olarak, kullanılan ağ fonksiyonunun doğrusal olmayacak şekilde çalışmasına olanak sağlaması da yine yapay sinir ağlarını diğer modellere göre avantajlı kılan özelliklerindendir (Zhang ve diğ., 1998).

Bu çalışma geminin seferi süresince çeşitli operasyonel koşullar altında yakıt tüketimini tahmin eden yapay sinir ağları (YSA) tabanlı bir model sunmaktadır. Yukarıdaki bilgiler ışığında tez çalışmasında yakıt tahmini için YSA modeli kullanılmasının nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz. İlk olarak; gemilerden elde edilen sefer verilerinde kayıtların düzenli tutulmamasından ve gemi personeli ve şirket tarafından sefer verilerine yeterince önem verilmemesinden kaynaklanan çok sayıda hatalı ve eksik veri mevcuttur. İkinci olarak, gemilerden alınan sefer verileri gemilerin geçmiş seferlerine ait bilgileri içermekte olup çeşitli koşulları kapsayan bu geçmiş veriler ile YSA modelinin eğitilmesi ile gelecek seferler için olası operasyonel koşullar altında gemilerin tükettiği yakıt miktarı tahmin edilebilmektedir. Son olarak, geminin yakıt tüketimi ile yakıt tüketimine neden olan operasyonel parametreler arasında doğrusal olmayan ilişki bulunmaktadır. Belirtilen nedenlerden ötürü bu çalışmada YSA yöntemi kullanılarak gemi seferine ait çeşitli operasyonel koşullarda geminin yakıt tüketimi modellenmiştir.

YSA modelini kullanarak yakıt tüketimini tahmin eden farklı disiplinlerde birçok çalışma bulunmaktadır (Togun ve Baysec, 2010; Ajdadi ve Gilandeh, 2011; Wu ve Liu, 2011; Safa ve Samarasinghe, 2013). YSA birçok başarılı tahmin uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar; modelleme ve enerji sistemlerinin tahmini (Kalogirou, 2000), pasif solar binalardaki enerji tüketiminin tahmini (Kalogirou ve

Bojic, 2000), enerji sistemi geliştirme ve enerji tüketimini tahminleme (Amirnekoeei ve diğ., 2012) ve karbon salınımlarının azaltılmasına yönelik analizlerdir (Ozer, 2013). Ayrıca, çeşitli alanlarda YSA tabanlı karar destek sistemleri oluşturulmuştur. Bu çalışmalardan bazıları, üretim sistemlerinde atama problemleri (Tsadiras ve diğ., 2013), çevresel acil karar destek sistemlerinin geliştirilmesi (Liao ve diğ., 2012), terör ayaklanmalarının tahmininde risk değerlendirmesi (Kengpol ve Neungrit, 2014) ve simülasyon metamodelleridir (Can ve Heavey, 2012). Ayrıca, YSA gemilerde özgül yakıt tüketimini ve çeşitli enjeksiyon zamanlarında dizel makinelerinin egzoz sıcaklığını tahmin etmek için kullanılmıştır (Parlak ve diğ., 2006). Ancak yazında gemilerin sefer verileri kullanılarak yakıt tüketimini tahminleyen YSA tabanlı karar destek sistemi ile ilgili hiçbir çalışma bulunmamaktadır.

1.4 Yapay Sinir Ağları Tabanlı Karar Destek Sistemi için Kullanılacak Parametrelerin Belirlenmesi

Çalışmamızda, SEEMP kapsamındaki kilit operasyonel önlemler detaylı olarak incelenmiştir. Operasyonel önlemlerinin önem derecelerini saptamak için uzman yargılarının dahil edildiği Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi kullanılmıştır. Böylece, gemi sefer yönetiminin enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmış, ayrıca gemi sefer yönetimine dâhil olan etkenlerin önceliklendirilmesi öznel olarak yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, gemilerden sefer verileri elde edilmiştir. Sefer verileri gemilerin günlük raporlarından oluşmakta olup bu raporlar, çoğunlukla gemi seyir halinde iken öğlen saatinde şirkete gönderilen 'öğlen raporları' dır. (Noon raporları) Bu günlük raporlar ilgili zabıt tarafından operasyonun çeşidine göre gerçek gemi verisine dayanarak çeşitli formlarda hazırlanır ve geminin işletildiği operasyon birimlerine gönderilir. Gemilerin farklı koşullardaki operasyonel değişikliklerini gözlemlemek ve çeşitli koşulların geminin yakıt tüketimine etkisini incelemek için elde edilen günlük veriler büyük öneme sahiptir. Tez çalışması esnasında elde edilen sefer verileri istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Sefer yönetimine ait operasyonel etkenlerin yakıt tüketimi ile ilişkileri Pearson bağıntı analizi yöntemi ve verilere ait serpilme grafikleri ile gösterilmiştir.

Böylece yapay sinir ağları (YSA) tabanlı karar destek sistemi için kullanılacak parametreler öznel ve nesnel ölçümler ile belirlenmiştir.

1.5 Tezin Amacı

Son yıllarda denizcilik alanında enerjinin modellenmesi ve yönetimi bazı çalışmalar büyük ilgi görmektedir. Ronen (1982) hızın düşürülmesine bağlı yakıt tasarrufu ile seferin uzamasından kaynaklanan gelir kayıpları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Brown ve diğ. (1987) ham petrol tankerleri için çizelge problemlerine odaklanmış, gemiler için optimum hızları belirlemişlerdir. Perakis ve Papadakis (1987a, 1987b) filo genelinde gemilerin atanması ve bir yükleme limanı ile bir tahliye limanları arasındaki en uygun hızın belirlenmesine karar vermişlerdir. Daha sonrasında ise çalışmalarını birden fazla yükleme limanı ve tahliye limanını kapsayacak şekilde geliştirmişlerdir (Papadakis ve Perakis, 1989). Yao ve diğ. (2012) denizcilik şirketlerinden elde ettikleri gerçek gemi verisine dayanarak konteyner gemilerinin tükettikleri yakıt miktarı ile hızları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Çalışmaların büyük çoğunluğu hız optimizasyonu üzerinde durmuştur. Ancak bu zamana kadar, gemilerin yakıt tüketiminin modellenmesinde hız değişkeni ile birlikte geminin seferine ait trim ve hava rotalama gibi diğer operasyonel etkenlerin de yer aldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Çalışmanın temel amaçları; (i) Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini kullanarak çeşitli operasyonel koşullar altında geminin yakıt tüketimini tahminlemek, (ii) gemi sefer yönetimi enerji verimliliğini artırmaya yönelik kararların alınmasında gemi kaptanı/operatörü için yapay sinir ağları tabanlı karar destek sistemi oluşturmaktır. Böylece, gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için yapay sinir ağları yaklaşımı ile gemi kaptanı/operatörünün sefer yönetimine ait karar tercihini yansıtacak bir fonksiyon tanımlamak hedef olmakta, bu hedefe ulaşılması sonucunda söz konusu fonksiyonun optimize edilmesi de amaç olmaktadır.

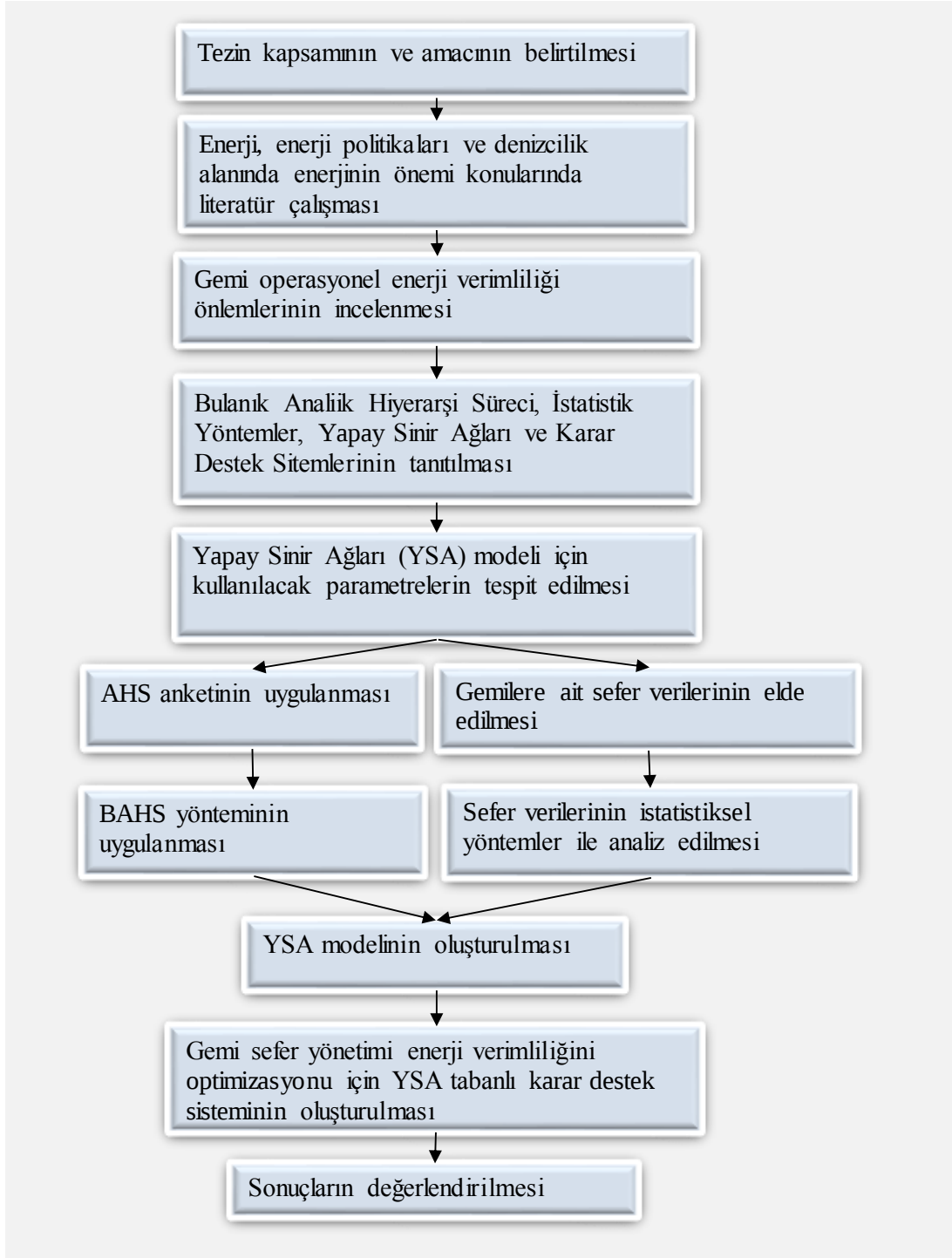
Çalışmanın yardımcı amaçları; (i) SEEMP kapsamındaki kilit operasyonel önlemlerin Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi kullanılarak önem derecelerinin saptanması, (ii) Sefer yönetimi kapsamındaki operasyonel enerji verimliliği faaliyetlerinin yakıt tüketimi ile olan ilişkilerinin istatistiksel yöntemler kullanılarak tespit edilmesidir.

1.6 Tezin İçeriği ve Sınırları

Araştırmanın evreni tanker işletmelerine ait altı farklı tipteki toplam yirmi yedi adet tanker gemileri ile sınırlandırılmıştır. Araştırma evreninin sadece tanker tipindeki gemileri kapsaması ve örneklemenin altı farklı türdeki tanker gemilerine uygulanması sınırlılığımızdır.

Tezin amacı gemideki mevcut teknolojilerin kullanılması yolu ile gemi kaptanı/operatörü için geliştirilmiş geminin sefer yönetiminde enerji verimliliğini optimize eden bir yaklaşım sunmak olduğu için gemideki enerji verimliliğine yönelik teknik uygulamalar (makine ve gemi inşa gibi) tez çalışması kapsamında incelenmiş olmasına rağmen bu önlemler karar destek sistemine dahil edilmemiştir. Bu yüzden, tez çalışması kapsamında geliştirilen karar destek sisteminin geminin makine ve gemi inşa gibi teknik unsurlarını içermeden sadece gemi kaptanı/operatörünün kullanabileceği operasyonel önlemlerine yönelik olması sınırlılığımızdır.

Tezin bu kısmında gemilerde enerji verimliliğinin önemi irdelenmiş, tezin amaç ve hedefleri belirtilmiştir. şekil 1.1’de yer alan araştırmanın akış şemasında da görüldüğü üzere tezin ikinci bölümünde; enerjinin tanımı yapılmış, enerji politikaları ve denizcilik alanındaki uygulamalar açıklanmıştır. Tezin nc bölümünde ise gemiler için operasyonel enerji verimliliği önlemleri detaylı olarak incelenmiştir. Dördüncü bölümde; tezde kullanılacak yöntemlerden olan Bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci, istatistiksel analiz yöntemlerinden serpilme grafikleri, Pearson bağıntı analizi ve regresyon analizi, Yapay Sinir Ağları yöntemi ve karar destek sistemleri hakkında detaylı bilgi ortaya konmuştur. Beşinci bölümde, öncelikle BAHS yöntemi uygulanmış olup geminin sefer yönetimine dâhil olan parametreler öznel olarak ağırlıklandırılmıştır. Ardından gemilerden elde edilen sefer verileri istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Tespit edilen parametreler kullanılarak yapay sinir ağları modeli oluşturulmuştur. Son olarak ise gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için geliştirilen YSA tabanlı karar destek sistemi sunulmuş ve örnek senaryolar verilmiştir. Çalışma, geliştirilen yaklaşımın akademik yazına ve denizcilik endüstrisine sağlayacağı katkıları ve ileri çalışma önerilerini vurgulayan sonuç bölümü ile tamamlanmıştır.



Şekil 1.1: Araştırmanın akış şeması.

2. ENERJİ

Bu bölümde enerji, enerji verimliliği, enerji verimliliği politikaları ve denizcilik alanında geliştirilen uygulamalar üzerinde durulacaktır. Enerji kavramı ve tüketimi, enerji yönetimi ve enerji verimliliği hakkında bilgiler sunulacaktır. Ayrıca, enerji politikası ve enerji verimliliği çalışmaları ile denizcilik alanında enerji verimliliğinin önemi ve bu konuda geliştirilen uluslararası politikalar hakkında bilgiler verilecektir.

2.1 Enerji Kavramı ve Tüketimi

Enerji bir sistemin veya bir cismin iş yapabilme kapasitesidir. Enerji; ısı enerjisi, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır. Enerjinin form değiştirerek bir diğerine dönüştürülmesi de mümkündür.

Enerji kaynakları enerji yönetimi açısından yenilebilir enerji ve tükenebilir (veya yenilenemeyen) enerji olarak ikiye ayrılır. Yenilenebilir enerjinin sınırsız olduğu varsayılır. Kısa sürede yerine konulan, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji gibi. Tükenebilir (veya yenilenemeyen enerji) ise kullanıldıktan sonra kısa bir zaman içinde yeniden oluşmayan enerjidir. Bu tür enerjiler, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların fosillerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır (Eroğlu, 2010).

Enerji tüm dünyada çeşitli amaçlarda kullanılan temel bir ihtiyaçtır. Ülkeler ekonomik gelişimleri için yüksek miktarlarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenden ötürü enerji ülkelerin ekonomik rekabeti ve istihdamı için önemli bir unsurdur. Ancak, küresel nüfus ve enerji gerekliliği sürekli olarak artmaktadır. Enerji kaynaklarının gelecekte azalmasının önüne geçebilmek için çalışmalar yapılmalıdır (Abdelaziz ve diğ., 2011). Dünya enerji tüketiminin 2030 yılında 2010 yılına göre %33 artması beklenmektedir. Dünya pazarında toplam enerji tüketimi 1980 yılında 82,919 ZW iken

2000 yılında 116,614 ZW'ya yükselmiş olup 2030 yılında ise 198,654 ZW'ye ulaşması beklenmektedir (IEA, 2006).

Ulaştırma sektörünün enerji tüketimi oldukça yüksek olup yıllar içinde artan bir eğilim göstermektedir (IEA, 2006). Avrupa Birliği ülkelerinde ise ulaştırma sektörü %37'lik bir payla sektörel bazda en yüksek enerji tüketimine sahiptir (Lombard ve diğerleri, 2008).

2.2 Enerji Yönetimi

Çeşitli çalışmalar yetersiz enerji yönetiminin enerji verimliliğine engel oluşturduğunu göstermiştir (SPRU, 2000; Thollander ve Ottosson, 2010; Rohdin ve Thollander, 2006). Enerji yönetimi ekonomik, çevresel ve sosyal nedenlerden dolayı işletmeler için faydalar sağlamaktadır (Christoffersen ve diğ., 2006; Kannan ve Boie, 2003). Enerji yönetimi ile enerji tüketimini ve buna bağlı olarak CO₂ salınımını azaltmak mümkündür.

O'Callaghan ve Probert (1977) enerji yönetimini enerji kaynağı ve tedariki, enerjinin dönüştürülmesi ve kullanılması şeklinde tanımlamışlardır. Enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak üzere gerçekleştirilen planlama, eğitim, etüt, ölçüm, izleme ve uygulama faaliyetlerinin tümü enerji yönetiminin konusudur. Enerji yönetimi minimum maliyet ile maksimum faydayı bulma yönünde olmalıdır.

Enerjinin verimli kullanılabilmesi için tüm süreçlerin kontrol edilebildiği bir enerji yönetim anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır. Performans ve verimliliği ölçmek için çeşitli uluslararası enerji yönetim standartları oluşturulmuştur (Ngai ve arkadaşları, 2013):

- Tanınmış bir program olan Energy Star, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve ABD Enerji Bakanlığı arasında ortak bir programdır (EPA, 2003). EPA, üstün enerji yönetimi için strateji ve organizasyonların enerji performanslarının adım adım geliştirilmesi için yardımcı olacak kurallar sağlamaktadır.
- EN 16001, 2009 yılında yayımlanan Avrupa standardının enerji yönetim sistemidir (SEI, 2009). ISO 14001 ile uyumludur ve planla-uygula-kontrol et-önlem al döngüsüne dayanmaktadır. 'EN 16001' kuruluşlara kapsamlı bir enerji yönetim sistemi kurmayı ve enerji kullanım performansını artırmayı amaçlamaktadır.

- Birleşmiş Milletler Sanayi Kalkınma Örgütü (UNIDO) ve Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), işletmelere enerji verimliliğinin entegrasyonu için 2008 yılında bir enerji yönetim sistemi standardı geliştirmiştir (UNIDO, 2008). ‘ISO 50001’ standardı sanayi tesisleri, ticari tesisler ve tüm kuruluşlar için karşılaştırmalı enerji yönetimi çerçevesi oluşturmaktadır. Bu çerçeveye dayanarak işletmeler enerji verimliliğinde sürekli gelişimi sağlayabilmek için enerji verimliliği amaçlarını oluşturabilmekte, müdahalelerini planlayabilmekte, enerji yönetim performansını ve sonuçlarını kontrol ve dökümanete edebilmektedir.
- Victoria Eyalet Hükümeti tarafından geliştirilen ‘Enerji ve Sera Yönetimi Modülü 4’ enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır (Energy and greenhouse management toolkit: Module 4, 2002) Modül enerji yönetimi için müteakip olgular dizisi sunmaktadır.

2.3 Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği kalite ve miktar düşüşüne yol açmadan birim hizmet veya ürün başına düşen enerjinin azaltılmasıdır. Enerjinin verimli kullanılması ile ülke ekonomisine ve çevrenin korunmasına katkıda bulunmak mümkündür (Kavak, 2005).

Yaşam kalitesinde düşüşe yol açmadan enerji tüketiminin azaltılması ve yaşamın her alanında enerji verimliliğinin artırılması sağlanmalıdır. Enerji verimliliğinin artırılması; artan enerji talebini karşılamak için gerekli yatırımları düşüreceği için zaman ve maliyet açısından etkin bir önlem olarak kabul edilmektedir. Ayrıca sera etkisi yapan gazların salınımını ve çevre kirliliğinin azaltılması için de uygulanabilecek en ucuz yöntemdir (Dizkırıncı, 2009).

Enerji verimliliği iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir gelişim için enerji politikalarının temel taşı olarak kabul edilmektedir. Enerji verimliliğini savunanlar enerji verimliliğinin artırılmasının enerji tasarrufu (enerji tüketiminde azalma), çevresel iyileştirme (sera gazlarının ve diğer kirleticilerinin azalması), enerjiyi koruma (ülkelerin enerji kaynaklarının ithalini azaltmak), düşük enerji maliyetleri, ekonomik rekabet ve istihdam olanaklarının artması gibi potansiyel faydaları beraberinde getirdiğini belirtmektedirler (Schnapp, 2012).

Enerji verimliliği enerji ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltma politikalarında önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir. Enerjiyi daha verimli kullanmanın

faýdaları sadece sera gazı salınımlarını ve yerel hava kirliliğini azaltmak değil, aynı zamanda enerji altyapıları yatırımlarını azaltmak, fosil yakıtlara bağımlılığı düşürmek ve rekabeti artırmaktır (Taylor ve diğ., 2010).

Küresel olarak, enerji verimliliği düzeyleri son yıllarda gelişme göstermiştir. Genel olarak, 1990 ile 2005 yılları arasında tüm OECD ülkeleri modern, verimli teknolojiler ve süreçler getirilmesi de dahil olmak üzere ekonominin tüm sektörlerinde güçlü verimlilik iyileştirmeleri yoluyla toplam nihai enerji yoğunluğu değerlerini azaltmıştır. Sonuç olarak, 2005 yılında % 14 karbon dioksit (CO₂) salınımının engellenmesi ve % 15 enerji tasarrufu sağlanmıştır (OECD/IEA, 2008).

Enerji konusunda sürdürülebilirliğin gerçekleşmesi için enerjinin tasarruflu şekilde tüketilmesi gerekir. Petrol krizlerinden sonra tüm dünyada artan enerji fiyatlarının kontrol altına alınmasına, enerjide sürdürülebilirliğin sağlanmasına ve dışa bağımlılığın azaltılmasına yönelik çalışmalar enerjinin verimli kullanımının önemini artırmıştır (Çalıkoglu, 2008).

İklim değişikliği, garantisi olmayan enerji kaynağı ve artan enerji fiyatları günümüz toplumunda giderek önemi artan konulardır. Fotovoltaik teknolojisi gibi yenilenebilir enerji teknolojileri uzun vadeli bir çözüm olmasına rağmen, enerjinin daha verimli kullanılması kısa vadede bu sorunların çözümüne yönelik en yüksek ve en ekonomik katkıyı sağlamaktadır. Enerji verimliliğinin artışı için üç önemli etmen bulunmaktadır (Bunse ve diğ., 2011):

- Yükselen enerji fiyatları: Petrol ve gaz fiyatlarının artışı ve kaynak kıtlığı nedeniyle kömür gibi diğer fosil yakıtların fiyatlarındaki artış enerji tüketiminin azaltılmasının önemini artırmaktadır (Mukherjee, 2008).
- CO₂ salınımlarının maliyetleri ile ilişkili yeni çevresel düzenlemeler: sera gazı salınımlarının azaltılması uluslararası kural ve politikalara göre sonraki yıllar için önemlidir.
- Müşterilerin satın alma davranışlarının ‘yeşil’ ve enerjiyi verimli kullanan ürün ve hizmetler yönünde değişmesi: Şirketler ve son kullanıcılar enerji verimliliğini satın alma kararları için önemli bir kriter olarak belirlemişlerdir (BCG, 2009).

2.4 Enerji Politikası ve Enerji Verimliliği Çalışmaları

2.4.1 Kyoto Protokolü

Enerji ve çevre ile ilgili yasal düzenlemelerin yapılması ve gerekli önlemlerin alınması konusunda ilk gündeme gelen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve buna bağlı Kyoto Protokolü'dür (UNFCCC, 1998). 1997 yılında imzalanan Protokol 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Söz konusu protokol; karbon dioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın (Metan (CH₄), Diazot Monoksit (N₂O), Kükürt hekzaflorid (SF₆), Perflorokarbonlar (PFCs) ve Hidroflorokarbonlar (HFCs)) salınımını azaltmayı hedeflemektedir.

Kyoto Protokol'ü ile ilk defa sera gazlarına neden olan gazların salınımlarının azaltılması ile ilgili bağlayıcı hükümler getirilmiştir. Kyoto Protokol'ünden önce gerçekleştirilen diğer uluslararası düzenlemelerin yalnızca gönüllü hedefler içerdiği, Kyoto Protokol'ünün ise iklim sorunu çözümüne yönelik uluslararası en somut adım olduğu ifade edilmektedir (Gabrielle ve King, Çev: Akpınar, 2009). Anlaşmanın genel amacı, atmosferdeki sera gazı yoğunlaşmalarını, iklim sistemine insan kaynaklı yapılan tehlikeli boyuttaki müdahaleyi engelleyecek düzeyde tutabilmeyi başarmak olarak belirlenmiştir (Altınar, 2011). Protokol'e göre;

- Atmosfere salınan sera gazı miktarı %5'e çekilecek,
- Endüstriden, motorlu taşıtlardan, ısıtmadan kaynaklanan sera gazı miktarını azaltmaya yönelik mevzuat yeniden düzenlenecek,
- Daha az enerji ile ısınma, daha az enerji tüketen araçlarla uzun yol alma, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirme sağlanacak, ulaşımda, çöp depolamada çevrecilik temel ilke olacak,
- Atmosfere bırakılan metan ve karbon dioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelinecek,
- Fosil yakıtlar yerine örneğin biyodizel yakıt kullanılacak,
- Çimento, demir-çelik ve kireç fabrikaları gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemleri yeniden düzenlenecek,
- Termik santrallerde daha az karbon çıkartan sistemler, teknolojiler devreye sokulacak,

- Güneş enerjisinin önü açılacak, nükleer enerjide karbon sıfır olduğu için dünyada bu enerji ön plana çıkarılacak,
- Fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınacaktır.

2.4.2 Enerji verimliliği oluşum süreci ve politikaları

Enerji verimliliği politikalarını uygulamaya geçiren en önemli etkenin 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizi ve buna bağlı olarak gelişen maliyet artışları olduğu genel bir kabuldür. İşletmeler üretim maliyetlerini düşürmek ve serbest piyasada rekabet güçlerini koruyabilmek için enerji ile ilgili verimlilik uygulamalarına yönelmişlerdir.

Bu enerji krizinin ekonomi üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek amacıyla ülkeler, enerjinin verimli kullanılması ve yeni enerji kaynaklarının araştırılması-geliştirilmesi konularına daha fazla önem vermeye başlamışlardır. Ülkeler, ekonomik bunalımın getirdiği etkilerden kurtulabilmek için çeşitli yollara başvurmuşlar, tüketimin azaltılması, yatırımların çoğaltılması, enflasyon hızını azaltıcı para, kredi ve bütçe politikalarının uygulanması gibi çeşitli ekonomik ve mali tedbirler uygulamaya başlamışlardır (Turkes ve Kılıc, 2003).

Dünya Enerji Konseyi’nin (World Energy Council-WEC) gerçekleştirdiği bir araştırmada ülkelerin enerji politikaları incelenmiş ve kendi aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır (WEC, 2001). Söz konusu ülkelerde enerji verimliliği alanında çalışan kurumların yapısının ulusal, yerel ve bölgesel olmak üzere üç ayrı şekilde faaliyet gösterdikleri tespit edilmiştir. Örneğin, Türkiye’de enerji verimliliği uygulamalarının hükümet tarafından sadece ulusal, Belçika’da sadece bölgesel, Japonya ve Danimarka’da ise hükümet dışında ilgili ajanslarca ulusal düzeyde gerçekleştirildiği görülmüştür. ABD’de hükümet tarafından ulusal ve bölgesel, İngiltere’de ise ilgili ajanslar ve hükümetçe bölgesel düzeyde çalışmalar düzenlenmektedir (Dizkırııcı, 2009).

2.4.3 Avrupa Birliği enerji verimliliği yaklaşımı

Avrupa Birliği (AB); enerji kaynaklarının tükenmesi, çevre kirliliği, sera gazı salınımları enerji ihtiyacının artması ve dışarıya bağımlılığı nedeniyle enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımına önem vermektedir. Enerji verimliliğine ilişkin Enerji Verimliliği Yeşil Kitabı’nı 2005 (European Commission, 2005) yılında yayınlanmış olup Yeşil Kitap’ta enerji politikası önlemlerine yer verilmiştir.

Avrupa Birliği Enerji Verimliliği Eylem Planı'nı 2006 yılında hazırlanmıştır (European Commission, 2006) Eylem Planı'nda mevcut ve olası düzenleyici uygulamaların önem taşıdığı ve çeşitli ürünler, binalar ve hizmetler açısından dinamik enerji performans gereksinimlerinin belirlenmesi gerekliliği belirtilmiş, planda bu konularda çeşitli direktif ve tüzüklere yer verilmiştir.

Avrupa Birliği Komisyonunun kısaca “2020 yılına kadar 20/20/20/ hedefleri” olarak tanımladığı, 2020 yılına kadar AB’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranının %20’ye yükseltilmesi, sera gazı salınımının %20 azaltılması ve enerji verimliliğinde %20 enerji verimliliği hedeflerini içeren “Enerji ve İklim Değişikliği Paketi” (2007) kabul edilmiştir.

Avrupa Birliği Komisyonu, bina, taşımacılık, ürün ve süreçlerdeki enerji verimliliği potansiyelinden faydalanmak üzere daha kapsamlı bir Enerji Verimliliği Planı (2011) geliştirmiştir. Bu planda, üye ülkelere enerji verimliliği politikalarının enerji zincirinin sadece ‘talep tarafını’ değil, üretim ve dağıtım sektörlerini de işin içine katarak ‘arz tarafını’ da kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

AB’nin Enerji Politikası, çeşitli programlarla da desteklenmektedir. Bu kapsamda, “Avrupa için Akıllı Enerji (2007-2013)” programı uygulanmaya başlanmıştır. Söz konusu programın amacı iklim değişikliği ile mücadele ve Avrupa endüstrisinin rekabete teşvik edilmesidir. Buna ilave olarak, ALTENER II, SAVE, COOPENER, STEER, SYNERGY, CARNOT, SURE, AB enerji politikasını destekleyen diğer programlardır (IEE II, 2003-2006).

2.5 Denizcilik Alanında Enerji Verimliliği

2.5.1 Uluslararası düzenlemeler ve gemilerden karbon salınımı

1997'de Kyoto/Japonya'da gerçekleştirilen "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Üçüncü Taraflar Konferansı" (the United Nations Framework Conference on Climate Change (UNFCCC, 1998)) neticesinde imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren "Kyoto Protokolü" çerçevesinde sera gazı salınımlarının sınırlandırılması ya da azaltılması hedeflenmiştir.

Kyoto Protokolünde gemilerden kaynaklanan sera gazı salınımlarının azaltılması konusu Protokol'ün genel hedeflerinden ayrı olarak değerlendirilmiş, gemilerden kaynaklanan sera gazı salınımlarının azaltılması veya sınırlandırılması görevi

Protokol'ün taraflarına ve Uluslararası Denizcilik Örgütü'ne (IMO) verilmiştir. IMO ise SO_x ve NO_x salınımları ile başa çıkabilmek için MARPOL Ek VI'yı oluşturmuştur. IMO tarafından 2008 yılında gemilerden kaynaklanan SO_x salınımlarının sınırlandırılması amacıyla Baltık Denizi, Kuzey Denizi ve İngiliz Kanalı'nı 'Sulphur Emissions Control Areas' (SECAs) olarak belirlemiştir. 2010 yılında ise NO_x salınımlarını azaltmak amacıyla tüm Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada kıyılarını 'Emissions Control Area' (ECA) olarak belirlemiştir (IMO, 2008).

UNFCCC küresel CO₂ ve sera gazlarının azaltılmasını amaçlamasına rağmen çok yakın bir zamana kadar denizcilik sektöründe bu konuda düzenlemeler bulunmamaktaydı. Önemli tartışmalar ve gelişmiş ülkelerin muhalefetinden sonra IMO'nun Deniz Çevresi Koruma Komitesi (MEPC: Marine Environment Protection Committee) 2011 yılında gemilerde enerji verimliliğine yönelik yeni kuralların MARPOL Ek VI'ya yeni bir bölüm olarak (Bölüm 4) eklenmesini kabul etmiştir. Bu sayede, yeni gemiler için Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) ve bütün gemiler için Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) zorunlu hale getirilmiştir (IMO, 2011). Ayrıca, Avrupa 2011 yılında 'Ulaştırma Beyaz Evrak' ile 2050 yılına kadar ulaşırmadan kaynaklanan sera gazlarının salınımlarında %60 azalmayı amaçlayan karbon salınımlarına yönelik hedefler koymuştur (Harilaos ve arkadaşları, 2013).

2.5.2 Enerji Verimlilik Tasarım İndeksi (EEDI)

IMO, 2011 yılında gemilerde enerji verimliliğini arttırarak, gemi kaynaklı CO₂ gazı salınımlarını azaltmak amacıyla MARPOL Ek VI'ya Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) eklenmesini kabul etmiştir. Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI), 400 gros ton ve üzeri yeni gemilerin teorik olarak CO₂ salınım performanslarının ölçülmesi için geliştirilmiş olup, gemi tasarımı ve makine performans verilerini hesaplamada kullanılmaktadır. IMO, EEDI'nin zorunlu uygulaması ile gemilerin tasarım safhasında enerji verimliliğini etkileyen yenilikçi ve teknolojik gelişmeleri teşvik etmeyi amaçlamıştır.

1 Ocak 2013 tarihinden itibaren inşa edilen, 400 GT ve üzeri, uluslararası sefer yapan tüm yeni gemiler için "Ulaşılan Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi" (Ulaşılmış EEDI) değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerin, IMO'nun istatistiki çalışmalar sonucunda belirlemiş olduğu "Gerekli Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi" (Gerekli EEDI) değerinin altında veya eşit olması gerekmektedir.

2.5.3 Gemiler için Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

IMO tarafından geliştirilen ve şirketlerdeki enerji verimliliğini artırmak için bir mekanizma oluşturmayı amaçlayan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren 400 GT ve üzeri uluslararası sefer yapan bütün gemilerde işletilmeleri sırasında enerji verimliliğinin dikkate alındığının doğrulanabilmesi için zorunlu hale getirilmiştir (IMO, 2011). SEEMP, geminin ve filonun zaman içinde gösterdiği verimlilik performansını izlemek için uygulanabilir bir yaklaşım sunar ve gemi performansını optimize etmek için değerlendirilecek enerji tasarrufu önlemlerini belirler (IMO, 2012).

SEEMP, şirket tarafından gemiye özel bir plan olarak geliştirilmelidir. SEEMP, bir geminin enerji verimliliğini dört adımda geliştirmeyi amaçlar: “planlama” (planning), “uygulama” (implementation), “izleme” (monitoring), “öz değerlendirme ve gelişim” (improvement). Bu bileşenler, gemi enerji yönetimini sürekli geliştirme döngüsünde kritik bir rol oynarlar (Türk Loydu, 2012).

SEEMP'nin amacı, şirket ve/veya gemi için gemi operasyonlarıyla ilgili enerji verimliliğini geliştireceği bir mekanizma oluşturmaktır. SEEMP'in, şirketlere, gemilerin çevre performansını yönetme konusunda yardım edecek bir yönetim aracı olması amaçlanmaktadır. Bu nedenle SEEMP, şirket tarafından geminin bürokratik yükünü minimum seviyede tutacak biçimde uygulama prosedürlerinin yer aldığı bir plan olarak geliştirilmelidir.

2.5.4 Enerji Verimlilik Operasyonel Göstergesi (EEOI)

IMO, gemi operatörlerine yakıt tüketimi ve taşınan yük açısından verimliliklerini takip edebilmelerine yardımcı olmak için yeni bir gösterge olan Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi'ni (EEOI) oluşturmuştur. EEOI, operasyonel performansın takip edilebilmesi için SEEMP ile birlikte isteğe bağlı olarak kullanıma dayanan bir kılavuz olarak sunulmuştur (IMO, 2009b).

Bir geminin enerji verimliliği tercihen uluslararası bir standarda dayanarak sayısal olarak izlenmelidir. IMO tarafından geliştirilen EEOI, çalışmakta olan bir geminin ve/veya filonun enerji verimliliğine dair sayısal bir gösterge elde etmek için uluslararası olarak oluşturulmuş başlıca izleme araçlarından biridir (Türk Loydu, 2012).

EEOI, belirli bir dönemlerindeki sefer süresince tüketilen yakıt sonucu oluşan CO₂ kütlesini gösterir. EEOI birimi taşınan yük miktarına bağlıdır; örneğin ton CO₂/(ton*deniz mili), ton CO₂/ (TEU*deniz mili), ton CO₂/ (kişi sayısı*deniz mili) vs. gibidir. CO₂ salınımı kullanılan yakıt tipinin salınım faktör değeri ile tüketilen toplam yakıt miktarının çarpımından elde edilir. Taşınma işi ise; geminin taşıdığı toplam yükün toplam mesafe ile çarpımından elde edilir.

Gösterge, geminin operasyonel değişkenlerinden etkilenmektedir. Geminin zamanla operasyonunun değişmesi EEOI ile EEDI arasındaki temel farkı oluşturmaktadır. EEOI için geminin sabit değerleri yerine zaman içerisindeki performans bulguları gereklidir.

Farklı zaman dilimleri içindeki operasyonel performansların ortalaması alınarak elde edilen EEOI, filodaki kardeş ve diğer gemilerin performanslarını kıyaslama (benchmarking) olanağı sağlamaktadır. EEOI, aynı seferler için yakıt harcamını düşürerek veya taşınan kargo miktarını arttırarak balastlı zamanı ve liman periyodunu azaltarak geliştirilebilir.

3. GEMİLER İÇİN OPERASYONEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ

Bu bölümde gemiler için operasyonel enerji verimliliği önlemleri üzerinde durulacaktır. Gemilerde uygulanan temel operasyonel önlemler altı başlıkta ele alınacaktır. Bu bölümde verilen ana ve alt başlıklar uygulanacak Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi için ana ve alt kriterleri teşkil etmektedir.

3.1 Sefer Yönetimi (SY)

Sefer yönetiminde amaçlanan gemi kaptanının lojistik, planlama, charter parti sözleşmeleri ve diğer kısıtları dikkate alarak geminin sefer ile ilgili operasyonlarını optimize etmesidir. Sefer yönetimine dahil olan operasyonlar; sefer için uygun hızın belirlenmesi, optimum trim ayarlaması, hava koşullarına göre rotalama ve otopilotun etkin kullanımıdır.

3.1.1 Hız optimizasyonu (HO)

Hız deniz taşımacılığında önemli bir unsurdur. Dünya ticaret hacminin büyümesi ile yüksek hızlı gemilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gemi hızının yüksek olması; yükün zamanında teslim alınması, düşük stok maliyeti ve birim zamanda artan ticaret hacmi gibi ekonomik faydalar sağlamaktadır (Psaraftis ve Kontovas, 2013). Ancak, yakıt fiyatlarının artması ve gemilerden kaynaklanan salınımların oluşturduğu çevre sorunları gemilerin hızı konusuna yeni bir bakış açısı getirmiştir. Bu nedenle gemi hızını optimize etmek önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir.

Gemi hızını düşürmek yakıt tasarrufu açısından en etkili yöntemdir. Gemi hızı ve yakıt tüketimi arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Gemi hızı ana makinenin harcadığı güç ile üçüncü dereceden fonksiyonlu olduğundan yakıt tüketiminde büyük etkiye sahiptir (Harvald, 1977). Bunun anlamı, eğer gemi hızı iki kat artırılsa, kullanılan makine gücü 8 katına çıkacaktır. Bir başka deyişle, gemi hızı % 10 düşürülürse geminin harcadığı yakıt miktarı yaklaşık % 27 azalacaktır (Faber ve diğ., 2012). Örneğin, Maersk firmasının tanker tipi gemileri için Basra Körfezi'nden Asya kıtasına olan tipik bir sefer 42 gün sürmekte iken (Gemi yüklü durumda 15 knot,

balastlı durumda ise 16 knot hız yapmaktadır.) gemiler hızını balastlı durumda 8.5 knota düşürdüğünde sefer süresi 55 güne çıkmakta sefer süresince yakıttan elde edilen tasarruf ise 400.000\$ olmaktadır (TradeWinds, 2010).

Gemiler normalde belirli hızlarına sahiptir. Bu hız, kuru yük gemileri için 13-16 knot arasında iken konteyner gemilerinin hızları yaklaşık 24-26 knottır (Lindstad ve diğ., 2011). Gemiler sefer planlarını dikkate alarak tasarım hızının 2-3 knot altında seyir yaptıklarında önemli ölçüde yakıt tasarrufunda bulunarak işletme maliyetlerini neredeyse yarısına kadar düşürebilirler (Wijnolst ve Wergeland, 1997; Stopford, 1999; Chang ve Chang, 2013). Gemi hızının %10 düşürülmesi, gemilerden salınan gazın en az %10-15 azalmasına ve ayrıca önemli gelir kazancına neden olmaktadır (Psaraftis ve Kontovas, 2010). Gemilerin düşük hızlarda kullanılması ile CO₂ salınımının yıllık 1122 milyon tondan 804 milyon tona kadar azaldığı görülmekte olup yakıt giderlerinin de % 28 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Lindstad ve diğ., 2011). Gemi hızlarının azaltılması ile genel olarak %7 ile %23 oranında enerji verimliliği sağlandığı ve %2 ile %50 arasında CO₂ salınımının düşürüldüğü belirlenmiştir (Talay ve diğ., 2013).

Gemi hızının azalması yakıt verimliliğinin sağlanmasında büyük önem oluşturduğundan operasyonel önlemler içinde araştırmaların en çok yapıldığı alandır. Notteboom ve Vernimmen (2009) yakıt tüketimi ve hız arasındaki ilişkiyi inceleyerek düşük hızın sağladığı ekonomik ve çevresel faydaları saptamışlardır. Çalışmada, 4 farklı konteyner gemisinin 9 farklı hızdaki yakıt tüketimine etkisini incelemişler ve gemi hızının iki katına çıkarılmasının yüksek miktarda yakıt tüketimine neden olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin, 8000 TEU'luk gemi için hız 23 knottan 26 knota çıkarıldığında, konteyner gemisinin yakıt tüketimi günlük 80 ton kadar artmaktadır. Corbett ve diğ. (2009) konteyner gemilerinin düşük hızlardaki maliyet etkinliğini hesaplamışlardır. Psaraftis ve Kontovas (2013) ise gemi hızının azaltılması gerekliliğini savunulanların aksine hızın düşürülmesinin ekonomik ve çevresel zararlar doğuracağını belirtmişlerdir. Ayrıca, düşük hızın aynı anda daha fazla geminin işletilmesi ihtiyacını doğuracağını ve yüklerin geç tesliminin neden olduğu cezalar gibi çeşitli dezavantajları olduğunu vurgulamışlardır. Chang ve Chang (2013) çalışmasında dökme yük gemilerinin hızlarını %10, %20 ve %30 düşürerek üç farklı senaryo uygulamışlar ve hız düşüşlerinin neden olduğu günlük ve seferlik yakıt miktarlarındaki azalmayı tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, gemilerin düşük hızlı olması yakıt

tasarrufuna neden olsa da düşük hızın charter sözleşmesinden ötürü işletme maliyetlerini artırdığı görülmüştür.

Düşük hızla seyir ile yakıt tasarrufu ve piyasa talepleri arasında uygun bir denge oluşturmak için bütün maliyetler göz önünde tutularak sefer için optimum hız belirlenmelidir. Piyasa talepleri sürekli değişiklik gösterdiğinden sefer süresince optimum hız sabit olmayıp, ilgili taraflardan (denizcilik şirketi, gemi acentesi, gemi kiracısı (charterer) gibi) gelen bilgiler doğrultusunda geminin optimum hızı güncellenmelidir.

Optimum gemi hızı en düşük hız olmayıp sefer planına etki eden tüm parametreler dikkate alınarak belirlenen hızdır. Hız düşürmek yakıt tasarrufu açısından kazançlı olsa da diğer ticari ve operasyonel ihtiyaçlar doğrultusunda dengelenmelidir. Sabit hatta çalışan (liner) gemilerde (konteyner ve feribotlar) gemi seferlerinin planlanması ve gemilerin hız kontrolleri toplam servis planlama ve yük yönetimine sıkıca bağlıdır (Christiansen ve diğ., 2004; Shintani ve diğ., 2007; Gelareh ve diğ., 2010; Gelareh ve Pisinger, 2011; Meng ve Wang, 2011a; Meng ve Wang, 2011b; Wang ve diğ., 2011; Wang ve Meng, 2011; Wang ve Meng, 2012a; Wang ve Meng, 2012b). Geç kalmadan ötürü uygulanan yüksek cezalar gemilerin düşük hızla seyrini ve bundan ötürü yakıt tasarrufunu engellemektedir. Tramp çalışan (tanker ve dökme tipi gemiler) gemilerde ise genellikle sözleşme esnasında belirlenen zamana göre gemi hızı belirlenir. Gemi belirlenen bu hızla göre seyir yaparak kendisine verilen zamanda yük için hazır olmak durumundadır. Bu tip sözleşmelerde limandan kaynaklanabilecek gecikmelerden dolayı esneklik oluşmaktadır. Gemi sahibi/işletmecisi ile kiracı arasında limana varış konusunda koordinasyon sağlandığı taktirde liman ve terminallerde oluşacak yoğunluğun önüne geçilmesi ile yakıt tüketimi optimum hale getirilir. Gemi limana giriş için beklemek yerine (limandaki sıkışıklıktan dolayı) sefer için enerji verimliliği çerçevesinde hazırlanacak olan geliş süresi dikkate alınarak düşük hızla seyir yaparsa sefer boyunca %10 kadar yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir (IMO, 2010; Norlund ve Gribkovskaia, 2013). Yapılan bir çalışmada gemilerin limanlardaki bekleme/gecikme oranları verilmiştir. Buna göre gemilerde liman/terminal yoğunluğundan ötürü (yanaşmadan önce veya yükleme/tahliye öncesi öngörülme beklem süreleri) %65.5, liman/terminal produktivitesinin beklenenden düşük olmasından dolayı (yükleme/tahliye) %20.6, liman öncesi kanal girişlerinde ise (pilotaj ve romorkaj için) % 4.7 olarak bekleme tespit edilmiştir (Notteboom, 2006). Norlund ve Gribkovskaia

(2013) geminin seyirdeki hızını ve dolayısıyla harcadığı yakıtı düşürebilmek amacıyla sefer boyunca ve seferler arasındaki bekleme sürelerini modellemişlerdir. Geminin seyir hızının ve sefer boyunca bekleme sürelerinin azaltılarak optimize edildiği model sonuçlarına göre yakıtta ortalama %10 kazanç elde edilmiştir.

3.1.2 Otopilotu etkin kullanma (OEK)

Dümen hareketleri geminin suya olan direncini artırmaktadır. Dümen kullanımını ve gemiyi rotada tutmak veya rotasını değiştirmek için uygulanan dümen açısını minimize etmek yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Otopilot, gemiyi rotada tutarak kat edilen seyir mesafesinin azalmasına ve dümen hareketlerinin küçülmesine ve bundan dolayı gemi direncinin ve dolayısıyla gereken makine gücünün düşmesine neden olan köprü üstü ekibinin kullanımı için yardımcı bir araçtır.

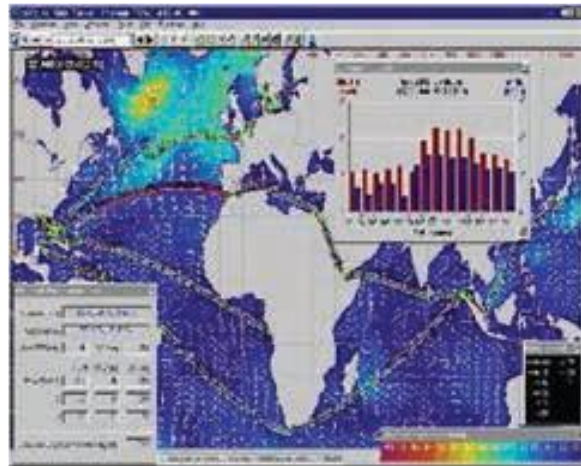
Otopilotun verimli kullanılması için geminin draftı, yüklü veya balastlı olması ve hava koşulları gibi çeşitli özelliklerin otopilotta seçilmesi ve bilgilerin devamlı güncellenmesi gerekmektedir. Otopilot kullanıcıya dümen ve pruva kontrol limitlerini, örneğin pruvanın müsaade edilen maksimum sapması gibi, ayarlama imkanı vererek geminin fazla mesafe kat etmesini engellemektedir. Böylece, köprü üstü ve kumanda sistemleri ile entegre olan otopilot geminin rotadan kaçması ile gidilen fazla mesafeyi düşürerek yakıt tasarrufuna önemli katkıda bulunmaktadır. Az sıklıkta ve düşük miktarda uygulanan düzeltmeler ile rotanın daha iyi kontrol edilmesi dümen direncinin azalması ile kayıpları minimize etmektedir. Gemiler otopilotun etkinliği sayesinde yakıt tüketiminde %0,5 ile %3 arasında tasarruf etmektedirler. (IMO, 2009a).

3.1.3 Hava rotalama (HR)

Geminin çeşitli hava koşullarındaki davranışlarını incelemek hem ekonomik hem de çevresel açıdan yarar sağlamaktadır. Geminin hızlı ve güvenli seferini düşük maliyetle gerçekleştirebilmek için çeşitli hava şartlarındaki davranışı gemi sahipleri ve gemideki personel açısından önem oluşturmaktadır. Gemiye uygulanan dirençler hava koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Hava koşullarından kaynaklanan gemi direncinin artması ile ciddi hız düşüşleri olurken geminin harcadığı güç ve bundan dolayı yakıt sarfıyatı da artmaktadır.

Hava rotalama, geminin kendine has özelliklerini ve sefer bölgesindeki akıntı ve hava koşullarını dikkate alarak en uygun rotanın belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. (Padhy ve diğ., 2008; Sen ve Padhy, 2010; Shao ve diğ., 2012). Sefer için belirlenen optimum rota, çeşitli hava koşullarında emniyet ve konforlu (Maki ve diğ., 2011; Kosmas ve Vlachos, 2012), enerji verimliliğin maksimum olduğu (Sen ve Padhy, 2010, Calvert ve diğ., 1991; Dewit, 1990), en kısa sürede seferin tamamlanmasını mümkün kılan (Zhang ve diğ., 2011; Lunnon ve Marklow, 1992) veya bu faktörlerin kombinasyonunu oluşturan rota (Padhy ve diğ., 2008; Hinnenthal ve Clauss, 2010) olarak kabul edilir. Hava rotalama optimizasyonu geminin minimum yakıt tüketimi ile emniyet marjinlerini dikkate alarak minimum seyir süresinde beklenen zamanda (ETA) limana varmasını sağlamasını amaçlamaktadır (Lin ve diğ., 2013). Hava rotalama optimizasyonu ile zaman kazancının dışında % 3'e kadar yakıt tasarrufu sağlamak mümkündür (Armstrong, 2013).

Hava koşullarına göre gemilerin rotalarını optimize etmek için hava rotalama servisleri bulunmaktadır. Bu sistemler bütün gemi tipleri için ve birçok seyir bölgesinde uygulanmaktadır. Hava rotalama servisi meteorolojik bilgileri toplar, öngörü analizleri yapar ve bunun sonucunda geminin hava koşullarını dikkate alarak iki liman arasındaki takip etmesi gereken rota bilgisini gemiye bildirir. Bu bilgilendirme gemiye e-mail aracılığı ile gelebilir. Ayrıca bilgisayar uygulamaları ile de gemi/gemiler ve filo yönetimi dahil geniş bir yelpazede görsel bilgi paylaşımı gerçekleştirilir. (Şekil 3.1)



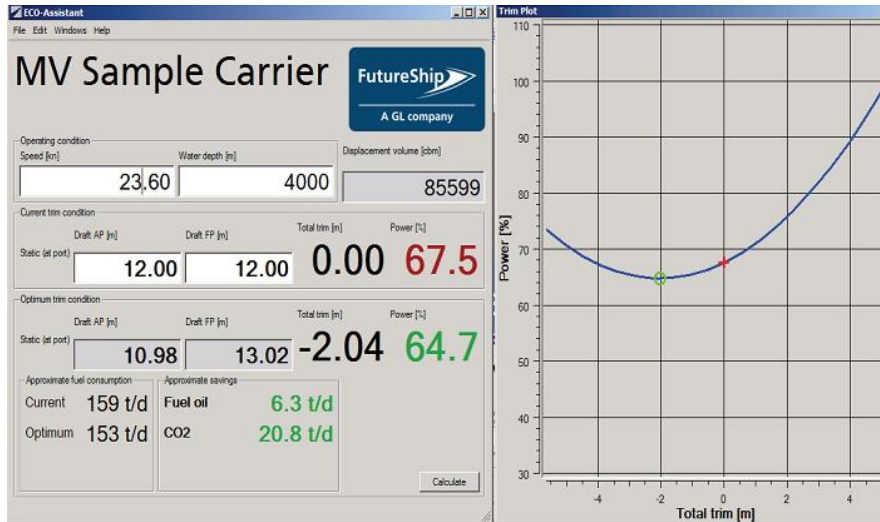
Şekil 3.1 : Hava rotalama yazılım örneği (ABS Report, 2013).

3.1.4 Trim optimizasyonu (TO)

Tekne formları genellikle belirli draftlar dikkate alınarak tasarımılanan geminin trimi bu draftlara göre ayarlandığı takdirde gemi direnci azalmaktadır. Eğer gemi sıfır trime

göre tasarımılanmış ise, geminin trimi tasarım noktasında başa veya kıça biraz farklılık gösterdiğinde (örneğin 0,5 m), gemi direnci ve dolayısıyla yakıt tüketimi de artacaktır. Bazı durumlarda gemi draftı düşük olmasına rağmen trim uygun değil ise gemi draftı fazla olan uygun trimli duruma göre daha çok gemi direnci oluşacaktır. (ABS Report, 2013). Gemilerde uygulanan en iyi trim ile en kötü trim arasında makina gücü kullanımı %10'un üzerinde farklılık göstermektedir (Mewis ve Hollenbach, 2007).

Trim değişikliği gemi kaptanı ve yük planlayıcısı yani stevedor tarafından yükün istiflenmesi, yakıtın dağılımı ve balast değişimi ile mümkündür. Gemilerde model testlere dayanan trim-güç tabloları olmasına rağmen, gemiadamları bu tabloları çoğu zaman kullanmakta isteksiz davranmaktadır. Bundan dolayı, verilerin toplanıp analiz edildikten sonra uygun trimi kullanıcıya sunan yazılım sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (IMO, 2010). Yazılım sistemleri gemiadamı tarafından geminin deplasmanı, istenen ortalama hız, ortalama su derinliği gibi bazı parametrelerin girilmesi ile en çok yakıt tasarrufu sağlayacak optimum trimi vermektedir. Bu uygulama ile yaygın olarak kullanılan geminin even keel haline göre %5'e kadar fazla yakıt tasarrufu sağlamak mümkündür (Hochkirch ve Bertram, 2010; Wartsila, 2008). Şekil 3.2'de gemilere monte edilebilen örnek bir yazılım görülmektedir (Hansen ve Freund 2010)



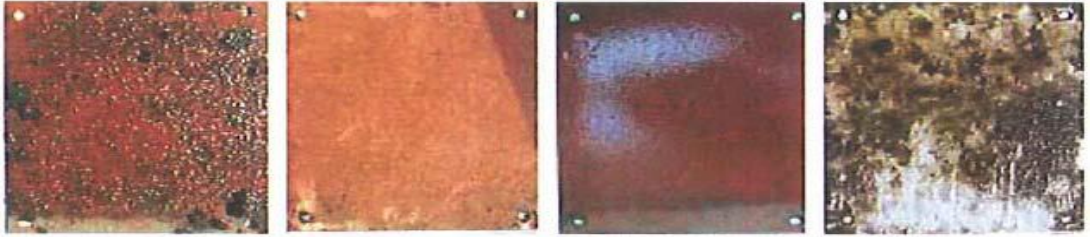
Şekil 3.2 : Trim için yazılım örneği.

Trim optimizasyonun eğilme momentleri (bending moments) ve kesme kuvvetlerinden (shear forces) kaynaklanan bazı operasyonel riskleri ve zorlukları bulunmaktadır. Ayrıca, seyir boyunca tüketilen yakıt ve sudan kaynaklanan trim değişikliği, balast değiştirme gerekliliği, geminin kıça trimli tasarımılamak (süzdürme

deliklerinin ve boruların yerleri gibi) ve kötü hava şartlarındaki geminin kontrolü pratik zorluklardan bazılarıdır (Armstrong, 2013).

3.2 Tekne ve Pervane Kondisyon Yönetimi (TPKY)

Pürüzlülük fiziksel ve biyolojik sebeplerden kaynaklanmaktadır. (Şekil 3.3) Fiziksel pürüzlülük tekne kaplamasının hasarlanmasından, kaplama hatalarından (soyulma, kabarma ve çatlama gibi) veya kaplamanın yanlış uygulanmasından meydana gelmektedir (ABS, 2013). Biyolojik pürüzlülük ise mikro büyüklükteki canlıların gemi yüzeyine yerleşerek burada kompozit bir tabaka oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Biyolojik kirlenme gemilerin toplam direncinin %80-90 kadarını teşkil eden sürtünme direncini artırmaktadır (Lackenby, 1962). Gemi üzerindeki oluşan kirlenme makine gücünü artıracığından yakıt tüketiminde de belirgin artışlara neden olmaktadır (Korkut ve Atlar, 2012). Milne (1990) çeşidi ne olursa olsun uygulanacak kirlenme önleyici (antifouling) boya teknolojilerinin yakıt tüketiminde % 40 azalmaya neden olduğunu belirtti.



Şekil 3.3 : Mikro boyutlu canlıların gemi yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük örnekleri (Casse ve Swain, 2006).

Geminin seyir bölgesine ve operasyonel profiline göre kirlilik miktarı değişmektedir. Gemi bordasının ve pervanesinin kirlenmesi genellikle durgun sularda görülmektedir. Özellikle liman bölgelerindeki beklemeler kirlenmeyi ve sedimentleri artırmaktadır. Geminin limanda 4 hafta kalması sonunda tekne direnci %20 artmış, hızı yaklaşık 0.9 knot azalmış ve günlük yakıt kullanımını 8 ton artırmıştır (Munk, 2009). Aksine, geminin yeterli hıza sahip olması ise yüzeyin yıkanmasına neden olmaktadır.

3.2.1 Tekne kondisyon yönetimi (TKY)

Gemi teknesi sürekli deniz suyuna maruz kaldığından dolayı denizde bulunan mikro organizmalar gemi bordasına zarar vermekte ve aşındırıcı etki oluşturmaktadır. Bütün gemiler kirlenme önleyici (antifouling) boya teknolojileri uygulamalarına ve düzenli

olarak yapılan tekne temizliğine rağmen biyolojik kirliliğin olumsuz etkisi altında kalmaktadır. Biyolojik kirliliği etkileyen faktörler aşağıda belirtilmektedir (Akpınar, 2014):

- Geminin tasarım ve yapısı,
- Geminin seyir yaptığı bölgeler,
- Geminin seyir ve demir süreleri,
- Düzenli bakım aralıkları ile birlikte kirlilik önleyici sistemleri ve boyalarının uygulama biçimleri.

Yapılan çalışmalar neticesinde kirlilik önleyici sistemleri kullanmayan gemilerde 6 aydan daha kısa bir süre içerisinde metrekare başına 150 kg kirlenme olduğu gözlemlenmiştir. Gemilerde kirlilik önleyici sistemlerin kullanılması doğrudan yakıt tüketimini etkilemekte, gemilerin havuzda geçirdikleri süreyi ve periyodunu azaltmaktadır (Eliasson, 2012).

Gemi tekne pürüzlülüğünün oluşumunu önlemek için uygun boya seçimi, boya kalitesinin geliştirilmesi, katodik korumanın kullanılması ve deniz canlılarının temizlenmesi hususları uygulanmalıdır (Wua ve diğ., 2011). Bu anlamda periyodik olarak geminin havuzlanması, fiziksel ve biyolojik nedenlerden ötürü oluşan kirliliğin temizlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Geminin performansına göre havuzlama dönemlerine karar verilmesi için düzenli olarak su altı sürveyi yaptırılmalıdır. Bu sürveyler geminin bordasında oluşabilecek kalıntılar ve antifouling sistemlerinin çalışıp çalışmadığı konusunda da bilgi verecektir. Havuz bakımlarının düzenli aralıklarla gerçekleştirilmesi ve dip temizliğinin uygun teknoloji kullanılarak yapılması ile % 7'e kadar enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Wua ve diğ., 2011).

3.2.2 Pervane kondisyon yönetimi (PKY)

Seyir boyunca geçen zaman sürecinde gövde üzerinde meydana gelen biyolojik pürüzlülük ile birlikte pervane yüzeyinde de bazı pürüzlülükler gözlemlenmektedir. Özellikle pervanenin keskin bölümlerinde oldukça fazla miktarda pürüzlülük oluşumu görülmesi muhtemeldir. Sürekli deniz suyu ile temasta bulunan pervane kanatları, mikro organik canlıların yapışması ve kavitasyon sonucunda yakıt tüketiminin yaklaşık olarak % 6 artmasına neden olan yüzey pürüzlülüğü oluşturmaktadır (ABS, 2013). Pervane temizliği yapılırken kaplamayı aşırı püskürtme veya parlatmanın sert

uygulanması gibi uygun olmayan pervane bakımı da yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır. Temizlik esnasında sert aşındırıcılar kullanılması iyi bir yüzey temizliği sağlamasına rağmen pürüzlülüğe neden olabilir. Pervanede meydana gelebilecek pürüzlülüğü önleyebilmek amacıyla sık aralıklarla ve yüzeysel olarak temizlik yapılması gerekmektedir.

3.3 Makine Yönetimi (MY)

3.3.1 Ana makine yönetimi (AMY)

Ana makine üreticisinin tavsiyelerinde yer alan devir değerlerine uyulması yakıt tasarrufu açısından etkili uygulamadır. Geminin devamlı olarak kullanabileceği maksimum makine gücü (maximum continuous rating (MCR) güvenlik marjini dikkate alınarak (deniz ve makine marjini) ticari servis süresi boyunca karşılaştığı farklı koşulların oluşturduğu dirençleri karşılayabilecek şekilde hesaplanmaktadır. Ana makinenin %75-%90 MCR aralığında çalıştırılması (Theotokatos ve Tzelepis, 2013) ve gemi hızının ayarlanması için makine gücünün sürekli değiştirilmesi yerine sabit devirde kullanılması özgül yakıt tüketimini düşürecektir. Optimum şaft gücünün sağlanması %4 oranında enerji tasarrufu sağlayarak enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır (Talay ve diğ., 2013).

Makinanın düzenli bakım tutumu ve zamanında yapılan onarımları ile verimli kullanımı mümkündür (Ballou, 2013). Makine üretici standartlarının gerektirdiği ölçüde performans testleri belirli aralıklarla gerçekleştirilmelidir. Makine performans parametrelerini gerçek zamanlı olarak algılayan ve performansını kontrol eden ve ayrıca bakım ve performans konularından kaynaklanan sorunları teşhis eden ve çözülmesinde yardımcı sistemler de kullanılmaktadır (Armstrong, 2013). (Şekil 3.4)

Overall Engine Condition

Summary	Previous Report								Current Report							
	Eng.	Cylinders							Eng.	Cylinders						
		1	2	3	4	5	6	7	1	1	2	3	4	5	6	7
Overall																
Performance																
Fuel Oil																
Scavenge Air																
Combustion																
Wear																
Water																
System Oil																
CLO Feed																

Green - Normal Yellow - Caution Red - Action Required

Şekil 3.4 : Rapor görüntüsü (Armstrong, 2013).

Ana makinanın 'tuning' ayarı ile aşırı durumlarda bile yakıt tasarrufu %1 kadardır (IMO, 2009a). Ayrıca, silindir basıncının bir bar artması yakıt tüketiminin yaklaşık olarak 0.1-0.2 g/kWh azalmasına neden olmaktadır (Armstrong, 2013). Makinenin performans testleri ve bakım tutumu üretici standartları doğrultusunda yapılmalıdır.

3.3.2 Yardımcı makine yönetimi (YMY)

Her türlü hava ve deniz koşullarında ve limanlarda gemilerin normal çalışma düzenini sürdüren makineler "Gemi yardımcı makineleri" adı verilmektedir. Gemi yardımcı makineleri ana makine yardımcıları (ısı değiştirgeçleri gibi) ve güverte yardımcıları (gemilerin yükleme ve boşaltmasında kullanılan vinçler, kreynler, demir ve halat ırgatları, filika mataforaları ya da filika vinçleri, itici römorkörlerin itme (tov) makineleri, dümen makineleri ile dümen donanımları gibi) olmak üzere iki bölüme ayrılırlar (Molland, 2008). Yardımcı makinelerin performans testleri ve bakım tutumları üretici standartları doğrultusunda ve geminin planlı bakım tutum sisteminde belirtilen aralığına uygun olarak yapılmalıdır.

3.3.3 Kazan yönetimi (KY)

Kazan; ısı değiştirici, tank ısıtma devreleri, sıcak su ve klima sistemleri gibi çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan buharı üreten sistemdir. Kazanların performans testleri ve bakım tutumları üretici standartları doğrultusunda ve geminin planlı bakım tutum sisteminde belirtilen aralığına uygun olarak yapılmalıdır.

3.4 Yakıt Yönetimi (YY)

Gemi işletmeleri yakıt fiyatlarının artmasının getirdiği güçlükle mücadele için yakıt yönetimi uygulamaktadırlar. Yakıt yönetimi, kullanılan yakıtın ucuz olması ve doğru miktarda yakıt sipariş edilmesini kapsamaktadır.

Gemiler için çeşitli kategori ve sınıflarda yakıtlar bulunmaktadır. Yakıtlar Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO) protokolü ISO 8217 (E) tarafından ‘akmazlık’ ve ‘yoğunluk’ özelliklerine dayanarak sınıflandırılmaktadır. Çevresel nedenlerden ötürü salınının azaltılması geleneksel yüksek kükürtlü yakıt yerine düşük kükürt içeriği olan yakıt kullanımını gerektirmektedir (Ma ve diğ., 2012; Yang ve diğ., 2012). Ancak, yüksek ve düşük kükürtlü yakıtlar arasındaki büyük fiyat farkı denizcilik şirketleri tarafından alınan operasyonel ve uygunluk kararları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Schinas, 2013). Yakıt fiyatlarının artışı denizcilik şirketlerini ucuz alternatiflere yöneltmektedir. Düşük maliyetli ve yüksek viskoziteye sahip yakıtlar kullanım zorluklara rağmen ekonomik nedenlerden ötürü tercih edilmektedirler (Notteboom ve Vernimmen, 2009).

Enerji verimliliğini sağlamak için uygun yakıt türünün belirlenmesinin yanı sıra, optimum miktarda yakıt siparişinde bulunmak ta önemlidir. Gemiler, yakıt yönetimi stratejisi kapsamında yeterli miktarda yakıt siparişinde bulunabilmek amacıyla öğlen raporu, aylık raporlar veya seferlik raporlar gibi belirli zaman aralıklarında tüketilen yakıt miktarını ölçerler ve kayıt altına alırlar. Bu aynı zamanda denizcilik şirketlerinin filo maliyetlerinin, toplam CO₂ salınımlarının ve gemilerin enerji performanslarının karşılaştırılmaları için olanak sağlamaktadır.

3.5 Sistem Enerji Yönetimi (SEY)

Gemilerde ana güç kaynağından başka ayrıca mekanik ve elektrik sistemleri de kullanılmaktadır. Soğutma-su pompaları, havalandırma fanları, kontrol ve seyir sistemleri gibi çeşitli yardımcı sistemlerin kullanılması için elektrik gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ticaret gemisinde manevra esnasında kullanılan baş iter kış iter gibi enine çalışan pervaneler için önemli bir güç gerekmektedir. Bazı gemilerde ise yükleme ve boşaltma sırasında yüksek güç gerektiren yük donanımları bulunmaktadır. Soğutulmuş veya dondurulmuş yüklerde yükün özelliği gereği soğutmaya ihtiyaç

duyulurken ham petroller, ağır fuel oil, bitüm gibi bazı yükler için ise de ısıtma gerekmektedir.

Gemi sistemlerinin daha bilinçli ve optimum çalışma yönünde kullanılması ile gemide enerji tüketimini azaltmak genellikle mümkündür. Aşağıda alınması gereken bazı önlemler bulunmaktadır (ABS, 2013):

- Gereksiz enerji tüketiminden kaçınma;
- Elektrik jeneratörlerinin paralel çalışmasından kaçınma;
- Buhar tesisi optimizasyonu (tankerler);
- Yakıt temizleyici/ayırıcı optimizasyonu;
- Isı, havalandırma ve klima işlemlerinin optimize edilmesi;
- Ekonomizer ve diğer ısı değiştiricilerin temizliği;
- Sıkıştırılmış hava ve buhar sistemlerindeki sızıntıların tespiti ve bakımı

Ayrıca, otomatik sıcaklık kontrolü, akış kontrolü (pompa ve fanlar için otomatik hız kontrolü), otomatik ışık, vb gibi otomasyon ve süreç kontrol geliştirmeleri enerji tasarrufuna yardımcı olabilecek çeşitli uygulamalardır. Gemi sistem yönetimi ile % 10'luk bir tasarruf toplam yakıt tüketiminin % 1-2 azalmasına neden olmaktadır (IMO, 2009a).

3.6 Enerji Farkındalığını Artırma (EFA)

Gemilerde enerji verimliliğini geliştirmek ve yakıt tasarrufunu artırmak için çeşitli operasyonel önlemler olsa da bunların gerçekleşmesi birçok tarafın işbirliğini gerektirmektedir. Operasyonel işlem diğer işlemler ile entegre halinde olduğu için birden çok kişinin işbirliği halinde karar verme ve stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Aşağıda gemi enerji verimliliğinde rol oynayan taraflar açıklanmıştır:

Gemi sahibi: Gemi sahibi yatırım ve işletme maliyetleri gibi tüm etkenleri göz önünde bulundurarak enerji verimliliği açısından uygulanabilecek yeni teknolojiler ve teknik önlemler için optimum karar vermelidir. Ancak bu donanımların mevcut gemilere uygulanması genellikle çok güç olduğundan mevcut gemiler için operasyonel verimliliğinin artırılması ile enerjiden tasarruf etmek mümkündür. Gemi sahibi gemilerin performanslarını değerlendirmek amacıyla bakım tutum, yedek parça,

tersane zamanları ve personel yönetimi gibi konuları düzenlemektedir. Ayrıca geminin operasyonel işlemlerinde gemiye teknik destek vermektedir.

Gemi işletmesi: Geminin işletilmesi gemi sahibi tarafından olabileceği gibi gemiyi ticari amaçla kullanmak üzere kiralayan charter tarafından da gerçekleştirilebilir. Gemi charter anlaşması ile işletiliyor ise genellikle charterer geminin yakıtını ve liman masraflarını karşılamaktadır. Bu nedenle, sefer bilgileri (yük bilgisi, tahmini varış zamanı (ETA) ve sefer planlama gibi) charterera aktarılır.

Gemi: Gemi operasyonel önlemleri SEEMP kapsamında uygulamaya geçiren taraftır. Gemideki görev dağılımına göre her bir gemiadamı enerji verimliliği hususunda uzmanlığı dahilinde katkıda bulunacaktır. Gemi personelinin enerji farkındalığını artırmak için şirket ve gemi kaptanı tarafından eğitimler uygulanmalıdır.

Seferin planlanması, optimum hava rotalama, trim, otopilot kullanımı, kargo ve balast operasyonları gibi birçok konuda gemi personeli geminin optimum operasyonundan sorumludur. Ancak tüm bunların gerçekleşmesinde gemi işletmecisi ve diğer tarafların da üzerlerine görev düşmektedir.

Diğer taraflar: Yük sahibi, gemi acentesi, liman otoritesi, broker, hava rotalama şirketleri diğer ilgili taraflardır.

Taraflardan bir tanesinin neden olduğu aksaklık diğer tüm birimleri etkilemektedir. Dolayısıyla bu durumun farkındalığı tüm taraflar için önem oluşturmaktadır. Kişilerde ve departmanlarda enerji verimliliği farkındalığı sağlanması için organizasyon ve çalışanlar arasında enerji koruma kültürü aşılanmalı ve operasyonel önlemlerin etkili ve sürekli uygulanabilmesi için tüm tarafların gerekli eğitimler ile bilinçlendirilmesi gereklidir. Bunun sağlanması için insan kaynaklarının geliştirilmesi, planlama ve uygulamanın önemli bir unsur olduğu kabul edilmelidir.

4. KULLANILACAK YÖNTEMLER

Bu bölümde tez çalışması kapsamında uygulanacak yöntemler detaylı olarak tanıtılacaktır.

4.1 Bulanık Mantık Temelli Çok Kriterli Karar Verme

4.1.1 Çok kriterli karar verme

Karar vericiler doğru ve güvenilir verilere ve tahminlere ihtiyaç duyarlar. Bilimsel yaklaşımların karar verme sürecine dâhil edilmesi kararların daha güvenilir olmasını ve öznellikten uzaklaşmasını sağlamaktadır. Bir seçimi yaparken alternatifler kümesinden en uygun alternatifi seçmek karar vericiler için zor olabilmektedir. Karar verme, alternatifler arasından hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde en uygun bir veya birkaçını seçme sürecidir. Çelişen ve çok sayıda ölçüt olduğu durumlarda geleneksel seçim prosedürleri gerçekçi bir çözüm sunmayacağından, çok kriterli karar verme yöntemleri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır (Soner ve Önüt, 2006).

Çok kriterli karar verme, karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda seçenekten oluşan bir küme içinde seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla iki veya daha çok ölçüte dayalı değerlendirme işlemidir (Yoon ve Hwang; 1995).

Çok kriterli karar verme problemleri ile ilgili bazı temel kavramları şöyle tanımlayabiliriz (Chen ve Hwang; 1992):

- Alternatifler: Karar vericiye sunulan sonlu sayıdaki alternatifler karar vermede ele alınan ve sonunda seçilen seçeneklerdir.
- Kriterler: Kriterler alternatifleri değerlendirmek amacıyla kullanılan alternatiflerin özellikleridir. Kriterler ele alınan probleme bağlı olarak birkaç tane veya çok daha fazla sayıda olabilirler. Kriterlerin fazla olduğu pek çok problemde kriterler hiyerarşik yapı ile ifade edilebilirler. Bazı kriterler ana kriter özelliğini taşıırken,

diğerleri ana kriterlerin alt kriterleri, hatta alt kriterlerin de alt kriterleri şeklinde ifade edilmektedir.

- Kriterler arasında çelişki: Çok kriterli karar verme problemlerinde genellikle kriterler birbirleri ile çelişmektedir.
- Karar Ağırlıkları: Karar ağırlıkları her bir kriterin göreceli önemlerini göstermek için kullanılmaktadır. Ağırlıklar karar verici tarafından doğrudan verilebileceği gibi özvektör veya ağırlıklandırılmış en küçük kareler gibi yöntemlerle de hesaplanabilir.
- Karar Matrisi: Çok kriterli karar verme problemi matris formatında ifade edilebilmektedir.

4.1.2 Bulanık mantık

Bulanık mantık kavramı ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh (1965) bilgi kaynaklarının tümünün insanlar tarafından aynı anda ve etkileşimli olarak kavranamadığı ve bunlardan kesin sonuçlar çıkarılamadığından ötürü gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. Bilgi kaynakları temel ve kesin bilgiler dışında sözel olan bilgileri de içermektedir. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel olarak ifade edebildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez (Şen, 2004).

Bulanık mantık özellikle anlaşılması güç ve yoruma dayanan çok karmaşık ve yeterli bilginin bulunmadığı durumlarda, kişilerin görüş ve yargılarına veya karar verme olgusuna dayanan süreçlerde faydalıdır.

Bulanık mantık, ‘sadece doğru’ ve ‘sadece yanlış’ doğruluk değerlerinden (0, 1 mantığı) oluşan klasik mantığın genelleştirilmiş hali olup ‘kısmen doğru’ kavramını da karşılayan bir üst kümedir. Bu özellik sayesinde, bulanık mantık insan düşünce sistemini klasik doğru-yanlış mantığına göre daha iyi modelleyebilir ve insanın tecrübelerini sayısal ifadelerle çok daha doğru şekilde dönüştürebilir (Semerci ve diğerleri, 2003). Bulanık mantığın genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004):

- Bulanık mantıkta kesin değerler yerine yaklaşık değerlere dayanan düşünme kullanılır.

- Bulanık mantıkta her şey 0 ile 1 arasında belirli bir değer ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık sayısal modeli güç elde edilen sistemler için uygundur.

4.1.3 Bulanık küme

Gerçek dünyadaki belirsizliklerden ötürü birçok durumun kesin tanımını yapmak mümkün değildir. İnsan yargısına özdeş işlemlerin gerçekleştirmesini sağlamak amacıyla Bulanık Küme Teorisi geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Bu teori, kesin olmayan ve bulanık bilgiyi ifade etmek için esneklik sağlamakta ve insanların tutarlı ve doğru kararlar vermeleri için düşünme ve karar verme mekanizmalarını modellemeyi amaçlamaktadır.

Klasik sistem kuramının sayısal yöntemleri gerçek dünyadaki özellikle insanları içeren karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kaldığından, Zadeh tarafından (1965) önerilen bulanık küme ile evrendeki bütün bireylere 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesi atanarak üyelik fonksiyonu ile matematiksel olarak tanımlanır.

4.1.4 Bulanık sayılar

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık sayılar 0 ile 1 aralığında değer alan $\mu_M(x)$ ile gösterilen üyelik fonksiyonları kullanılarak tanımlanır.

$\mu_M(x) = 0$ ise x sayısı kümenin elemanı değildir. $\mu_M(x) = 1$ ise x sayısı kesinlikle kümenin elemanıdır. Diğer durumlarda x'in kümede olması bulanık olarak tanımlanmıştır. Bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu 1'e yaklaştıkça artan, uzaklaştıkça azalan bir özelliktir.

Pratik uygulamalarda en sık üçgensel bulanık sayılara rastlanmaktadır.

4.1.4.1 Üçgensel bulanık sayılar

L Bir üçgen bulanık sayı, üç tane gerçek sayı doğrultusunda tanımlanmış olup genelde genelde $(l|m,m|u)$ veya (l,m,u) şeklinde ifade edilir (Kahraman ve diğerleri, 2004). Burada $l \leq m \leq u$ dır ve sırasıyla en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri göstermektedir (Ghazikalayeh ve diğerleri, 2013).

$\tilde{M} = (l, m, u)$ şeklindeki bir üçgensel bulanık sayı aşağıdaki üyelik fonksiyonuyla parametrik olarak ifade edilir.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (4.1)$$

Burada, m parametresi üyelik derecesinin 1'e eşit olduğu noktayı verir ve mod değeri olarak yorumlanır. l ve u parametreleri ise, üçgensel bulanık bir sayının kanat açıklıklarını veya üyelik derecesinin sıfır olduğu noktaları gösterir.

Gerçek sayılarla yapılan matematiksel işlemler üçgensel bulanık sayılarla da yapılabilir. $\tilde{M} = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayı olup, bu iki üçgensel bulanık sayı üzerindeki bazı temel aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir (Gani, 2012):

Matematiksel olarak toplama işlemi $(l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir üçgensel sayıdır.

Matematiksel olarak çıkartma işlemi $(l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir üçgensel sayıdır.

Matematiksel olarak çarpma işlemi $(l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir üçgensel sayıdır.

Matematiksel olarak bölme işlemi $\tilde{M}_1^{-1} = (\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1})$ şeklinde ifade edilir ve sonuç yine bir üçgensel sayıdır.

Bu işlemlerin her birinin bir sayısal değeri vardır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de üçlü bulanık sayı değerleri; üçgensel bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları yer almaktadır.

Çizelge 4.1 : Üçlü bulanık sayı değerleri (Kahraman ve diğerleri, 2004).

Durum	Üçlü Bulanık Sayılar
Satırdaki ölçüt sütundakine göre kesinlikle daha önemli	(7/2, 4, 9/2)
Satırdaki ölçüt sütundakine göre daha önemli	(5/2, 3, 7/2)
Satırdaki ölçüt sütundakine göre önemli	(3/2, 2, 5/2)
Sütundaki ölçüt satırdakine göre az öneme sahip	(2/3, 1, 3/2)
Eşit öneme sahip	(1, 1, 1)
Sütundaki ölçüt satırdakine göre az öneme sahip	(2/3, 1, 3/2)
Sütundaki ölçüt satırdakine göre önemli	(2/5, 1/2, 2/3)
Sütundaki ölçüt satırdakine göre daha önemli	(2/7, 1/3, 2/5)
Sütundaki ölçüt satırdakine göre kesinlikle daha önemli	(2/9, 1/4, 2/7)

Çizelge 4.2 : Üçgensel bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları (Chen, 1996).

Üçgensel Bulanık Sayılar	Üyelik Fonksiyonları
$\tilde{1}$	(1,1,2)
$\tilde{2}$	(1,2,3)
$\tilde{3}$	(2,3,4)
$\tilde{4}$	(3,4,5)
$\tilde{5}$	(4,5,6)
$\tilde{6}$	(5,6,7)
$\tilde{7}$	(6,7,8)
$\tilde{8}$	(7,8,9)
$\tilde{9}$	(8,9,9)

4.1.5 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS)

Yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan BAHS, ‘bulanık ilişki’ ve ‘ikili karşılaştırma’ kavramlarının birleşmesiyle ortaya çıkmıştır. Geleneksel AHS tekniği belirsizlik durumunda karar vermeye tam uygun olmadığından yerine alternatif olarak sunulmuştur. BAHS tekniğinde bütün alternatiflerin öznel ve nesnel kriterlere göre değerlendirilmesi amacıyla genellikle bulanık sayılar ile karakterize edilen dilsel değerler kullanılmaktadır (Ming ve diğerleri, 2006).

Yazında, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen birçok BAHS yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, bulanık küme teorisini kullanarak alternatif seçimine ve gerekçe sistematik bir yaklaşım getirmişlerdir. Karar vericiler, karşılaştırma yönteminin bulanık doğasından ötürü genellikle aralık değerlendirmelerini daha güvenli bulmaktadırlar (Çiftli, 2006). Çizelge 4.3’de yazında çeşitli yazarlar tarafından

ileri sürülen BAHS yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Bu tez çalışmasında Chang'ın Genişletilmiş Bulanık AHS Yöntemi kullanıldığı için bu yöntem detaylarıyla açıklanmıştır.

Çizelge 4.3 : BAHS yöntemlerinin karşılaştırılması (Büyüközkan ve diğerleri, 2004).

Kaynaklar	Yöntemin Temel Özellikleri	Avantajları	Dezavantajları
Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)	1. Saaty'nin AHS yöntemi üçgensel bulanık sayılarla doğrudan uygulanır. 2. Bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını elde etmek için Lootsma'nın logaritmik en küçük kareler yöntemi kullanılır.	Karşılık matriste birden çok karar vericinin fikirleri modellenenmektedir.	1. Lineer denklemlerin her zaman çözümü yoktur 2. Küçük bir problem için bile çok fazla hesaplama gerektirmektedir. 3. Sadece üçgensel bulanık sayılar kullanılabilir.
Buckley (1985)	1. Saaty'nin AHS yöntemi, yamuk bulanık sayılarla doğrudan uygulanır. 2. Bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılır.	1. Bulanık uyarlaması kolaydır. 2. Karşılık kıyaslama matrisi için tek bir çözüm garanti eder.	Çok fazla hesaplama gerektirmektedir.
Boender ve diğerleri (1989)	1. Laarhoven ve Pedrycz yönteminin geliştirilmişidir. 2. Yerel önceliklerin normalize edilmesi için daha sağlam bir yaklaşım sunulur.	Birden çok karar vericinin fikirleri modellenenmektedir.	Çok fazla hesaplama gerektirmektedir.
Chang (1996)	1. Sentetik derece değerleri 2. Basit seviye sıralaması 3. Birleşik toplam sıralama	1. Hesaplama gereksinimi diğer yöntemlere göre azdır. 2. Klasik AHS yönteminin adımları takip edilir, ek bir işlem gerektirmez.	Sadece üçgensel bulanık sayılar kullanılabilir.
Cheng (1996)	1. Bulanık standartlar geliştirir. 2. Performans puanları üyelik fonksiyonları ile gösterilir. 3. Birleşik ağırlıkları hesaplamak için entropi kullanılır.	Hesaplama gereksinimi çok değildir.	Entropi olasılık dağılımı bilindiği zaman kullanılır. Yöntem olasılık/olabilirlik ölçülerine dayanmaktadır.

4.1.5.1 Chang'ın genişletilmiş BAHS yöntemi

Chang'ın Genişletilmiş BAHS Yöntemi kullanım kolaylığı ve adımların klasik AHS tekniğine yakın olması nedeniyle uygulamada da en çok tercih edilen tekniklerden biridir. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ nesneler kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ bir amaç kümesi olsun. Chang'ın genişletilmiş analiz yöntemine göre, her bir nesne ele alınarak her hedef için gi değerleri oluşturulur. Böylece, her bir nesne için m tane genişletilmiş analiz değerleri elde edilir. Bu değerler $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$, $i=1, 2, \dots, n$, şekilde gösterilir.

Burada verilen tüm $M_{g_i}^j$ ($j= 1,2, \dots, m$) parametreleri olarak ifade edilen üçgen bulanık sayıları göstermektedir. Chang'ın genişletilmiş BAHS adımları şu şekildedir (Chang, 1996):

Adım 1: i. nesneye göre bulanık sentetik değeri,

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4.2)$$

Burada ifade edilen $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için m boyut analiz değerine aşağıda görüldüğü gibi bulanık toplama işlemi uygulanır;

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4.4)$$

Birinci adımın sonunda yukarıdaki vektörün tersi şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4.5)$$

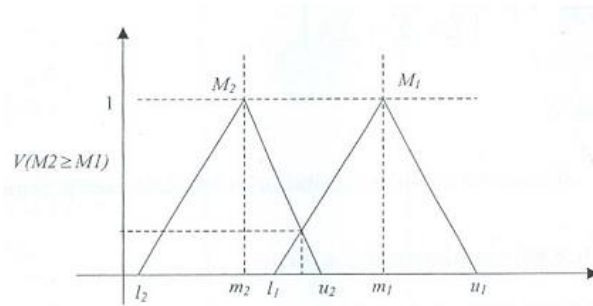
Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olayının olabilirlik derecesi şu şekilde ifade edilmektedir (Kahraman ve diğerleri, 2004):

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \lfloor \min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \rfloor \quad (4.6)$$

Aşağıdaki şekilde de açıklamak mümkündür:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1, \\ 0, & l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer,} \end{cases} \quad (4.7)$$

Şekil 4.1’de $V(M_2 \geq M_1)$; d, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasında yer alan ve en yüksek kesişim noktası olarak bilinen d’nin ordinatı yer almaktadır.



Şekil 4.1 : M_1 ve M_2 değerlerinin kesişimi.

M_1 ve M_2 'yi kıyaslayabilmek için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin her ikisi de gerekmektedir.

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) olmak üzere k tane konveks sayıdan büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde gösterilmektedir;

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k. \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad k=1,2,\dots,n; \quad k \neq i \quad (4.9)$$

olduğu zaman A_i ($i=1, 2, \dots, n$) olarak gösterilen ağırlık vektörü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (4.10)$$

Adım 4: Normalizasyon ile normalize edilmiş ağırlık vektörü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (4.11)$$

Burada tanımlanan W , bulanık olmayan bir sayıyı tanımlamaktadır.

4.2 İstatistiksel Yöntemler

4.2.1 Serpilme grafiği

Serpilme grafikleri, iki farklı değişken arasında ilişki olup olmadığının belirlenmesi için kullanılan bir analiz aracıdır. İncelenen iki değişken arasında bağıntı olup olmadığına karar vermek, bir neden-sonuç ilişkisi olabileceğini (yada neden-sonuç ilişkisi olmadığını) göstermek için kullanılan grafiksel bir araçtır (Juran ve Godfrey, 1999).

Değişkenlerden birinin diğeri ile ne derece ilişkili olduğunu belirleyebilmek için değişkenlerden birisini değiştirerek diğeriindeki değişimi gözlemek amacıyla serpilme grafikleri kullanılmaktadır (Yücel, 2007). Serpilme grafiği, problemin en önemli nedenlerini ortaya çıkarmada, iki faktör ya da parametre (neden ve etki) arasındaki ilişkinin derecesini veya boyutunu belirlemek için kullanılan tekniktir. İlişkinin derecesi bağıntı katsayısı (r) ile hesaplanır ve -1 ile +1 arasında değerler alır.

4.2.2 Pearson bağıntı analizi

Pearson Bağıntı Analizi, iki sürekli değişken arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını ve ilişkisinin derecesini tespit etmek için kullanılmaktadır. Pearson bağıntı katsayısı (r) ile gösterilir. r , $-1 \leq r \leq +1$ aralığında değişim göstermekte olup; -1 ile 0 arasındaki değerler ($-1 \leq r < 0$) negatif ilişkiyi, 0 ile +1 arasındaki değerler

($0 < r \leq +1$) pozitif ilişkiyi belirtir. $r = -1$ tam negatif ilişkiyi, $r = 0$ bağımsızlığı (ilişkisiz) ve $r = +1$ pozitif tam ilişkiyi ifade eder (Özdamar, 2011).

Pearson bağıntı katsayısının değeri ve bu değerin ifade ettiği sonuç ile ilgili olarak aşağıdaki tanımlamalar yapılmaktadır. “ r ” Pearson bağıntı katsayısı olmak üzere;

- $r = 0.00 - 0.25$ (Çok zayıf düzeyde ilişki)
- $r = 0.26 - 0.9$ (Zayıf düzeyde ilişki)
- $r = 0.50 - 0.69$ (Orta düzeyde ilişki)
- $r = 0.70 - 0.89$ (Yüksek ilişki)
- $r = 0.90 - 1.00$ (Çok yüksek ilişki)

4.2.3 Regresyon analizi

Regresyon, istatistikte iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkinin modellenmesinde kullanılan bir tekniktir. Regresyon analizinde bağımlı değişken (açıklanan değişken, cevap değişkeni) ile bağımsız değişken veya değişkenler (açıklayıcı değişkenler) arasında kurulan modeldeki parametreleri tahmin ederek, bağımsız değişkenlerin bilinen değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmektir. Yani bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki yapısını belirlemektir.

Y bağımlı değişkenini etkileyen n tane bağımsız değişken $X_1, X_2, \dots, X_n$ olmak üzere çoklu regresyon modeli,

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad (4.12)$$

olarak tanımlanır. Burada a_0 ve a_j ($j=1, \dots, n$) parametreleri, X_i ($i \neq j$) bağımsız değişkenleri sabit tutulduğunda X_j 'deki bir birimlik değişiminin Y bağımlı değişkeni üzerindeki beklenen değişim miktarını veren regresyon katsayıları ve ε hata terimidir. Model tahmininde amaç ε hata terimini minimum yapacak şekilde a_0 ve a_j katsayılarını tahmin etmektir.

4.3 Yapay Sinir Ağları

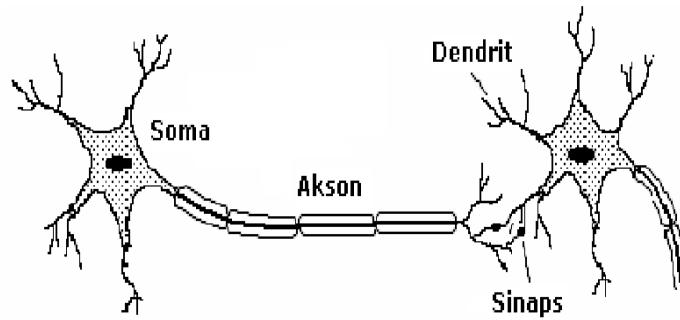
İlk olarak Tuning tarafından 1948 yılında ortaya atılan YSA kavramı, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklinin simüle edilmesiyle oluşturulan programlama

yaklaşımıdır (Chua ve Yang, 1988a,1988b). Yapay sinir ağları (YSA) kavramı, bilgisayarların görsel imgelerdeki şekilleri kavrama, önceki tecrübelerle dayanarak yeni şeyler öğrenme ve karmaşık problemlerin çözümleri gibi konularda insan beyninden geri kalmasından ötürü araştırmacıların insan beynini bilgisayar ortamında modellemesiyle ortaya çıkmıştır (Freeman ve Skapura, 1991). Geliştirilen yapay sinir ağları modelleri çözümsüz veya karmaşık olan problemlerin çözümünü hedeflemekte ve büyük kısmını çözmektedir (Fausett, 1994).

Yapay sinir ağları; geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilmesi oldukça güç veya mümkün olmayan problemler için geliştirilmiş adaptif bilgi işlemeye dayanan bir bilim dalıdır. İnsan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile bilgi üretebilme ve oluşturabilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştiren bilgi sistemleridir (Öztemel, 2003). Diğer bir tanıma göre yapay sinir ağları; insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır (Elmas,2003).

4.3.1 Biyolojik sinir hücreleri

İnsan beyni, biyolojik sinir ağlarının temel elemanları olan yaklaşık 10 milyar biyolojik sinir hücresinden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de nöron olarak da adlandırılan biyolojik sinir hücresinin temel elemanları olan hücre gövdesi, dendrit ve akson görülmektedir.



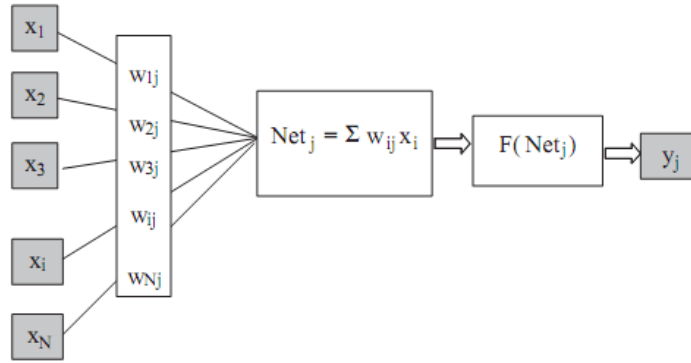
Şekil 4.2 : Biyolojik sinir hücre yapısı (Fausett, 1994).

Dendritler ağaç yapısına benzer ince bağlantılarla diğer sinir hücrelerinden aldığı bilgileri hücre gövdesine taşır. Hücre gövdesinde giren işaretler değerlendirilerek diğer sinir hücrelerine iletmek üzere bir çıkış bilgisi üretilir ve elektriksel darbeler şeklindeki bilgi akson adı verilen uzantılar aracılığıyla diğer sinir hücresine gönderilir. Bir hücrenin dendriti ile diğerinin aksonu arasındaki bağlantı yerine sinaps adı verilir.

Bu bağlantı yerinde sinirler birbirine bağlı olmayıp aralarında elektrokimyasal bir ilişki bulunmaktadır.

4.3.2 Yapay sinir hücreleri

Yapay sinir ağları biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi nöronların bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Nöronlar sinir ağlarını oluşturan çok basit işleve sahip işlemcilerdir. Bir nöron yapısı sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon fonksiyonundan oluşmaktadır. Nöron girdileri sinaptik bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, nöronun aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar hesaplanmaktadır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 : Yapay sinir hücresi (Nöron).

Aşağıda ağırlıklı toplamın oluşturulması, nöron çıkışının hesaplanması ve fonksiyonun uygulanması ile birimin çıkışı denklemleri verilmiştir.

$$u_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j + b_i \quad (4.13)$$

$$y_i = f(u_i) \quad (4.14)$$

Toplama fonksiyonu olarak değişik formüller kullanılmakta olup en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bir kural bulunmamaktadır. Genellikle deneme-yanılma yolu ile toplama fonksiyonu belirlenirken bazı durumlarda gelen girdilerin değeri bazı durumlarda ise gelen girdilerin sayısı dikkate alınmaktadır. Ayrıca, ağda bulunan tüm nöronların aynı toplama fonksiyonuna sahip olmaları gerekmemektedir (Öztemel, 2003).

4.3.3 Aktivasyon (Transfer) fonksiyonları

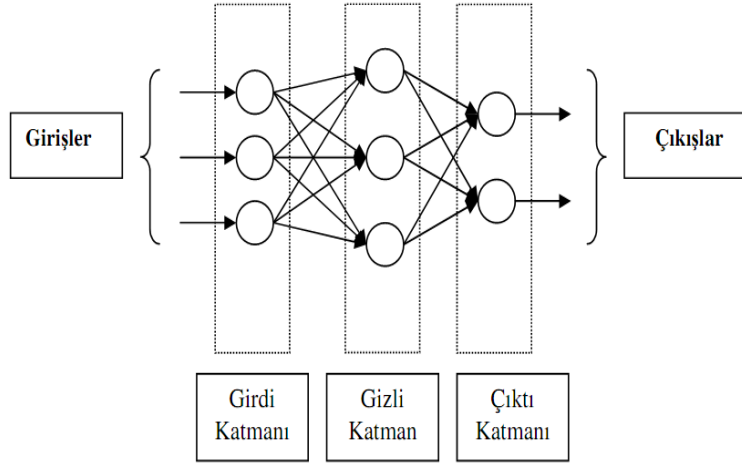
Nöron davranışını belirleyen önemli etmenlerden birisi nöronun aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon tamamen nöronun iç durumudur. Bu fonksiyon, nörona gelen net girdiyi işleyerek nöronun bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirlemektedir. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştirdiği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir (Öztemel, 2003). Yaygın olarak kullanılan üç farklı aktivasyon fonksiyonlarının denklemleri aşağıda verilmiştir:

- $\Psi_1(S) = 1/(1+e^{-S})$ (Sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonu)
- $\Psi_2(S) = (e^S - e^{-S}) / (e^S + e^{-S}) = \tanh(S)$ (Hiperbolik tanjant tipi aktivasyon fonksiyonu)
- $\Psi_3(S) = \{0 \quad S \leq 0; 1 \quad S > 0\}$ (Sert geçişli tipte aktivasyon fonksiyonu)

Uygulamalarda nöron cevabının, girdilerin sürekli bir fonksiyonu olmasını gerektiren durumlarda sigmoid veya hiperbolik tanjant tipi aktivasyon fonksiyonları kullanılırken, ikili karar mekanizması gerektiren durumlarda ise sert geçişli aktivasyon fonksiyonları tercih edilmektedir (Efe ve Kaynak, 2000).

4.3.4 Yapay sinir ağlarının yapısı

Bazı problemler tek bir yapay sinir hücresi kullanılarak çözülebilse de, genel olarak birçok problemin çözümünde daha fazla sayıda yapay sinir hücresi gerekmektedir. Bu tür problemlerin çözümü için bağlantılar aracılığıyla bir araya gelen yapay sinir hücreleri (nöronlar) yapay sinir ağını oluşturmaktadır. Şekil 4.4’de bir yapay sinir ağında birbirleri ile bağlantılı üç temel katman olan girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı görülmektedir.



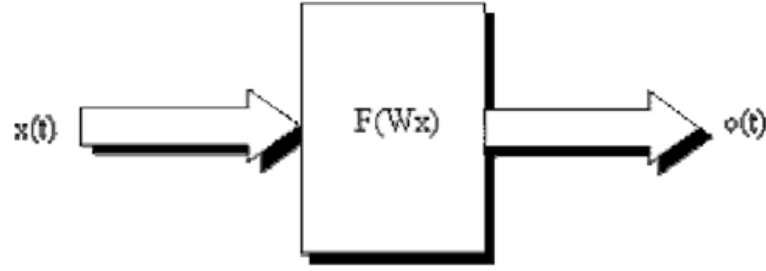
Şekil 4.4 : Örnek YSA modeli.

YSA’da bir sinir hücresi gelen girdileri çıktıya dönüştürecek şekilde çalışmaktadır. Girdi katmanından gelen girişler girdi katmanı ile gizli katman arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak gizli katmana aktarılmaktadır. Gizli katmandaki sinir hücresine gelen girişler gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıktı katmanına aktarılmaktadır. Çıktı katmanındaki sinir hücreleri de gelen bu girişleri toplayarak uygun bir çıkış oluşturmaktadır (Elmas, 2003). Bağlantıların ağırlık değerleri öğrenme sırasında belirlenmektedir.

Yapay sinir ağları, sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşmaktadır. Yapay sinir ağı yapısı sinirler arasındaki bağlantıların yönlerine göre veya ağ içindeki işaretlerin akış yönlerine göre birbirlerinden ayrılmaktadır. Buna göre, ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki temel ağ mimarisi bulunmaktadır.

4.3.4.1 İleri beslemeli sinir ağı

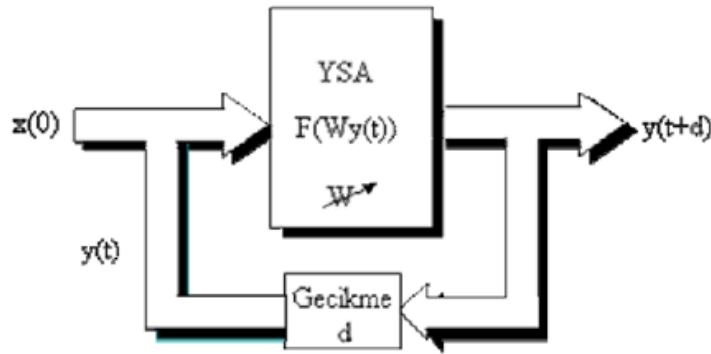
İleri beslemeli yapay sinir ağlarında hücreler genellikle katmanlara ayrılmıştır. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri tek yönlü bağlantılarla gizli katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmamaktadır (Haykin, 1994). Şekil 4.5’de ileri beslemeli ağ için blok grafik gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : İleri beslemeli yapay sinir ağının blok gösterimi (Çuhadar, 2006).

4.3.4.2 Geri beslemeli sinir ağı

Geri beslemeli sinir ağı ise, girişlerin hem ileri yöne hem geri yöne aktarılması ile bir hücrenin çıkışı kendisine veya diğer hücelere çıkış olarak verilmektedir Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Geri besleme, sadece bir katmandaki hücreler arasında olmayıp katmanlar arasındaki hücreler arasında da gerçekleşebilir. Şekil 4.6’da geri beslemeli ağ için blok grafik gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Geri beslemeli yapay sinir ağının blok gösterimi (Çuhadar, 2006).

4.3.5 Yapay sinir ağlarında öğrenme

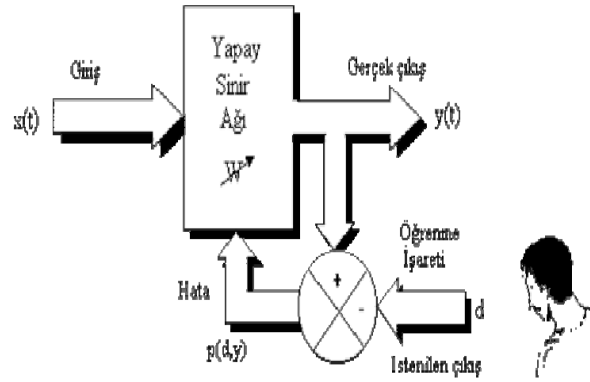
Yapay sinir ağlarında öğrenme, sistemin bilgiler ile donatılması (örneklerle) ile sağlanmaktadır. Sistem belli büyüklükte örnek almakta ve bu örneklerden bazı bilgilere ulaşmaktadır. Yapay sinir ağlarında öğrenme, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlık değerlerinin ayarlanması sürecidir. Başlangıçta rastgele olarak atanan ağırlık değerleri kendisine örnek gösterildikçe değerlerini değişmektedir. Bağlantı ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşana kadarki geçen zamana öğrenme adı vermektedir (Fırat, 2003).

Yapay sinir ağlarının eğitimi için kullanılan öğrenme kuralları genellikle danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır.

4.3.5.1 Danışmanlı öğrenme

Yapay sinir ağının dışarıdan etki ile eğitilmesi söz konusudur. Danışmanlı öğrenmede girilen değerlerin ne tür bir çıktı vermesi gerektiği önceden bilinmektedir ve ağırlıklar bu bağıntıya göre güncellenmektedir.

Girilen değerle istenen değer arasındaki fark, hata değeri olarak önceden belirlenen değerden küçük oluncaya kadar eğitime devam edilir. Hata değeri istenen değer altına düştüğünde tüm ağırlıklar sabitlenerek eğitim işlemi sonlandırılır. Aşağıdaki şekil 4.7’de, YSA modeli için danışmanlı öğrenme yapısı görülmektedir.

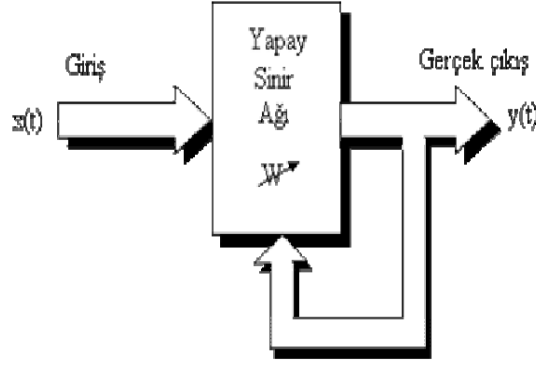


Şekil 4.7 : Danışmanlı öğrenme yapısı (Bahadır, 2008).

Danışmanlı öğrenmeye; perceptron algılayıcı (multilayer perceptron), Adaline, geriye yayılım (back propagation), delta kuralı ve en küçük karelerin ortalaması (least mean square) örnek olarak verilebilir.

4.3.5.2 Danışmansız öğrenme

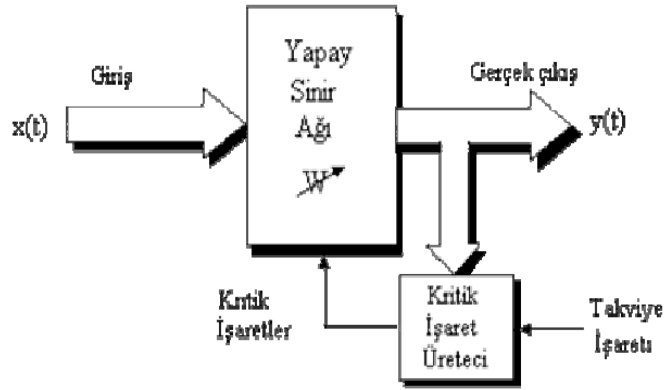
Yapay sinir ağının dışarıdan herhangi bir etki olmadan aldığı bilgileri kendi içerisinde kıyaslama yaparak sınıflandırması yolu ile öğrenme sürecidir. Danışmansız öğrenmede sistem çıkışları bilmemekte, girişlere göre örneklemekte ve ağırlık değerlerini ayarlamaktadır. Aşağıdaki şekil 4.8’de, YSA modeli için danışmansız öğrenme yapısı görülmektedir.



Şekil 4.8 : Danışmansız öğrenme yapısı (Bahadır, 2008).

4.3.5.3 Takviyeli öğrenme

Takviyeli öğrenmeli yapay sinir ağları modeli, danışmanlı öğrenmeye benzemektedir. Takviyeli öğrenme algoritması istenilen çıkışın bilinmesine ihtiyaç duymamaktadır. Hedef çıktıyı vermek için eğitmek yerine elde edilen çıktının verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir ölçüt kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekil 4.9’da takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : Takviyeli öğrenme yapısı (Bahadır, 2008).

4.4 Karar Destek Sistemi

Günlük hayatımızda sıklıkla karar verme problemleri ile karşılaşmaktayız. Karar verme problemleri çoğunlukla karmaşık bir yapıya sahiptir. Örneğin, bir şirketin uzun veya kısa vadeli stratejik ve yatırım kararları, bir ülkenin izleyeceği stratejik kararlar hem yapısal hem de alınan kararın sonucuna bağlı olarak karmaşık yapıya sahiptirler (Chen ve Hwang, 1992). Karmaşık yapıya sahip kararların doğru sonuca ulaşabilmesi iyi bir analiz, doğru veri toplama ve uygun yöntemin kullanılması ile mümkündür.

İnsan beyninin veri saklama ve işleme kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı karmaşık problemlerin çözümünde anlık veriyi kullanan karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Karar verme sistemleri karmaşık problemlere ait karar verme etkinliğini ve kalitesini artırmayı amaçlamaktadır.

4.4.1 Karar destek sistemlerinin tanımı

KDS, en basit anlamda, karar vericiyi vereceği kararlarda destekleyen herhangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Buna göre, bir fincan çay, bir kitap, bir bilgisayar programı veya bir sekreter karar destek sistemi olarak adlandırılabilir. Karar destek sistemi tanımının bu kadar geniş bir yelpazeye sahip olması, çeşitli alanlarda farklı konular için kullanımına olanak sunmaktadır. Muhasebe, finansman, pazarlama, sağlık hizmetleri, insan kaynakları ve üretim sistemleri karar destek sistemlerinin uygulandığı alanlara örnek olarak gösterilebilir (Eryiğit, 2005).

Karar Destek Sistemleri (KDS) için yazında yer alan bazı tanımlar aşağıda verilmiştir:

- KDS, temel olarak işletme içinde alınacak üst düzey kararların sağlıklı ve gerekçeli alınmasını sağlayan yazılımlardır (Holsapple ve Whinston, 1992).
- KDS, değişik kaynaklardan topladığı bilgileri düzenleyerek, kararı modelleyerek, bilgileri analiz ederek ve değerlendirme sonuçlarını sunarak belirli modeller kullanımı ile karar vericiye seçim sırasında destek veren bilgisayar temelli bir sistemdir (Sauter, 1997).
- KDS, kullanıcının bilme ve kavrama ile ilgili bilişsel yeteneklerini geliştirerek karar vermesine yardımcı olmak amacı ile özel olarak tasarlanmış bir sistemdir (Zachary, 1988).
- KDS, karar vericileri karar verme sürecinde bilgiyle desteklemek olan bilgisayar tabanlı bir bilgi sistemidir (Tatlıdil ve Özel, 2005).
- KDS, gerek taktik gerekse stratejik düzeyde yapılan karar verme fonksiyonunu hem kolaylaştıran hem de hız kazandıran yazılımdır (Topcu, 1995).
- KDS, veri tabanındaki modüller aracılığıyla, çok ölçütlü ve birbirleri ile çelişen kriterler altında karar vericinin optimum çözümü elde etmesinde karar vericiye yardımcı olan, problem çözümünü hızlandıran ve kullanıcıyla etkileşimli olarak çalışan bilgisayar destekli sistemlerdir (Çebi, 2010).

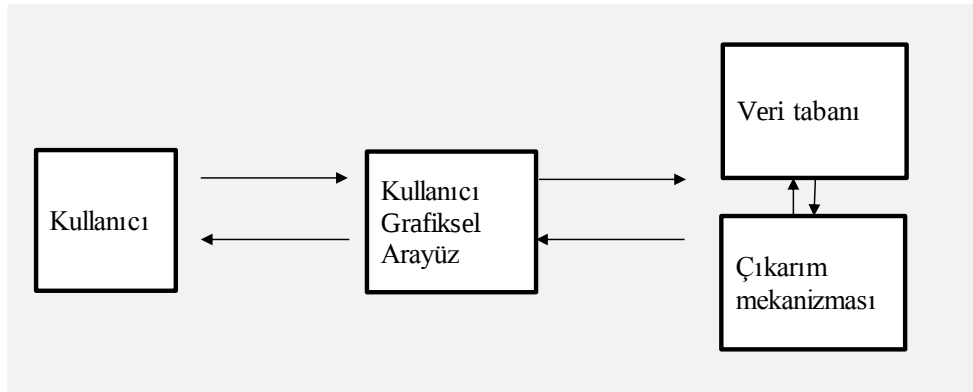
Yazında yapılan tanımlamalardan yola çıkarak karar destek sistemleri, karar verici yöneticilere karar süreçlerinde yardım etmek amacıyla destekleyici bir araç kullanımını ifade etmektedir. KDS, uygun donanım ve kullanıcı ara yüzü, veri tabanı, problem formülasyonu için yazılım ile ilgili matematiksel programlamalar gibi unsurları içeren çeşitli ve karşılıklı olarak birbirine bağlı yazılım modellerinden oluşmaktadır (Makowski, 1991).

KDS bilgi tabanlı teknolojiler ile bütünleştirildiğinde uygulamalardaki başarısı da artmaktadır. Ayrıca, bir çok uygulamada KDS ile yapay zeka entegre bir şekilde uygulanmaktadır. Yapay zekanın KDS'lerde kullanılması, programın esnek olmasını ve güncellenebilme kolaylığını sağlaması amacına yöneliktir.

KDS'nin çeşitli tanımlarında KDS'lerin belli veri tabanlarını kullandıkları, bir bilgisayar yazılım programı olduğu ve ara yüzden oluştuğu gibi bileşenler yer almaktadır. Bu bileşenler ve aralarındaki ilişkiler aşağıdaki bölümde kısaca açıklanmaktadır.

4.4.2 Karar destek sistemlerinin bileşenleri

Karar destek sistemleri şekil 4.10'da görüldüğü gibi veri tabanı, yazılım sistemi ve kullanıcı grafiksel arayüz bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.10 : Bir KDS'nin bileşenleri.

KDS veri tabanı; problemle ilgili bilgi ve kural cümlelerden oluşmaktadır. Biz problem ile ilgili tecrübe ve deneyimler, mevcut ve tarihsel veriler KDS'nin veri tabanına yüklenir. Farklı kaynaklardan elde edilen bilgiler arasındaki ilişkiler kurallarla tanımlanır.

Çıkarım mekanizması model tabanı olarak da adlandırılmakta olup karar vericiyi doğru sonuca ulaştıracak olan karar verme, en iyileme, tahmin ve analiz modellerinin

yer aldığı bölümdür. Bir KDS model tabanında geliştirilme amacına yönelik birden çok model yer alabilir. Bu durumda, bir modelin çıktısı diğer bir modelin girdisi olarak da çalışabilir.

Kullanıcı grafiksel ara yüz ise çıkarım mekanizması, veri tabanı ile kullanıcı arasındaki etkileşimi sağlayan bir araçtır (Turban ve Aranson, 1998). Kullanıcı, problemi çözmeye yönelik olarak istenilen bilgileri bu grafiksel ara yüz yardımı ile sisteme girmekte ve problem çözüm sonucunu yine bu grafiksel ara yüz ile almaktadır.

4.4.3 Karar destek sistem türleri

KDS'leri model, iletişim, doküman, bilgi ve veri olmak üzere beş tip olarak sınıflandırılmaktadır (Lu ve diğ., 2007).

Model bazlı KDS'ler, genellikle bir durumu analiz etmede kullanıcıya yardımcı olmak amacıyla kullanıcıdan model için girdi verilerini istemekte olup içerisinde istatistik ve optimizasyon gibi modelleri bulunduran karar destek türüdür.

İletişim bazlı KDS'ler, birden fazla kullanıcının birlikte çalışabilmelerini, bilgi paylaşımlarını ve faaliyetlerini koordine etmelerini sağlayan sistemlerdir. Bir başka deyişle, iletişim bazlı KDS'ler, ekip çalışmanın etkinliğini artırmak amacıyla KDS ve iletişim kararı birleştirme yöntemlerini içeren sistemlerdir. E-postalar, işitsel ve web konferansları, doküman paylaşımı, bilgisayar destekli yüz yüze toplantı yazılımları ve interaktif video iletişim bazlı KDS'lere örnek olarak gösterilebilmektedir.

Doküman bazlı KDS'ler, kullanıcılara ilgili dökümanlara kolay erişim ve analiz olanağı sağlamak amacıyla çeşitli depolama ve süreçsel teknolojileri birleştirmektedirler.

Bilgi bazlı KDS'ler, kurallar, enformasyon ve prosedürlerin bulunduğu sistemler olup kullanıcıya eylemler bildirir.

Veri bazlı KDS'ler, belli kurallar oluşturmak amacıyla gerçek zamanlı ve oldukça geniş veri setlerindeki gizlenmiş kalıplar ve ilişkileri bulmak için istatistiksel ve diğer analitik araçları kullanarak karar vermeyi destekleyen sistemlerdir.

Bu çalışma kapsamında model bazlı karar destek sistemi geliştirilmesi planlanmıştır.

4.4.4 Karar destek sistemlerinin amaçları ve faydaları

KDS’lerde amaçlanan karar verme etkinliğinin geliştirilmesidir. KDS’nin diğer bir amacı ise bazı yönetsel kuralları konumlandırmak yerine bu kuralları desteklemektir (Çil, 2002). KDS’leri belirli amaçlar dahilindeki ihtiyaçlara cevap verecek şekillerde tasarlanmakta ve geliştirilmektedir. KDS’nin kullanıcıya sağladığı başlıca yararlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Topçu, 1995):

- Karar vericinin bilgi sunma ve işleme kapasitesini artırır.
- Karar verme etkinliğini ve üretkenliğini artırır.
- Karar verici ile veri arasındaki iletişimi kolaylaştırır.
- Verilen kararın kalitesini artırır ve tutarlılığını sağlar.
- Çözümü zaman alacak karmaşık problemlerin çözümünü kolaylaştırır.
- Problem çözümlerinde karar vericiden daha hızlıdır.
- Karar verici, KDS’yi sorun çözümü yerine, sorunla ilgili düşüncelerin tanımlanması ve analizi veya veri tabanında arama yapmak için kullanabilir.
- Karar verici KDS’den çözülmüş problemlerin çözümlerini doğrulamak için yararlanmaktadır.
- KDS ile çalışan bir organizasyon rekabet gücünü artırır.

5. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI VE ÇALIŞMANIN MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bir önceki bölümde tez çalışması kapsamında uygulanacak yöntemler detaylı olarak verilmişti. Bu bölümde ise verilen yöntemlerin uygulaması sunulacaktır. Ayrıca tez çalışmasının modeli oluşturulacaktır.

5.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Uygulaması

Gemi operasyonel enerji verimliliği önlemleri çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan BAHS yöntemi ile modellenmiştir. Uygulama da Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemlerinden biri olan Chang genişletilmiş BAHS Yöntemi kullanılmıştır. Yöntem gemilerin enerji verimliliğine etkisi olan SEEMP kapsamındaki operasyonel önlemlerin (kriterlerin) ortaya konulduğu Ek A'da yer alan ankete verilecek olan cevapların Çizelge 5.1'de yer alan bulanık önem dereceleri tablosundan yararlanılarak alınan geometrik ortalamalarının ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması temeline dayanmaktadır.

Çizelge 5.1 : Bulanık önem dereceleri tablosu (Ho, 2011).

Sözel Önem Dereceleri	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Kesin Eşit	(1,1,1)	(1,1,1)
Eşit Derecede Önemli	(1/2, 1, 3/2)	(2/3,1, 2)
Biraz Daha Fazla Önemli	(1,3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Kuvvetli Derecede Önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok Kuvvetli Derecede Önemli	(2, 5/2, 3)	1/3, 2/5, 1/2)
Tamamıyla Önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7,1/3,2/5)

Öncelikle gemi operasyonel enerji verimliliği önlemleri arasında en uygun kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Kriterler ve alt kriterlerin belirlenmesi ve içeriklerinin oluşturulması aşamasında IMO tarafından zorunlu kılınan ve gemilerin yakıt tasarruflu

işletilmesi için en iyi uygulamaların yer aldığı SEEMP kapsamı dikkate alınmıştır. Gemi enerji verimliliğine etki eden bütün operasyonel kriterler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Gemi operasyonel enerji verimliliği önlemleri karar hiyerarşisi.

İkinci Seviye	Kod	Üçüncü Seviye	Kod
Sefer Yönetimi	SY	Hız Optimizasyonu	HO
		Otopilotu Etkin Kullanma	OEK
		Hava Rotalama	HR
		Trim Optimizasyonu	TO
Tekne ve Pervane Kondisyon Yönetimi	TPKY	Tekne Kondisyon Yönetimi	TKY
		Pervane Kondisyon Yönetimi	PKY
Makine Yönetimi	MY	Ana Makine Yönetimi	AMY
		Yardımcı Makine Yönetimi	YMY
		Kazan Yönetimi	KY
Yakıt Yönetimi	YY		
Sistem Enerji Yönetimi	SEY		
Enerji Farkındalığını Artırma	EFA		

Çalışmaya denizcilik şirketlerinde üst düzey görevlerde yer alan operasyon müdürlerinden, enspektörlerden ve tecrübeli kaptan ve baş mühendislerden oluşan 20 kişilik uzman grup katılmıştır. Ankette uzmanların soruları cevaplandırırken kendi deneyimlerine göre uygun olduğunu düşündükleri cevabı vermeleri istenmiştir. Uzman görüşleri alındıktan sonra gemi enerji verimliliğine etki eden ana kriterlerin ve alt kriterlerin önem sırasına göre öncelikleri elde edilmiştir.

Gemi enerji verimliliğine etki eden ana kriterler; sefer yönetimi (SY), tekne ve makine kondisyon yönetimi (TPKY), makine yönetimi (MY), yakıt yönetimi (YY), sistem enerji yönetimi (SEY) ve enerji farkındalığını artırma (EFA)'dır. Çizelge 5.3'de kriterlere ait bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi ve yerel ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Ana kriterlere ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar.

	SY	TPKY	MY	YY	SEY	EFA	Yerel ağırlıklar
SY	(1,00 1,00 1,00)	(1,21 1,52 1,85)	(1,92 2,39 2,87)	(1,95 2,41 2,87)	(2,92 3,52 4,13)	(3,24 3,76 4,31)	0,35
TPKY	(0,54 0,66 0,83)	(1,00 1,00 1,00)	(1,55 1,81 2,08)	(1,99 2,45 2,91)	(2,89 3,61 4,36)	(2,89 3,56 4,26)	0,29
MY	(0,35 0,42 0,52)	(0,48 0,55 0,65)	(1,00 1,00 1,00)	(3,21 3,97 4,73)	(2,87 3,68 4,48)	(3,37 4,23 5,08)	0,33
YY	(0,35 0,42 0,51)	(0,34 0,41 0,50)	(0,21 0,25 0,31)	(1,00 1,00 1,00)	(2,25 2,76 3,28)	(2,27 2,94 3,65)	0,03
SEY	(0,24 0,28 0,34)	(0,23 0,28 0,35)	(0,22 0,27 0,35)	(0,30 0,36 0,45)	(1,00 1,00 1,00)	(2,24 2,70 3,17)	0,00
EFA	(0,23 0,27 0,31)	(0,23 0,28 0,35)	(0,20 0,24 0,30)	(0,27 0,34 0,44)	(0,32 0,37 0,45)	(1,00 1,00 1,00)	0,00

Çizelge 5.3'de yer alan ana kriterlere göre hazırlanmış ikili karşılaştırmalar matrisinden;

$$S_{SY} = (12.23, 14.60, 17.03) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.18, 0.26, 0.36)$$

$$S_{TPKY} = (10.87, 13.09, 15.45) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.16, 0.23, 0.33)$$

$$S_{MY} = (11.29, 13.84, 16.46) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.17, 0.24, 0.35)$$

$$S_{YY} = (6.42, 7.77, 9.26) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.10, 0.14, 0.20)$$

$$S_{SEY} = (4.24, 4.89, 5.65) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.06, 0.09, 0.12)$$

$$S_{EFA} = (2.25, 2.49, 2.84) \otimes (1/66.68, 1/56.69, 1/47.29) = (0.03, 0.04, 0.06)$$

vektörleri elde edilerek ana kriterlere ait ikili karşılaştırmalar matrisinden bulanık sentetik mertebe dereceleri kullanılarak olabilirlik değerleri bulunur.

$$V(S_{SY} \geq S_{TPKY}) = 1.00 \quad V(S_{SY} \geq S_{MY}) = 1.00 \quad V(S_{SY} \geq S_{YY}) = 1.00 \quad V(S_{SY} \geq S_{SEY}) = 1.00 \quad V(S_{SY} \geq S_{EFA}) = 1.00$$

$$V(S_{TPKY} \geq S_{SY}) = 0.84 \quad V(S_{TPKY} \geq S_{MY}) = 0.92 \quad V(S_{TPKY} \geq S_{YY}) = 1.00 \quad V(S_{TPKY} \geq S_{SEY}) = 1.00 \quad V(S_{TPKY} \geq S_{EFA}) = 1.00$$

$$V(S_{MY} \geq S_{SY}) = 0.93 \quad V(S_{MY} \geq S_{TPKY}) = 1.00 \quad V(S_{MY} \geq S_{YY}) = 1.00 \quad V(S_{MY} \geq S_{SEY}) = 1.00 \quad V(S_{MY} \geq S_{EFA}) = 1.00$$

$$V(S_{YY} \geq S_{SY}) = 0.09 \quad V(S_{YY} \geq S_{TPKY}) = 0.26 \quad V(S_{YY} \geq S_{MY}) = 0.20 \quad V(S_{YY} \geq S_{SEY}) = 1.00 \quad V(S_{YY} \geq S_{EFA}) = 1.00$$

$$V(S_{SEY} \geq S_{SY}) = 0.00 \quad V(S_{SEY} \geq S_{TPKY}) = 0.00 \quad V(S_{SEY} \geq S_{MY}) = 0.00, \quad V(S_{SEY} \geq S_{YY}) = 0.31 \quad V(S_{SEY} \geq S_{EFA}) = 1.00$$

$$V(S_{EFA} \geq S_{SY}) = 0.00 \quad V(S_{EFA} \geq S_{TPKY}) = 0.00 \quad V(S_{EFA} \geq S_{MY}) = 0.00 \quad V(S_{EFA} \geq S_{YY}) = 0.00 \quad V(S_{EFA} \geq S_{SEY}) = 0.00$$

Yukarıdaki değerler sonucunda ağırlık vektörü her bir olabilirlik derecesinin minimumu alınarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

$$D(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) = \min(1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00)$$

$$D(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5, S_6) = \min(0.84, 0.92, 1.00, 1.00, 1.00)$$

$$D(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5, S_6) = \min(0.93, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00)$$

$$D(4) = \min V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5, S_6) = \min(0.09, 0.26, 0.20, 1.00, 1.00)$$

$$D(5) = \min V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_6) = \min(0.00, 0.00, 0.00, 0.31, 1.00)$$

$$D(6) = \min V(S_6 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) = \min(0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00)$$

Min d değerlerinin hesaplanıp normalize edilmesiyle $W_{factors} = (0.35, 0.29, 0.33, 0.03, 0.00, 0.00)^T$ bulunur.

SY, TPKY, MY, YY, SEY ve EFA ana kriterlerine ait hesaplamalar sonucunda sırasıyla 0.35, 0.29, 0.33, 0.03, 0.00 ve 0.00 değerleri elde edilmiştir. SY, TPKY ve MY kriterleri altı ana kriter arasında yüksek değerlere sahip olmaları nedeniyle en çok tercih edilen önlemlerdir.

Bu aşamalar diğer tüm alt kriterler için aynı şekilde adım adım tekrarlanacaktır.

SY ana kriterine ait alt kriterler Hız Optimizasyonu (HO), Otopilotu Etkin Kullanma (OEK), Hava Rotalama (HR) ve Trim Optimizasyonu (TO)'dur. Çizelge 5.4'de SY ana kriterinin alt kriterine ait bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi ve yerel ağırlıkları verilmiştir. SY alt faktörlerinin analiz sonuçlarına göre 0.94 ile HO en yüksek değere sahip olup, bunu 0.06 ile TO takip etmektedir.

Çizelge 5.4 : SY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar.

	HO			OEK			HR			TDO			Yerel ağırlıklar
HO	(1,00	1,00	1,00)	(6,00	7,00	8,00)	(5,00	6,00	7,00)	(3,00	4,00	5,00)	0,94
OEK	(0,13	0,14	0,17)	(1,00	1,00	1,00)	(0,33	0,50	1,00)	(0,20	0,25	0,33)	0,00
HR	(0,14	0,17	0,20)	(1,00	2,00	3,00)	(1,00	1,00	1,00)	(0,25	0,33	0,50)	0,00
TO	(0,20	0,25	0,33)	(3,00	4,00	5,00)	(2,00	3,00	4,00)	(1,00	1,00	1,00)	0,06

TPKY ana kriterine ait alt kriterler Tekne Kondisyon Yönetimi (TKY) ve Pervane Kondisyon Yönetimi (PKY)'dir. Çizelge 5.5'de TPKY ana kriterinin alt kriterine ait bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi ve yerel ağırlıkları verilmiştir. TPKY alt faktörlerinin analiz sonuçlarına göre 1.00 ile TKY en yüksek değere sahiptir.

Çizelge 5.5 : TPKY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar.

	TKY			PKY			Yerel ağırlıklar
TKY	(1,00	1,00	1,00)	(3,35	3,95	4,45)	1,00
PKY	(0,22	0,25	0,30)	(1,00	1,00	1,00)	0,00

MY ana kriterine ait alt kriterler Ana Makine Yönetimi (AMY), Yardımcı Makine Yönetimi (YMY) ve Kazan Yönetimi (KY)'dir. Çizelge 5.6'da MY ana kriterinin alt kriterine ait bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi ve yerel ağırlıkları verilmiştir. MY alt faktörlerinin analiz sonuçlarına göre 1.00 ile AMY yakıt tasarrufu açısından en yüksek değere sahiptir.

Çizelge 5.6 : MY ana kriterinin alt kriterlerine ait bulanık karşılaştırma matrisi ve yerel ağırlıklar.

	AMY			YMY			KY			Yerel ağırlıklar
AMY	(1,00	1,00	1,00)	(4,70	5,65	6,60)	(4,45	5,45	6,45)	1.00
YMY	(0,15	0,18	0,21)	(1,00	1,00	1,00)	(1,63	1,99	2,35)	0.00
KY	(0,16	0,18	0,22)	(0,43	0,50	0,61)	(1,00	1,00	1,00)	0.00

Hesaplamalar sonucunda alt faktörlere ait global bulanık ağırlıklar çizelge 5.7'de yer almaktadır.

Çizelge 5.7 : Alt faktörler için hesaplanan global bulanık ağırlıklar.

Faktör	Alt Faktör	Yerel Ağırlıklar	Global Ağırlıklar
SY (0.35)	HO	0.94	0.33
	OEK	0.00	0.00
	HR	0.00	0.00
	TO	0.06	0.02
TPKY (0.29)	TKY	1.00	0.29
	PKY	0.00	0.00
MY (0.33)	AMY	1.00	0.33
	YMY	0.00	0.00
	KY	0.00	0.00
YY (0.03)			
SEY (0.00)			
EFA (0.00)			

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda SY (0.35), MY (0.33) ve TPKY (0.29) kriterleri diğer ana kriterler ile kıyaslandığında gemi enerji verimliliği yönetiminde dikkate alınması gereken temel operasyonel önlemlerdir. Bu ana kriterleri 0.03 ile YY takip etmektedir. Yakıt yönetimi kapsamında optimal yakıt tipine karar vermek ve yeterli miktarlarda yakıt siparişinde bulunmak da gemi enerji verimliliği açısından önem oluşturmaktadır. BAHS yöntemi diğerlerine göre az önemli olan kriteri modelde ihmal edip karar vericinin temel kriterlere odaklanmasını hedeflemektedir. Bundan ötürü; SEY ve EFA kriterleri şüphesiz önemli olmasına rağmen, model sonuçları gemi enerji verimliliği üzerinde operasyonel etkisi olmadığı yönündedir.

SY alt faktörlerinin analiz sonuçlarına göre 0.94 ile HO en yüksek değere sahip olup, bunu 0.06 ile TDO takip etmektedir. Hız optimizasyonu SY alt faktörleri arasında en önemli operasyonel önlemdir. Johnson ve diğerleri (2014) ve Bazari ve Longva (2011) de hız optimizasyonu ile ilgili benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

Sonuç olarak, BAHS yöntemi analizi ile sefer yönetimi ana kriteri diğer operasyonel önlemler arasında en yüksek öneme sahip olduğu görülmüş ve böylece uygulama ile gemi sefer yönetiminin enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmıştır. Ayrıca gemi sefer yönetimine dâhil olan etkenlerin önceliklendirilmesi öznel olarak yapılmıştır ve en önemli etkenin hız optimizasyonu olduğu görülmüştür.

5.2 İstatistiksel Yöntemlerin Uygulanması

5.2.1 Verilerin toplanması

Çalışmada sefer verileri gemilerin günlük raporlarından elde edilmiştir. Bu raporlar, çoğunlukla gemi seyir halinde iken öğlen saatinde şirkete gönderilen 'Öğlen raporlarından oluşmaktadır. (Noon raporları) Bu günlük raporlar ilgili zabıt tarafından operasyonun çeşidine göre gerçek gemi verisine dayanarak çeşitli formlarda hazırlanır ve geminin işletildiği operasyon birimlerine gönderilir. Gemilerin farklı koşullardaki operasyonel değişikliklerini gözlemlemek ve çeşitli koşulların geminin yakıt tüketimine etkisini incelemek için elde edilen günlük veriler büyük öneme sahiptir. Gemilerin günlük raporları aşağıdaki bilgileri içermektedir:

- Tarih, Zaman ve Sefer Numarası
- Mesaj türü (öğlen, varış, liman veya kalkış mesajı)
- Geminin Pozisyonu veya liman ismi
- Makinenin RPM değeri
- Ortalama Hız
- Hava koşulları (Bofor Numarası, rüzgar yönü ve deniz durumu)
- Geminin yük durumu (yükli veya balastlı)
- Geminin draftları (baş, vasat ve kıç)
- Bir sonraki liman için gidilecek mesafe ve tahmini varış zamanı
- Ana makinenin tükettiği yakıt miktarı
- Yardımcı makinelerin tükettiği yakıt miktarı
- Kazanların yakıt tüketimi

Gemilerin günlük mesajlarından elde edilen veri örneği Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 : Günlük rapor örneği.

Date and Time	Type	Wind Direction	Wind Force	Sea Direction	Sea Force	Average Speed	L/B	...
27.11.2013 12:00:00	Departure	SE	6	SE	5	13.5	L	...
26.11.2013 12:00:00	Noon-SP.	SW	4	SW	3	12.75	L	...
26.11.2013 04:00:00	Noon-SP.	S	6	S	5	12.83	L	...
25.11.2013 12:00:00	Noon-SP.	W	4	W	3	13.63	L	...
24.11.2013 12:00:00	Noon-SP.	W	3	W	2	12.71	L	...
27.11.2013 12:00:00	Noon-SP.	SE	6	SE	5	12.5	L	...
26.11.2013 12:00:00	Noon-SP.	SW	4	SW	3	13.33	L	...

5.2.2 Tez Çalışmasının kapsamı ve sınırlılıkları

Çalışmamızda tanker gemilerinden elde edilen sefer verileri kullanılmıştır. Bunun nedeni tanker işletmelerinin konteyner ve kuru yük işletmelerine göre daha yoğun denetim altında olmalarından ötürü gemilere ait kayıtların düzenli tutulmasıdır.

Tanker gemileri tehlikeli ve çevreyi kirletici yük taşımalarından dolayı CDI (Chemical Distribution Institutions), MOC (Major Oil Company) ve PSC (Port State Control) gibi çeşitli denetlemelere tabi tutulmaktadır. Ayrıca, 2006 yılı itibari ile TMSA (Tanker Management Self Assessment), gemilerini büyük petrol ve kimyasal firmalarına yüksek navlunlarla kiralamak isteyen armatörler için zorunluluk haline gelmiştir. TMSA'nın ortaya çıkmasındaki ana fikir, tankerlerin kriterlere uygunluğu ne kadar fazla olursa olsun, işletme merkezlerinin belirli kalite standartlarına sahip olmazsa tankerlerin oluşturacağı risklerin azaltılamayacağıdır. Tanker gemilerinin ve işletmelerinin zorunlu denetimler altında olması verilerin düzenli olarak kayıt altında tutulmasını ve saklanmasını gerektirmektedir.

Tez çalışması tanker işletmelerine ait altı farklı tipteki toplam yirmi yedi adet tanker gemileri ile sınırlandırılmıştır. Çalışma evreninin sadece tanker tipindeki gemileri kapsamı ve örnekleme altı farklı türdeki tanker gemilerine uygulanması sınırlılığımızdır.

Ayrıca, tez çalışması kapsamında gemi sefer yönetiminde enerji verimliliği optimizasyonu için geliştirilen karar destek sisteminde geminin makine ve gemi inşa

gibi teknik unsurları dahil edilmeyip sadece gemi kaptanı/operatörünün kullanabileceği operasyonel önlemler yer almaktadır.

5.2.3 SPSS programı ile verilerin analizi

Gemilerden elde edilen sefer verileri SPSS 15 (Statistical Package For Social Sciences) paket programına aktararak istatistiki analizleri yapılmış ve elde edilen bilgiler çözümlenmiştir. Sefere ait parametrelerin yakıt tüketim ile ilişkilerini belirlemeye yönelik serpilme grafiği ve Pearson bağıntı analizi kullanılmıştır. İlişkiler arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı $\alpha=0.01$ anlamlılık düzeyinde test edilmiştir.

Sefer verileri toplam 6 farklı tipteki 27 adet tanker gemilerinin yaklaşık her bir gemiye ait 3 yıllık sefer verilerini içermektedir. Bu verilerden gemilerin seyir yaptıkları yani dakikadaki devir sayısının (RPM) ve dolayısıyla gemi hızının sıfırdan farklı olduğu durumlar ele alınmıştır.

Öncelikle yirmi yedi geminin sefer verileri tek tek incelenmiş olup veri seti hatalı ve eksik verilerden arındırılmıştır. Ardından, kardeş gemiler tek bir gemi gibi ele alınıp sefer verileri bir araya getirilmiştir. Böylece kardeş gemilerin bir araya getirilerek tek bir gemi tipi olarak değerlendirilmesiyle veri sayısının artırılması hedeflenmiştir. Bu uygulama ile yakıt tüketimine etki eden parametrelerin etki oranlarının arttığı ve istatistiksel anlamlılığı sağladığı görülmüştür.

Çalışma için tanker şirketinden elde edilmiş olan altı farklı gemi tipinin (yakıt tankeri) özellikleri çizelge 5.9'da bulunmaktadır.

Çizelge 5.9 : Gemilerin özellikleri.

Gemi Tipi	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Boy (m)	274.5	184.32	183.22	183.00	243.80	248.97
Genişlik (m)	48	27.40	32.20	32.20	42.00	43.80
Kalıp Derinlik (m)	23.7	17.20	18.80	19.10	21.40	21.00
Tasarım Draftı (m)	16	9.80	11.00	11.00	13.50	13.58
Deplasman (T)	184349	38970	49926	50981	110670	134358
Tahmini Şaft Gücü (kw)	18660	9480	9480	9480	13560	18420
RPM	91	127	127	127	105	105

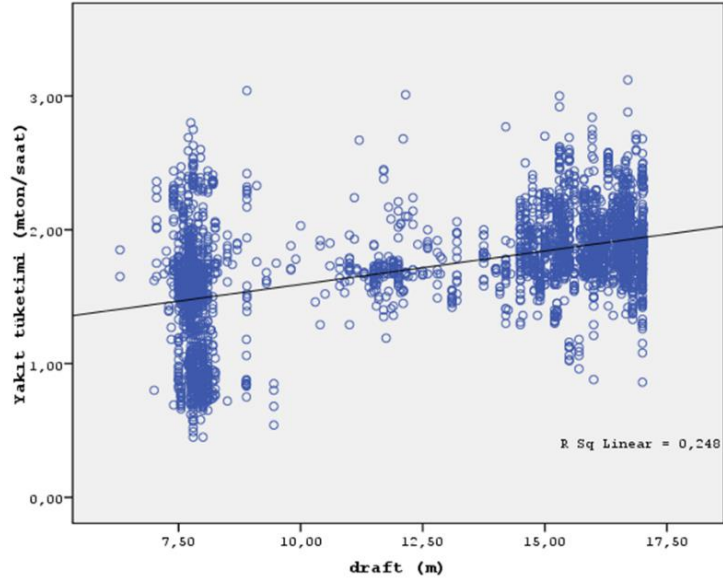
5.2.3.1 Bulgular: gemi tipi 1

Bir numaralı gemi tipi yedi adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 3646 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.10 'da 7 tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.10'a göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyip en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 1,91 metrik ton ile 4 numaralı gemi iken, en düşük yakıt tüketimine sahip gemi ise saatte 1,57 metrik ton ile 3 numaralı gemidir.

Çizelge 5.10 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 1.

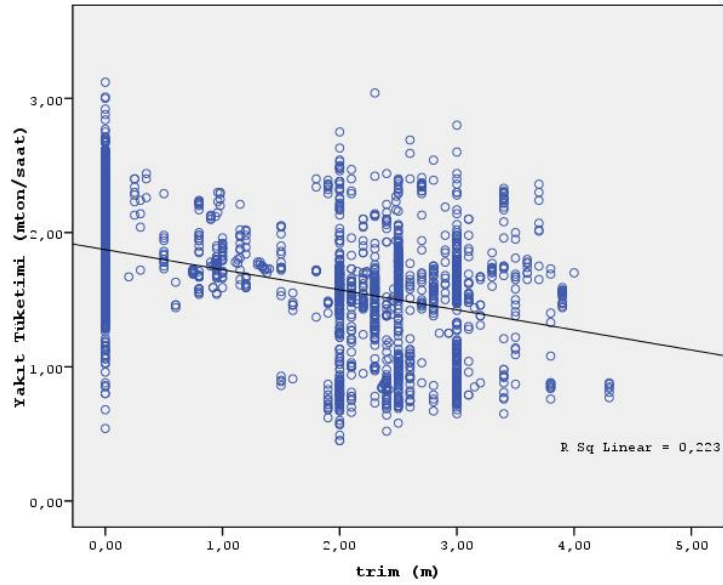
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	555	1,6854	0,1516	0,68	2,60
2	436	1,6196	0,01734	0,45	2,45
3	610	1,5726	0,01586	0,45	3,01
4	602	1,9121	0,01188	0,75	3,04
5	529	1,7349	0,02032	0,83	2,77
6	534	1,8397	0,01350	0,83	3,00
7	380	1,5729	0,02383	0,54	3,12

Şekil 5.1' de draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği yer almaktadır. Şekil 5.1'e göre gemi draftı ile yakıt tüketimi değişkenleri arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır. Ayrıca verilerin neredeyse iki bölgede toplandığı görülmektedir. Bunun nedeni gemilerin yüklü ve balastlı olarak iki farklı kondisyonda seyir yapmasıdır. Orta bölgelerde bulunan veriler ise gemilerin kısmi yüklü olduğu durumlardaki draft ve yakıt ilişkisini vermektedir.



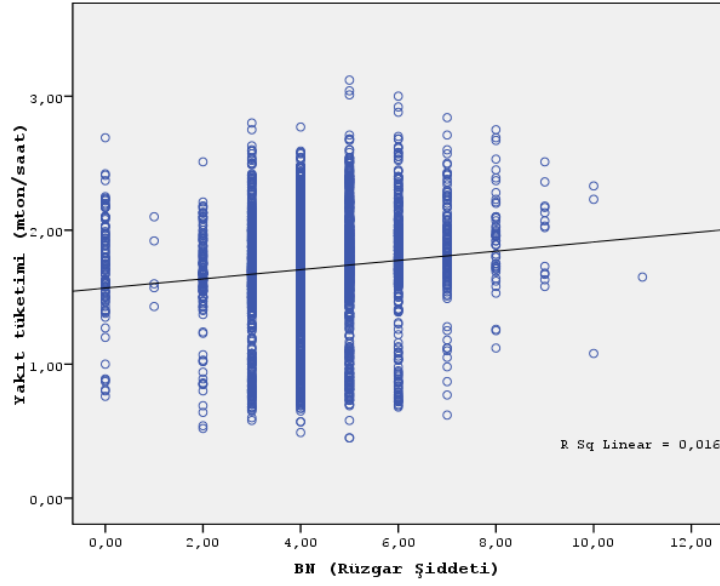
Şekil 5.1 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.

Şekil 5.2’de trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği yer almaktadır. Şekil 5.2’ye göre trim ve yakıt tüketimi değişkenleri arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



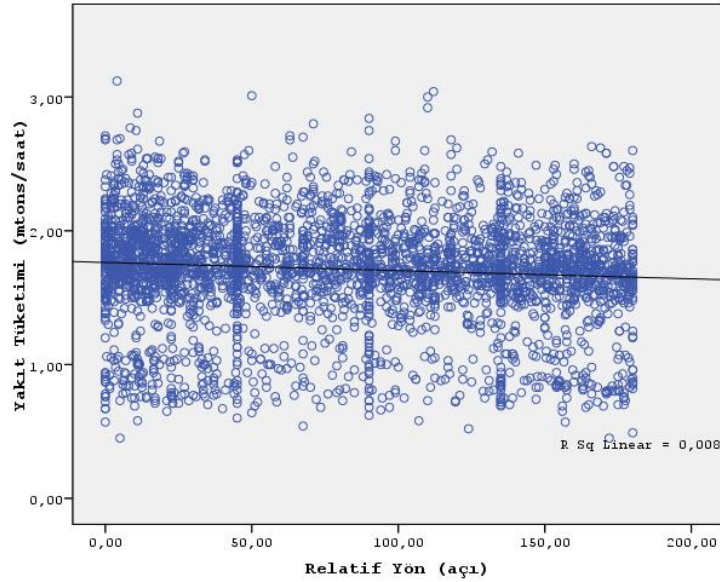
Şekil 5.2 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.

Şekil 5.3’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.3’e göre rüzgar şiddeti arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



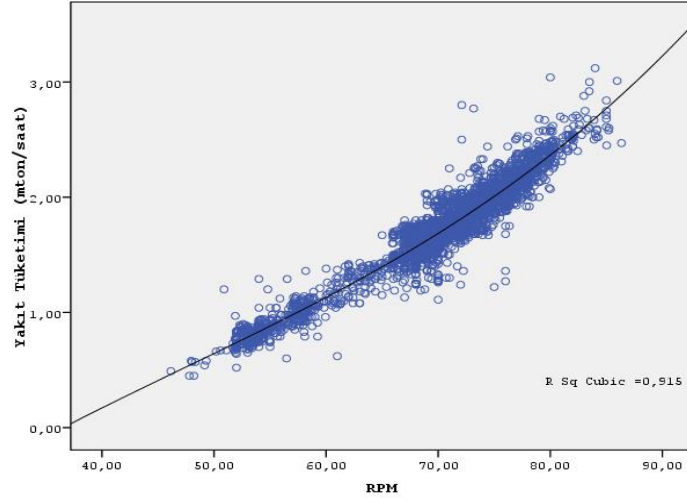
Şekil 5.3 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.

Rüzgarın gemiye göre estiği yön relatif rüzgar yönü olup geminin rotasına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 5.4’de yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.4’de rüzgarın geminin kışından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.4 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.

Şekil 5.5’de yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.5 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 1.

Çizelge 5.11’de bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.11 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 1.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1					
	Sig. (2-tailed)						
	N	3646					
trim	Pearson Correlation	-,908(**)	1				
	Sig. (2-tailed)	,000					
	N	3646	3646				
BN	Pearson Correlation	,116(**)	-,094(**)	1			
	Sig. (2-tailed)	,000	,000				
	N	3646	3646	3646			
Relatif Yön	Pearson Correlation	-,074(**)	,063(**)	-,142(**)	1		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000			
	N	3646	3646	3646	3646		
RPM	Pearson Correlation	,503(**)	-,477(**)	,069(**)	-,061(**)	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		
	N	3646	3646	3646	3646	3646	
Yakıt Tüketimi	Pearson Correlation	,498(**)	-,472(**)	,127(**)	-,088(**)	,953(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	3646	3646	3646	3646	3646	3646

Çizelge 5.11'e göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında orta düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,498$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,472$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,127$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,088$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,953$; $p<0,01$].

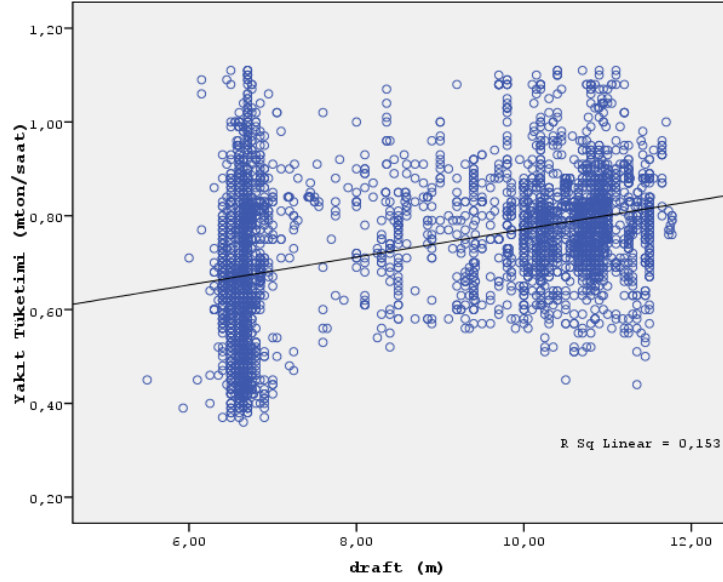
5.2.3.2 Bulgular: gemi tipi 2

İki numaralı gemi tipi yedi adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 3657 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.12'de 7 tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.12'ye göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyip en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 0,80 metrik ton ile 2 numaralı gemi iken, en düşük yakıt tüketimine sahip gemi ise saatte 0,69 metrik ton ile 6 numaralı gemidir.

Çizelge 5.12 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 2.

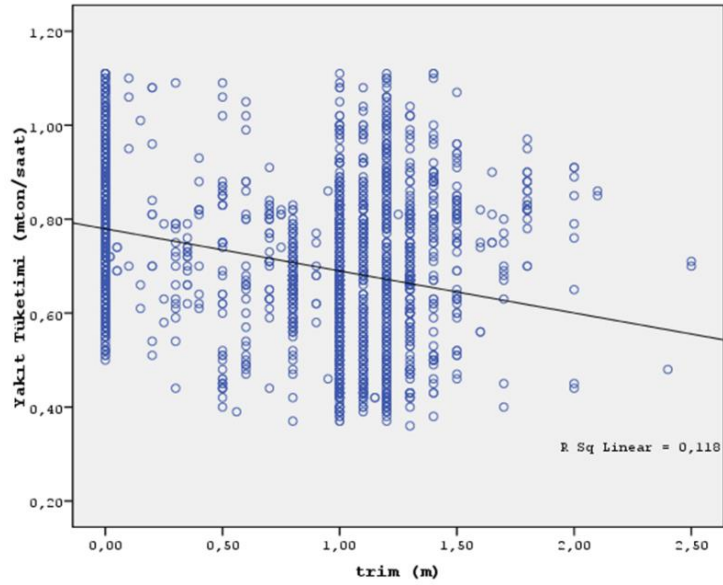
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1,00	450	,6974	,00687	,37	1,09
2,00	481	,8070	,00793	,42	1,11
3,00	554	,7537	,00723	,37	1,11
4,00	565	,7332	,00590	,36	1,10
5,00	593	,7527	,00473	,40	1,05
6,00	535	,6963	,00658	,38	1,08
7,00	479	,7320	,00563	,36	1,11

Şekil 5.6’da yer alan draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır.



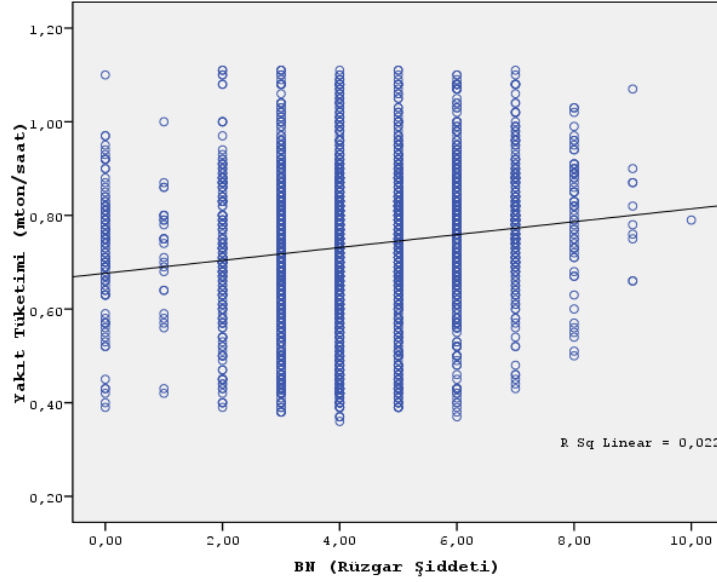
Şekil 5.6 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.

Şekil 5.7’de yer alan trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



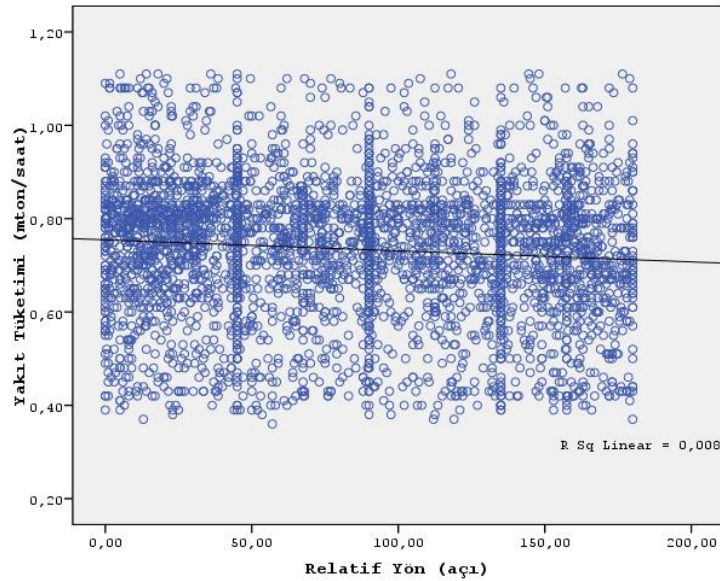
Şekil 5.7 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.

Şekil 5.8’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.8’e göre rüzgar şiddeti arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



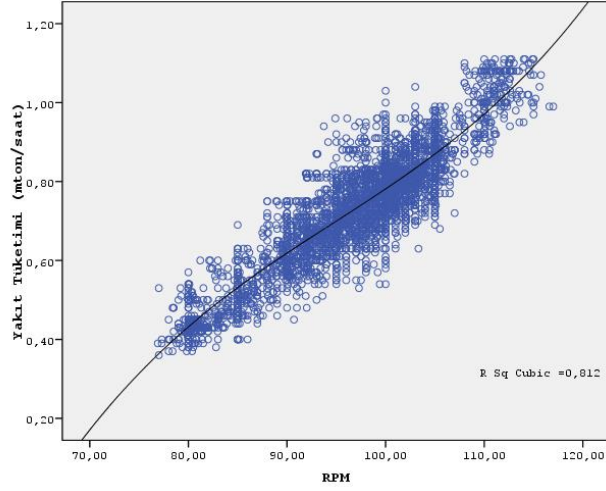
Şekil 5.8 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.

Şekil 5.9’da yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.9’da rüzgarın geminin kıçından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.9 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.

Şekil 5.10'da yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.10 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 2.

Çizelge 5.13'de bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.13 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 2.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1					
	Sig. (2-tailed)						
trim	N	3657					
	Pearson Correlation	-,884(**)	1				
BN	Sig. (2-tailed)	,000					
	N	3657	3657				
Relatif Yön	Pearson Correlation	,022	-,007	1			
	Sig. (2-tailed)	,180	,696				
RPM	N	3657	3657	3657			
	Pearson Correlation	-,021	,024	-,102(**)	1		
Yakıt Tüketimi	Sig. (2-tailed)	,205	,154	,000			
	N	3657	3657	3657	3657		
	Pearson Correlation	,416(**)	-,364(**)	,104(**)	-,080(**)	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		
	N	3657	3657	3657	3657	3657	
	Pearson Correlation	,392(**)	-,343(**)	,147(**)	-,088(**)	,900(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	3657	3657	3657	3657	3657	3657

Çizelge 5.13'e göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,392$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,343$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,147$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,088$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,900$; $p<0,01$].

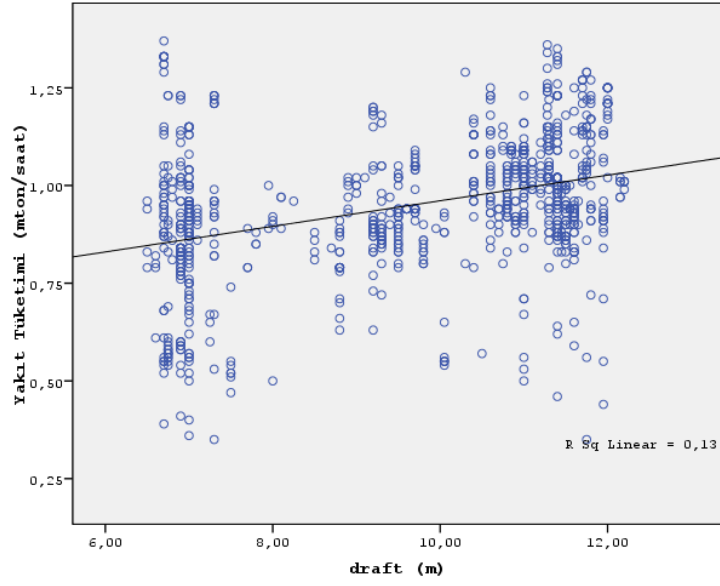
5.2.3.3 Bulgular: gemi tipi 3

Üç numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 944 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.14'de iki tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.14'e göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyp en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 0,96 metrik ton ile 1 numaralı gemidir.

Çizelge 5.14 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 3.

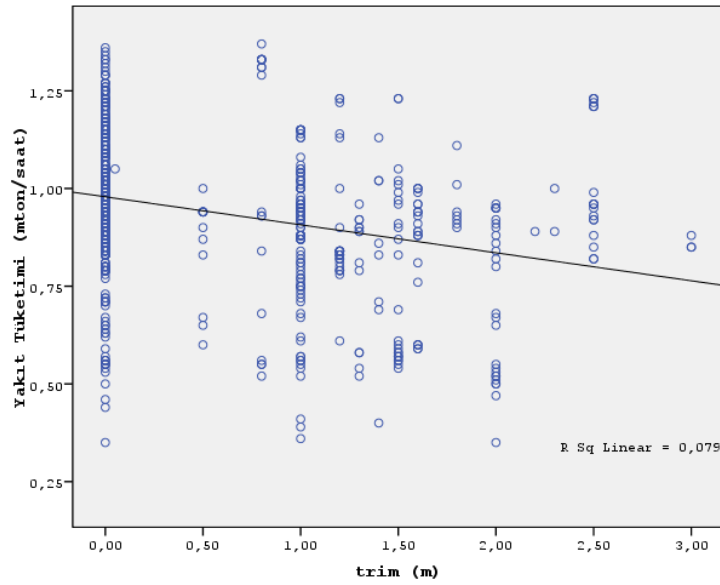
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	481	,9648	,00866	,35	1,37
2	463	,9330	,00723	,35	1,35

Şekil 5.11'de yer alan draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır.



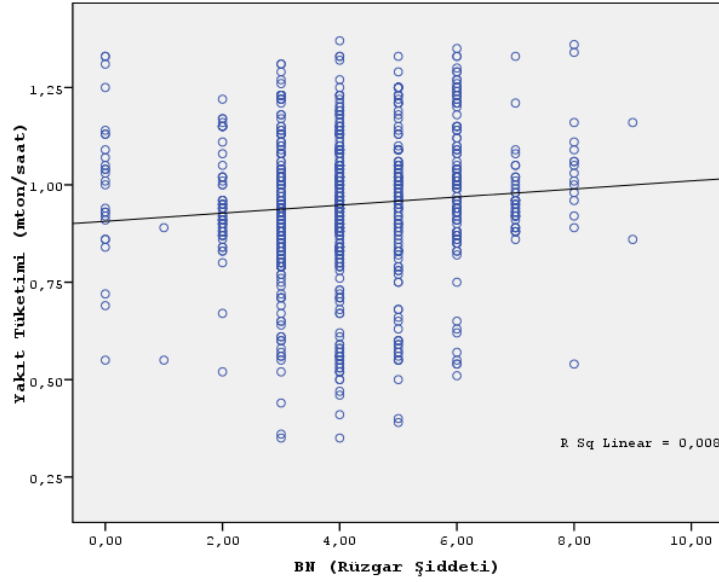
Şekil 5.11 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.

Şekil 5.12’de yer alan trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



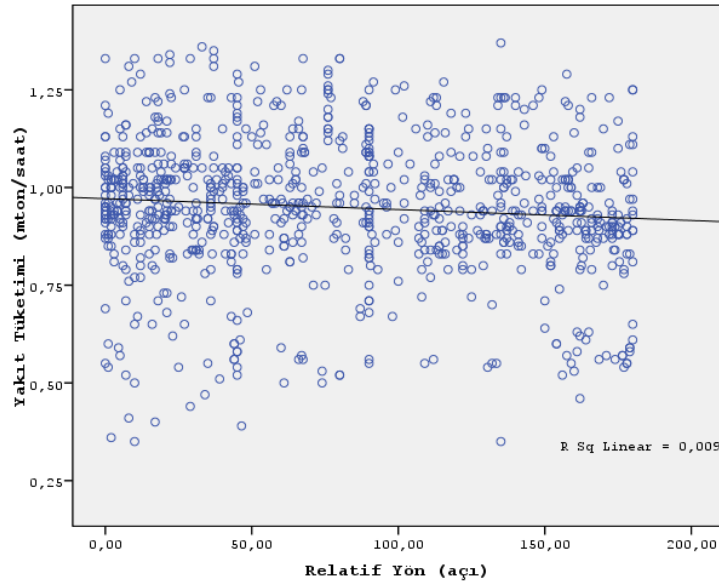
Şekil 5.12 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.

Şekil 5.13’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.13’e göre bofor numarası arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



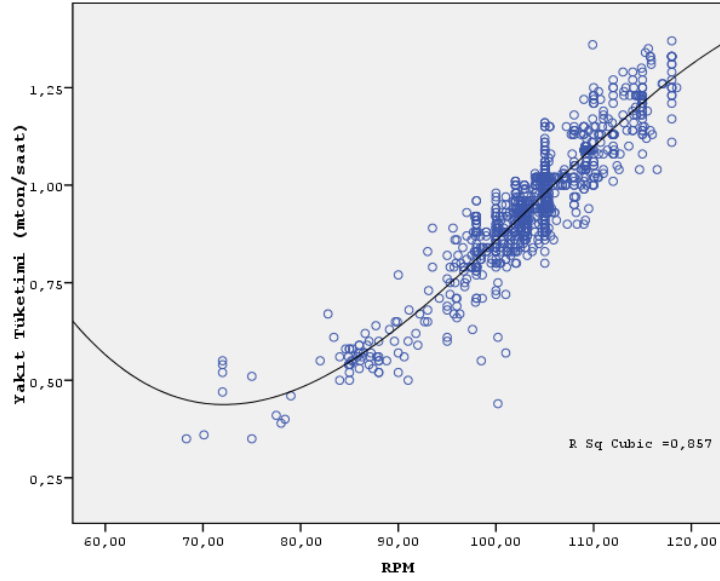
Şekil 5.13 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.

Şekil 5.14’de yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.14’de rüzgarın geminin kıçından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.14 : Relatif Rüzgar Yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.

Şekil 5.15’de yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.15 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 3.

Çizelge 5.15’de bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.15 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 3.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1					
	Sig. (2-tailed)						
	N	944					
trim	Pearson Correlation	-,797(**)	1				
	Sig. (2-tailed)	,000					
	N	944	944				
BN	Pearson Correlation	,063	,014	1			
	Sig. (2-tailed)	,052	,674				
	N	944	944	944			
Relatif Yön	Pearson Correlation	,001	-,065(*)	-,108(**)	1		
	Sig. (2-tailed)	,967	,045	,001			
	N	944	944	944	944		
RPM	Pearson Correlation	,361(**)	-,324(**)	-,022	-,016	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,495	,613		
	N	944	944	944	944	944	
Yakıt Tüketimi	Pearson Correlation	,360(**)	-,280(**)	,091(**)	-,093(**)	,919(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,005	,004	,000	
	N	944	944	944	944	944	944

Çizelge 5.15’e göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,360$; $p<0,01$].

- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,280$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,091$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,093$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,919$; $p<0,01$].

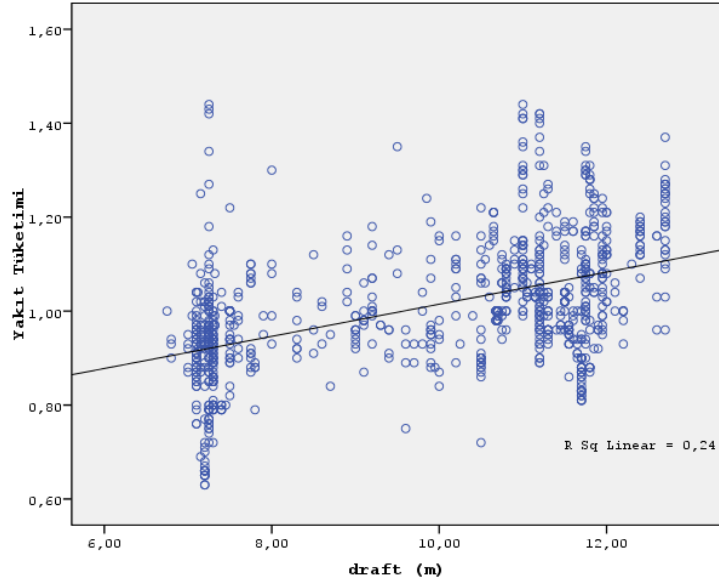
5.2.3.4 Bulgular: gemi tipi 4

Dört numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 915 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.16’da iki tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.16’ya göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyip en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 1,0223 metrik ton ile 2 numaralı gemidir.

Çizelge 5.16 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 4.

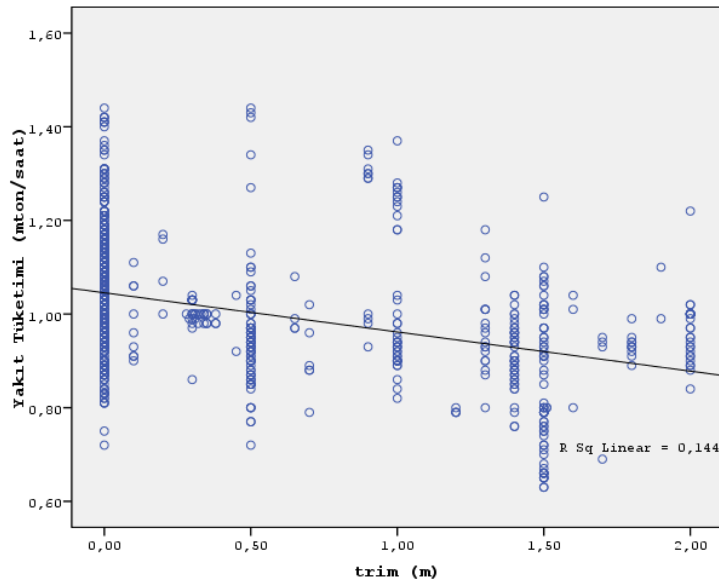
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	470	,9967	,00653	,63	1,44
2	445	1,0223	,00625	,69	1,37

Şekil 5.16’da yer alan draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır.



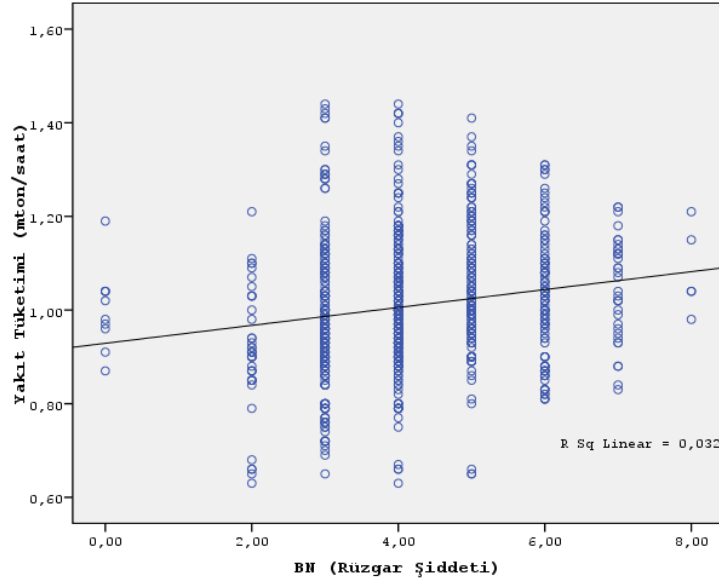
Şekil 5.16 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.

Şekil 5.17’de yer alan trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



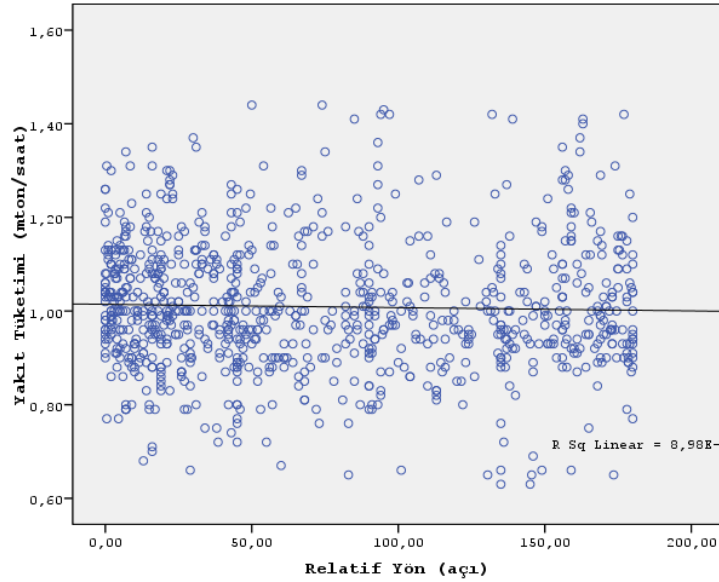
Şekil 5.17 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.

Şekil 5.18’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.18’e göre rüzgar şiddeti arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



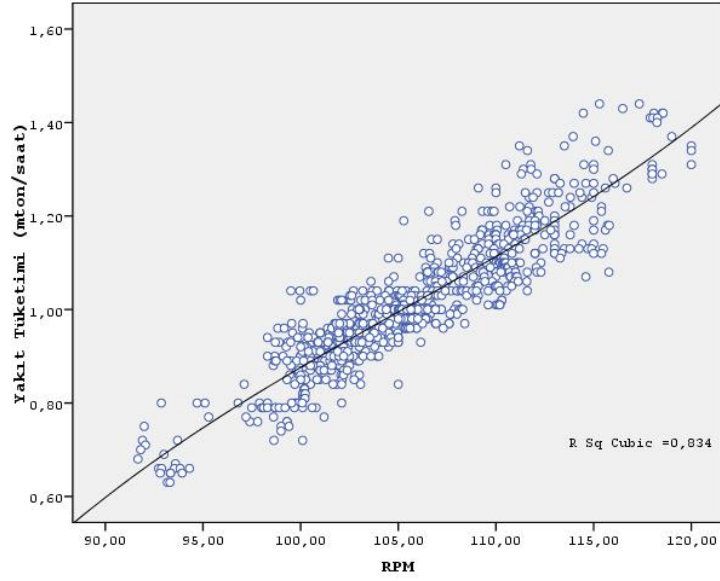
Şekil 5.18 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.

Şekil 5.19’da yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.19’da rüzgarın geminin kıçından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.19 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.

Şekil 5.20’de yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.20 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 4.

Çizelge 5.17’de bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.17 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 4.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1	-,700(**)	,304(**)	,033	,515(**)	,489(**)
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,323	,000	,000
	N	915	915	915	915	915	915
trim	Pearson Correlation	-,700(**)	1	-,181(**)	-,002	-,381(**)	-,380(**)
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,940	,000	,000
	N	915	915	915	915	915	915
BN	Pearson Correlation	,304(**)	-,181(**)	1	-,027	,142(**)	,179(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,413	,000	,000
	N	915	915	915	915	915	915
Relatif Yön	Pearson Correlation	,033	-,002	-,027	1	-,023	-,030
	Sig. (2-tailed)	,323	,940	,413		,482	,365
	N	915	915	915	915	915	915
RPM	Pearson Correlation	,515(**)	-,381(**)	,142(**)	-,023	1	,913(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,482		,000
	N	915	915	915	915	915	915
Yakıt Tüketimi	Pearson Correlation	,489(**)	-,380(**)	,179(**)	-,030	,913(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,365	,000	
	N	915	915	915	915	915	915

Çizelge 5.17'ye göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında orta düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,489$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,380$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,179$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,030$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,913$; $p<0,01$].

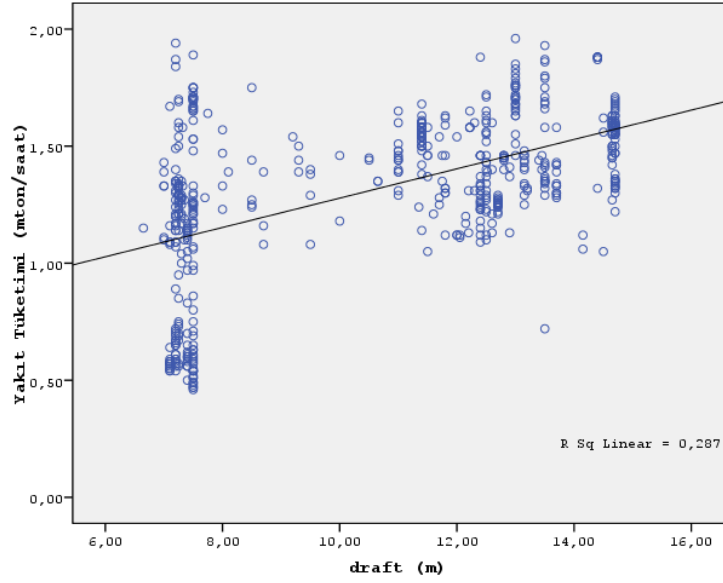
5.2.3.5 Bulgular: gemi tipi 5

Beş numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 599 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.18'de iki tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.18'e göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyip en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 1,38 metrik ton ile 2 numaralı gemidir.

Çizelge 5.18 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 5.

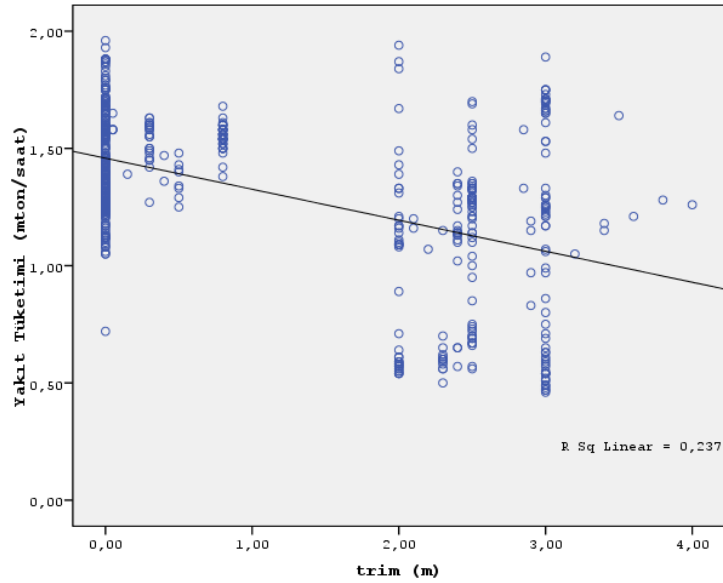
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	315	1,2514	,01802	,50	1,94
2	284	1,3870	,02023	,46	1,96

Şekil 5.21'de yer alan draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır.



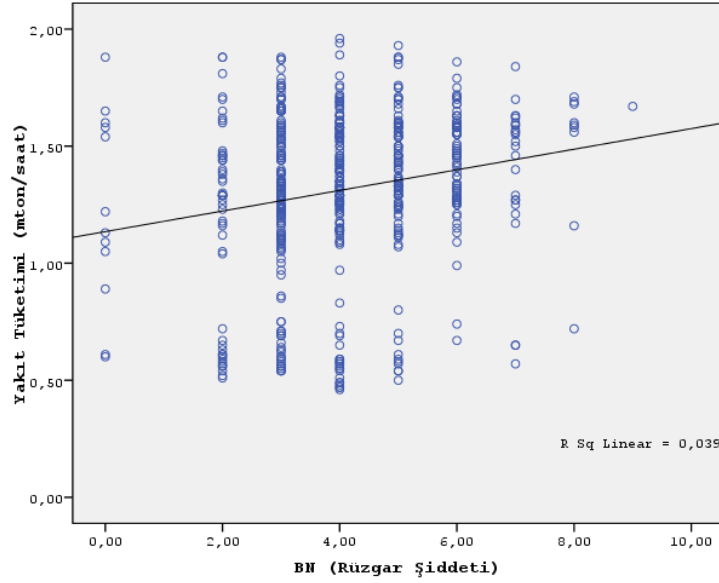
Şekil 5.21 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.

Şekil 5.22’de yer alan trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



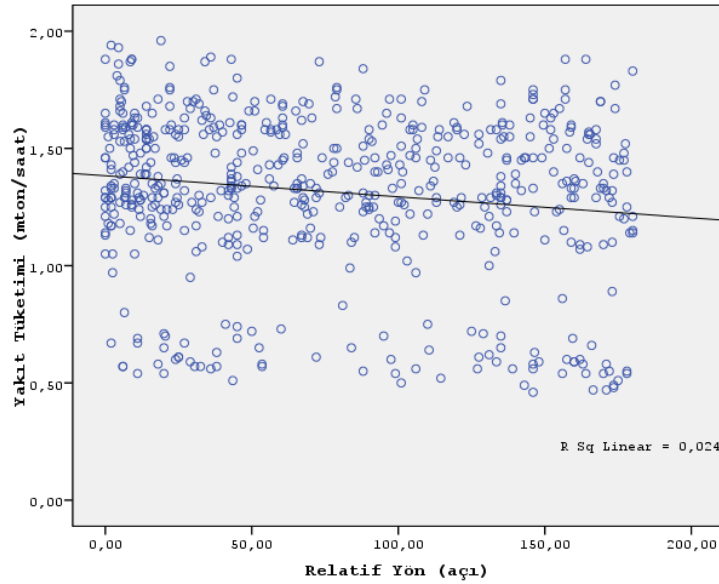
Şekil 5.22 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.

Şekil 5.23’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.23’ye göre rüzgar şiddeti arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



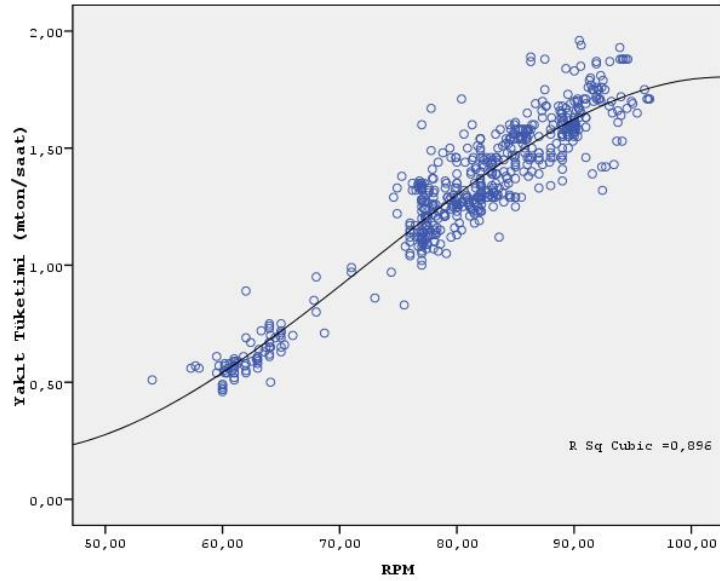
Şekil 5.23 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.

Şekil 5.24’de yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.24’de rüzgarın geminin kıçından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.24 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.

Şekil 5.25’de yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.25 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 5.

Çizelge 5.19’da bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.19 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 5.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1					
	Sig. (2-tailed)						
	N	599					
trim	Pearson Correlation	-,883(**)	1				
	Sig. (2-tailed)	,000					
	N	599	599				
BN	Pearson Correlation	,229(**)	-,184(**)	1			
	Sig. (2-tailed)	,000	,000				
	N	599	599	599			
Relatif Yön	Pearson Correlation	-,059	,066	-,163(**)	1		
	Sig. (2-tailed)	,150	,107	,000			
	N	599	599	599	599		
RPM	Pearson Correlation	,545(**)	-,467(**)	,206(**)	-,138(**)	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,001		
	N	599	599	599	599	599	
Yakıt Tüketimi	Pearson Correlation	,536(**)	-,487(**)	,197(**)	-,154(**)	,944(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	599	599	599	599	599	599

Çizelge 5.19’a göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında orta düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,536$; $p<0,01$].

- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,487$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,197$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,154$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,944$; $p<0,01$].

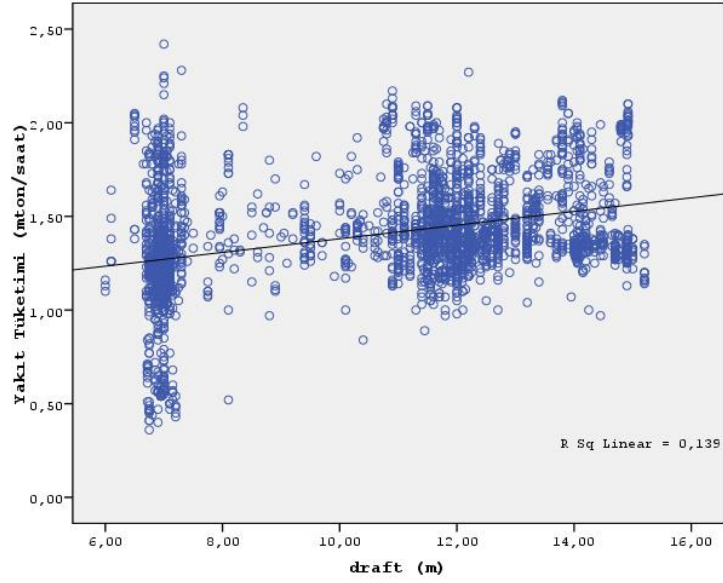
5.2.3.6 Bulgular: gemi tipi 6

Altı numaralı gemi tipi yedi adet kardeş tanker gemisine ait toplamda 3347 adet veri setinden oluşmaktadır. Çizelge 5.20’de 7 tane kardeş geminin ortalama yakıt tüketimi verilmektedir. Çizelge 5.20’ye göre gemilerin tükettiği ortalama yakıt miktarlarında önemli bir fark görülmeyip en yüksek yakıt tüketimine sahip gemi saatte 1,43 metrik ton ile 6 numaralı gemi iken, en düşük yakıt tüketimine sahip gemi ise saatte 1,29 metrik ton ile 2 numaralı gemidir.

Çizelge 5.20 : Gemilere ait yakıt tüketimi istatistiği-Gemi tipi 6.

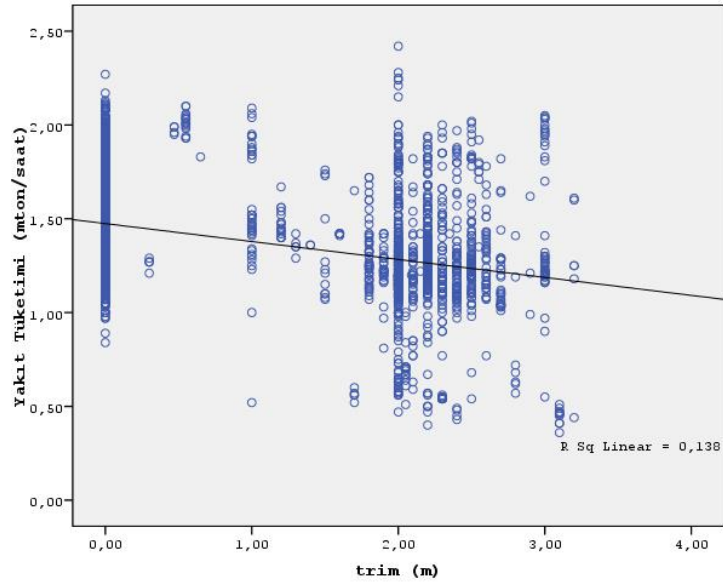
Gemi	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	490	1,4096	,01391	,51	2,10
2	388	1,2955	,01101	,43	1,92
3	515	1,3659	,00980	,52	2,09
4	564	1,3854	,01360	,40	2,12
5	459	1,4237	,01287	,47	2,02
6	456	1,4385	,01136	,99	2,42
7	475	1,4190	,01379	,36	2,28

Şekil 5.26’da yer alan draft ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Yani, geminin draftı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır.



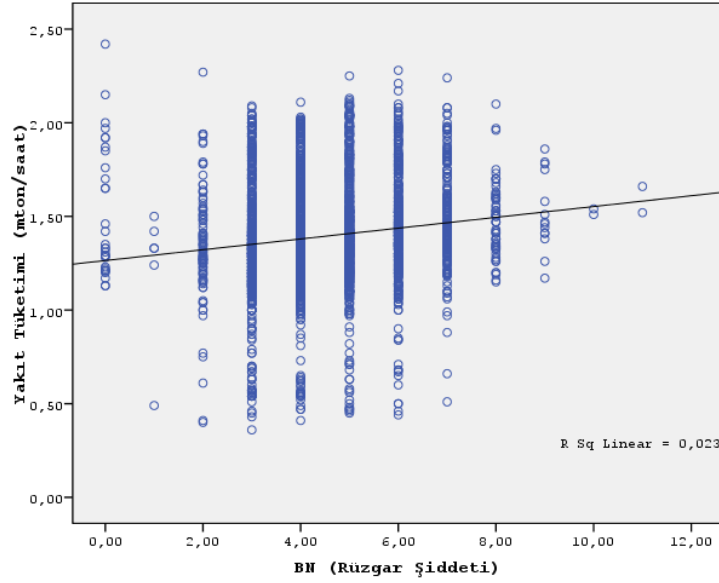
Şekil 5.26 : Draft ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.

Şekil 5.27’de yer alan trim ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Gemilerin trimleri arttıkça tükettikleri yakıt miktarları azalmaktadır.



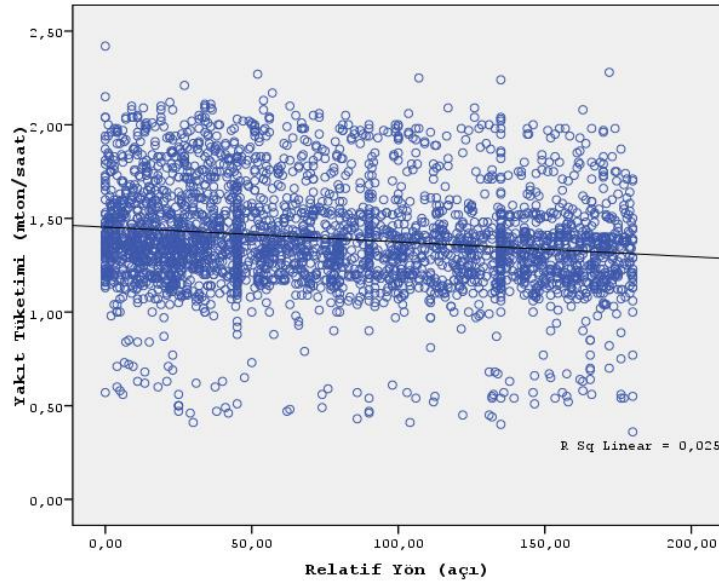
Şekil 5.27 : Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.

Şekil 5.28’de yer alan bofor numarası ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.28’e göre rüzgar şiddeti arttıkça yakıt tüketiminde artış görülmektedir.



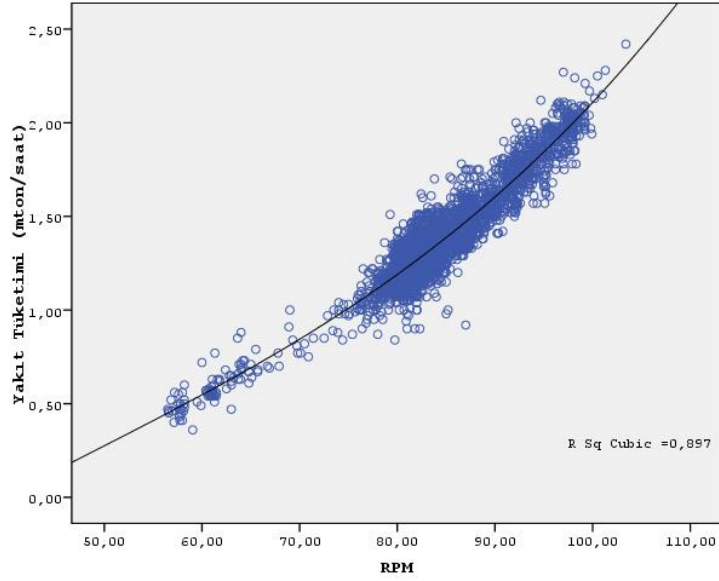
Şekil 5.28 : BN ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.

Şekil 5.29’da yer alan relatif yön ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 5.29’ da rüzgarın geminin kıçından (180 derece) estiği durumda yakıt tüketiminde meydana gelen küçük miktardaki düşüş görülmektedir.



Şekil 5.29 : Relatif rüzgar yönü ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.

Şekil 5.30’ da yer alan RPM ve yakıt tüketimi serpilme grafiği incelendiğinde değişkenler arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, geminin RPM değeri arttıkça geminin tükettiği yakıt miktarı da artmaktadır.



Şekil 5.30 : RPM ile yakıt tüketimi serpilme grafiği-Gemi tipi 6.

Çizelge 5.21’de bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan Pearson bağıntı analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 5.21 : Pearson bağıntı testi: Gemi tipi 6.

		draft	trim	BN	Relatif Yön	RPM	Yakıt Tüketimi
draft	Pearson Correlation	1	-,895(**)	,059(**)	-,034(*)	,305(**)	,373(**)
	Sig. (2-tailed)		,000	,001	,048	,000	,000
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347
trim	Pearson Correlation	-,895(**)	1	-,069(**)	,025	-,322(**)	-,372(**)
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,145	,000	,000
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347
BN	Pearson Correlation	,059(**)	-,069(**)	1	-,138(**)	,065(**)	,151(**)
	Sig. (2-tailed)	,001	,000		,000	,000	,000
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347
Relatif Yön	Pearson Correlation	-,034(*)	,025	-,138(**)	1	-,120(**)	-,157(**)
	Sig. (2-tailed)	,048	,145	,000		,000	,000
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347
RPM	Pearson Correlation	,305(**)	-,322(**)	,065(**)	-,120(**)	1	,940(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347
Yakıt Tüketimi	Pearson Correlation	,373(**)	-,372(**)	,151(**)	-,157(**)	,940(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	3347	3347	3347	3347	3347	3347

Çizelge 5.21’e göre;

- Yakıt tüketimi ile draft arasında zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,343$; $p<0,01$].

- Yakıt tüketimi ile trim arasında zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,372$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile bofor numarası (BN) arasında çok zayıf düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,151$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile relatif rüzgar arasında çok zayıf düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=-0,157$; $p<0,01$].
- Yakıt tüketimi ile RPM arasında çok yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir [$r=0,940$; $p<0,01$].

5.3 Yapay Sinir Ağları Yönteminin Uygulanması

5.3.1 Yapay sinir ağları modelinin parametreleri

YSA, insanlar gibi örnekler ile eğitildikleri için eğitim sırasında yeterli ve geniş veri setinin kullanılması çok iyi sonuçlar vermektedir. Çalışmada her bir gemi türüne ait yaklaşık 3 yıllık sefer verileri kullanılmıştır.

YSA model parametreleri belirlenirken öznel ve nesnel ölçümler uygulanmıştır.

Buna göre;

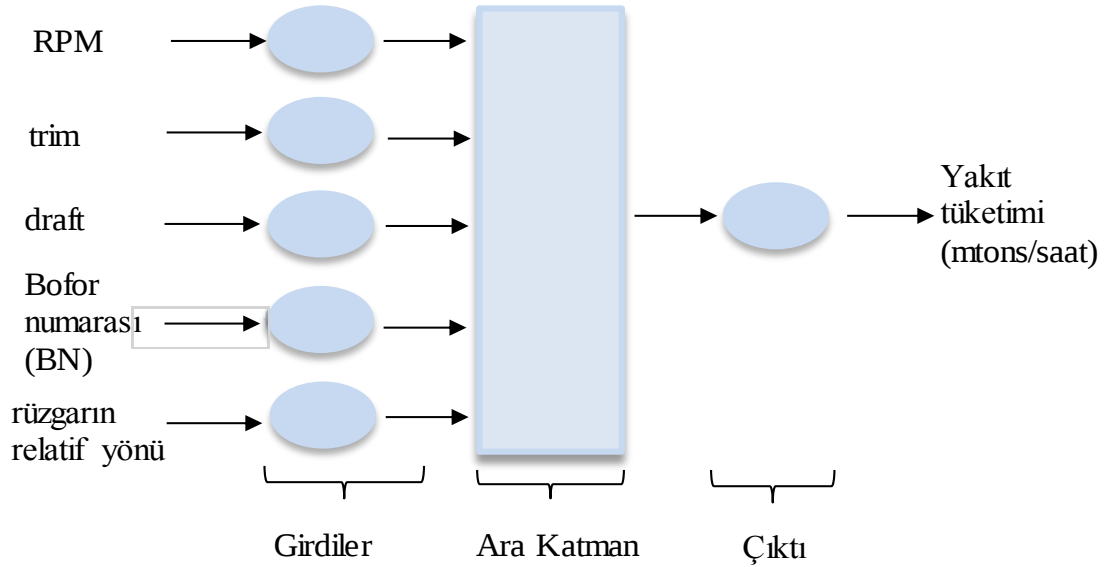
- Öznel Değerlendirme: Uygulanan BAHS yöntemi ile gemi sefer yönetimine etkisi olan önlemlerden uzmanlar tarafından önemli olduğu vurgulanan unsurlar tespit edilmiştir. BAHS analiz sonucuna göre 0.94 ile hız optimizasyonu en yüksek etki değerine sahip olup, bunu 0.06 ile trim optimizasyonu takip etmektedir.
- Nesnel Değerlendirme: Gemilerden elde edilen sefer verileri istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Sefer yönetimine ait operasyonel etkenlerin yakıt tüketimi ile ilişkileri Pearson bağıntı analizi yöntemi ve verilere ait serpilme grafikleri ile gösterilmiştir. Sefer verileri ile yapılan incelemeler sonucunda yakıt tüketimi ile en yüksek ilişkisi bulunan parametrenin RPM olduğu görülmüştür. (Hız Optimizasyonu) Draft ve trim parametrelerinin de yakıt tüketimi ile ilişkilerinin orta düzeyde olduğu görülmektedir. (Trim optimizasyonu) Rüzgar şiddeti (BN) ve rüzgarın relatif yönü parametrelerinin yakıt tüketimi ile çok zayıf ilişkili olduğu görülmektedir. (Hava rotalama)

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda oluşturulan YSA modelinde girdi değişkenleri olarak gemi sefer yönetiminde enerji verimliliğine etkisi olan önlemlerden hem BAHS

yöntemi ile hem de gemilere ait sefer verileri ile yapılan analizler sonucunda çok yüksek öneme sahip olduğu tespit edilen hız optimizasyonu için geminin RPM değeri, trim optimizasyonu için geminin trim ve draft değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, hava rotalama değişkeninin BAHS analizi sonucuna göre gemi sefer yönetimine etkisi olmadığı tespit edilmesine rağmen rüzgar şiddetinin (bofor numarası) ve rüzgarın gemiye göre estiği yön olan rüzgarın nisbi yönünün bağıntı analizi sonucunda yakıt tüketimine anlamlı bir etkisi olduğu görülmüş ve kurulacak modele dahil edilmiştir.

Yakıt tasarrufu hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden ötürü gemilerin enerji verimliliği açısından önemli bir unsurdur. Bu nedenle, kurulacak YSA modelinde çıktı olarak gemilerin saatteki yakıt tüketimi (mton/saat) ele alınmıştır.

Sonuç olarak YSA'nın eğitilmesinde girdi parametreleri olarak RPM, trim, draft, bofor numarası ve rüzgarın relatif yönü; çıkış parametresi olarak da geminin saatte tükettiği yakıt miktarı kullanılmıştır. Ağda kullanılan bu parametreler Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



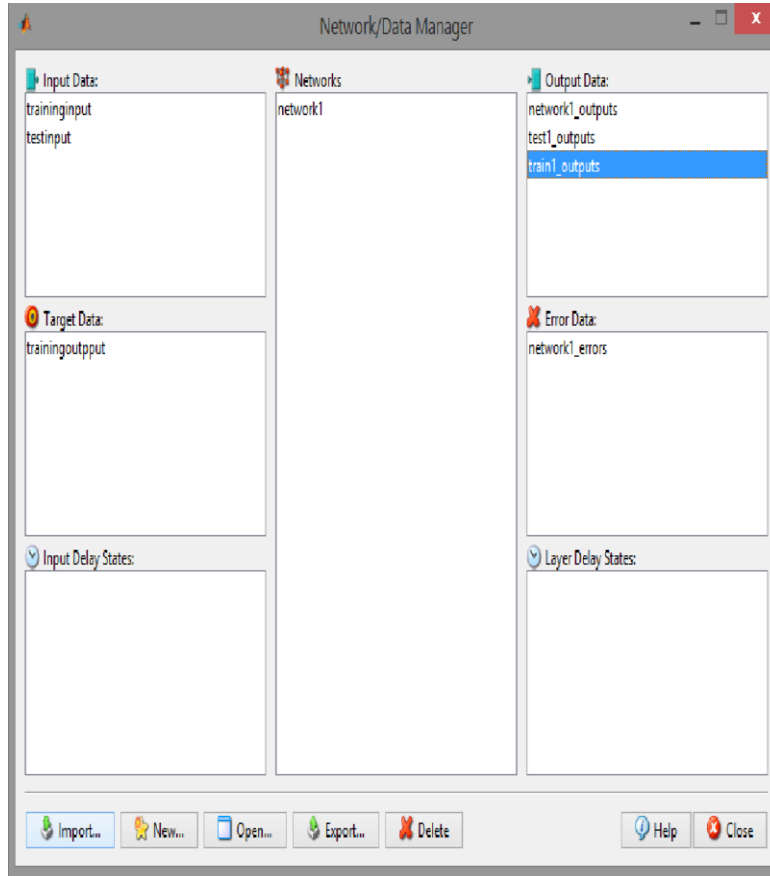
Şekil 5.31 : YSA modelinin parametreleri.

5.3.2 Yapay sinir ağları modelinin yapısı

Altı farklı tipteki toplam yirmi yedi adet tanker gemileri için altı adet YSA modeli oluşturulmuştur. YSA modelleri için ileri beslemeli ağlar için geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Danışmanlı öğrenme metodunu kullanan ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağının bu çalışmada tercih edilmesinin nedeni, verilerin modellenmesi ve

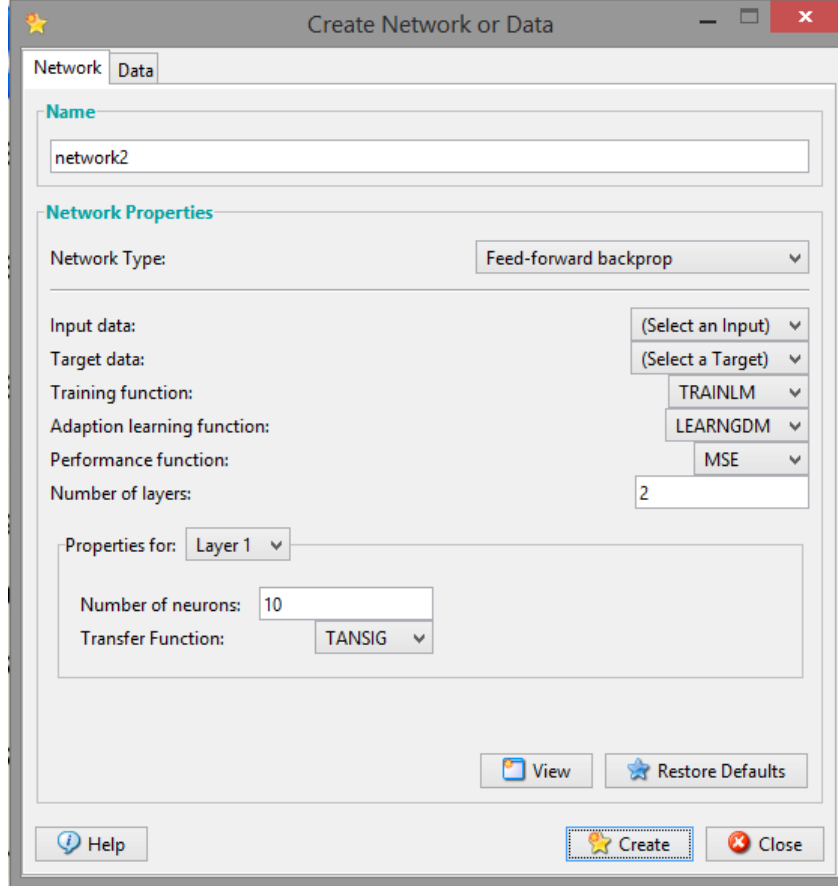
öngörü çalışmalarında en çok kullanılan yöntem olması ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yapıların modellenmesinde gösterdiği öngörü başarısıdır. Ayrıca kullanım kolaylığı da diğer bir tercih edilme nedenidir. YSA modelleri eğitilirken aktivasyon fonksiyonu olarak lojistik sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonunun özelliğinden dolayı, eğitim ve test çıktı verileri 0,1 ile 0,9 arasında normalize edilmiştir. Buna bağlı olarak yapay sinir ağlarının üreteceği sonuç değerleri de 0,1 ile 0,9 arasında elde edilmiştir. Bu durumda başlangıçta yapılan normalize işlemi tersine çevrilerek çıkış değerleri bulunmuştur.

Yapay sinir ağlarının eğitim ve test işleminde Matlab 6.5 paket programının Neural Network toolbox'ı (NN toolbox) kullanılmıştır. Şekil 5.32'de NN toolbox'ın veri giriş formları verilmiştir.



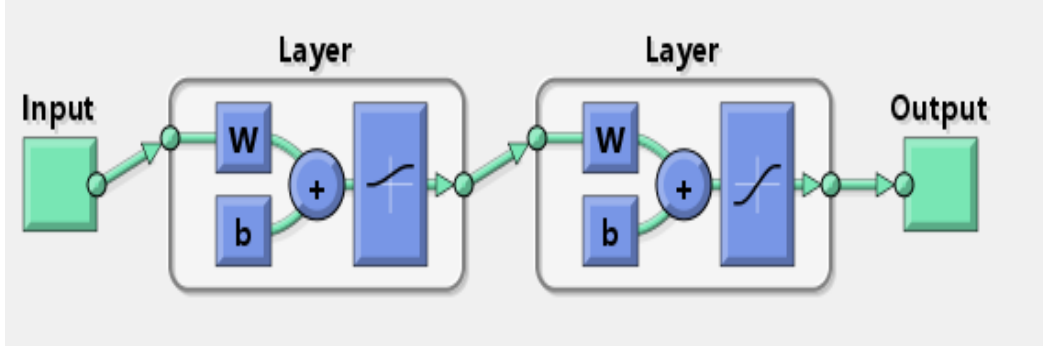
Şekil 5.32 : NN Toolbox veri giriş sayfası.

Şekil 5.33'de ise ağ karakteristiklerinin (ağ mimarisi, katman sayısı, eğitim ve öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu) belirlendiği pencere sayfası görülmektedir.



Şekil 5.33 : Ağ karakteristikleri belirleme sayfası.

Ağın yapısını; kullanılan girdi, ara katman ve çıktı katmanlarının sayısı ve her katmanda bulunan yapay nöron sayısı belirler. Yapay sinir ağlarında en iyi topolojik yapıya ulaşmak için geliştirilmiş herhangi bir kural bulunmadığından, bu aşamada deneme-yanılma yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması ve iterasyon sayısı da deneme yanılma yoluyla seçilmiştir. Şekil 5.34’de tüm gemi tiplerine ait yapay sinir ağı mimarisi görülmektedir. Şekil 5.34’ de görülen bu mimarinin girdi katmanında girdi değişkenlerinin ağa sunulmasını sağlayan 5 adet işlemci eleman ve çıktı tabakasında ise bağımlı değişkene ait ağ çıktısının alındığı 1 adet işlemci eleman bulunmaktadır. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısı için ise herhangi bir kısıt kullanılmamıştır.



Şekil 5.34 : Yapay sinir ağı mimarisi.

5.3.2.1 YSA model yapısı: gemi tipi 1

Bir numaralı gemi tipi yedi adet kardeş tanker gemisinin toplamda 3646 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 3646 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 10 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 1000 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.2.2 YSA model yapısı: gemi tipi 2

İki numaralı gemi tipi yedi adet kardeş tanker gemisinin toplamda 3657 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 3657 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 8 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 1000 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.2.3 YSA model yapısı: gemi tipi 3

Üç numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisinin toplamda 944 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 944 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 10 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 100 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.2.4 YSA model yapısı: gemi tipi 4

Dört numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisinin toplamda 915 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 915 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 8 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 1000 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.2.5 YSA model yapısı: gemi tipi 5

Beş numaralı gemi tipi iki adet kardeş tanker gemisinin toplamda 599 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 599 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 6 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 1000 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.2.6 YSA model yapısı: gemi tipi 6

Altı numaralı gemi yedi adet kardeş tanker gemisinin toplamda 3347 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 3347 adet örnek veriden %70 kadarı rassal olarak seçilerek eğitim verisi olarak geriye kalan %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Beş girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip modeli için iki ara katmana sahip bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ara katmanlardaki işlemci eleman sayısının ise değişik sayıdaki işlemci elemanlarla yapılan denemeler sonucunda, 1 gizli katman ve 10 nöron sayısı olmasına karar verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) ve iterasyon sayısı ise 1000 alınarak kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır.

5.3.3 Yapay sinir ağları modelinin performansının değerlendirilmesi

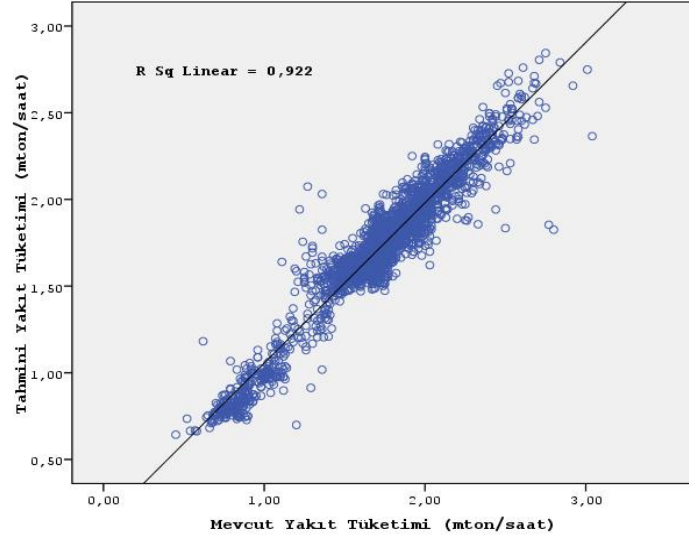
Bu bölümde geminin yakıt tüketimini tahminleyen modelin etkinliğini gösteren sonuçlar değerlendirilecektir. Oluşturulan YSA modellerinin tahmin performanslarını ölçmek amacıyla; belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) performans indislerinden yararlanılmıştır. Optimum sonucun elde edilmesini sağlayan ağ mimarisinin kabul edilebilir olması için;

- Test seti eğrisi (Test) ile eğitim seti hata eğrilerinin benzer karakteristiklerde olması ve belirlilik katsayısının (R^2) yüksek değere sahip olması gereklidir. Elde edilen modelin, bağımlı değişkenin varyansının ne kadarını açıkladığı, belirlilik katsayısı (R^2) ile belirlenir. İyi bir tahminleme modeli için R^2 değerinin 1'e yakın olması istenir.
- Ulaşılan MSE ve RMSE değerlerinin küçük değerlerde olması istenir.

Bu kriterler doğrultusunda yüksek değere sahip belirlilik katsayısı (R^2) ve düşük MSE ve RMSE değerleri modelin yüksek uygunluğunu göstermektedir.

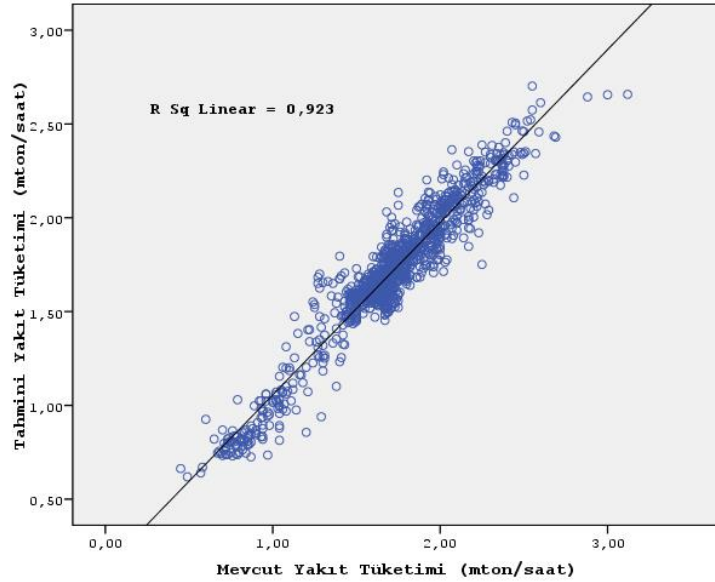
5.3.3.1 Performans değerlendirme: gemi tipi 1

Eğitme işlemi çok küçük bir hata oranı ile tamamlandığı için, gerçek değerler ve elde edilen tahmini değerler aynı grafikte gösterildiğinde, değerler hemen hemen üst üste gelmektedir. Bunun durum, eğitme işleminin oldukça minimum hata ile tamamlandığı şeklinde yorumlanabilir. Şekil 5.35' de eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 5.35 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 1.

Eğitim aşaması sonucunda daha önce ağı gösterilmemiş yani test veri seti olarak ayrılan değerler kullanılarak, oluşturulan yapay sinir ağı test edilir. Test kümesinin amacı, ağı öğrenmesinin yeterli ya da doğru olup yeterliliği değerlendirilmiş olur. Test dönemi içerisinde; gerçek değerlerin yapay sinir ağı ile belirlenen tahmini değerleri Şekil 5.36’da verilmektedir.



Şekil 5.36 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 1.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve

test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.922 ve 0.923'dür. Çizelge 5.22 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 5.22 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.22 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 1.

	Eğitim	Test
MSE	0,003	0,003
RMSE	0,055	0,055

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.23'de gösterilmektedir.

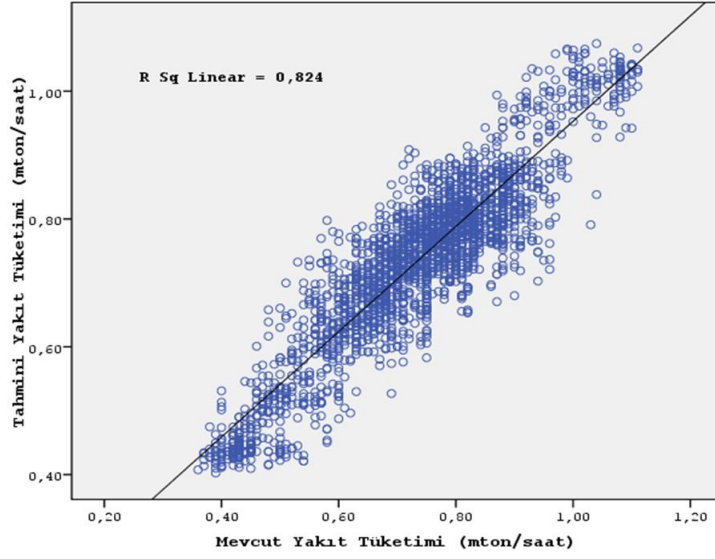
Çizelge 5.23 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 1.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	2,6	2,57	0,02
2	2,05	2,19	0,14
3	2,08	2,10	0,02
4	1,86	1,82	0,03
5	1,86	1,78	0,07

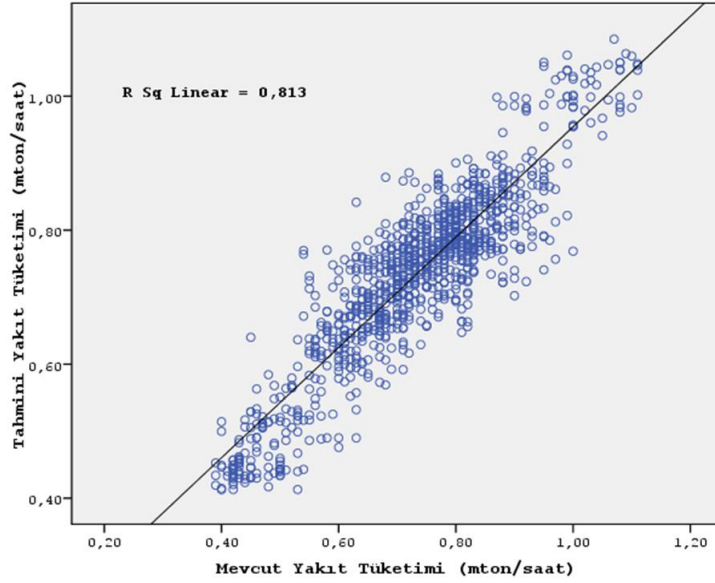
Çizelge 5.23'de de görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.3.3.2 Performans değerlendirme: gemi tipi 2

Şekil 5.37 ve Şekil 5.38 eğitim ve test için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.37 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 2.



Şekil 5.38 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 2.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.824 ve 0.813'dür. Çizelge 5.24 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 5.24 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.24 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 2.

	Eğitim	Test
MSE	0,001	0,001
RMSE	0,044	0,044

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.25’de gösterilmektedir.

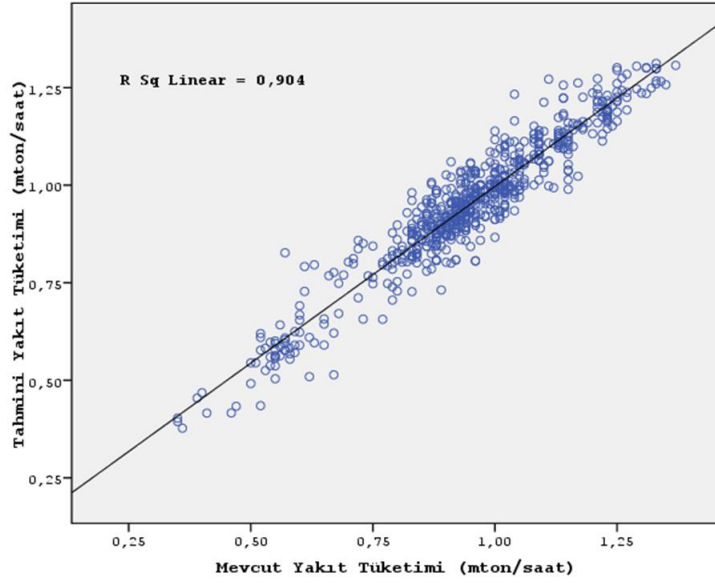
Çizelge 5.25 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 2.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	0,4	0,44	0,37
2	0,51	0,48	0,26
3	0,47	0,50	0,3
4	0,49	0,51	0,28
5	0,55	0,48	0,22

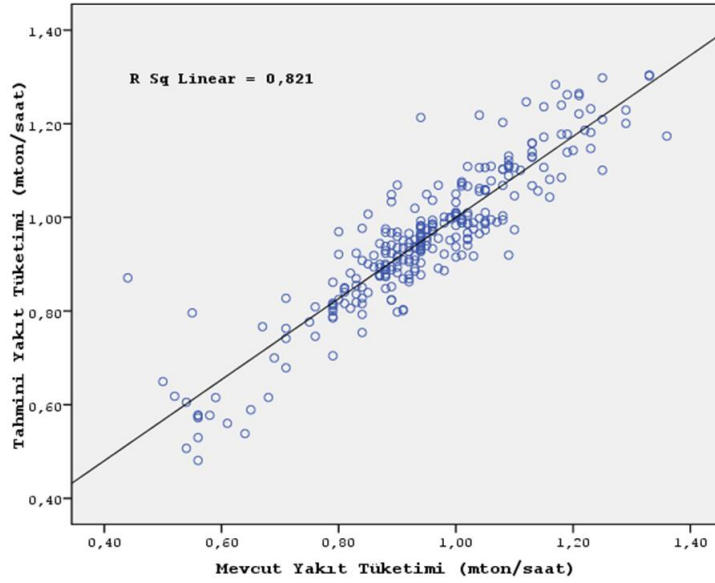
Çizelge 5.25’de de görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.3.3.3 Performans değerlendirme: gemi tipi 3

Şekil 5.39 ve Şekil 5.40 eğitim ve test için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.39 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 3.



Şekil 5.40 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 3.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.904 ve 0.821'dür. Çizelge 5.26 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 5.26 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.26 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 3.

	Eğitim	Test
MSE	0,001	0,002
RMSE	0,039	0,047

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.27’de gösterilmektedir.

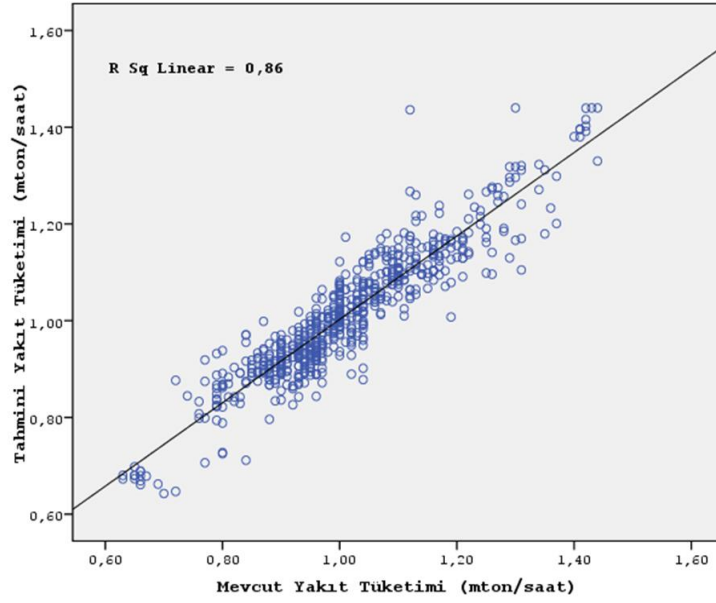
Çizelge 5.27 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 3.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	0,64	0,53	0,10
2	0,56	0,57	0,01
3	0,52	0,61	0,09
4	0,65	0,58	0,06
5	0,5	0,64	0,14

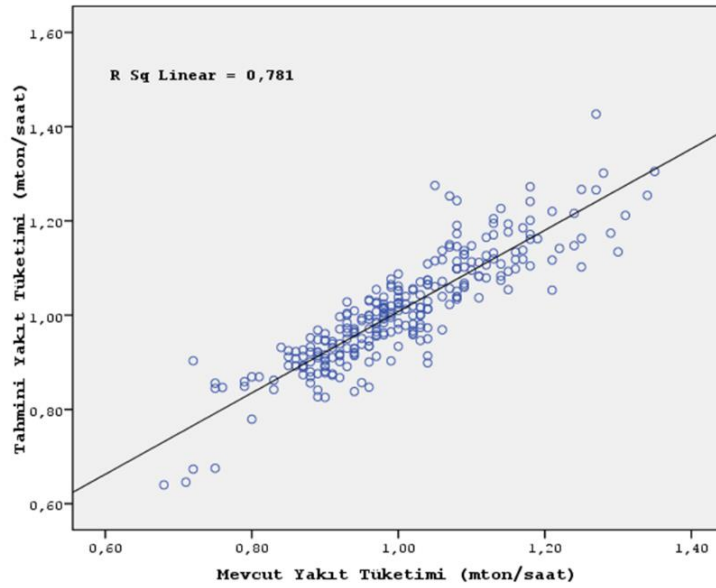
Çizelge 5.27’de de görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.3.3.4 Performans değerlendirme: gemi tipi 4

Şekil 5.41 ve Şekil 5.42 eğitim ve test için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.41 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 4.



Şekil 5.42 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 4.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.86 ve 0.781'dür. Çizelge 5.28 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 5.28 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.28 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 4.

	Eğitim	Test
MSE	0,001	0,001
RMSE	0,038	0,040

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.29’da gösterilmektedir.

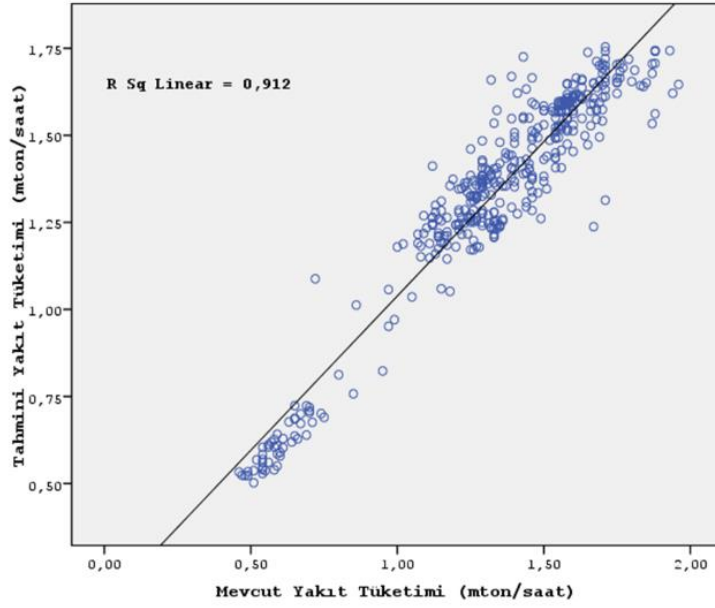
Çizelge 5.29 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 4.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	1,04	0,94	0,09
2	1	0,92	0,07
3	0,93	0,88	0,04
4	1,44	1,32	0,11
5	1,42	1,40	0,01

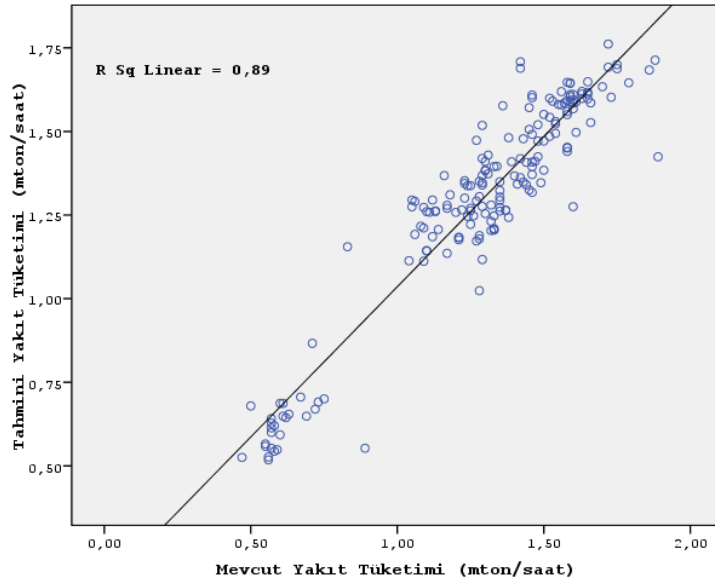
Çizelge 5.29’da da görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.3.3.5 Performans değerlendirme: gemi tipi 5

Şekil 5.43 ve Şekil 5.44 eğitim ve test için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.43 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 5.



Şekil 5.44 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 5.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.912 ve 0.89'dür. Çizelge 30 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 30 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.30 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 5.

	Eğitim	Test
MSE	0,005	0,006
RMSE	0,071	0,077

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.31’de gösterilmektedir.

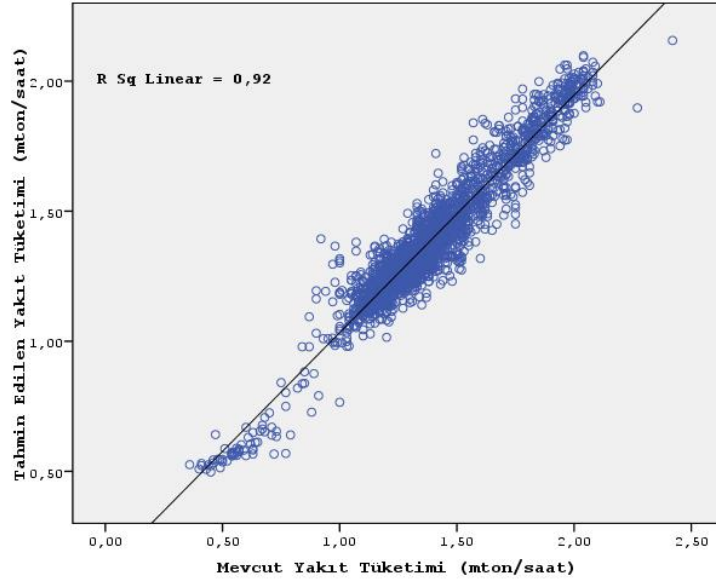
Çizelge 5.31 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 5.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	1,75	1,65	0,09
2	1,65	1,73	0,08
3	1,69	1,70	0,01
4	1,7	1,67	0,02
5	1,88	1,74	0,13

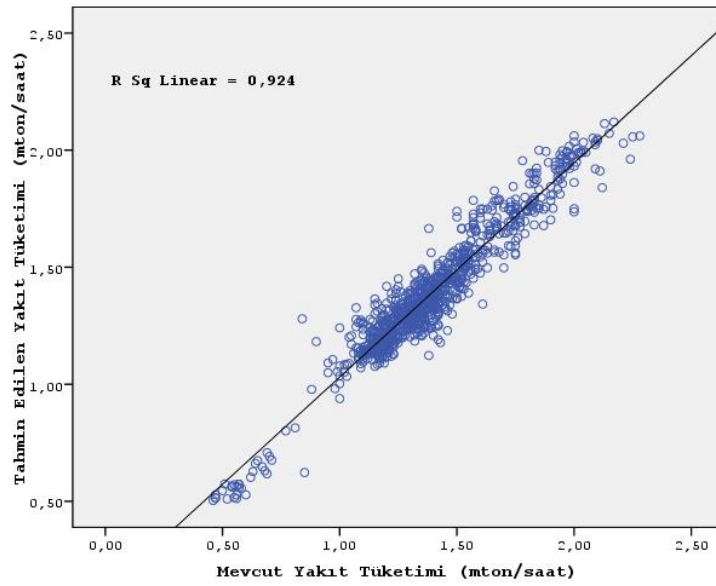
Çizelge 5.31’de de görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.3.3.6 Performans değerlendirme: gemi tipi 6

Şekil 5.45 ve Şekil 5.46 eğitim ve test için gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.45 : Eğitim verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 6.



Şekil 5.46 : Test verisi ile gerçek değer arasındaki ilişki- Gemi tipi 6.

Verilen eğitim ve test grafiklerinden de görüldüğü üzere hem eğitim aşaması hem de test aşaması tamamlandıktan sonra oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup eğitim ve test verisi için belirlilik katsayısı (R^2) sırasıyla 0.92 ve 0.924'dür. Çizelge 5.32 eğitim ve test verisi için hata değerlerini göstermektedir. MSE ve RMSE hatalarının yer aldığı çizelge 5.32 incelediğinde hem eğitim hem de test işlemi sırasında hata paylarının oldukça küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.32 : YSA modeli için hata değerleri- Gemi tipi 6.

	Eğitim	Test
MSE	0,003	0,003
RMSE	0,055	0,055

Son olarak yapay sinir ağından daha önce görmediği 5 girdi değişkeni için sonuç verileri üretmesi istenmiştir. Gerçek veriler ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlar Çizelge 5.33’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.33 : YSA çıktısı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması- Gemi tipi 6.

Test Veri Sayısı	Gerçek Yakıt Tüketimi	YSA çıktısı	Mutlak Hata
1	1,1	1,09	0,001
2	1,11	1,11	0,009
3	1,13	1,13	0,005
4	1,31	1,34	0,03
5	1,14	1,22	0,08

Çizelge 5.33’de de görüldüğü gibi beş operasyonel parametre altında yapay sinir ağı gerçek değerlere oldukça yaklaşmıştır ve gerçek değerler ile uyumlu sonuçlar üretmiştir.

5.4 Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliği Optimizasyonu Uygulanması

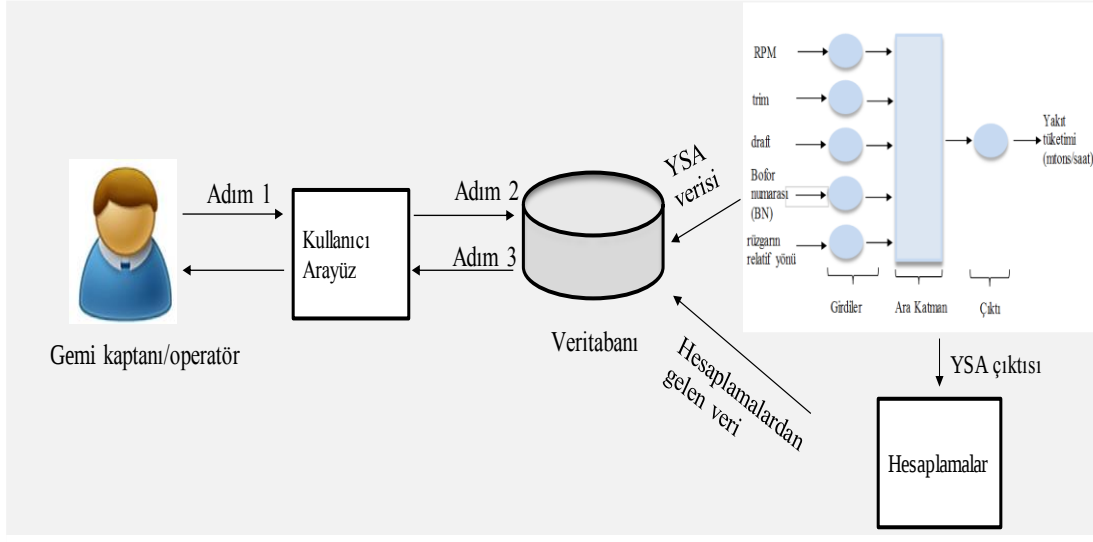
Gemi sefer yönetimine ilişkin operasyonel önlemlerin uygulanmasına yönelik karar vermede gemi kaptanı/operatörü için geliştirilen etkili bir karar destek sistemi sayesinde enerji verimliliğinin optimizasyonu mümkündür. Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için geliştirilen YSA tabanlı karar destek sistemi modelinde yer alan girdiler ve kullanıcının (gemi kaptanı/operatörü) kontrol edebileceği parametreler Çizelge 5.34’de verilmiştir.

Çizelge 5.34 : Gemi kaptanı/operatörü tarafından kontrol edilebilen parametreler.

	Girdiler	Kontrol Edilebilir mi?	Açıklama
Hız Optimizasyonu	RPM	Evet	Sefer planı dikkate alınarak RPM artırılır veya azaltılır, gemi hızı optimize edilir.
Trim Optimizasyonu	Draft	Hayır	Geminin deplasmanına bağlı olarak mevcut draftı girilir.
	Trim	Evet	Gemi draftına uygun trim ayarlanır.
Hava Rotalama	Rüzgar Şiddeti (BN)	Hayır	Hava raporlarından elde edilen rüzgar şiddeti (BN) girilir.
	Relatif Rüzgar Yönü	Evet	Geminin rotası değiştirilerek rüzgarın gemiye göre estiği yön ayarlanır. (0 ile 180 derece arası)

Çizelge 5.34'e göre; gemi kaptanı/operatörü sefer planını dikkate alarak (Ticari nedenlerden ötürü zaman kısıtlaması oluşabilir.) geminin RPM'ini artırıp azaltarak gemi hızını optimize edebilir. Gemi draftı geminin deplasmanına bağlı olduğundan sınırlı düzeyde kontrol edilebilir. Ancak geminin draftına uygun trim belirlenerek gemi trimi optimize edilebilir. Sefer boyunca takip edilecek olası rotaların olduğu bölgelerdeki rüzgar şiddeti hava raporlarından elde edilir. Rüzgarın gemiye göre estiği yön (0 ile 180 derece arası) geminin rotası değiştirilerek ayarlanır.

YSA yöntemini kullanarak çeşitli operasyonel koşullar altında geminin yakıt tüketimini tahminleyen ve gemi sefer yönetimi enerji verimliliğini artırmaya yönelik kararların alınmasında gemi kaptanı/operatörü için geliştirilen karar destek sisteminin tasarımı şekil 5.47'de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 : Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için YSA tabanlı KDS tasarımı.

KDS veri tabanı, geliştirilen YSA modelinin tahminlediği gemiye ait yakıt tüketimini gösteren veriden ve YSA çıktısı kullanılarak yapılan çeşitli hesaplamalardan gelen bilgilerden oluşmaktadır. Oluşturulan YSA modeli beş girdi parametresi (RPM, trim, draft, Bofor numarası ve rüzgarın relatif yönü) ile çalıştırılmaktadır. Kullanıcının girdilerine dayanarak YSA modeli dinamik olarak gerçek zamanlı bir çıktı üretecektir. YSA tabanlı KDS'nin geliştirilme adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Gemi kaptanı/operatörü öncelikle YSA modeli için gerekli olan beş parametreyi sisteme girer. Ardından, KDS için gerekli olan limanlar arasındaki mesafe, yükün teslim zamanı gibi ticari etkenler doğrultusunda belirlenen gemi hızına bağlı toplam seyir süresi , yakıt fiyatı ve CO₂ için salınım faktörü gibi tüm bilgiler sisteme girilir.

Adım 2: Gemi operatörünün girişine bağlı olarak sistem veri tabanı üzerinde gerekli sorgulamaları yapar.

Adım 3: Sorgulamaların sonuçları gemi kaptanı/operatörünün değerlendirilmesi için sunulur. Kullanıcı bu aşamada etkileşimi sonlandırabilir veya adım 1'e giderek devam edebilir.

5.4.1 Örnek senaryolar

Sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu için geliştirilen KDS'nin işlevselliğini göstermek için yakıt tüketimi ile yüksek ilişkili olması nedeniyle en önemli

operasyonel önlem olan hız optimizasyonuna ait varsayıma dayalı iki adet senaryo oluşturulmuştur.

Örnek senaryolarda 274 m boyunda, 184 bin deplasmana sahip G1 tipindeki tanker gemisi ele alınmıştır. G1 tipindeki tanker gemisinin zaman charteri sözleşmesi ile işletildiği varsayılır ve yük için geminin limanda olması gereken zaman önceden kiracı tarafından belirlenmiştir. Kira anlaşmasına göre navlun miktarı sabit olup yük için geminin limanda olması gereken zamana göre gemi hızının optimize edilmesiyle seferlik yakıt tasarrufunda bulunarak işletme maliyetini düşürmek ve çevresel fayda sağlamak mümkündür.

Çalışmamızda hız optimizasyonu için geminin RPM değeri ele alındığı için öncelikle geminin RPM değerinden gemi hızına ulaşılır. G1 tipi geminin şekil 5.48’de yer alan deneme seyri raporundan elde edilen veriye dayanarak RPM ile gemi hızı arasındaki ilişki modellenir.

RUN NO.	Track HEADING	TIME		Distance (m)	Water Depth (m)	Ground Speed (Knots)	Measured Shaft Power (kW)	Actual IME SPEED (RPM)	IME LOAD (%)	RELATIVE WIND		WAVE	
		START	DURATION							SPEED (kn)	DIRECTION	HEIGHT	DIRECTION
1	182deg.	00:04	307	1852.3	81	11.728	8909.44	72.64	48.2%	25	S /20deg.	Around 2.0m	Around 35deg. / 145deg. off the bow
2	359deg.	00:50	280	1854.0	78	12.871	8430.43	72.65	45.6%	12	P /100deg.		
Average Speed/Shaft-power: 12.300kn / 8669.94kW													
3	0deg.	01:42	241	1853.7	77	14.952	12604.92	82.80	68.2%	11	P /100deg.		
4	178deg.	02:36	260	1847.9	78	13.816	13431.46	82.79	72.7%	30	S /20deg.		
Average Speed/Shaft-power: 14.384kn / 13018.19kW													
5	178deg.	03:14	242	1849.4	76	14.856	15822.91	88.02	85.7%	32	S /20deg.		
6	3deg.	04:37	234	1852.1	75	15.386	14720.79	88.04	79.7%	11	P /100deg.		
Average Speed/Shaft-power: 15.121kn / 15271.85kW													
7	3deg.	05:07	227	1849.5	66	15.838	16484.34	91.04	89.2%	11	P /100deg.		
8	177deg.	06:35	233	1851.1	71	15.443	17226.55	90.24	93.3%	30	S /20deg.		
Average Speed/Shaft-power: 15.641kn / 16855.45kW													

Şekil 5.48 : Deneme seyri rapor örneği.

Geminin RPM değeri ile gemi hızı arasındaki ilişkiyi modellemek amacıyla deneme seyrinden elde edilen veri ile regresyon analizi yapılmış olup % 5 anlamlılık seviyesinde aşağıdaki regresyon denklemi oluşturulmuştur.

$$HIZ = -1.038 + 0.184(RPM) \quad (5.1)$$

Ardından YSA tabanlı KDS’nin adımları uygulanır.

Adım 1: Gemi kaptanı/operatörü öncelikle YSA modeli için; gemi draftının 15.3, trimin 0, bofor numarasının 3 ve relatif rüzgarın 180 (rüzgarın geminin kıçından

gelmesi) olduğu durumda geminin RPM'nin ise 60 ve 80 olduğu iki farklı senaryoya ait bilgileri sisteme girer.

KDS için gerekli olan diğer bilgiler de sisteme girilir. Limanlar arasındaki mesafe 789 mil, seferlik yakıt maliyetini hesaplamak için yakıt fiyatı metrik ton başına 200\$ ve 500\$ olmak üzere iki farklı şekilde ve CO₂ için salınım faktörü 3.17 (EMEP/CORINAIR, 2002; Endresen ve diğ., 2007; Chang ve Chang; 2013) olarak ele alınmıştır. Toplam seyir süresi ise gemi hızına bağlı olarak değişmektedir.

Adım 2: YSA modeli için gerekli parametreler ara yüze girildikten sonra YSA hesaplamaları gerçekleşir. Hesaplamaların sonuçlarına göre; RPM'in 60 olduğu senaryo 1'e göre yakıt tüketimi saatte 1.13 metrik ton iken senaryo 2'de yani RPM'in 80 olduğu durumda yakıt tüketimi 2.33 tondur.

Ayrıca, yukarıda verilen regresyon analizi denkleminin (5.1) uygulanması ile RPM 60 olduğunda gemi hızı saatte 10 knot, RPM 80 olduğunda ise gemi hızı saatte 13.68 knot olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.35'de YSA modelinin çıktıları ve sisteme girilen diğer bilgiler kullanılarak gerçekleşen hesaplamaların sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.35 : Karar destek bilgileri.

Senaryo	Sefer Süresi (saat)	Saatlik yakıt tüketimi (mton)	Seferlik yakıt tüketimi (mton)	Seferlik yakıt maliyeti (200\$/mton)	Seferlik yakıt maliyeti (500\$/mton)	CO ₂ (tons)
1	78.9	1.13	89.53	17907	44768	283.8
2	57.7	2.33	134.8	26967	67417	427.4

Adım 3: Karar destek bilgilerine dayanarak gemi kaptanı/operatörü gemi sefer yönetimi enerji verimliliğine yönelik operasyonel parametreleri yönetebilmektedir. YSA modeline girilen operasyonel parametrelerin sefer planının gerektirdiği ihtiyaçlar doğrultusunda değiştirilmesiyle karar destek bilgileri de değişecektir. Yük için geminin limanda olması gereken zamana göre gemi hızı optimize edilerek limana giriş için fazladan beklemeler (limandaki sıkışıklıktan dolayı) veya geminin düşük hızla seyrinden kaynaklanan gecikmeler gibi istenmeyen durumlar ortadan kaldırılmış olur.

Varsayımlar üzerine kurulan senaryo sonuçlarına göre gemi hızının saatte 10 knot olduğu senaryo 1’de gemi hızının saate 13.68 knot olduğu senaryo 2’ye göre;

- Geminin saatlik yakıt tüketimi 1.2 metrik ton,
- Geminin seferlik yakıt tüketimi 45.2 metrik ton,
- Geminin seferlik yakıt maliyeti yakıt fiyatı 200\$/mton olduğunda 9060 dolar, 500\$/mton olduğunda 22649 dolar ve
- Geminin seferlik CO₂ salınımı 144 ton

azalmaktadır.

Gemi kaptanı/operatörü, çizelge 5.35’de yer alan karar destek bilgilerine eriştikten sonra isterse yeni operasyonel parametreler girerek ilave sorgulamalarda bulunmak için adım 1’e dönüş yapar veya sistemden çıkış yaparak etkileşimi sonlandırabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekonomik ve çevresel baskıların sonucu olarak gemilerde yakıt tüketimini düşürmek önemli bir konu haline gelmiştir. Mevcut gemiler için yakıt tasarrufu gemi operasyonel enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması ile mümkündür.

Gemi sefer yönetimine ilişkin operasyonel önlemlerin uygulanmasına yönelik karar vermede gemi kaptanı/operatörü için geliştirilen etkili bir karar destek sistemi sayesinde enerji verimliliği optimizasyonu mümkündür.

Bu bağlamda öncelikle, çalışmada gemilerin operasyonel enerji verimliliği önlemleri detaylı olarak açıklanmış, bu faktörler Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve faktörlerin önem dereceleri saptanmıştır. Uzman yargılarının dahil edildiği BAHS yöntemi kullanılarak tespit edilen operasyonel önlemlerinin ağırlıkları ile gemi sefer yönetiminin enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmış, ayrıca gemi sefer yönetimine dahil olan etkenlerin önceliklendirilmesi yapılmıştır. Böylece sefer ile ilgili çeşitli operasyonel koşullar altında yakıt tüketimine etkisi olan etkenler öznel olarak tespit edilmiştir.

Ardından, tez çalışması kapsamında gemilerden sefer verileri elde edilmiştir. Sefer verileri, sefer yönetimi kapsamındaki operasyonel faaliyetlerin yakıt tüketimi üzerindeki etkisini tespit etmek üzere istatistiksel olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre gemi hızının yakıt tüketiminde en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın ilk temel katkısı, yakıt tüketimine etkisi olduğu öznel ve nesnel ölçümler ile tespit edilen etkenler kullanılarak sefer ile ilgili çeşitli operasyonel koşullar altında geminin yakıt tüketimini tahminleyen yapay sinir ağları (YSA) modeli oluşturulmuştur. YSA modeli performans sonuçlarına göre tahmin modelleri girdi değişkenleri ve yakıt tüketimi arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde vermektedir. Yani, elde edilen sonuçlar neticesinde yapay sinir ağlarının gerçek sonuçlara yakın değerler verdiği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın ikinci temel katkısı ise gemi sefer yönetimi enerji verimliliğini artırmaya yönelik kararların alınmasında gemi kaptanı/operatörü için yapay sinir ağları (YSA) tabanlı karar destek sistemi oluşturulmuştur. Önerilen yöntem, yakıt tasarrufu için gemi kaptanı/operatörü tarafından alınacak önlemler için karar vermede başarılı bir karar destek aracı olarak kabul edilebilir.

Genel prensip olarak, gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu üzerine tesis edilmiş olan YSA tabanlı karar destek sistemi yaklaşımı, geminin seferine ait bir operasyonel süreç içerisinde yer alan önlemlerin değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu değerlendirmede gemi sefer yönetimine ait her bir operasyonel önlemin geminin enerji verimliliği üzerindeki etkisel değişimleri saptanmakta ve ilgili önlemlerin çevresel ve ekonomik etkileri ortaya konmaktadır. Böylece, YSA tabanlı karar destek sistemi kullanılması ile geliştirilen yaklaşım ile geminin seferine ait operasyonel süreçlerin içerisinde ihtiyaç duyulan iyileştirmelere yönelik alınacak önlemlerin değerlendirilmesi ile gemi kaptanı/operatörüne karar verme aşamasında destek sağlanmaktadır. Önerilen yaklaşımın, operasyonel önlemlerden geminin sefer yönetimi enerji verimliliğine en büyük etkisinin olduğu belirlenmiş hız optimizasyonu uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın yazına ve denizcilik endüstrisine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmekte olup, olası katkılar aşağıdaki gibi sunulmuştur:

- Yazında denizcilik paydaşlarının çevresel ve ekonomik nedenlerde ötürü en önemli konularından biri haline gelen yakıt tasarrufu ile enerji verimliliği üzerine kaynak olabilecek bir çalışma özelliği taşımaktadır.
- Enerji verimliliğine yönelik oluşturulan düzenlemeler ve yapılan uluslararası çalışmalar ile gemilerde operasyonel enerji verimliliğine yönelik uygulamalar kapsamlı bir şekilde incelenmiş olup bu yazın taraması neticesinde elde edilen ve detaylı bir şekilde analizi gerçekleştirilen çalışmalar konu üzerinde çalışmayı planlayan araştırmacılar için önemli bir kaynak oluşturacaktır.
- Denizcilik şirketlerinin, enerji verimliliği operasyonel uygulamaları ile kazanmış oldukları enerji tasarrufu kültürünü geliştirmelerini sağlamaktadır.
- Gemi sefer yönetimi enerji verimliliği optimizasyonu sağlanmasına yönelik alınan önlemler ile gemi kaptanı/operatörüne karar verme aşamasında destek sağlanmaktadır.

- Gemi kaptanı/operatörünün enerji verimliliğine ait operasyonel sefer yönetim seviyesinde ki karar verme süreci etkinliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır.
- Geliştirilen karar destek sistemi kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir matematiksel altyapıya sahip olup sağladığı operasyonel esneklik sayesinde liman ve charterer tarafından gelen bilgiler doğrultusunda sürekli güncellenebilmekte ve böylece sefer süresince enerji verimliliği geliştirmeyi destekleyen bildirimler sunmaktadır.
- Belli bir gemi türü için özelleşmiş bir yapıya sahip olması gemi sefer yönetimine ait operasyonel önlemlere yönelik alınan kararların daha tutarlı olmasını sağlamaktadır.
- Geliştirilen yöntem ile ilk kez geminin sefer verileri kullanılarak geminin yakıt tüketimini tahminleyen ve gemi kaptanı/operatörüne gemi seferine ait alınabilecek önlemler ile ilgili karar vermede destek olmayı amaçlayan yardımcı bir araç oluşturulmuştur.

Önerilen yaklaşımın sağlamış olduğu faydalar ve denizcilik endüstrisinin beklentileri de dikkate alınarak yapılacak ileri çalışmalar arasında öncelikle daha fazla sayı ve farklı türdeki gemi platformları (konteyner, kuru yük gibi) üzerinde yürütülmekte olan gemi sefer yönetimi enerji verimliliği operasyonlara yönelik karar destek sistemi tasarlanması ve geliştirilmesi gelmektedir. Devamında, tüm gemi operasyonel enerji verimliliği süreçlerini (tekne ve pervane kondisyon yönetimi, makine yönetimi gibi) kapsayan uygulamaların yer aldığı karar destek sistemi oluşturulmalıdır. Ayrıca, çalışmada önerilen karar destek sisteminin bilgisayar programcılarında oluşan uzman bir ekip yardımıyla bir paket programına dönüştürülerek ticari bir programa dönüştürülebilir.

KAYNAKLAR

Abdelaziz, E.A., Saidur, R. ve Mekhilef, S. (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 150-168.

ABS Report (2013). Ship Energy Efficiency Measures.

Ajdadi, F.R. ve Gilandeh, Y.A. (2011). Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. *Measurement*, 44, 2104–2111.

Akpınar, M. (2014). *Gemilerde Enerji Verimliliği Planının Kabotaj Hattında Çalışan Türk Bayraklı Yüksek Hızlı Yolcu Gemisine Uygulanması Ve Değerlendirilmesi*, (denizcilik uzmanlık tezi), T.C. Ulaştırma Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

Altınar, M. (2011). *Uluslararası Karbon Piyasaları Ve Türkiye Karşılaştırması*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi Ve Uluslararası İlişkiler Ana Bilimdalı, İstanbul.

Amirnekoeei, K., Ardehali, M.M. ve Sadri, A. (2012). Integrated resource planning for Iran: Development of reference energy system, forecast, and long-term energy-environment plan. *Energy*, 46, 374-385.

Armstrong, N.V. (2013). Review- Vessel optimisation for low carbon shipping. *Ocean Engineering*, 73, 195–207.

Bahadır, İ. (2008). *Bayes Teoremi ve Yapay Sinir Ağları Modelleriyle Borsa Gelecek Değer Tahmini Uygulaması*, (yüksek lisans tezi), TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, FBE, Ankara.

Ballou, P.J. (2013). Ship Energy Efficiency Management Requires, *Paper*, 47(1); January/February.

Bayır, F. (2006), *Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Bazari, Z. ve Longva, T. (2011). *Assessment of IMO Mandated Energy Efficiency Measures for International Shipping*. MEPC 63/INF.2. International Maritime Organization, London, UK.

Boston Consulting Group (BCG) (2009). *Capturing the Green Advantage for Consumer Companies*. <http://www.bcg.com/documents/file15407.pdf>.

Brown, G.G., Graves, G.W. ve Ronen, D. (1987). Scheduling ocean transportation of crude oil. *Management Science*, 33(3), 335–4.

Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., Frank, O. ve Ernst, F.O. (2011). Integrating energy efficiency performance in production

management e gap analysis between industrial needs and scientific structure. *Journal of Cleaner Production*, 19, 667-679.

Calvert S., Deakins E. ve Motte R. (1991). A dynamic system for fuel optimization Trans Ocean. *Journal of Navigation*, 44, 233–65.

Can, B. ve Heavey, C. (2012). A comparison of genetic programming and artificial neural networks in metamodeling of discrete-event simulation models. *Computers and Operations Research*, 39, 424–436.

Casse, F. ve Swain, G.W. (2006). The development of microfouling on four commercial antifouling coatings under static and dynamic immersion, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 179-185.

CE Delft (2009) Technical support for European action to reducing greenhouse gas emissions from international maritime transport. *The Netherlands: Report to European Commission*, <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/studies_en.htm> accessed 10.12.13.

Chang, C.C. ve Chang, C.H. (2013). Energy conservation for international dry bulk carriers via vessel speed reduction. *Energy Policy*, 59, 710–715.

Chen, S.J. ve Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York.

Chen, W. (2004). *Tutorial of Decision Support Systems*. Tsinghua University Press, Beijing, China (in Chinese).

Christiansen, M., Fagerholt, K. ve Ronen, D. (2004). Ship routing and scheduling: status and perspectives. *Transportation Science*, 38 (1), 1–18.

Christoffersen, L.B., Larsen, A. ve Tøgeby, M. (2006). Empirical analysis of energy management in Danish industry. *Journal of Cleaner Production*, 14, 516-526.

Chua, L. ve Yang, L. (1988a). Cellular Neural Networks: Theory, *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, 35(10), 1257-1272.

Chua, L. ve Yang, L. (1988b) Cellular Neural Networks: Applications. *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, 35(10), 1273-1290.

Corbett, J., Wang, H. ve Winebrake, J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D*, 14, 539-598.

Corbett, J.J., Wang, H. ve Winebrake, J.J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D*, 14, 593–598.

Çalıkoglu, E. (2008). Enerji Yönetimi Ve Enerji Verimliliği Kanunu, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 797-815.

Çebi, S. (2010). *Aksiyomlarla Tasarım Esaslı Bulanık Karar Destek Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama*, (doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çil, İ. (2002). Bilgi Tabanlı İmalat Karar Destek Sistemleri ve Bir Uygulama, *Endüstri Mühendisliği*, Ocak-Şubat-Mart Sayı:1.

- Çuhadar, M.** (2006). *Turizm Sektöründe Talep Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalı Analizi (Antalya İlinin Dış Turizm Talebinde Uygulama)*, (doktora tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, SBE, Isparta.
- Dewit C.** (1990). Proposal for low-cost ocean weather routing. *Journal of Navigation*, 43, 428–39.
- Dizkırıncı, A.S.** (2009). *Konutlarda Enerji Verimliliği Ölçümü için 5-Yıldızlı Derecelendirme Sistemi ve Ekonometrik Uygulama*, (doktora tezi), Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Efe, Ö. ve Kaynak, O.** (2000). Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, *Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi*, İstanbul.
- Eliasson, J.** (Kasım 2012). Hull Resistance Management in the New Era of Ship Energy Efficiency. *Journal of Protective Coatings & Linings*, 29(11), 22-31.
- Elmas, Ç.** (2003). Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), *Seçkin Yayıncılık*, 23, Ankara.
- EMEP/CORINAIR** (2002). EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, The Core Inventory of Air Emissions in Europe (CORINAIR), *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, 3rd edition, October.
- Endresen Ø., Sörgård E., Sundet J.K., Dalsøren S.B., Isaksen I.S.A., Berglen T.F. ve Gravir, G.** (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research*, 108:4560.
- Endresen, Ø., Sörgård E., Behrens H. L., Brett P. O. ve Isaksen I. S. A.** (2007). A historical reconstruction of ships fuel consumption and emissions. *Journal of Geophysical Research*, 112.
- Energy and greenhouse management toolkit** (2002). Module 4: developing an energy management system. State Government of Victoria.
- Entec** (2002). Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. UK: Report prepared for the European Commission, <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf> accessed 05.01.14.
- Entec** (2005). Service contract on ship emissions: 2 assignment, abatement and market-based instruments task 2b and c – NOx and SO2 abatement. UK: Report prepared for the European Commission, <ec.europa.eu/environment/air/pdf/task2_so2.pdf> accessed 14.01.14.
- Environmental Protection Agency (EPA)** (2003). ENERGYSTARs—the power to protect the environment through energy efficiency. URL: <http://www.energystar.gov/ia/partners/downloads/energy_star_report_aug_2003.pdf>.
- Eroğlu, İ.** (2010). *Binalarda Enerji Yönetimi Ve Enerji Kullanım Verimliliğini Etkileyen Faktörlerin Yapay Zeka Teknikleri İle Analizi*, (yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Eryiğit, M.** (2005). *Hava Taşımacılığında Filo Atama Problemlerini Çözmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi*, (doktora tezi), Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Doktora Programı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Eryiğit, M.** (2005). *Hava Taşımacılığında Filo Atama Problemlerini Çözmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi*, (doktora tezi), Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Doktora Programı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- European Commission** (2005). Green Paper on Energy Efficiency or Doing More with Less, COM, 265 final, *Commission of the European Communities*, Brussels.
- European Commission** (2006). Action Plan for Energy Efficiency, Realising the Potential, *Commission of the European Communities*.
- Eyring V., Isaksen I.S., Berntsen T., Collins W.J., Corbett J.J., Endresen O., Grainger, R. G., Moldanova, J., Schlager, H. ve Stevenson, D. S.** (2009). Transport impacts on atmosphere and climate: shipping. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4735–71.
- Faber, J., Nelissen, D., Hon, G., Wang, H. ve Tsimplis, M.** (2012). Regulated Slow Steaming in Maritime Transport: An Assessment of Options, Costs and Benefits. 7.442.1.
- Fausett, L.** (1994). "Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications", Prentice Hall.
- Fırat, A.** (2003). *Yapay Sinir Ağları ile Yapısal Sistemlerin Analizi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.
- Gabrielle, W. ve King, S.D.** (2009). Dünyamız Isınıyor! Küresel Isınmayla Nasıl Başa Çıkabiliriz? Çeviren: Özkan Akpınar, *BÜTEK A.Ş.*, 240, İstanbul.
- Gelareh, S., Nickel, S. ve Pisinger, D.** (2010). Liner shipping hub network design in a competitive environment. *Transportation Research Part E*, 46(6), 991–1004.
- Gelareh, S. ve Pisinger, D.** (2011). Fleet deployment, network design and hub location of liner shipping companies. *Transportation Research Part E*, 47(6), 947–964.
- Gilbert, P. ve Bows, A.** (2012). Exploring the scope for complementary sub-global policy to mitigate CO2 from shipping. *Energy Policy*, 50, 613–622.
- Golias, M.M., Saharidis, G.K., Boile, M., Theofanis, S. ve Ierapetritou, M.G.** (2009). The berth allocation problem: optimizing vessel arrival time. *Maritime Economics and Logistics*, 11, 358–377.
- Hansen, H. ve Freund, M.** (2010). Assistance tools for operational fuel efficiency, *9th Conf. Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT)*, Gubbio.
- Harvald, S.** (1977). *Prediction of Power of Ships*, Lyngby, Denmark: Department of Ocean Engineering, Technical University of Denmark.
- Haykin, S.** (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, MacMillan.

- Hinnenthal J. ve Clauss G.** (2010). Robust pareto-optimum routing of ships utilising deterministic and ensemble weather forecasts. *Ships and Offshore Structures*, 5, 105–14.
- Ho, C.C.** (2011). Optimal evaluation of infectious medical waste disposal companies using the fuzzy analytic hierarchy process, *Waste Management*, 31(7), 1553-1559.
- Hochkirch, K. ve Bertram, V.** (2010). Fluid Dynamic Options for Reducing CO2 Emissions. *7th Annual Green Ship Technology Conference*, 16-17th March, Copenhagen, Denmark.
- Holsapple, C.W. ve Whinston, A.B.** (1992). Decision Support Systems, Handbook. Industrial Engineering, John Wiley and Sons, New York.
- Houghton, J.** (2005). Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68, 1343–1403.
- International Maritime Organization (IMO)**, (2008). Revised MARPOL Annex VI, MEPC 58/23/Add.1, ANNEX 13.
- International Maritime Organization (IMO)**, (2009a). MEPC59/INF.10. Second IMO Greenhouse Gas Study 2009. London.
- International Maritime Organization (IMO)**, (2009b). MEPC (200) MEPC.1Circ.684. Guidelines for the voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI).
- International Maritime Organization (IMO)**, (2010). MEPC 61/INF.18. Reduction of Ghg Emissions from Ships. Marginal Abatement Costs and Cost-Effectiveness of Energy-Efficiency Measures.
- International Maritime Organization (IMO)**, (2011). Resolution MEPC.203(62), MEPC 62/24/Add.1 Annex 19, 2011. Amendments to the Annex Of The Protocol Of 1997 To Amend The International Convention for the Prevention Of Pollution From Ships, 1973, As Modified by the Protocol Of 1978 Relating Thereto.
- International Maritime Organization (IMO)**, (2012). Resolution MEPC.213 (63), Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).
- International Maritime Organization (IMO)**, (2014). MEPC 67/6. Third IMO GHG Study. London.
- Intelligent Energy Europe (IEE II)**, 2007-2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change** (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Geneva.
- International Energy Agency** (2006). Key World Energy Statistics.
- Johnson, H., Johansson, M. ve Andersson, K.** (2014). Barriers to improving energy efficiency in short sea shipping: an action research case study. *Journal of Cleaner Production*, 66, 317-327.
- Joseph, J.M. ve Godfrey, A.B.** (1999). Juran's Quality Handbook, 5, New York. McGraw-Hill.

- Kalogirou S.A. ve Bojic M.** (2000). Artificial neural-networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar-building. *Energy*, 5, 479–91.
- Kalogirou S.A.** (2000). Applications of artificial neural-networks for energy systems. *Applied Energy*, 67, 17–35.
- Kannan, R. ve Boie, W.** (2003). Energy management practices in SME e case study of a bakery in Germany. *Energy Conversion and Management*, 44, 945–959.
- Kavak, K.** (2005), *Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*, (DPT uzmanlık tezi), DPT 2689, Ankara.
- Kengpol, A. ve Neungrit, P.** (2014). A decision support methodology with risk assessment on prediction of terrorism insurgency distribution range radius and elapsing time: An empirical case study in Thailand. *Computers and Industrial Engineering*, 75, 55–67.
- Korkut, E. ve Atlar, M.** (2012). An experimental investigation of the effect of foul release coating application on performance, noise and cavitation characteristics of marine propellers, *Ocean Engineering*, 41, 1–12.
- Kosmas O.T. ve Vlachos D.S.** (2012). Simulated annealing for optimal ship routing. *Computers and Operations Research*, 39, 576–81.
- Lackenby, H.** (1962). Resistance of ships with special reference to skin friction and hull surface condition. *The 34th Thomas Lowe Gray Lecture, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 176, 981–1014.
- Liao, Z., Wang, B., Xiaa, X. ve Hannam, P.M.** (2012). Environmental emergency decision support system based on Artificial Neural Network. *Safety Science*, 50, 150–163.
- Lin, Y.H., Fang, M.C. ve Yeung, R.W.** (2013). The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements. *Applied Ocean Research*, 43, 184–194.
- Lindstad, H., Asbjørnslett, B.E. ve Strømman, A.H.** (2012). The importance of economies of scale for reductions in greenhouse gas emissions from shipping, *Energy Policy*, 50, 613–622.
- Lindstad, H., Asbjørnslett, B.E. ve Strømman, A.H.** (2011). Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speed. *Energy Policy*, 39, 3456–3464.
- Lombard L.P., Ortiz J. ve Pout C.** (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40, 394–398.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D. ve Wu, F.** (2007). Multi-Objective Group Decision Making Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques, *Imperial Collage Press*, Singapore.
- Lunnon, R.W. ve Marklow, A.D.** (1992). Optimization of time saving in navigation through an area of variable flow. *Journal of Navigation*, 45, 384–99.
- Ma, H., Steernberg, K., Riera-Palou, X. ve Tait, N.** (2012). Well-to-wake energy and greenhouse gas analysis of SOx abatement options for the marine industry. *Transportation Research Part D*, 17, 301–308.

- Maki, A., Akimoto, Y., Nagata, Y., Kobayashi, S., Kobayashi, E. ve Shiotani, S.** (2011). A new weather-routing system that accounts for ship stability based on a real-coded genetic algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*, 16, 311–22.
- Makowski, M.** (1991). *Selected Issue of Design and Implementation of Decision Support Systems*. International Institute for Applied Systems Analysis, WP-91-16, Laxenburg, Austria.
- Meng, Q. ve Wang, S.** (2011a). Liner shipping service network design with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 47, 695–708.
- Meng, Q. ve Wang, S.** (2011b). Optimal operating strategy for a long-haul liner service route. *European Journal of Operational Research*, 215, 105–114.
- Mewis, F. ve Hollenbach, U.** (2007). Hydrodynamische Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauches im Schiffsbetrieb. *Hansa*, 144(5), 49–58.
- Milne, A.** (1990). Roughness and drag from the marine paint chemist's viewpoint. *Marine Roughness and Drag Workshop Paper*, 12, London.
- Molland, A.F.** (2008). The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design. *Construction and Operation*.
- Mosaad, M.** (1986). *Marine propeller roughness penalties*, (Ph.D. Thesis), University of Newcastle upon Tyne, UK.
- Mukherjee, K.** (2008). Energy use efficiency in U.S. manufacturing: a nonparametric analysis. *Energy Economics*, 30, 76–96.
- Munk, T.** (2009). A CO₂ Maintenance Index (Hull and Propeller Performance), *Ship Efficiency Conference*, September, Hamburg.
- Ngai, E.W.T., Chau, D.C.K., Poon, J.K.L. ve To, C.K.M.** (2013). Energy and utility management maturity model for sustainable manufacturing process. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 453–464.
- Norlund, E.K. ve Gribkovskaia, I.** (2013). Reducing emissions through speed optimization in supply vessel operations. *Transportation Research Part D*, 23, 105–113.
- Notteboom, T. ve Vernimmen, B.** (2009). The effect of high fuel costs on liner service configuration in container shipping. *Journal of Transport Geography*, 17(5), 325–337.
- Notteboom, T.E.** (2006). The time factor in liner shipping services. *Maritime Economics and Logistics*, 8 (1), 19–39.
- O'Callaghan, P.W. ve Probert, S.D.** (1977). Energy management. *Applied Energy*, 3, 127–138.
- OECD** (2010). *Globalization, Transport and the Environment*. ISBN 978-92-64-07290-9.
- OECD/IEA** (2009). *Energy Policies of IEA Countries: Portugal, Review*. Paris: International Energy Agency/Organisation for Co-operation and Development, 178.

- Ozer, B., Görgün, E. ve İncecik, S.** (2013). The scenario analysis on CO2 emission mitigation potential in the Turkish electricity sector: 2006–2030. *Energy*, 49, 395–403.
- Özdamar, K.** (2011). Paket programlar ile istatistiksel veri analizi, 8. Baskı, *Kaan Kitabevi*, Eskişehir.
- Öztemel E.** (2003). Yapay Sinir Ağları, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul.
- Padhy, C.P., Sen, D. ve Bhaskaran, P.K.** (2008). Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean. *Natural Hazards*, 44, 373–85.
- Papadakis, N.A. ve Perakis, A.N.** (1989). A nonlinear approach to the multiorigin, multi-destination fleet deployment problem. *Naval Research Logistics*, 36, 515–28.
- Parlak, A., Islamoglu, Y., Yasar, H. ve Egrisogut, A.** (2006). Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a Diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 26, 824–828.
- Perakis A.N., Papadakis N.A.** (1987a). Fleet deployment optimization models. Part 1. *Maritime Policy and Management*, 14(2), 127–44.
- Perakis A.N. ve Papadakis N.A.** (1987b). Fleet deployment optimization models. Part 2. *Maritime Policy and Management*, 14(2), 145–55.
- Psaraftis, H. ve Kontovas, C.A.** (2010). Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation. *Transportation Research Part D*, 15, 458–462.
- Psaraftis, H.N. ve Kontovas, C.A.** (2013). Overview Paper Speed models for energy-efficient maritime transportation: A taxonomy and survey. *Transportation Research Part C*, 26, 331–351.
- Rohdin, P. ve Thollander, P.** (2006). Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. *Energy*, 31, 1836–1844.
- Ronen, D.** (2011). The effect of oil price on containership speed and fleet size. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 211–216.
- Ronen, D.** (1982). The effect of oil price on the optimal speed of ships. *Journal of the Operational Research Society*, 33, 1035–1040.
- Safa, M. ve Samarasinghe, S.** (2013). Modelling fuel consumption in wheat production using artificial neural Networks. *Energy*, 49, 337–343.
- Sauter, V.L.** (1997). DSS: An Applied Managerial Approach. *John Wiley, and Sons*, New York.
- Schinas, O.** (1997). The issue of air emissions: policy and operational considerations. In: Xu, J. (Ed.), *Contemporary Marine and Maritime Policy*. Nova Science Publishers; 2013.
- Schnapp, R.** (2012). *Energy statistics for energy efficiency indicators*. Joint Rosstat—IEA Energy Statistics Workshop Moscow, February.

- Sen, D. ve Padhy, C.P.** (2010). Development of a ship weather-routing algorithm for specific application in North Indian Ocean region. *The international conference on marine technology*. Dhaka, Bangladesh: BUET.
- Shao, W., Zhou, P.L. ve Thong, S.K.** (2012). Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing. *Journal of Marine Science and Technology*, 17, 239–51.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E. ve Papadimitriou, S.** (2007). The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 43 (1), 39–59.
- SPRU** (2000). Reducing Barriers to Energy Efficiency in Public and Private Organizations Brighton, UK.
- Stopford, M.** (1999). Maritime Economics, Second Edition, *Routledge*, London.
- Sustainable Energy Ireland (SEI)**, (2009). .I.S.EN16001:2009 Energy management systems –Requirements with guidance for use.URL: /http://www.seai.ie/Your_Business/Energy_Agreements/IS393_Energy_Management_System/EN16001_Technical_Guideline.pdf.
- Talay, A., Deniz, C. ve Durmuşoğlu Y.** (2013). Gemilerde Verimi Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO2 Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerin Analizi, Sözel bildiri, *V. Ulusal Denizcilik Kongresi*, Kasım, İstanbul.
- Tatlıdil, H. ve Özel, M.** (2005). Firma Derecelendirme Çalışmaları Konusunda Çok Değişkenli İstatistiksel Analize Dayalı Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı. *Bankacılar Dergisi*, Sayı 54.
- Taylor, P.G., d’Ortigue, O.L., Francoeur, M. ve Trudeau, N.** (2010). Final energy use in IEA countries: the role of energy efficiency. *Energy Policy*, 38(11), 6463–74.
- The World Energy Council (WEC)**, (2001). Survey of Energy Resources, 19th Edition.
- Theotokatos, G. ve Tzelepis, V.** (2013). A computational study on the performance and emission parameters mapping of a ship propulsion system, the Maritime Environment Engineers, Part M: Journal of Engineering for Proceedings of the Institution of Mechanical.
- Thollander, P. ve Ottosson, M.** (2010). Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 18, 1125-1133.
- Togun, N.K. ve Baysec, S.** (2010). Prediction of torque and specific fuel consumption of a gasoline engine by using artificial neural Networks. *Applied Energy*, 87, 349–355.
- Topçu, Y.İ.** (1995). *Ulaştırma yapılarına uygun su geçişlerinin önerilmesinde uzman sistem yaklaşımı*, (yüksek lisans tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TradeWinds**, (2010). Slow spur for Maersk VLCCs. *TradeWinds Magazine* (13 December).

- Tsadiras, A.K., Papadopoulos, C.T, Kelly ve M.E.J. O.** (2013). An artificial neural network based decision support system for solving the buffer allocation problem in reliable production lines. *Computers and Industrial Engineering*, 66, 1150–1162.
- Tuban, E. ve Aronson, J.E.** (1998). Decision Support Systems and Intelligent Systems. *Prentice Hall*.
- Turkes, M. ve Kılıç, G.** (2003). Avrupa Birliğinin Enerji Politikası ve Türkiye'ye Yanısmaları II, Ankara.
- Türk Loydu,** (2012): Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planının (SEEMP) Geliştirilmesine Yönelik 2012 Yılı Kılavuzları, s.4, 5, 6.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (Ed.),** (2009). Maritime Transport and the Climate Change Challenge. Multi-Year Expert Meeting on Transport and Trade Facilitation. Organization United Nations Conference on Trade and Development. Geneva.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO),** (2008). Standards for Energy Efficiency, Water, Climate Change, and their Management—Background Paper for 42nd Meeting of ISO DEVCO.URL:
/http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy_and_Climate_Change/Energy_Efficiency/Energy_Management_Standards/Background_Paper_to_ISO_DEVCO_Meeting_-_Final__2_.pdf.
- Walsh, C. ve Bows, A.** (2012). Size matters: Exploring the importance of vessel characteristics to inform estimates of shipping emissions. *Applied Energy*, 98, 128–137.
- Wang, S. ve Meng, Q.** (2012a). Liner ship fleet deployment with container transshipment operations. *Transportation Research Part E*, 48 (2), 470–484.
- Wang, S. ve Meng, Q.** (2012b). Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network. *Transportation Research Part E*, 48, 701–714.
- Wang, S. ve Meng, Q.** (2011). Schedule design and container routing in liner shipping. *Transportation Research Record*, 2222, 25–33.
- Wang, S., Wang, T. ve Meng, Q.** (2011). A note on liner ship fleet deployment. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 23 (4), 422–430.
- Wartsila** (2008). Boosting Energy Efficiency.
- Wijnolst, N. ve Wergeland, T.** (1997). Shipping. Delft University Press, Delft.
- Wu, J.D. ve Liu, J.C.** (2011). Development of a predictive system for car fuel consumption using an artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 38, 4967–4971.
- Wua, S., Cheng, Y. ve Ma, Q.** (2011). Discussion on Ship Energy-Saving in Low Carbon Economy. *Procedia Engineering*, 15, 52–59.
- Yang, Z., Zhang, D., Caglayan, O., Jenkinson, I., Bonsall, S., Wang, J., Huang, M. ve Yan, X.** (2012). Selection of techniques for reducing shipping NOx and SOx emissions. *Transportation Research Part D*, 17, 478–486.

- Yao, Z., Ng, S.H., Lee ve L.H.** (2012). A study on bunker fuel management for the shipping liner services. *Computers and Operations Research*, 39, 1160–1172.
- Yücel, M.** (2007). Toplam Kalite Kontrolü Açısından İstatistiksel Süreç Kontrol Tekniklerinin Önemi, 8.*Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi*, Malatya: İnönü Üniversitesi, 24-25 Mayıs.
- Zachry, W.W.** (1988). Decision Support Systems: Designing to extend the cognitive limits, in handbook of huma-computer interaction, 997-1013.
- Zhang, L.H., Zhang, L., Peng, R.C., Li, G.X. ve Zou, W.** (2011). Determination of the shortest time route based on the composite influence of multidynamic elements. *Marine Geodesy*, 34, 108–18.
- Zhang, G., Patuwo, B.E. ve Hu, M.Y.** (1998). Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. *International Journal of Forecast*, 14, 35–62.

EKLER

EK A: Anket Çalışması

EK A

GEMİLERDE OPERASYONEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI

Sayın katılımcı;

Bu çalışma, gemilerdeki enerji verimliliği yönetimi için SEEMP kapsamındaki operasyonel faktörleri araştırmaktadır. Araştırma bilimsel amaçla kullanılacak olup elde edilecek bilgilerin geçerliliği sorulara vereceğiniz cevapların gerçek durumu yansıtmasıyla mümkün olacaktır. Vereceğiniz cevaplar bu çalışma dahilinde değerlendirilecek olup farklı kişi ve kurumlar ile paylaşılmayacaktır. Anketimize ayracağınız zaman için teşekkür ederiz.

Soru 1: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Sefer Yönetimi” ve “Tekne ve pervane kondisyon yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?									
	Sefer Yönetimi	Tekne ve Pervane Kondisyon Yönetimi				Eşit Önemde (1'i doldur)			
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 2: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Sefer Performans Yönetimi” ve “Makine Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?									
	Sefer Yönetimi	Makine Yönetimi				Eşit Önemde (1'i doldur)			
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 3: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Sefer Performans Yönetimi” ve “Yakıt Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?									
	Sefer Yönetimi	Yakıt Yönetimi				Eşit Önemde (1'i doldur)			
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 4: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Sefer Performans Yönetimi” ve “Sistem Enerji Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?									
	Sefer Yönetimi	Sistem Enerji Yönetimi				Eşit Önemde (1'i doldur)			
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 5: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Sefer Performans Yönetimi” ve “Enerji Farkındalığı Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?									
	Sefer Yönetimi	Enerji Farkındalığı				Eşit Önemde (1'i doldur)			
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Soru 6: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Tekne ve Pervane Yönetimi” ve “Makine Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Tekne ve Pervane Yönetimi			 Makina Yönetimi			 Eşit Önemde(1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 7: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Tekne ve Pervane Yönetimi” ve “Yakıt Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Tekne ve Pervane Yönetimi			 Yakıt Yönetimi			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 8: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Tekne ve Pervane Yönetimi” ve “Sistem Enerji Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Tekne ve Pervane Yönetimi			 Sistem Enerji Yönetimi			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 9: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Tekne ve Pervane Yönetimi” ve “Enerji Farkındalığı Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Tekne ve Pervane Yönetimi			 Enerji Farkındalığı Yönetimi			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 10: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Makine Yönetimi” ve “Yakıt Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Makina Yönetimi			 Yakıt Yönetimi			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 11: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Makina Yönetimi” ve “Sistem Enerji Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Makina Yönetimi			 Sistem Enerji Yönetimi			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									

Soru 12: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Makina Yönetimi” ve “Enerji Farkındalığı Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Makina Yönetimi			☐ Enerji Farkındalığı Yönetimi			☐ Eşit Önemde(1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9
Soru 13: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Yakıt Yönetimi” ve “Sistem Enerji Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Yakıt Yönetimi			☐ Sistem Enerji Yönetimi			☐ Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9
Soru 14: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Yakıt Yönetimi” ve “Enerji Farkındalığı Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Yakıt Yönetimi			☐ Enerji Farkındalığı Yönetimi			☐ Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9
Soru 15: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Sistem Enerji Yönetimi” ve “Enerji Farkındalığı Yönetimi” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Sistem Enerji Yönetimi			☐ Enerji Farkındalığı Yönetimi			☐ Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9

ALT KRITER-1

Soru 1: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Hız Optimizasyonu” ve “Otopilotu Etkili Kullanma” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Hız Optimizasyonu ☐ Otopilotu Etkili Kullanma ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 2: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Hız Optimizasyonu” ve “Trim Optimizasyonu” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Hız Optimizasyonu ☐ Trim Optimizasyonu ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru3: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Hız Optimizasyonu” ve “Hava Rotalama Optimizasyonu” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Hız Optimizasyonu ☐ Hava Rotalama Optimizasyonu ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 4: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Otopilotu Etkili Kullanma” ve “Optimum Trim” kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Otopilotu Etkili Kullanma ☐ Trim ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 5: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Otopilotu Etkili Kullanma” ve “Hava rotalama Optimizasyonu” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Otopilotu Etkili Kullanma ☐ Hava rotalama Optimizasyonu ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Soru 6: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde “Trim Optimizasyonu” ve “Hava Rotalama Optimizasyonu” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	☐ Trim ☐ Hava rotalama ☐ Eşit Önemde (1'i doldur)								
Ne derecede önemlidir?	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ALT KRITER-2

Soru 1: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Tekne Bakım-Tutumu” ve “Pervane Bakım Tutumu” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Tekne Bakım Tutumu			 Pervane Bakım Tutumu			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									

ALT KRITER-3

Soru 1: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Ana Makine Yönetimi” ve “Yardımcı Makine Yönetimi” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Ana Makina			 Yardımcı Makine			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 2: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Ana Makine Yönetimi” ve “Kazan Yönetimi” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Ana Makina			 Kazan			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									
Soru 3: Gemilerde operasyonel enerji verimliliği önlemleri incelendiğinde“Ana Makine Yönetimi” ve “Yardımcı Makine Yönetimi” alt kriterleri göreceli olarak karşılaştırıldığında hangisi ve ne derecede önemlidir?									
Hangisi daha önemlidir?	 Yardımcı Makina			 Kazan			 Eşit Önemde (1'i doldur)		
Ne derecede önemlidir?									

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Elif BAL BEŞİKÇİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Merzifon/Amasya, 17.03.1986
E-Posta : bale@itu.edu.tr, elif_bal86@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Bölümü.
- **Yükseklisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Araştırma Görevlisi İTÜ Denizcilik Fakültesi 15.02.2010 - Devam

Uzakyol Vardiya Zab. Transal Denizcilik 15.06.2012 – 16.09.2012

Uzakyol Vardiya Zab. Chemmariner Denizcilik 01.06.2010 – 15.09.2010

Yardımcı DPA. Bora Denizcilik 08.09.2008 – 14.04.2009

Yardımcı Vardiya Zab. Genel Denizcilik 24.02.2002 – 28.06.2002

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bal Besikci, E., Arslan, O., Turan, O., Olçer, E., 2014.** An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. *Computers & Operations Research*. 2015, Accepted for publication. DOI: 10.1016/j.cor.2015.04.004
- **Bal, E., Arslan, O., 2014.** Development of a Prediction System for Ship Fuel Consumption using a Least Median of Square. *Global Conference On Engineering and Technology Management (GCETM)*, June 23-26, 2014 İstanbul, Turkey.
- **Bal Besikci, E., Arslan, O., 2015.** Correlation between Fuel Consumption and Voyage Related Ship Operational Energy Efficiency Measures. An Analysis from Noon Data. *ICMS 2015: XIII International Conference on Maritime Science*, April 13-14, 2015 Venice, Italy.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bal, E.**, Arslan, O., Tavacıoğlu, L., 2015. Prioritization of the Causal Factors of Fatigue in Seafarers and Measurement of Fatigue with the Application of the Lactate Test. *Safety Science*, 72, 46-54.
- **Bal, E.**, Tavacıoğlu, L., Arslan, O., 2015. The Subjective Measurement of Seafarers' Fatigue Levels and Mental Symptoms, *Maritime Policy and Management*, 2015, Accepted for publication. DOI: 10.1080/03088839.2015.1047426.
- Kilic, A., **Bal, E.**, 2013. Türkiye' nin İlk Denizcilik Okulu'nun Tarihi. *Uluslararası Piri Reis ve Türk Denizcilik Tarihi Sempozyumu*, Eylül 26-29, 2013 İstanbul, Turkey.
- **Bal, E.**, Arslan, O., Tavacıoğlu, L., 2012. The Effects of Environmental Factors on Seafarers' Fatigue, *MARNAV 2012, International Conference on Advanced and Challenges in Marine Noise and Vibration*, 5-7 September, 2012 Glasgow, United Kingdom.
- **Bal, E.**, Tavacıoğlu, L., Arslan, O., 2011. Fatigue of Seafarers: A Sample on Maritime Tanker Industry, *INT-NAM 2011, 1st International Symposium on Naval Architecture and Maritime*. October 24-25, İstanbul, Turkey.
- **Bal, E.**, Arslan, O., 2011. The role of women seafarers in Turkish maritime industry. *European Conference on Shipping, Intermodalism and Ports – ECONSHIP*, June 22-24, 2011 Chios, Greece.
- Satir, T., Deniz, C., **Bal, E.**, 2011. Ship Waste Reception Facilities Modelling, Istanbul Ports, *International Oil Spill Conference*, May 23-24 Portland, Oregon USA.
- Satir, T., Deniz, C., Durmusoglu, Y., **Bal, E.**, 2010. Analyzing the Effects of Ships in Ballast Water Passing the Turkish Straits, , *Hydrology Conference*, 11-13 October, 2010 Sandiago, USA.