

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEMİ YANAŞMA MANEVRALARININ YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE
GERÇEKLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Murat Eray KORKMAZ

**OCAK 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Murat Eray KORKMAZ Tarafından Hazırlanan**

**GEMİ YANAŞMA MANEVRALARININ YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE
GERÇEKLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 11 /12 /2018 gün ve 1782 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

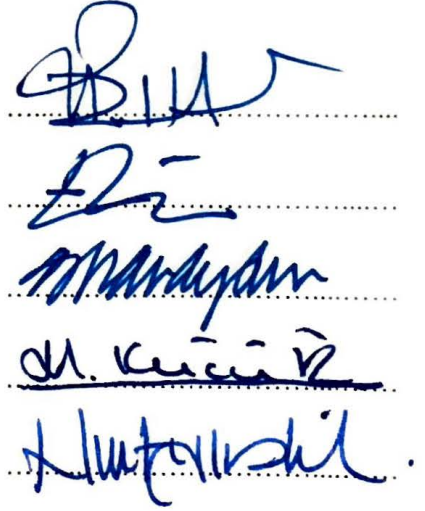
Başkan : Prof. Dr. Nurhan KAHYAOĞLU

Üye : Prof. Dr. Ercan KÖSE

Üye : Prof. Dr. Orhan AYDIN

Üye : Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Umut YILDIRIM



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Gemilerin kontrol edilmesi alanında yapılan çalışmalar içerisinde yanaşma manevraları özünde barındırdığı zorluklar, öngörülemeyen etmenlerin çokluğu ve neredeyse tüm manevranın kılavuz kaptan rehberliğinde ve kaptanın denetiminde bilgi ve tecrübelerle dayanarak yapılmasından dolayı deniz taşımacılığı alanının en zor problemlerinden biri olarak görülmektedir. Kural tabanlı denetleyicilerle başlayan çalışmalar zaman içerisinde bulanık mantık ve uzman sistemlere kadar uzanmış olmasına rağmen istenilen optimum çözümler elde edilememiştir. Günümüzde ise yapay zeka teknolojisinin gelişmesine paralel olarak yapay sinir ağları ile çözümler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez kapsamında da geminin yanaşma manevralarının otomatikleştirilebilmesi için kullanılmak üzere bir yapay sinir ağı modeli geliştirilip uygulaması yapılmıştır.

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak sunulan bu çalışma konusunun gerek seçimi aşamasında gerekse de tez sürecinde danışmanlığımı yapan, bilgi ve tecrübelerini paylaşıp yönlendiren başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye, lisansüstü eğitimimin her aşamasında destek olup yol gösteren Sayın Prof. Dr. Orhan AYDIN'a, kaptanlık konusundaki tecrübelerini birebir aktaran, uygulamalar esnasında yardımlarını esirgemeyen ve değerli zamanını ayırıp gemi manevralarını gerçekleştiren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Umut YILDIRIM'a minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tezin hazırlanma sürecinde özellikle denizcilik konusundaki sorularımı cevapsız bırakmayan ve konuyla ilgili yönlendirmeler yapan Sayın Prof. Dr. Ersan BAŞAR'a, tüm tez sürecimin her anında yanımda olan, desteğini hiç eksik etmeyen ve birçok konuda yardımları sayesinde üzerimdeki yükü hafifletmiş olan dostum, tırmanış arkadaşım, Sayın Doç. Dr. Sercan EROL'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Ve elbette, her zaman yanımda olan, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, akademik kariyer konusunda bana yol gösteren babam Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ'a ve annem Gülten KORKMAZ'a; tez sürecinde her daim gülen yüzleriyle yanımda olup sıkıntılarımı hafifleten kızım Rana ve eşim İnci'ye şükranlarımı sunarım.

Murat Eray KORKMAZ

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Gemi Yanaşma Manevralarının Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Gerçeklenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ercan KÖSE’nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/01/2019

Murat Eray KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Gemi Manevraları.....	4
1.2.1. Gemi Hareket Notasyonları.....	7
1.2.2. Manevra Modelleme Grubu (MMG) Matematiksel Gemi Modeli.....	10
1.2.2.1. Tekne Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti.....	10
1.2.2.2. Pervane Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti.....	12
1.2.2.3. Dümene Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti.....	13
1.2.2.4. Dümene Normal Kuvveti.....	14
1.2.2.5. Dümene Etkif Akış Hızının Boyuna Bileşeni.....	15
1.2.2.6. Dümene Etkif Akış Hızının Yanal Bileşeni.....	16
1.3. Gemiye Etki Eden Kuvvetler.....	17
1.3.1. Havadan Kaynaklı Dirençler (Rüzgar Direnci).....	18
1.3.2. Sudan Kaynaklı Dirençler (Akıntı Direnci).....	19
1.4. Gemiye Yol/Yön Kazandıran Sistemler (Temel Manevra Elemanları).....	21
1.5. Yapay Zeka Kavramı.....	37

1.5.1.	Yapay Sinir Ağları	39
1.5.2.	Yapay Zeka Çalışmaları.....	43
1.5.3.	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı Ve Temel Elemanları	44
1.5.3.1.	Biyolojik Sinir Hücresi	45
1.5.3.2.	Yapay Sinir Hücresi.....	47
1.5.3.3.	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı.....	52
1.5.4.	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması	53
1.5.4.1.	YSA'nın Yapılarına Göre Sınıflandırılması	54
1.5.4.2.	YSA'nın Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması.....	56
1.5.5.	Yapay Sinir Ağlarında Eğitim Ve Problem Çözümü.....	59
1.5.6.	Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	60
1.5.7.	Yapay Sinir Ağları Yazılımları.....	60
1.6.	Literatür Özeti	61
1.7.	Tezin Amacı Ve Kapsamı	63
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	66
2.1.	Yöntem Seçimi.....	67
2.1.1.	Yapay Sinir Ağlarının Çalışma Prensipleri.....	69
2.1.2.	Ağ Modelinin Seçimi Ve Veri Normalizasyonu.....	70
2.1.3.	Öğrenme Algoritması, Toplama ve Aktivasyon Fonksiyonu Seçimi	71
2.1.4.	Ağ Performansının Ölçülmesi.....	73
2.1.5.	Ağın Modellenmesi İçin Kullanılacak Uygulama Platformu Seçimi	74
2.2.	Liman Seçimi	83
2.3.	Gemi Tipi Seçimi	92
2.3.1.	Konteyner Gemileri Ve Sınıflandırılması	94
2.3.2.	Tam Donanımlı Köprü Üstü Simülatörü.....	97
2.4.	Yapay Sinir Ağı Modeli.....	103
2.4.1.	Yapay Sinir Ağı Modeli Oluşturulurken Kullanılan Parametreler	103

2.4.2.	YSA Modeli İçin Eğitim, Test, Uygulama Veri Setlerinin Oluşturulması	104
2.4.3.	Yapay Sinir Ağı İçin Ağ Modelinin Seçimi.....	105
2.4.4.	Yapay Sinir Ağı İçin Öğrenme Modelinin Seçimi.....	106
2.4.5.	Yapay Sinir Ağı İçin Seçilen Diğer Parametreler	106
2.4.6.	Yapay Sinir Ağı Modellemesi İçin Kullanılan Yazılımlar	106
2.5.	Gemi Yanaşma Manevraları Sonucunda Elde Edilen Veriler	107
2.5.1.	Rüzgarsız Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar	107
2.5.2.	Az Rüzgarlı Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar.....	113
2.5.3.	Çok Rüzgarlı Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar.....	119
3.	BULGULAR.....	126
3.1.	Yanaşma Manevralarının Karşılaştırmaları	126
3.2.	Yapay Sinir Ağı İle Gerçekleştirilen Manevranın Performansı.....	132
4.	TARTIŞMA VE İRDELEME.....	152
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	157
6.	KAYNAKÇA.....	161

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

GEMİ YANAŞMA MANEVRALARININ YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE GERÇEKLENMESİ

Murat Eray KORKMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2019, 173 Sayfa

Gemi manevraları içerisinde yanaşma manevraları önemli bir yer tutmaktadır. Çok fazla parametrenin etkin olduğu, gemi kaptanının bilgi ve tecrübeleri ile gerçekleştirdiği yanaşma manevraları, gemi kullanımının en karmaşık ve zor problemlerini barındırmaktadır.

İnsan beynini simüle edebilen yapay sinir ağları (YSA), insanlar gibi öğrenebilen, öğrendiği veriyi yorumlayabilen ve bu bilgileri kullanarak sonuç üretebilen sistemlerdir. Bu noktada da bünyesinde çok fazla girdi-çıkı parametresi barındıran, gerçekleştirilebilmesi için bilgi ve tecrübe gerektiren yanaşma manevralarının otomatikleştirilebilmesi için yapay sinir ağları bu problemlerin çözümü için en uygun sistemler haline gelmiştir.

Bu tez kapsamında da YSA kullanılarak Singapur Limanı'na yaklaşan sabit adım pervaneli bir konteyner gemisinin rıhtıma yanaşma manevralarının gerçekleşmesi sağlanmıştır. Farklı rüzgar şartları için manevralar uzak yol kaptan yeterliliğine ve köprü üstü simülasyonları tecrübesine sahip bir uzman tarafından gerçekleştirilmiş olup elde edilen verilerle çok katmanlı algılayıcı modeli kullanan bir ağ levenberg-marquardt öğrenme algoritmasıyla eğitilmiştir. Eğitilmiş ağ kullanılarak da geminin yeni/farklı rüzgar koşulu için yanaşma manevrası gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde gemi yanaşma manevralarında yapay sinir ağlarının kullanımının mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gemi Manevrası, Gemi Yanaşma Manevrası, Yapay Zeka, Uzman Sistemler, Yapay Sinir Ağları

Doctoral Thesis

SUMMARY

SHIP BERTHING BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Murat Eray KORKMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2019, 173 Pages

Ship berthing has an important place in ship handling. It is the most complex and difficult problems of ship handling. Maneuvers performed by the captain's knowledge and experience, need to control a lot of parameters that are effective. As of there is lots of uncertainty, these are the most complicated and difficult problems of ship handling.

Artificial neural networks (ANN), which can simulate the biological brain, are systems that can learn as humane, interpret the data they learn and produce results by using this information. At this point, ANN has become the most suitable systems for the solution of these kinds of problems.

Within the scope of this thesis, a neural network model has been designed for a fixed step propeller container vessel which approached and berthing to Singapore Port by using artificial neural networks. The berthing maneuvers for different wind conditions have been carried out by the ship's captain (also a specialist on a full mission bridge simulator). With the data obtained from that berthing maneuvers, a neural network that using the Multi-Layer Perceptron model is trained by using the Levenberg-Marquardt learning algorithm. By using the trained neural network, the ship is provided to perform the berthing maneuver for a different wind condition that the network never seen. When the results are evaluated, it is seen that ANN can be used in ship berthing maneuvers.

Keywords: Ship Maneuvering, Ship Berthing, Artificial Intelligence, Expert Systems, Artificial Neural Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Gemi (insan-makine sistemi) ve mürettebatın rolü	3
Şekil 2. Dünya merkezli ve gemi merkezli eksen takımları	8
Şekil 3. Gemi üzerinde ana makine yerleşimi örneği	23
Şekil 4. Pervane kısımları	26
Şekil 5. Zıt dönüşlü pervane sistemi	28
Şekil 6. Çok eğri pervane örneği	28
Şekil 7. Gemi üzerinde yer alan dümenin şematik gösterimi	30
Şekil 8. Pervane-dümen ikilisinin HAD yazılımı ile analizi örnek sonuçları	31
Şekil 9. İterin şematik gösterimi	32
Şekil 10. Başiter ve kıçiterin gemi üzerindeki yerleşimi	33
Şekil 11. Römorkörlerin gemiye bağlanmasının şematik gösterimi	35
Şekil 12. Gemiye basma kuvveti uygulayan römorkör	36
Şekil 13. Gemi bağlama halatlarının yerleşim düzeni	37
Şekil 14. Bir yapay sinir ağı örneği	40
Şekil 15. Beyin üzerinde beş duyu bölgesinin şematik gösterimi	45
Şekil 16. Biyolojik sinir hücresi gösterimi	46
Şekil 17. Yapay sinir hücresi (proses elemanı) modeli	47
Şekil 18. Doğrusal (lineer) fonksiyon	49
Şekil 19. Basamak (adım) fonksiyonu	50
Şekil 20. Sigmoid fonksiyonu	51
Şekil 21. Hiperbolik tanjant fonksiyonu	51
Şekil 22. Bir yapay sinir ağı örneği	53
Şekil 23. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması	54
Şekil 24. İleri beslemeli ağ örneği	55
Şekil 25. Geri beslemeli ağ örneği	56
Şekil 26. Danışmanlı öğrenme algoritması	57
Şekil 27. Danışmansız öğrenme algoritması	57
Şekil 28. Destekleyici öğrenme algoritması	58
Şekil 29. Genel gemi idare ilişkisi (gemi – kaptan – çevre)	64
Şekil 30. Yapılan çalışmaların iş akışı diyagramı	68

Şekil 31. Basit yapay sinir ağı örneği	69
Şekil 32. NeuralBuilder ile ağı verilerinin içe aktarılması	74
Şekil 33. Ağı modeli için kullanılacak verilerin bölümlendirilmesi.....	75
Şekil 34. Gizli katman sayısının belirlenmesi	76
Şekil 35. Gizli katman PE, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasının seçimi	77
Şekil 36. Çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasının seçimi	77
Şekil 37. Ağın performans kriterlerinin tanımlanması	78
Şekil 38. Veri setlerinin MATLAB uygulamasında içe aktarılması	79
Şekil 39. MATLAB Neural Network Toolbox'ı ile veri setlerinin içe aktarımı.....	79
Şekil 40. Veri setinin MATLAB ortamında bölümlendirilmesi.....	80
Şekil 41. Gizli katman sayısının tanımlanması	80
Şekil 42. Öğrenme algoritmasının seçimi.....	81
Şekil 43. MATLAB Neural Network Toolbox'ında eğitim sürecinin takibi	82
Şekil 44. Hata kareleri ortalaması performans kriterinin eğitim esnasındaki değişimi.....	82
Şekil 45. Performans ölçütlerinden regresyon analizinin eğitim sürecine göre değişimi ...	83
Şekil 46. Singapur ülke planı ve konumu.....	84
Şekil 47. Küresel deniz taşımacılığı ağı: (a) Tüm limanlar, (b) Singapur, (c) Port Said ...	84
Şekil 48. Denizcilik İpek Yolu Girişimi Limanları'nın dağılımı	86
Şekil 49. Çeşitli limanların kapsamlı rekabet edebilirliğini gösterir harita.....	87
Şekil 50. Singapur Limanı etrafındaki trafik bölgesi	88
Şekil 51. Konteyner gemilerinin izlediği yollar	88
Şekil 52. Singapur Limanı için gelecek yol haritası (2019-2030).....	89
Şekil 53. Singapur Limanı'ndaki liman yerlerinin dağılımı.....	90
Şekil 54. Singapur Limanı Keppel Terminali.....	91
Şekil 55. Singapur Limanı Keppel Terminali köprü üstü simülatörü ekran görüntüsü.....	92
Şekil 56. Küresel bazda konteyner ticaretinin yıllara göre değişimi.....	93
Şekil 57. Panamax ve Post-Panamax konteyner gemilerinin şematik gösterimi.....	95
Şekil 58. 1996-2013 arası gemi boyut ve kapasitelerinin değişimi.....	96
Şekil 59. Limana giriş/variş oranları (2010-2017)	96
Şekil 60. Konteyner gemisine ait pilot kart	97
Şekil 61. Konteyner gemisinin simülatör uygulama arabirimi görünümü	98
Şekil 62. Tam donanımlı köprü üstü simülatör merkezi yerleşim planı.....	99
Şekil 63. ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülatörü.....	100

Şekil 64. Tam donanımlı köprü üstü simülatörü A-kübik şematik gösterimi	100
Şekil 65. Tam donanımlı köprü üstü simülatörü kontrol odası	101
Şekil 66. Çok katmanlı algılayıcı örnek modeli	105
Şekil 67. Rüzgarsız hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası	108
Şekil 68. Rüzgarsız hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detayı	108
Şekil 69. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu	109
Şekil 70. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında dümen açısı	110
Şekil 71. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında pervane hızı	111
Şekil 72. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında başiter kullanımı.....	112
Şekil 73. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında römorkör kullanımı	113
Şekil 74. Az rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası	114
Şekil 75. Az rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detayı	114
Şekil 76. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu	115
Şekil 77. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında dümen açısı	116
Şekil 78. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında pervane hızı.....	117
Şekil 79. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında başiter kullanımı.....	118
Şekil 80. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında römorkör kullanımı	119
Şekil 81. Çok rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası	120
Şekil 82. Çok rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detayı	120
Şekil 83. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu	121
Şekil 84. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında dümen açısı	122
Şekil 85. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında pervane hızı	123
Şekil 86. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında başiter kullanımı.....	124
Şekil 87. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında römorkör kullanımı	125
Şekil 88. Geminin hızına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması.....	126
Şekil 89. Geminin yönüne bağlı olarak manevraların karşılaştırılması.....	127
Şekil 90. Geminin pervane dönüş hızına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması	128
Şekil 91. Geminin dümen açısına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması	129
Şekil 92. Geminin başiter kullanımına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması.....	130
Şekil 93. Geminin römorkör kullanımına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması	131
Şekil 94. NeuroSolutions ortamında oluşturulan sinir ağı.....	132
Şekil 95. NeuroSolutions ağ eğitimi ortamı	133
Şekil 96. NeuroSolutions uygulamasında ağ eğitiminin gösterimi	133

Şekil 97. Yapay sinir ağının pervane dönüş hızı eğitim sonuçları	134
Şekil 98. Pervane dönüş hızı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli.....	135
Şekil 99. Yapay sinir ağı pervane dönüş hızı için regresyon analizi sonuçları	135
Şekil 100. YSA'nın pervane dönüş hızı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği	136
Şekil 101. Yanaşma manevralarının pervane hızı bakımından karşılaştırılması.....	137
Şekil 102. Yapay sinir ağının dümen açısı eğitim sonuçları	138
Şekil 103. Dümen açısı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli.....	139
Şekil 104. Yapay sinir ağı dümen açısı için regresyon analizi sonuçları	139
Şekil 105. YSA'nın dümen açısı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği	140
Şekil 106. Yanaşma manevralarının dümen açısı bakımından karşılaştırılması	141
Şekil 107. Yapay sinir ağının römorkör kullanımı eğitim sonuçları	142
Şekil 108. Römorkör kullanımı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli	143
Şekil 109. Yapay sinir ağı römorkör kullanımı için regresyon analizi sonuçları	143
Şekil 110. YSA'nın römorkör kullanımı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği	144
Şekil 111. Yanaşma manevralarının römorkör kullanımı bakımından karşılaştırılması ...	145
Şekil 112. Yapay sinir ağının başiter kullanımı eğitim sonuçları.....	146
Şekil 113. Başiter kullanımı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli	147
Şekil 114. Yapay sinir ağı başiter kullanımı için regresyon analizi sonuçları	147
Şekil 115. YSA'nın başiter kullanımı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği.....	148
Şekil 116. Yanaşma manevralarının başiter kullanımı bakımından karşılaştırılması	149
Şekil 117. Yanaşma manevralarının pozisyon (X eksen) bakımından karşılaştırılması ..	150
Şekil 118. Yanaşma manevralarının pozisyon (Y eksen) bakımından karşılaştırılması ..	150
Şekil 119. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının karşılaştırılması	151

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Gemi hareket notasyonları	9
Tablo 2. Gemi idaresine etki eden çeşitli etmenler	21
Tablo 3. Gemi tipine bağlı olarak iter güç hesabı için gereken parametreler.....	34
Tablo 4. Toplama fonksiyonu çeşitleri	48
Tablo 5. Biyolojik sinir ağı ile YSA karşılaştırması	52
Tablo 6. 2014-2018 yılları arası Singapur Limanı performansı	85
Tablo 7. 2017 yılı dünyanın önde gelen denizcilik başkentleri.....	86
Tablo 8. Keppel Terminali teknik özellikleri	91
Tablo 9. Seçilen konteyner gemisinin teknik özellikleri	98
Tablo 10. YSA modeli ile kullanılan girdi katmanı parametreleri ve birimleri	103
Tablo 11. YSA modeli ile kullanılan çıktı katmanı parametreleri ve birimleri.....	103

SEMBOLLER DİZİNİ

a_H	: Dümen Hareketinden Dolay1 Tekne Katsayısı
A_R	: Dümen Alanı [m^2]
$a, b, c, ,d, e$: Polinomun Katsayıları
ADALINE	: Adaptive Linear Element (Adaptive Linear Neuron) Adaptif Lineer Eleman
ART	: Adaptive Resonance Theory Adaptif Rezonans Teori
ANN	: Artificial Neural Networks Yapay Sinir Ağları
BM	: Bulanık Mantık
C_D	: Çapraz Akış İtme Katsayısı
CV	: Cross Validation apraz Karşılaştırma
KA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
D_p	: Pervane apı [m]
DWT	: Deadweight Tonnage Dedveyt Ton
f_a	: Dümen Normal Kuvveti Katsayısının Değişimi
F_N	: Dümen Normal Kuvveti [N]
GA	: Genetik Algoritma
GT	: Gros Ton
HAD	: Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği
HKO	: Hata Kareleri Ortalaması
I_i	: i Ekseninde Orijindeki Atalet Momenti ($i: x, y, z$) [kgm^2]
I_{ii}	: ii Eksenin Orijindeki Atalet Momenti ($ii: xx, yy, zz, xy, xz, yz$) [kgm^2]
J	: İlerleme Katsayısı
JASNAOE	: Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers Japon Gemi İnaaatı ve Okyanus Mühendisleri Birliği
K	: Yalpa Momenti [Nm]
K_T	: İtme Katsayısı

LMÖA	: Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması
LVQ	: Learning Vector Quantization Öğrenmeli Vektör Kuantalama
m	: Geminin Kütlesi [kg]
M	: Baş K1ç Vurma Momenti [Nm]
MLP	: Multi Layer Perceptron Çok Katmanlı Algılayıcı
MMG	: Maneuvering Modeling Group Manevra Modelleme Grubu
N	: Savrulma Momenti [Nm]
N_{Ha}	: İvmeye Bağlı Savrulma Tekne Momenti [Nm]
N_{Hv}	: Hıza Bağlı Savrulma Tekne Momenti [Nm]
N_{NL}	: Lineer Olmayan Savrulma Tekne Momenti [Nm]
p	: Yalpa Hızı [rad/s]
\dot{p}	: Yalpa İvmesi [rad/s ²]
PE	: Proses Elemanı
q	: Baş K1ç Vurma Hızı [rad/s]
\dot{q}	: Baş K1ç Vurma İvmesi [rad/s ²]
r	: Savrulma Hızı [rad/s]
\dot{r}	: Savrulma İvmesi [rad/s ²]
SOM	: Self Organized Map Özdüzenleyici Haritalar
OMYH	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
T_p	: Pervane İtme Kuvveti [N]
t_p	: İtme Azalması
TEU	: Twenty-foot Equivalent Unit 20 Fit Konteyner Eşdeğer Birimi
TKA	: Tek Katmanlı Algılayıcı
u	: Boyuna Öteleme Hızı [m/s]
\dot{u}	: Boyuna Öteleme İvmesi [m/s ²]
U_R	: Dümene Gelen Akışın Bileşke Hızı [m/s]
US	: Uzman Sistemler
v	: Yanal Öteleme Hızı [m/s]

\dot{v}	: Yanal Öteleme İvmesi [m/s^2]
w	: Dalıp Çıkma Hızı [m/s]
\dot{w}	: Dalıp Çıkma İvmesi [m/s^2]
w_P	: İz Katsayısı
w_{P0}	: Doğrusal İz Katsayısı
x_G	: Ağırlık Merkezinin x Ekseninde Orijinden Olan Mesafesi [m]
X	: Boyuna Kuvvet [N]
x_H	: $a_H F_N$ 'nin Uygulama Noktası [m]
X_H, Y_H	: Boyuna ve Yanal Tekne Kuvveti [N]
X_{Ha}, Y_{Ha}	: İvmeye Bağlı Boyuna ve Yanal Tekne Kuvveti [N]
X_{Hv}, Y_{Hv}	: Hıza Bağlı Boyuna ve Yanal Tekne Kuvveti [N]
X_P, Y_P	: Boyuna ve Yanal Pervane Kuvveti [N]
X_R, Y_R	: Boyuna ve Yanal Dümen Kuvveti [N]
Y	: Yanal Kuvvet [N]
Y_{NL}	: Lineer Olmayan Yanal Tekne Kuvveti [N]
y_G	: Ağırlık Merkezinin y Ekseninde Orijinden Olan Mesafesi [m]
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YSH	: Yapay Sinir Hücreleri
YH	: Yüzde Hata
YZ	: Yapay Zeka
Z	: Dalıp Çıkma Kuvveti [N]
α_R	: Dümen Bölgesinde Efektif Bakış Açısı [rad]
δ	: Dümen Açısı [rad]
λ	: Dümenin En Boy Oranı
ρ	: Suyun Yoğunluğu [kg/m^3]
ψ	: Savrulma Açısı [rad]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar geçen sürede insanoğlu en basitinden en karmaşığına kadar çok çeşitli araçları kullanmıştır. İlk olarak karada başlayan taşıt kullanımı tarihsel gelişim olarak bakıldığında denize, havaya ve son olarak da günümüzde artık uzaya dek ulaşmıştır.

Başlangıçta yapıları oldukça basit, sayıları az, hızları düşük olan taşıtları idare etmek çok fazla bilgi ve tecrübe gerektirmeden mümkün olmakla beraber gelişen teknolojiyle daha karmaşık ve daha hızlı olan taşıtları artan sayılarıyla birlikte idare edebilmek zorlaşmış; özellikle deniz ve havada kullanılan taşıtların idare edilebilmesi için yoğun teknik bilgi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Taşıtların kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda, bir taşıtı sadece hareket ettirmek bile onu kullanmak olarak görülmüş olmakla beraber günümüzde bir taşıtı gerçek anlamda kullanmak demek, gemiye gerekli hareketleri yaptırarak, ulaşılmak istenen hedefe, emniyetli bir biçimde, olabilecek en kısa sürede ve başarıyla ulaştırmak anlamını taşımaktadır. Bu sebeple, kontrol edilen bir taşıtı istenilen hedefe ulaştırmak için gerekli manevraları yaptıramayan ya da yaptırmaya çalıştığı manevralarda güvenliği tam olarak sağlamayan, uyguladığı yöntemler sonunda manevrayı başarıyla tamamlamasına rağmen gerekenden çok daha uzun zaman harcayan ya da tümüyle başarısızlıkla sonuçlandıran bir kişinin ilgili taşıtı gerçek manada kullandığından söz edemeyiz.

Sözü edilen diğer taşıtların aksine, bu tezin konusu olan deniz taşıtlarının, diğer bir ifade ile gemilerin, idaresi daha karmaşık olmaktadır. Örnek olarak iki arabanın idaresinin dinamikleri birbirine oldukça benzerdir. Çok farklı koşullar altında dahi aynı manevralarla, benzer sürüş dinamikleriyle bir arabayı idare edebilmek mümkündür. Ancak söz konusu geminin idaresi, manevrası, olduğunda dinamikler çok daha farklıdır. Her bir gemi, her bir manevra tıpkı bir parmak izi gibi sadece o an için kendine has özellikler içerir (Anıker, 2008). Bu yüzden gemi manevraları gerçekleştirilirken gerek gemi kaptanları gerekse de kılavuz kaptanlar kalıplaşmış formüllerden veya yöntemlerden değil, geminin durumuna ve özelliklerine, rüzgar ve akıntı gibi doğal etkilere göre sezgilerinden ve tecrübelerinden

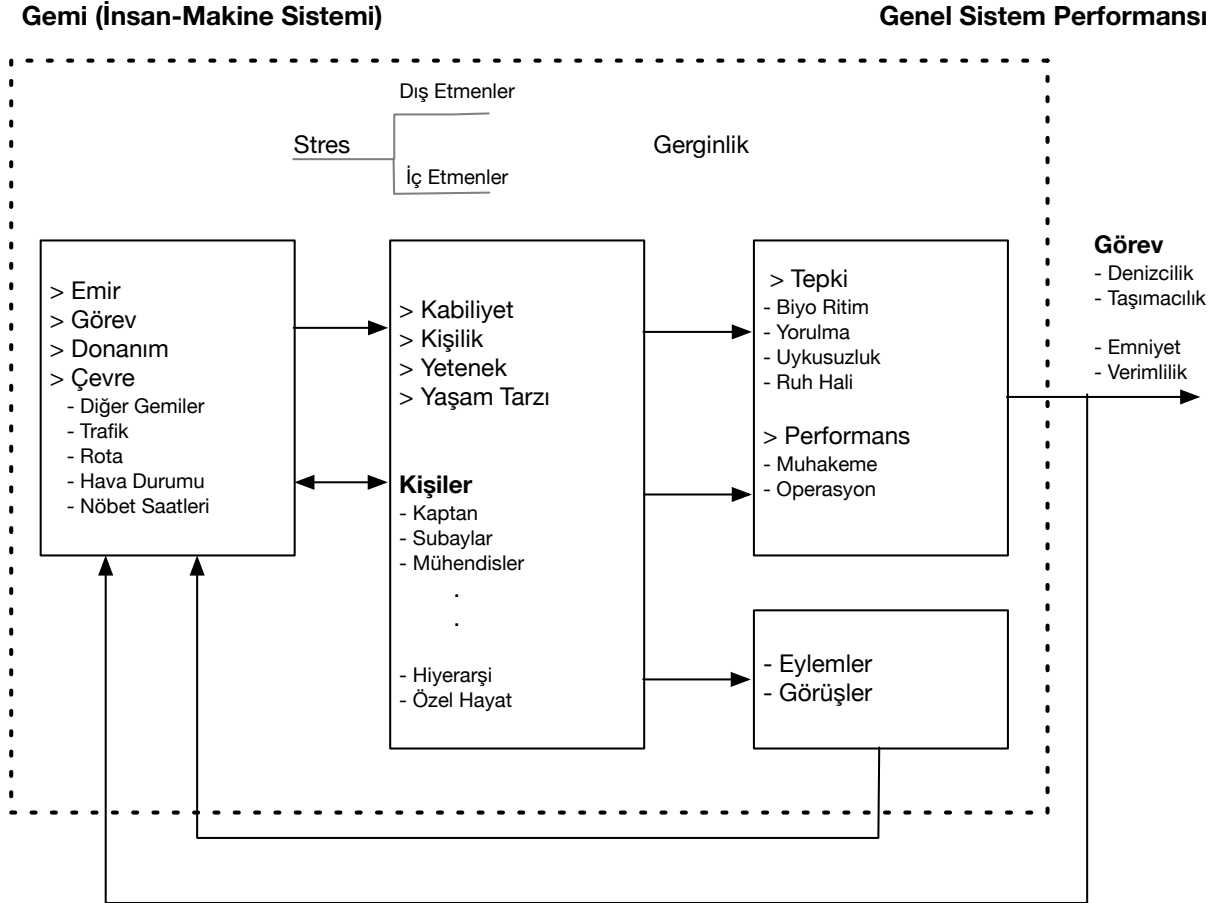
yararlanarak hareket ederler. Uzun yıllar boyunca edindikleri tecrübeler sonucunda başarılı manevralar gerçekleştirilmesine rağmen yine de zaman zaman kötü tecrübeler yaşanabilmektedir. Bu noktada gerek gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek gerekse de meydana gelebilecek olumsuz durumları en aza indirebilmek için çeşitli yardımcı sistemler ve kontrol sistemleri gemilere eklenmekte, yanaşma gibi çok kritik manevralarda olası hataları ortadan kaldırıp en hızlı ve en verimli şekilde gemilerin idaresi sağlanabilmektedir.

Gemi yanaşma manevraları ise gemi idaresi açısından bakıldığında en hassas, en zor, en karmaşık ve aynı zamanda en önemli manevralardan biridir (Ahmed ve Hasegawa, 2013). Yetenekli ve tecrübe bir ekibe ihtiyaç duyulmasına rağmen manevranın başarısı insan gözlemine ve hisleriyle hareket etmesine bağlıdır. Deniz taşımacılığı açısından bakıldığında iskeleye güvenli ve sorunsuz bir şekilde yanaşıp bağlanmak en önemli noktayı oluşturmaktadır. Büyüyen gemi boyutlarına karşın azalan mürettebat sayısına bağlı olarak (Yamazaki, 1997) bu manevralar gittikçe daha zor ve karmaşık bir hal almaktadır. Yanaşma manevrasının en zor yanı, dümen, pervane, gemi makinesi, başiter/kıçiter, römorkörler gibi elemanların eş zamanlı ve doğru bir şekilde kullanılmaya çalışılmasıdır. Normalde şartlarda bir gemi kaptanı, yanaşma manevrasının başarısını arttıran tekniğini geliştirmesi yıllarını alabilmektedir. Yine de bakıldığında, tüm bu tecrübelerle rağmen, denizcilikte meydana gelen kazaların %80'inin insan kaynaklı olduğu görülmektedir (MSB, 1995). İnsan kaynaklı (mesafe algılaması, muhakeme, iletişim, acemilik, operasyonel, vb.) hataları ortadan kaldıracak bir sistemin geliştirilmesi, yanaşma manevrasının herhangi bir aksaklığa sebep olmadan tamamlanmasına yardımcı olacak ve daha güvenli şekilde gemi rıhtıma yanaşabilecektir.

Gemi gibi insan-makine birleşimiyle çalışan sistemlerde, insan ilgili görevin/manevranın başarıyla tamamlanması konusunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Buna karşın insanın performansı da fiziksel ve ruhsal durumuna oldukça bağlıdır. İnsanın iş yükü, biyoriytmisi, biyolojik sinirsel aktivitesi gibi fiziksel şartlar, geminin manevra kabiliyetiyle doğrudan ilişkilidir (Kato vd., 1996; Murayama vd., 1995).

Şekil 1'de, bir geminin idaresinde insan-makine ilişkisi detaylı olarak verilmektedir. Nöbet değişimine bağlı olarak normal olmayan çalışma saatleri ve yaşam stili, gemi içerisinde sınırlı mürettebatla olan iletişim, stres, yorulma ve psikolojik gerginliğin kaynaklarını oluştururken ilgili koşullar fiziksel ve psikolojik fonksiyonların doğru bir şekilde çalışmasını engelleyici etkiye sebep olmaktadır. Özellikle yanaşma gibi karmaşık ve iş yükü yoğun bir sürecin başarıyla tamamlanabilmesi için gerekli yoğun dikkat ve

hassasiyet gereken manevralar esnasındaki stres insanın hata yapabilirliğini arttırmaktadır. Bu yüzden, tam otomatik veya yardımcı sistemlerin kullanılması, yanaşma manevraları esnasında insan kaynaklı ortaya çıkabilecek hataların azalmasında yardımcı olabilecektir.



Şekil 1. Gemi (insan-makine sistemi) ve mürettebatın rolü (Ueno, 1999)

Otomatik kontrol sistemleri yer araçları ve hava araçları gibi birçok alanda yoğun olarak kullanılıyor olmasına rağmen söz konusu deniz araçları olduğunda bu sistemler hala daha geliştirilme aşamasındadır. Bunun da en temel iki sebebi olarak geminin anlık pozisyonun takibi ve çevresel etmenlerden kaynaklı olarak gemi hareketinin takibi gösterilebilir. Özellikle düşük hızlarda geminin hareketinin ve bulunduğu kesin konumunun takibi zordur. Benzer şekilde düşük hızlarda akıntı/rüzgar gibi dış etmenler gemi üzerinde daha büyük etkilere sebep olmaktadır (Amerongen ve Nauta Lemke, 1986; Lim ve Forsythe, 1983).

1.2. Gemi Manevraları

Gemi kullanmayı içinde bulunulan koşullara göre, eldeki olanakları uyumlu ve kusursuz düzenleyerek bir gemiyi emniyetli şekilde en uygun kısa sürede başarıyla yanaştırmak, kaldırmak, bağlamak, demirlemek, belirli bir yerde döndürme vb. tüm işlemleri yaparak dar veya geniş her tür suda abramaktır olarak ifade etmek mümkündür. Inoue (2014) ise çok çeşitli dış etmenlerden kaynaklı olası riskleri göz önünde bulundurarak kişisel yetkinliğini kullanıp gemiyi amacına yönelik olarak hareket ettirmek olarak ifade etmiştir. Murdoch (2004) ise çok daha yalın bir ifadeyle gemi kullanımını bilim değil, sanat olarak tanımlamıştır.

İfade edilen tanımlamalara baktığımızda genel olarak bir gemiyi kullanmak için şu üç temel unsurun gerçekleşmesi gerekmektedir diyebiliriz:

- A. Emniyet
- B. En uygun kısa süre
- C. Başarı

Yapılan manevralar emniyetten uzaksa, belli sürelerde bitirilebilecek manevralar gereğinden çok daha uzun sürüyorsa ve manevra sonucunda istenilen hareket gerçekleştirilmemişse yani örneğin belirli bir rıhtıma yanaşmak yerine başka bir rıhtıma yanaşılmışsa, gemi hareket ettirilmiş olur ancak gerçek anlamda gemi kullanılmış sayılmaz.

Gerçek anlamda gemi kullanmak için gerekli olan üç temel unsuru şu şekilde detaylandırabiliriz (Zorba, 2007):

- Emniyet

Emniyet, gemi kullanırken göz önünde bulundurulması gereken ilk ve en önemli aşamadır. Emniyete, çevre koşullarının uygunsuzluğu, geminin kumanda edilmesini sağlayan kuvvetlerin yetersizliği ve gemiyi kullanan kişinin yetersizliği etki etmektedir. Bir başka deyişle, uygun çevre koşulları altında, gemiyi kumanda etmek için gerekli olan kuvvetlere ve araçlara sahip olan ve yeterli tecrübeye sahip kişinin kumanda edeceği gemi manevralarını emniyet içinde gerçekleştirebilir.

Gemi kullanımı esnasında ortaya kaza vb. riskli bir durum çıkmaması için, geminin kullanılacağı çevrenin boyutları, hava ve deniz koşulları geminin kullanımını engel olmayacak uygunlukta olmalıdır. Aksi halde örneğin bir dönüş manevrası yapılmaya çalışılırken yeterli alan bulunmaması, hava-deniz koşullarının gemi üzerinde oluşturduğu

kuvvetler kumanda edilen kuvvetlerce karşılanamaması durumunda ilgili manevranın kaza ile sonuçlanacağı ortadadır.

Benzer şekilde gemiye istenilen manevraları yaptırmak için geminin sahip olduğu kumanda kuvvetlerinin de sorunsuz çalışması gerekmektedir. Bahsedilen bu kuvvetler gemiye aşağıda belirtilen hareketlerin tümünü yaptırmaya yeterli olmalıdır (Erol, 1987).

- a) Gemiye, boysal olarak ileri ve geri hareket ettirebilmek ve bunu en alçaktan en yükseğe kadar her hız basamağında yapabilmek
- b) Gemiye, boysal olarak ileri ve geri, istenilen belirli bir yönde ve belirli bir doğrultu üzerinde hareket ettirebilmek
- c) Gemiye, istendiğinde, istenilen belirli bir yöne döndürebilmek
- d) Gemiye, istendiğinde, suya ve yere göre durdurabilmek
- e) Gemiye, gerektiğinde, kemeresel bir yönde, gövdesel olarak hareket ettirebilmek
- f) Geminin yapısından doğan ve dış etkenlerce gemi üzerinde oluşturulan, her türlü boysal, kemeresel ve savrulmasal, istenmeyen hareketleri giderebilmek ya da denetleyebilmek

Gemilere yukarıda sıralanan hareketlerin tamamını yaptırabilmek için gemiyi kullanan kişinin elinde geminin çeşitli yerlerine uygulanabilecek yeterli şiddette kuvvetler bulunmalıdır. Günümüz gemilerinde bu kuvvetler ana makineler, pervaneler, dümenler, başiterler, kışçerler, demirler, halatlar, ırgatlar, vinçler ve römorkörler tarafından sağlanmaktadır.

Bir gemide sözü edilen bu makineler ve araçlar yeterli sayıda bulunuyorsa, gemi manevraları emniyet içinde ve kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Aksi durumda geminin kullanımı zorlaşır ve belli bir durumdan sonra ise gemi kontrol edilemez hale gelebilir.

Gemiye emniyetli olarak kullanabilmek için önemli olan son madde ise gemiyi kullanan kişinin, kaptanın, yeterliliğidir. Manevra için uygun çevre koşulları olmasına, geminin kontrol için yeterli ve sorunsuz çalışan kumanda kuvvetleri bulunmasına rağmen yetkin olmayan kaptan gemiyi emniyetli bir şekilde kontrol edemeyecektir ve kazaya/başarısız manevraya sebep olacaktır. Ve hatta, birçok durumda, mevcut çevre koşullarının uygunluğuna, gemi üzerindeki/geminin sahip olduğu kumanda kuvvetlerinin yeterliliğine ve mevcut durum göz önünde bulundurularak yapılacak olan manevranın başarılı olup olamayacağına karar verecek olan kişi geminin kullanıcısıdır. Gemiye kullanacak kişinin elindeki olanaklarla nelerin yapılabileceğine karar verilemeyeceğini

anlayabilmeli ve buna uygun olarak hareket etmelidir. Yetersiz bir kullanıcı bu noktada yapabileceği bir manevradan kaçınabileceği gibi yapılmaması gereken bir manevraya girişerek kazaya vb. durumla sebep olabilir.

- En Uygun Kısa Süre

Belirli bir manevranın emniyetli şekilde ve başarıyla tamamlanabilmesi için gerekli olan en uygun kısa süre, o manevra için yukarıda belirtilen tüm şartların sağlandığında yani uygun çevre koşulları, uygun kumanda kuvvetleri ve yeterli tecrübeye sahip gemi kullanıcısı bulunduğu durumlarda, geçecek süredir. Bu süre muhakkak ki birçok duruma göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, aynı noktadan harekete başlasa, aynı çevre koşullarında aynı rotayı izleyip aynı rıhtıma yanaşacak bile olsa gemilerin yükleme durumları, büyüklükleri ve yapıları farklı olması durumunda ilgili manevra için en uygun kısa süre değişkenlik gösterecektir. Benzer şekilde aynı gemi farklı zamanlarda farklı çevre koşullarında da yine farklı uygun sürelerde manevralarını yapabilecektir.

Burada sözü edilen en uygun kısa süre, en kısa süreyle karıştırılmamalıdır. Normalden hızlı ve keskin şekilde yapılacak manevralarda, emniyet yerini tehlikeye bırakacaktır ve bir noktada artık durum kontrolden çıkabilecektir. Bu yüzden emniyeti tehlikeye düşürmeyecek bir hızda yapılacak olan manevra en uygun manevra, geçen süre ise en uygun kısa süre olacaktır. Özellikle yüklü ve büyük gemilerde mümkün olduğunda düşük hızlarla yapılacak olan manevraların terslikler olmadan, en uygun kısa sürede tamamlandığı görülmüştür. Hatta yüklü ve büyük gemiler için “En çabuk biten emniyetli manevra, en uygun ağır yolla yapılandır.” şeklinde ifade edilmektedir (Erol, 1987).

- Başarı

Yapılan manevra, istenilen sonuçla tamamlanmışsa, başarılı olunmuş demektir. Burada önemli olan nokta ise ulaşılan sonuca ne şekilde varıldığıdır. Eğer ki yapılması planlanan manevralar sonucunda istenilen amaca ulaşılammışsa veya istenilen amaca ulaşılmış ama gecikmeler, hasalar ya da kazalar oluşmuşsa muhakkak ki bu tür manevraları başarılı olarak tanımlamak mümkün değildir. Yukarıda da özetlediğimiz gibi emniyet içerisinde en uygun kısa sürede ve sorunsuz şekilde amacına ulaşan manevralar başarılı manevra olarak adlandırılabilir.

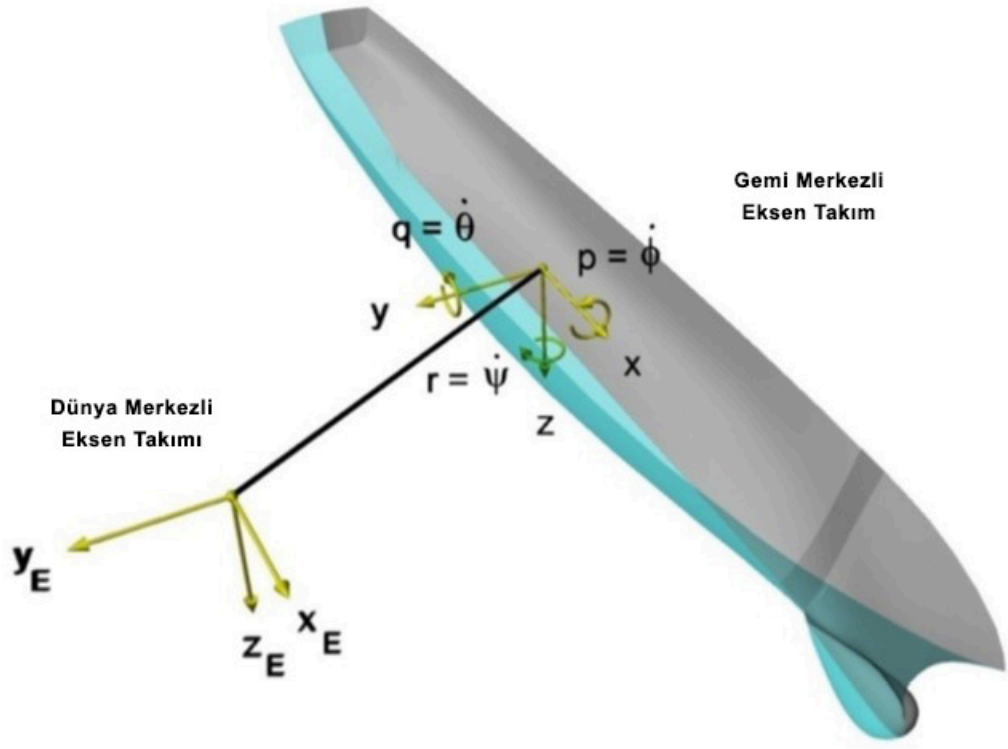
1.2.1. Gemi Hareket Notasyonları

Denizde hareket halindeki bir gemi düşünülürken, işletim ve çevre etkilerine bağlı olarak geminin yönü ve pozisyonu değişmeye zorlanmakta, zaman bağlı olarak değişik kuvvetlerin gemiyi etkisi ve deplasmanında değişiklikler olması durumu ortaya çıkmaktadır. Bu zorlayıcı etkiler, gemide altı serbestlik dereceli salınım hareketinin oluşmasına sebep olmaktadır. Sözü edilen bu zorlayıcı etkilerin üçü öteleme üçü ise dönel hareketler olarak gruplandırılabilir aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedirler (SNAME, 1950):

- Boyuna Öteleme: Geminin boyuna ekseninde ileri – geri doğrusal hareketi
- Yanal Öteleme: Geminin enine ekseninde her iki yöndeki doğrusal hareketi
- Savrulma: Geminin düşey ekseni etrafındaki dönel veya açısal hareketi
- Dalıp Çıkma: Geminin düşey ekseninde her iki yöndeki doğrusal hareketi
- Yalpa: Geminin boy ekseni etrafında yaptığı dönme hareketi
- Baş Kıç Vurma: Geminin enine ekseninde kıçta ve baştaki açısal hareketi

Gerçek anlamda yüzer haldeki bir cisim eşzamanlı olarak yukarıda ifade edilen altı serbestlik derecesine sahip hareketler yapmaktadır. Bu hareketlerden boyuna öteleme, yanal öteleme ve savrulma hareketi geminin konumunu ifade ederken dalıp çıkma, yalpa ve baş kıç vurma hareketi geminin denge pozisyonunu bozan dışa kuvvetlere karşı verilen tepki hareketlerini ifade etmektedir.

Bir geminin manevra karakteristiklerinin belirlenebilmesi için öncelikle Şekil 2'deki gibi dünya ve gemi bazlı iki eksen takımını tanımlamak gerekmektedir. Gemi merkezli eksen takımı tekneye sabitlenmiş, orijini tekne orta noktasında yer alan hareketli eksen takımındır. x, y ve z eksenleri sırasıyla boyuna, yanal ve düşey eksen bileşenlerini temsil etmektedir.



Şekil 2. Dünya merkezli ve gemi merkezli eksen takımları (Yoon, 2009)

Gemiye x yönünde etkiyen boyuna öteleme (surge), kuvvet bileşeni X ile, y yönünde etkiyen yanal öteleme (sway) kuvvet bileşeni Y ile, z yönünde etkiyen dalıp çıkma (heave) kuvvet bileşeni Z ile, ekseni etrafındaki yalpa (roll) moment bileşeni K ile, y ekseni etrafındaki baş kıkç vurma (pitch) moment bileşeni M ile, z ekseni etrafındaki savrulma (yaw) moment bileşeni N ve bunlara bağlı hız bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Gemi hareket notasyonları

Serbestlik Derecesi	Hareket Bileşeni	Eksen	Kuvvet/Moment Bileşeni	Hız Bileşeni
1	Boyuna Öteleme (Surge)	x	X	$u = \frac{dx}{dt}$
2	Yanal Öteleme (Sway)	y	Y	$v = \frac{dy}{dt}$
3	Dalıp Çıkma (Heave)	z	Z	$w = \frac{dz}{dt}$
4	Yalpa (Roll)	ϕ	K	$p = \frac{d\phi}{dt}$
5	Baş Kıç Vurma (Pitch)	θ	M	$q = \frac{d\theta}{dt}$
6	Savrulma (Yaw)	ψ	N	$r = \frac{d\psi}{dt}$

m geminin kütlelerini, I_x, I_y, I_z x, y ve z yönündeki kütle atalet momentlerini temsil etmektedir. x_G, y_G, z_G ağırlık merkezinin koordinatlarını; u, v, w boyuna öteleme, yanal öteleme ve dalıp çıkma hız bileşenlerini ($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$); $\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}$ boyuna öteleme, yanal öteleme ve dalıp çıkma ivme bileşenlerini ($\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$); p, q, r yalpa, baş kıç vurma ve savrulma hızlarını ($\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$) ve $\dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ yalpa, baş kıç vurma ve savrulma ivmelerini ($\ddot{\phi}, \ddot{\theta}, \ddot{\psi}$) temsil etmektedir.

Gemi manevra problemlerinde geminin sonsuz, sakin ve derin suda yüzdüğü kabul edilmekle birlikte genel olarak dalıp çıkma, yalpa ve baş kıç vurma hareketleri de göz ardı edilmektedir (Aksu, 2017). Böylece dalıp çıkma, yalpa ve baş kıç vurma hareketlerine ait hız ve ivme değerleri de ortadan kalkmaktadır:

$$w = p = q = \dot{w} = \dot{p} = \dot{q} = 0 \quad (1)$$

Cismin x-z düzlemine göre (sancak-iskele) simetrik olduğu kabulü yapılırsa

$$y_G=0 \quad (2)$$

olur. Bu durumda, altı serbestlik dereceli hareketler aşağıdaki gibi üç serbestlik dereceli bir denklem takımı ile ifade edilebilecek hale gelmektedir. Böylece yatay düzlemdeki hareketleri içeren boyuna öteleme (x), yanal öteleme (y) ve savrulma (ψ) denklemleri şu şekilde ifade edilebilirler:

$$X = m(\dot{u} - vr - x_G r^2) \quad (3)$$

$$Y = m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) \quad (4)$$

$$N = m(I_{ZZ} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur)) \quad (5)$$

Burada denklemin sol tarafında yer alan X , Y , N dış kuvvetler ve moment bileşenleri tekne hidrodinamik kuvvetleri ve pervane kuvvetlerini kapsayan kontrol yüzey kuvvetlerini içermektedir (Sarıöz, 2010).

1.2.2. Manevra Modelleme Grubu (MMG) Matematiksel Gemi Modeli

Detaylı olarak incelenecek olan bu model, Japonya Çekme Tankı Komitesi'nin alt komitesi olan Manevra Komitesi tarafından yeni bir matematiksel model olarak sunulmuştur (Ogawa ve Kasai, 1978). MMG matematiksel modelde hidrodinamik kuvvetler tekne, pervane ve dümen katkılarıyla karakterize edilmektedir. Her bir elemanın ifadesi ayrı ayrı karakteristikleri ve üç farklı gemi bileşenin etkileşimi temeline dayanmaktadır. Sonuç olarak kuvvet moment büyüklükleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R \\ N &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (6)$$

1.2.2.1. Tekne Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti

Tekne kuvvetleri ve momenti hız ve ivme bileşenlerinin fonksiyonu olarak ifade edilebilir. İdeal akış denklemindeki ek kütle ve ek atalet momenti aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
X_{Ha} &= X_{\dot{u}}\dot{u} - Y_{\dot{v}}vr = -m_x\dot{u} + m_yvr \\
Y_{Ha} &= Y_{\dot{v}}\dot{v} - Y_{\dot{r}}\dot{r} + X_{\dot{u}}ur = -m_y\dot{v} + Y_{\dot{r}}\dot{r} - m_xur \\
N_{Ha} &= N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{\dot{r}}\dot{r} = N_{\dot{v}}\dot{v} - J_{rr}\dot{r}
\end{aligned} \tag{7}$$

Hıza bağlı kuvvetler ve moment polinom formundadır. Boyuna kuvvet X_{Hv} , doğrusal hareketten kaynaklanan direnç kuvveti ve yanal ve savrulma hareketinden dolayı ek direnç kuvvetinden oluşmaktadır.

$$X_{Hv} = X(u) + X_{vv}v^2 + X_{vr}vr + X_{rr}r^2 \tag{8}$$

Yüksek ve normal hız manevrasında geminin ileri hız bileşeni yanal ve savrulma hareketinden dolayı oluşan hız bileşenine göre büyüktür. Bundan dolayı lineer türevler baskındır. Ancak MMG modelinin geniş bir uygulama alanı bulması ve kaldırma ve çapraz akış fiziksel olayları göz önüne alındığında yanal tekne kuvveti ve savrulma momenti lineer ve lineer olmayan terimlere ayrılır.

$$\begin{aligned}
Y_{Hv} &= Y_L + Y_{NL} = Y_vv + Y_r r + Y_{NL} \\
N_{Hv} &= N_L + N_{NL} = N_vv + N_r r + N_{NL}
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
Y_{NL} &= \int_{-1/2L}^{1/2L} C_D(x)|v + rx|(v + rx)dx \\
N_{NL} &= \int_{-1/2L}^{1/2L} C_D(x)|v + rx|(v + rx)dx
\end{aligned} \tag{10}$$

Çapraz akış itme katsayısı $C_D(x)$ sabit veya geminin x doğrultusunun bağılısı olarak polinom şeklinde modellenebilir.

Denklemlerin fiziksel temeline rağmen genelde lineer olmayan terimler için ikinci ve üçüncü derece polinom seçilir.

$$\begin{aligned}
Y_{NL} &= Y_{vv}v^2 + Y_{vr}vr + Y_{rr}rr + Y_{vvv}v^3 + Y_{rrr}r^3 + (Y_{vvr}v + Y_{vrr}r)vr \\
N_{NL} &= N_{vv}v^2 + N_{vr}vr + N_{rr}rr + N_{vvv}v^3 + N_{rrr}r^3 + (N_{vvr}v + N_{vrr}r)vr
\end{aligned} \tag{11}$$

Üçüncü derece polinom ikince polinoma tercih edilir.

$$\begin{aligned} Y_{NL} &= Y_{vvv}v^3 + Y_{rrr}r^3 + (Y_{vvr}v + Y_{vrr}r)vr \\ N_{NL} &= N_{vvv}v^3 + N_{rrr}r^3 + (N_{vvr}v + N_{vrr}r)vr \end{aligned} \quad (12)$$

Diğer bir yaklaşımda ise sadece ikinci terimler kullanılır:

$$\begin{aligned} Y_{NL} &= Y_{|v|v}|v|v + Y_{|v|r}|v|r + Y_{|r|v}|r|v + Y_{|r|r}|r|r \\ N_{NL} &= N_{|v|v}|v|v + N_{|v|r}|v|r + N_{|r|v}|r|v + N_{|r|r}|r|r \end{aligned} \quad (13)$$

1.2.2.2. Pervane Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti

Pervanenin neden olduğu hidrodinamik kuvvet, açık-su karakteristiği K_T 'den yola çıkılarak hesap edilen pervanenin sağladığı itme kuvveti T_p , ve tekne ve pervane etkileşimi itme azalması t_p ile açıklanabilir. Sonuç olarak pervane hidrodinamik kuvveti aşağıdaki gibi yazılır:

$$X_p = (1 - t_p)T_p = (1 - t_p)\rho n^2 D_p^4 K_T(J) \quad (14)$$

- Pervane, tekne kılıcında pozitif basınç değerlerini düşürerek tekne direncinin artmasına sebep olur. Bu nedenle pervanenin sağladığı itme kuvveti teknenin belirli hızına karşılık gelen direnç kuvvetinden bir miktar daha büyük olur. İtme azalması t_p , bütün gemi formları için yanal öteleme, savrulma ve pervane yüklemesine göre değişmesine rağmen genellikle sabit olarak alınır ve tipik değer olarak 0,2'dir (RCDP, 1985).
- Pervane açık-su karakteristiği K_T , ileri hareket-ileri itme operasyonu için ikinci derece polinom ile modellenebilir.

$$K_T(J) = a_0 + a_1J + a_2J^2 \quad (15)$$

- Açık-su ilerleme katsayısı J_s , pervane dönme hızıyla ters orantılıdır. $J_s = u/nD_p$ eşitliğinden artan pervane yüküyle birlikte ilerleme katsayısı azalacaktır.

- İlerleme katsayısı J , tekne arkasındaki iz bölgesinden dolayı bir düzeltmeyi kapsamaktadır.

$$J = u(1 - w_p)/(nD_P) \quad (16)$$

- İz katsayısı w_p , geminin ileri hareket hızı ile pervane üzerine gelen akış hızı arasındaki ilişkiyi verir. Tipik olarak 0.1 değerini alan iz katsayısında pervane üzerine gelen akışın hızı geminin hızının %90'ı kadar olur. Pervane bu iz bölgesinde operasyonunu sürdürür. Doğrusal ileri hareketteki iz katsayısı w_{P0} , yanal öteleme ve savrulma hareketlerinden dolayı etkilenir. Temelde iki ifadeyle $1-w_p$ değeri aşağıdaki gibi açıklanır.

$$\begin{aligned} 1 - w_p &= (1 - w_{P0}) + f(v', r') \\ 1 - w_p &= (1 - w_{P0}) \cdot f(v', r') \end{aligned} \quad (17)$$

MMG çalışma grubuna göre iz katsayısı pervane yüklemesinden etkilenir ve etkisi doğrusal ileri hareketle sınırlandırılmıştır.

$$\begin{aligned} (1 - w_{P0}) &= b_0 + b_1 J_S \\ (1 - w_{P0}) &= b_0' + b_1' J_S + b_2' J_S^2 \end{aligned} \quad (18)$$

Son olarak geleneksel gemilerde pervane tarafından meydana gelen yanal itme ve dönme momenti sıfır olarak kabul edilir.

$$\begin{aligned} Y_p &= 0 \\ N_p &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

1.2.2.3. Dümen Hidrodinamik Kuvvetleri Ve Momenti

Dümenin hareketiyle meydana gelen hidrodinamik kuvvetler ve moment aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{aligned}
X_R &= -(1 - t_R)F_N \sin \delta \\
Y_R &= -(1 + a_H)F_N \cos \delta \\
N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta
\end{aligned} \tag{20}$$

- Toplam dümen kuvveti F_R , dümen simetri düzlemine dik F_N ve paralel F_T kuvvetlerinden oluşmaktadır. Teğetsel kuvvet hesaplamalarda göz ardı edilir.
- $1-t_R$ dümene etkiyen boyuna kuvvet bileşeni ile kıyaslandığında direnç azalmasına karşılık gelen deneysel katsayıdır. Bu parametrenin gerçek değeri $0,7 - 0,8$ arasında değişmektedir.
- Dümenin hareketi sonucunda yalnızca dümen üzerinde yanal kuvvet oluşmaz aynı zamanda tekne etrafında zorlanmış akıştan dolayı yanal tekne kuvveti yanal dümen kuvvetiyle orantılı olarak meydana gelir (a_H parametresi). x_H parametresi ise ek tekne kuvvetinin uygulandığı noktanın boyuna konumunu belirtir.

1.2.2.4. Dümen Normal Kuvveti

F_N dümen normal kuvveti aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_N = \frac{1}{2} \rho f_a A_R U_R^2 \sin \alpha_R \tag{21}$$

Bu denklemde yer alan A_R dümen alanını, f_a ise dümen kaldırma kuvveti katsayısının değişimini ifade etmekte olup Fujii formülüne göre dümen en-boy oranının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibidir (Fujii ve Tsuda, 1961).

$$f_a = \frac{6,13\lambda}{\lambda + 2,25} \tag{22}$$

Tekne ve pervane arkasında üniform olmayan akış bölgesinde dümen için efektif akış hızı ve açısı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
U_R &= \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \\
\alpha_R &= \delta - \text{Arctan} \left(\frac{-v_R}{u_R} \right)
\end{aligned} \tag{23}$$

1.2.2.5. Dümendeki Efektif Akış Hızının Boyuna Bileşeni

Dümen alanı iki farklı akış alanına ayrılır:

- Dümene alt ve üst noktalarında akış hızı pervane tarafından ivmelenmez. Akışın tekne arkasındaki u_P akış hızıyla orantılı olduğu kabul edilir.

$$u_{R0} = \varepsilon u_P \quad (24)$$

Tekne, dümen ve pervanenin etkileşiminden dolayı doğrusal hareket için dümen iz katsayısı w_{R0} pervane iz katsayısı w_{P0} 'dan farklıdır. ε katsayısı aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon = \frac{1-w_{R0}}{1-w_{P0}} \quad (25)$$

- Dümen yüksekliği pervane çapı oranına ($\eta=H/D_P$) bağlı olarak gelen akışın hızı pervane tarafından ivmelenebilir. Aktüatör disk momentum teorisine göre pervane kaynaklı dümene gelen akışın hızı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} u_{RP} &= u_{R0} + k_x u_P \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \\ &= \varepsilon u_P + k_x u_P \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \\ &= u_P \left[\varepsilon + k_x \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (26)$$

k_x pervaneye göre dümenin eksenel pozisyonunu ifade etmektedir. Efektif dümen akış hızı u_R iki akış alanına bağlı olarak basitçe ağırlıklı ortalamayla ifade edilebilir:

$$u_R = \sqrt{\eta u_{RP}^2 + (1 - \eta) u_{R0}^2} \quad (27)$$

Daha basit formda dümen akış hızı aşağıdaki gibidir:

$$u_R = \varepsilon u (1 - w_P) \sqrt{\eta \left\{ 1 + k \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta)} \quad (28)$$

$$u_R = \varepsilon u_P \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} \quad (29)$$

1.2.2.6. Dümendeki Efektif Akış Hızının Yanal Bileşeni

Tek pervaneli gemilerin dümeninde akış doğrusal harekette bile pervaneden dolayı asimetriyle karakterize edilir. Sonuç olarak dümen normal kuvveti F_N dümenin nötr konumunda sıfır değildir. Asimetrik akışa karşı koymak için gerekli olan δ_0 ofset dümen açısı yanal hız bileşeni oluşturur.

$$v_R = \delta_0 u_R = k_P s u_R \quad (30)$$

Yanal öteleme ve savrulmadan dolayı dümene gelen efektif akış hızının yanal bileşeni artış göstererek aşağıdaki gibi yazılır:

$$v_R = k_P s u_R + g(v', r') \quad (31)$$

Literatürde MMG modelinde kullanılan yanal hız bileşeni ve efektif akış açısı α_R için ifadeler aşağıdaki gibidir:

$$v_R' = v' + x_R' r' + C_R |v| v \quad (32)$$

Yanal hız bileşeni yanal öteleme ve savrulma hareketinden dolayı oluşan hız bileşenlerinden oluşmaktadır ve son terim tekne ve pervaneden dolayı aşağı akış etkisinin neden olduğu ifadedir.

$$\alpha_R = \delta - \alpha_0 = \delta - \text{Arctan}\left(\frac{-v_R'}{u_R'}\right) = \delta - \gamma\left(\frac{-v_R'}{u_R'}\right) = \delta_R + \gamma\left(\frac{v_R'}{u_R'}\right) \quad (33)$$

γ akış-açı-düzeltilme veya akış-düzeltilme katsayıdır ve C_R ile birlikte deneysel olarak tanımlanır. x_R' dümen normal kuvvetinin uygulama noktasının x doğrultusu boyunca konumunu belirtir.

$$v_R' = v' + x_R' r' \quad (34)$$

$$\alpha_R = -(\delta_R - \delta_0) - \gamma \left(\frac{-v_R'}{u_R'} \right) \quad (35)$$

x_R' yanal hız ile karşılaştırıldığında savrulma hızının etkisini içeren katsayıdır. Bu katsayı dümenin aksel konumu ile uyumlu olması beklense de deneysel olarak belirlenen x_R' dümenin boyuna doğrultudaki konumunun iki katı kadar büyüklükte olabilir.

$$v_R' = u_R' \beta_R = u_R' (\beta - 2x_R' r') \quad (36)$$

$$\alpha_R = \delta_R (+\delta_0) - \gamma \beta_R \quad (37)$$

Burada ise x_R' yaklaşık olarak -0,5 değerindedir.

$$v_R = k_P s u_R + V g (v' + l_R' r') \quad (38)$$

l_R' deneysel katsayı dümenin boyuna konumunun iki katı kadar büyüklüğündedir (Aksu, 2017; Kose, 1982; Ogawa ve Kasai, 1978; RCDP, 1985; Yasukawa ve Yoshimura, 2015).

1.3. Gemiye Etki Eden Kuvvetler

Gemiyi, hava akışkanıyla kaplı, su içinde yüzen, tonlarca ağırlığın belirli bir uzunluğa yayılmış olduğu, özel olarak biçimlendirilmiş, gövdesel bir kütle olarak ifade edebiliriz. Bu kütle, kendisine etki eden kuvvetlere karşı çeşitli tepkiler verir ve etkilere karşı verdiği yanıtların bileşkesine göre de bir davranış sergiler. Gemi üzerine etkiyen bu kuvvetlerin bazıları doğrudan doğruya gemiyi kullanan kişi tarafından kontrol edilebilirken bazıları da dolaylı olarak denetlenebilir; bazı kuvvetler ise denetlenemez.

Bir gemi, manevra yaparken mevcut durumunda var olan etmenlerin tümü ona ayrı ayrı etki eder. Bu durumda gemi de bu etkileyen kuvvetlerin bileşkesine bağlı olarak ya hareket eder ya da dengede durur. Bu açıdan bakıldığında, gemi kullanmanın özünü, gemiyi etkileyen tüm kuvvetleri ona istediğimiz davranışı yaptıracak bileşkeyi verecek biçimde düzenlemek oluşturur. Bu düzenlemeyi sağlamada baş yardımcımız da doğrudan kumanda edilebilen kuvvetlerdir.

Su üzerinde, herhangi bir yere bağlı olmaksızın duran bir geminin hareket edebilmesi için, geminin kendi ataletini yenebilecek büyüklükte ve sürekli olarak etkiyen belirli bir kuvvete maruz kalması gerekmektedir. Uygulanacak bu kuvvet, gemi üzerindeki dirençlerin (hava, su, vb.) toplamından büyük olduğunda gemi hareket etmeye başlayacaktır.

Harekete başlayan geminin sudaki hızı, kuvvet etki ettiği müddetçe artacaktır. Ne zaman ki hareket için uygulanan kuvvet, gemi üzerindeki direnç/sürtünme kuvvetleri tarafından dengelenir, hız artık artmayıp sabit kalacaktır. Bu durumda, örneğin geminin hızını arttırmak istediğimizde hareket için gerekli kuvveti arttırmamız gerekecektir. Benzer şekilde gemi üzerindeki dirençlerin artması ise geminin hızının azalmasına sebep olacaktır.

Gemi hareket halinde maruz kaldığı ve geminin yol almasına etki eden en önemli iki direnci hava ve su dirençleri oluşturmaktadır.

1.3.1. Havadan Kaynaklı Dirençler (Rüzgar Direnci)

Gemi tasarımı yapılırken, dikkat edileceği üzere, genellikle suyun altında kalan kısımların yapıları oldukça yalın ve gemiden gemiye az miktarda farklılıklar barındırsa da genel olarak birbirine oldukça benzemektedir. Buna karşılık özellikle gemilerin üst bölümleri birbirinden çoğunlukta farklıdır. Bu farklılıklar geminin kullanım amacına uygun olarak değişkenlik göstermekle birlikte aynı zamanda geminin durgun ve rüzgarlı havaya karşı göstereceği dirence göre de belirlenmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere gerek gemilerin tasarımları yapılırken gerekse de gemi kumanda işlemi gerçekleştirilirken havadan kaynaklı olarak durgun hava direnci ve rüzgar direnci önemli faktörler olarak ortaya çıkmaktadır.

a) Durgun Hava Direnci

Gemilerin su üstünde kalan bölümlerinde yer alan yapıların gerek eğimli gerekse de düz yüzeylerin tek tek dirençlerini, tüm bu yüzeylerin birbirlerine olan etkilerinden meydana gelen dirençleri hesaplamak nerdeyse olanaksızdır. Bu noktada gemi üzerinde dirençler belirlenirken hesaplama yapmak yerine deneysel yollar kullanılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda da görüldüğü üzere seyir halindeki bir geminin karşılaşıacağı durgun hava direnci, su direncine göre oldukça düşüktür. Durgun havada yol alan bir gemi üzerindeki hava direnci, su direncinin %1,5-3'ü arasında olduğu görülmüştür (Erol, 1987). Çok küçük olan bu değerler sebebiyle durgun hava direnci genellikle göz ardı edilmektedir.

b) Rüzgar Direnci

Diğer taraftan ise rüzgarın varlığı gemi üzerinde oldukça büyük etkilere sebep olabilmektedir. Rüzgarın artışıyla birlikte gemi üzerindeki dirençte ortaya çıkan büyüme, bir cismin bir akışkan içindeki hareketi sırasında ortaya çıkan direncin, hareket hızının karesiyle doğru orantılı olarak artmasından kaynaklanmaktadır.

Bir cismin bir akışkan içindeki hareketine karşı akışkanın gösterdiği direncin miktarını şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$D = c * a * Y * h_{ac}^2 \quad (39)$$

Yukarıda sunulan 39 numaralı denklemden de görüleceği üzere direncin değeri, görece hızın karesiyle artmakta olduğundan gemi üzerindeki üstyapıya bağlı olarak kuvvetli rüzgarların etkileri de oldukça büyük olabilmektedir.

Ayrıca rüzgarın gemi üzerinde oluşturduğu manevraya olan etkileri değerlendirilirken sadece gemi üzerindeki direnç değeri değil aynı zamanda rüzgarın gemiye esiş yönü de dikkate alınmalıdır. Zira esen rüzgarın gemi üzerinde oluşturduğu kuvvetin kemere bileşeni, gemiyi rotada tutabilmek için sürekli olarak sancak veya iskeleye dümen basmayı gerektirebilmektedir. Dümen açısının değişimi de ayrıca gemi üzerinde farklı dirençlerin oluşmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla direkt rüzgardan kaynaklı dirençler dışında sebep olduğu dümen kullanımına bağlı olarak, dolaylı yoldan, gemi üzerindeki toplam direnç miktarının artışına sebep olmaktadır.

1.3.2. Sudan Kaynaklı Dirençler (Akıntı Direnci)

Bir akışkan içerisinde bulunan bir cisme karşı bir direnç kuvveti doğabilmesi için ortada bir hareketin bulunması gerekmektedir. Bahsedilen hareket, cismin akışkan içinde yol alması biçiminde olabileceği gibi, cisim sabit bir konumda durmaktayken akışkanın cismin etrafından akması şeklinde de olabilir. Yani gemi su üzerinde hareket ederken su kaynaklı dirençler oluşabileceği gibi demirli halde duran gemi üzerinde de sudan kaynaklı dirençlerin oluşması mümkündür (Erol, 1987). Özetle katı bir cisim ile bir akışkan arasında herhangi bir şekilde bir hareket varsa direnç meydana gelir aksi durumda herhangi bir direnç oluşmaz.

Gemi manevraları esnasında, manevra kabiliyetine ve sorunsuzca manevranın tamamlanabilmesine etki eden en önemli direnç gemi karinası üzerindeki sürtünme direncidir.

Normal hızlarda, geminin suda hareket etmesine karşı koyan toplam kuvvetin en az dörtte üçünü karina üzerindeki sürtünme direnci oluşturmaktadır. Yüksek hızlarda ise, toplam gemi üzerindeki dirençteki payı azalmakla beraber yine de önemli bir yer tutar (Erol, 1987).

Yapılan deneyler göstermektedir ki karina üzerindeki sürtünme direnci değeri 40 numaralı denklemde de görüleceği üzere ıslak karina yüzeyine, geminin hızına ve karinanın pürüzlülük derecesine bağlıdır.

$$D_s = b * Y_k * h_g^t \quad (40)$$

40 numaralı denklemde t olarak ifade edilen üs sayısı temiz gemilerde 1,83 civarında olmakla beraber karina kirlendikçe sayı da büyümektedir. Dolayısıyla karina yüzeyi kirlendikçe gemi üzerindeki sürtünme direnci artar. Benzer şekilde gemi boyuna bağlı olan b sürtünme katsayısı da gemi boyuyla ters orantılıdır; boy uzadıkça b değeri küçülmektedir (Erol, 1987).

Sonuç olarak denklemden de görüldüğü üzere ıslak karina yüzeyi ve hız arttıkça sudan kaynaklı gemi üzerindeki dirençler artmaktadır. Karina yüzeyleri temiz gemiler tüm koşullar aynıyken ve aynı makine kumandaları verildiği koşullarda daha çabuk hızlanıp daha yüksek hızlara çıkabilirler. Durdurulduklarında ise üzerlerindeki yolu normalden daha uzun süre koruyup daha fazla mesafe kat edebilirler.

Gemi, üzerine uygulanan kuvvet etkisinde harekete başladığı andan hava/rüzgar ve su kaynaklı dirençlerin toplamına maruz kalmaktadır. Ortaya çıkan bu dirençler, gemiyi hareket ettirmek için kullandığımız elemanların oluşturduğu kuvvetlerle yenildiği takdirde hareket edebilmektedir. Ne zamanki yürütmek için uygulanan kuvvet, gemi üzerindeki dirençleri yener, gemi o an hareketine başlar ve direnci yendiği müddetçe de hareketine hızlanarak devam eder. Geminin hareketi için uygulanan kuvvet, gemi üzerindeki dirence eşit olduğu ana dek gemi hızlanır, birbirine eşit olduğunda ise gemi artık mevcut hızında yol almaya devam eder.

Geminin manevra kabiliyeti, gemi üzerindeki kuvvetlere bağlı olduğundan dolayı da sözü edilen bu dirençler doğrudan geminin manevralarına etki etmektedirler. Gemiyi

kullanan kişi manevralarını başarılı ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirebilmesi için tüm bu dirençleri göz önünde bulundurmalı ve buna uygun şekilde manevralarını planlayıp gerçekleştirmelidir. Gemi zerindeki dirençlerden herhangi biri göz ardı edilirse veya doğru değerlendirilmezse bu durumda başarıyla sonuçlanan manevralar gerçekleştirilemez.

Tablo 2. Gemi idaresine etki eden çeşitli etmenler (Inoue, 2014)

Doğal Koşullar	Rüzgar, Gelgit, Akıntı, Dalga, Görüş Mesafesi
Coğrafı Koşullar	Adaların varlığı, Su derinliği
Altyapısal Koşullar	Manevra yapılacak alan, Dalga kıran, Taranmış kanal, Rıhtım, Liman ağzı
Trafik Koşulları	şamandıra, Navigasyon yardımları, Trafik yoğunluğu, Balık avcılığı veya Balıkçılık
Sosyal ve Bilgilendirici Koşullar	Kanunlar, Düzenlemeler, Geleneksel uygulamalar, Bilginin kullanılabilirliği

1.4. Gemiye Yol/Yn Kazandıran Sistemler (Temel Manevra Elemanları)

Manevra yapan bir gemi, manevra esnasında birçok farklı kuvvet ve direncin etkisi altındadır. Gemi, zerine etkiyen bu kuvvetlerin bileşkesine bağlı olarak ya hareket eder ya da denge durumunda kalmaya devam eder, yani durur. Bir manevranın özünü, gemiye etkiyen tüm kuvvetleri ona istediğimiz davranışı yaptırarak bileşkeyi verecek biçimde düzenlemek oluşturur. Bu düzenlemeyi sağlayacak en önemli sistemler ise doğrudan kontrol ve kumanda edebileceğimiz sistemlerdir.

Bir gemiyi su üzerinde hareket ettirebilmek, ona belirli bir amaca/hedefe yönelik olarak bir manevra yaptırabilmek, gemi üzerindeki dirençleri yenebilmek için çeşitli elemanlara ve sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Gemi makinaları, pervaneler, dümen, başıter ve kııter, römorkör, halat gibi gemi manevralarının gerçekleştirilmesinde doğrudan ve/veya dolaylı katkı sağlayan sistemler aşağıda zet olarak ifade edilmiştir (Anıker, 2008; Erol, 1987; Inoue, 2014; Murdoch vd., 2004):

- Ana Makine

Bir gemiyi hareket ettirmek amacıyla kullanılabilir en etkin kuvvet kaynağı şüphesiz ki geminin ana makinesidir. Ana makine, gemiye yaptırılması planlanan manevra

ve hareketlerde ve bu hareketli bozmaya çalışan dış etmenlere karşı koymak amacıyla kullanılabilir temel kuvveti sağlar. Özetle, bir gemiyle yapılması planlanan manevraların başarıyla gerçekleştirilebilmesi için sahip olunan en önemli sistem ana makinedir.

Gemi ana makinesi, hem doğrudan kontrol ve kumanda edilebilen bir sistem olması hem de gemi kullanmadaki en efektif kuvvet kaynağı olması sebebiyle gemilerin olmazsa olmaz bir parçasıdır. Bazı özel koşullar dışında bir manevranın ana makine olmaksızın başarıyla gerçekleştirilebilmesi mümkün değildir. Yine de sadece ana makineye sahip olmak ilgili manevranın başarılı bir şekilde tamamlanmasına yeterli değildir. Gemi kullanan kişi, sahip olduğu ana makinenin tipine, özelliklerine ve gücüne hakim olmalıdır ve bu özelliklere göre manevralarını planlayıp gerçekleştirmelidir.

Günümüzde gemilerde farklı tiplerde ana makineler kullanılmaktadır. Bunları şu şekilde özetleyebiliriz (Sharda, 2017):

- a) Pistonlu Buhar Makineleri
- b) Dizel Makineleri: Günümüzde en yoğun kullanım alanına sahip olan gemi makineleridir. Küçük teknelerden büyük gemilere kadar farklı boyut ve özellikteki gemilerde kullanılmaktadır.
- c) Buhar Türbin Makineleri: Kömür veya benzeri buhar üreten yakıtlarla çalışan bu makineler yoğun olarak 19. yüzyıl sonu 20. yüzyıl başlarında kullanılmıştır.
- d) Gaz Türbin Makineleri: Genellikle askeri gemilerde kullanılmakla birlikte askeri harici gemilerde de zaman zaman kullanılmaktadır. Gaz türbin makineleri sayesinde gemilerin çok hızlı hareket edebilmeleri mümkün olduğundan dolayı özellikle saldırı altında düşmanda kaçabilmek amacıyla askeri gemilerde yoğun olarak tercih edilmektedir.
- e) Dizel-Elektrik Makineleri: 1900lü yıllarda kullanılmaya başlayan ve dizel motora bağlanmış elektrikli bir makine kombinasyonu sayılan bu gemi makineleri denizaltı ve ticari gemilerde kullanılmaktadır.
- f) Nükleer Güçle Yürütülen Gemi Makineleri: Gemi içerisindeki nükleer reaktörle elektrik üreterek gemi makinesini çalıştırılmaktadır.

Bunlar dışında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi, biyodizel yazık gibi temiz/yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan makineler de -her ne kadar yolun daha başında da olursa- gemilerde kullanılmaktadır.

Pistonlu buhar makineleri, her ne kadar günümüzde kimi gemilerde hala kullanılıyor olsalar da son dönemlerde üretilen gemilerde artık neredeyse hiç kullanılmamaktadır.

Bunlar, makinelerden yavaş dönme elde edilebildiğinden pervanesi doğrudan doğruya makineye bağlanabilen, ara dişli kutusuna gerek duymayan tersinebilen makinelerdir. Tornistan beygir güçleri ileri beygir güçlerine eşit olan bu tip makineler, ileri yoldayken hızlıca durabilir, anında istenirse tornistana geçebilir makinelerdir. Makinenin komutlara verdiği tepkilerin hızlılığı ve güvenilirliği sebebiyle geçmişte sıklıkla kullanılan pistonlu buhar makinesi iyi nitelikli makineler arasında gösterilmektedir.



Şekil 3. Gemi üzerinde ana makine yerleşimi örneği (TOTE, 2015)

Günümüzde ise gemileri hareket ettirmek amacıyla en yaygın kullanılan ana makineler dizel makinelerdir. Tam yolda 100 tornanın biraz üzerinde dönebilen düşük hızlı dizel makineler ve düşük hızlı dizel makinelere oranla daha hafif ve küçük olan 300 ile 500 torna arasında dönen orta hızlı dizel makineler olmak üzere iki çeşide sahip bu makineler de tersinebilir makinelerdir. Bu sebeple dizel makineler de pervaneye doğrudan doğruya bağlanabilmektedirler. Geleneksel sabit adım pervanelerinin en uygun etkinliği 80-110 torna dolaylarında olduğundan orta hızlı dizel makineleri pervaneye doğrudan doğruya bağlanmak yerine bir küçültme donanım ile bağlanmaktadır. Bu küçültme donanımları/dişli kutuları gereksinimlerinden dolayı tek ve büyük bir makine yerine iki ya da üç tane daha küçük makineyle gemiler donatılırlar. Böylelikle seyir esnasında meydana gelebilecek olası arıza durumlarında geminin hareketsiz kalma ihtimali de en aza indirilmiş olur.

Dizel makineli gemiler, çalışır durumdaki gemiye dur komutu verildikten sonra makine hemen durabilmektedir. Makineye ileriden tornistana veya tornistandan ileriye komutları verildiğinde aynı şekilde gemi ilgili komutlara kısa bir zaman aralığında yanıt verebilmektedir. Ancak su üzerinde hızlı bir şekilde yol almaktayken makineye dur komutu verilmesinin hemen ardından tornistan verilmesi durumunda su akıntısının pervane kanatları üzerinde yarattığı basınç sebebiyle tornistan komutuna çok zor cevap verildiği ya da hiç verilemediği durumların oluşması mümkündür. Bu nedenle sabit adımlı pervaneye sahip gemilerde dizel makinelerin kullanılması durumunda ileri yoldan tornistana geçilmeden önce geminin üzerindeki yolun düşürülmesine dikkat edilmelidir.

Dizel makineler, hızlı bir şekilde torna yükseltebildiği için (tam yol ileri veya tam yol tornistan yapıldığında pervaneler kısa zamanda yüksek tornalara çıkabildiği için) gemi ile tokatlama denilen işlem gerçekleştirilebilir. Yani gemi çok fazla hareket ettirilmeden yüksek tornalara çıkılarak pervane üzerinden su akışı sağlayıp gemiye kısa mesafede/dar alanda manevra yaptırabilme imkanı sağlanır.

Dizel makinelerden sonra günümüz gemilerini yürütmek amacıyla en sık kullanılan ikinci makine tipi buhar türbinli makinelerdir.

Buhar tipli makinelerden elde edilen beygir gücü, aynı büyüklükteki diğer makine tiplerinden elde edilebilecek beygir güçlerinden daha yüksektir. Ayrıca bu tip makineler hem sessiz çalışmaktadırlar hem de düşük titreşime sahiptirler. Bu yüzden bu tip makineler genellikle yüksek güce ihtiyaç duyan savaş gemileri ile rahatlık aranan yolcu gemilerinde kullanılmaktadırlar.

3000-6000 torna arasında çalışan buhar tipli makineler, en verimli çalışma aralığı 80-110 torna dolaylarında olan sabit adımlı pervanelerle uyum içerisinde çalışabilmesi için pervanenin makineye bağlanması indirgeme dişlisi (reduction gear) ile gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple bu tip makineler tek yönlü çalışan, tersinemeyen makineler olarak adlandırılırlar. Bu tip makinelere sahip gemilerde tornistan için ayrı bir buhar türbinli makine bulunmaktadır ve bu şekilde gemi tornistan hareketini gerçekleştirebilmektedir.

Türbin makineyle donatılan gemilerde alçak pervane dönüşü ile yüksek pervane dönüşü arasında geçişler oldukça uzun zaman alabilmektedirler. Bu sebeple bu tip gemilerde hız azaltılması veya çoğaltılması işlemleri gerçekleştirilirken etkin davranılmalıdır. Örneğin durulmak istenilen bir noktaya gelmeden çok önce yol kesilip hız düşürülmeye

başlanmalıdır. Diğer tip makinelerin aksine bu tip makineye sahip gemilerde ileri ve tornistan hareket komutları çok daha önceden ve planlı bir şekilde verilmelidir.

Özetle buhar türbin makinelerine sahip gemiler manevra açısından elverişsiz gemiler olarak sayılabilir. Sabit adımla donatılmış bu tip makinelerine sahip gemilerle manevraların düşük hızla yapılması ve ileri görüşlü olunması başarılı bir manevra gerçekleştirebilmek için önemlidir.

1947 yılında kullanılmaya başlanan gaz türbinli makinelerin yakıt tüketimleri diğer tipteki makinelere göre yüksektir. Kullanım açısından buhar türbin makinelerine oldukça benzer olan bu makineler de tek yönlü tersinemeyen makinelerdir. Gaz türbin makinelerinin buhar türbin makinelerine göre en önemli üstünlüğü, birkaç dakika gibi bir sürede ısıtılıp makinenin üzerine yük bindirilebilecek hale getirilebilmesinin mümkün oluşudur.

Benzer şekilde nükleer güçle çalışan makineler de bir diğer buhar türbinli makine çeşididir. Burada kullanılacak nükleer reaktörle elde edilen ısı, suyu buhara dönüştürmeye yarar ve böylelikle makinenin çalışması için gerekli olan güç elde edilmiş olur.

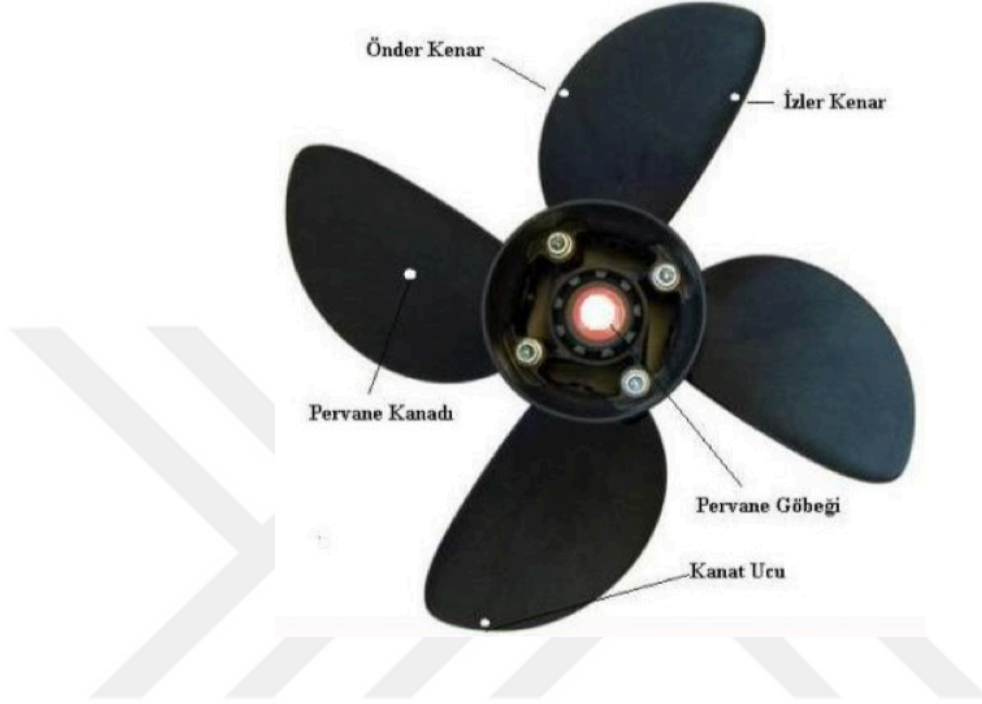
Elektrikli gemi makineleri ise turbo-elektrik ve dizel-elektrik olarak ikiye ayrılmakla beraber temel farklılıkları sadece elektrik motoru için güç üretecek makinenin farkından kaynaklanmaktadır. Turbo-elektrikli makinelere türbin motoru, dizel-elektrikli makinelere ise dizel motoru çalışarak güç üretir. Daha sonra pervanenin hareketi elektrik motoru sayesinde gerçekleştirilir. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik motorları, düzenleyici bir donanım yardımıyla pervaneyi istenilen hızda döndürür. Bu makinelerde pervaneyi ileriye veya tornistana çalıştırmak için basit bir elektrik düğmesi yeterlidir. Tüm kontrolleri elektriksiz düzeneklerle sağlanan bu tip motorlar kullanım açısından en rahat motorlardır. Ancak yine de donanım fiyatları ve yüksek yakıt tüketimi sebebiyle çok fazla kullanılmamaktadır. Doğrudan doğruya köprü üstünden kumanda edilebilmesi ve değişik manevraları üst üste ve hızlıca gerçekleştirebilmesi sebebiyle limanlardaki römorkörlerde dizel-elektrik motorları kullanılmaktadır.

En yoğun kullanılan buhar makineleri ve dizel makinelerini ısı verimliliği açısından karşılaştırıldığında buhar makinelerinde yakılan yakıtın %15'inin işe dönüştüğü görülürken bu oran benzin motorunda %24, dizel motorun ise %37 olduğu görülmektedir. Yani dizel motoru verimi en yüksek motordur (MEB, 2011).

- Pervane

Gemilerin su üzerinde hareket edebilmesi için gerekli kuvvet ilk olarak küreklerle sağlanmıştır. Gemi makinelerinin kullanımıyla beraber kürekler yerini ilk olarak çarklara ve

ardından da günümüzde kullanılan pervanelere bırakmıştır. Pervaneler, geminin omurga doğrultusunda konumlandırılan ve su içinde çalışarak pruvaya yönelik kuvvet oluşturup gemiyi kıçtan iten bir araçtır (Erol, 1987).



Şekil 4. Pervane kısımları (MEB, 2015)

Şekil 4’te klasik, 4 kanatlı bir pervane örneği verilmiştir. Günümüzde gemileri yürütmek için en yaygın olarak kullanılan pervaneler,

- Sabit Adımlı Pervaneler
- Kontrol Edilebilir Adım Pervaneler
- Zıt Dönüştü Pervaneler
- Çok Eğri Pervaneler

olarak sınıflandırılabilir (Inoue, 2014).

Bunlara ek olarak, farklı gemi tiplerinde

- Kanallı Pervaneler
- Azimut Pervaneler
- Üst Üste Bindirilmiş Pervaneler
- Yüzey Delici Pervaneler
- Su Jeti İtici Sistemleri

gibi alternatif pervane/itki sistemleri de kullanılmaktadır (Carlton, 2018).

Bu pervane tiplerinden en geniş kullanım alanına sahip olan sabit adım pervaneler, kanat açıları sabit olup şarta göre konumları değişmeyen pervane tipleridir. Sabit adımlı pervanelerde 4 ile 6 arasında değişken sayıdaki sabit açılı kanatçıklar pervane gövdesine bağlanmıştır. Bu tür pervaneye sahip gemilerde hız arttırabilmek için pervanenin bir dakikada yaptığı dönüş sayısının artması, yani tornanın artması, gerekmektedir. Yani torna arttıkça hız artacaktır. Hız artışı da ana makinenin en yüksek gücüne ve pervane kanadının en yüksek çevresel hızına göre değişkenlik gösterecektir.

Sabit adım pervanelerde kanat açıları değişmediğinden dolayı, adım değeri pervane tornistana çalışırken de ileriye doğru çalışırken de aynıdır. Ancak, pervaneyi tornistanda çalıştırmak için gerekli olan güç, ileriye çalıştırmak için gerekli olan güçten fazladır. Bir başka deyişle aynı tornada tornistan yapabilmek için daha fazla makine gücüne ihtiyaç duyulur. Ana makinenin de kapasitesinin belli olduğu düşünülürse, sabit adım pervanelerde tam yol ileri çalışırken elde edilen torna ile tam yol tornistan çalışırken elde edilen torna aynı olmaz. Tornistan çalışırken pervane daha az etkin olur. Pervane, normal şartlarda suda çalışırken bir tam dönüş yapması sonucunda göbeğinin çizgisel olarak aldığı yola pervane adımı denmektedir. Bir pervane adımı, kanatların göbekteki şaft eksenine yaptığı açıyla doğrudan alakalıdır. Kanat açısının değişmesi pervane adımının da değişmesi anlamına gelmektedir (Aniker, 2008).

Sabit adım pervanelerin aksine kontrol edilebilir adım pervanelerde kanatların göbeğe göre konumları isteğe bağlı olarak, uzaktan, pervane göbeğinde yer alan hidrolik pistonlar yardımıyla değiştirilebilmektedir. Böylelikle geminin hızı ve pervanenin dönme hızı değişmeden sadece adım değiştirilerek çok iyi hızlanma ve ivmelenme ile birlikte duruş ve manevra kabiliyetleri sağlanabilmektedir. Ayrıca ana makine tarafından sağlanan gücün belirli yük altında en iyi verimle kullanabilen sabit adım pervanelerin aksine kontrol edilebilir adım pervaneler değişen yüklerde de verimli bir şekilde çalışabilmektedir (Inoue, 2014; Tiwari, 2018).



Şekil 5. Zıt dönüşlü pervane sistemi (Singh, 2018)

Şekil 5’te verilen zıt dönüşlü pervane sistemlerinde ise farklı yönlerde dönen iki adet pervane aynı şaft eksenini üzerinde yer almaktadır. Makine gücü bu iki pervane arasında dağıtılmaktadır. Zıt dönüşlü pervane kullanımındaki temel amaç sudaki rotasyonel enerjinin yok edilmeye çalışılmasıdır. Birinci pervanenin akış izinde çalışan ikinci pervanede rotasyon hızı yok edilmeye çalışılmaktadır ve böylelikle itki gücünün de korunması sağlanmaktadır (Molland, 2008).



Şekil 6. Çok eğri pervane örneği (OlympicPropeller, 2019)

Çok eğri pervaneler ise geminin manevra kabiliyetlerinden (itme ve güç üretme) ödün vermeden pervaneden kaynaklı titreşim ve gürültüyü azaltmaya yönelik olarak tasarlanmış pervanelerdir. Aynı zamanda standart pervanelerin kavitasyona bağlı olarak oluşturduğu hava kabarcık miktarı da Şekil 6'da örneği görülen çok eğri pervanelerde azalmaktadır.

- Dümen

Temel olarak bakıldığında, bir taşıtı gerçek anlamda kullanmış sayılabilmek iki önemli ilgili taşıtın hareket ettirilmesi ve döndürülebilmesi önem arz etmektedir. Gemilerde bu işlemler pervane ve dümen ile sağlanmaktadır. Pervaneler geminin hareket ettirilmesini sağlarken dümenler de döndürülmesi işlevini yerine getirmektedir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü'ne göre bir geminin zorunlu manevra kabiliyetlerini gerçekleştirmek için gerekli olan döndürme kuvvetlerini ve momentlerini oluşturabilecek bir dümene sahip olması zorunlu tutulmuştur (IMO, 2002a, 2002b). Bir geminin yönlendirme komutlarına verdiği tepkiyi ve manevra kabiliyetini doğrudan etkileyen, geminin seyir halinde iken manevra özelliğini ve geminin kontrolünü sağlamak amacı ile kullanılan dümen, gemilerin yönlendirilmesi konusunda en yaygın kullanılan sistemlerdir (Liu vd., 2016). Geminin yönünün değiştirilmesi için, dümen belli bir açı kadar döndürülerek gemiye etkiyen bir kontrol kuvveti meydana getirilmesi sağlanır. Bu dümen kuvveti de gemiyi ilerleme doğrultusunda bir hücum açısı yapacak şekilde döndürmeye zorlar. Böyle gemi oluşan su kuvvetleriyle ve bunların momentleri etkisinde rotasını/yönünü değiştirir (Kasaplı, 2007).

Sözü edilen bu kuvvet denklem 41'e göre hesaplanır (Yasukawa ve Yoshimura, 2015):

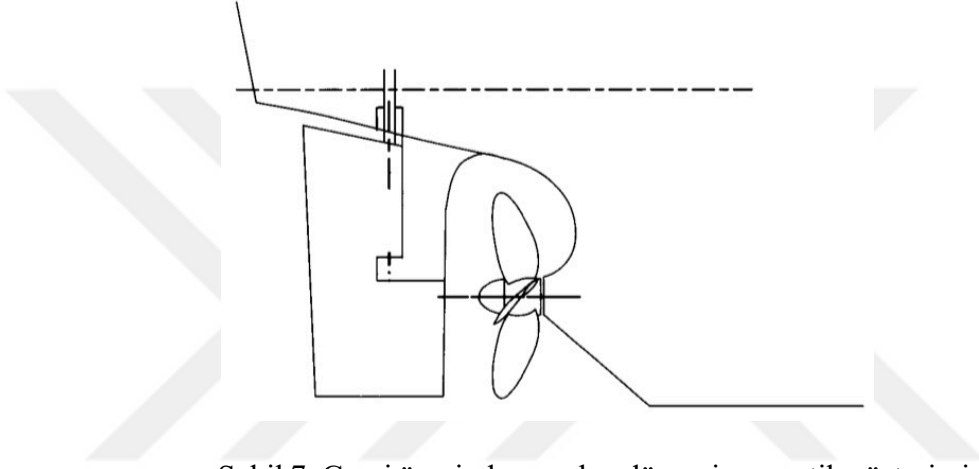
$$F_N = 0,5\rho A_R V_R^2 C_N \quad (41)$$

Denklemden ρ suyun yoğunluğunu, A_R dümenin yanal alanını, V_R dümen üzerinden geçen akışkanın hızını, C_N ise dümenin normal kuvvet katsayısını ifade etmektedir. C_N katsayısı ise denklem 42'ye göre hesaplanır (Fujii ve Tsuda, 1961):

$$C_N = 6,13 \sin \alpha_R \frac{A_G}{A_G + 2,25l} \quad (42)$$

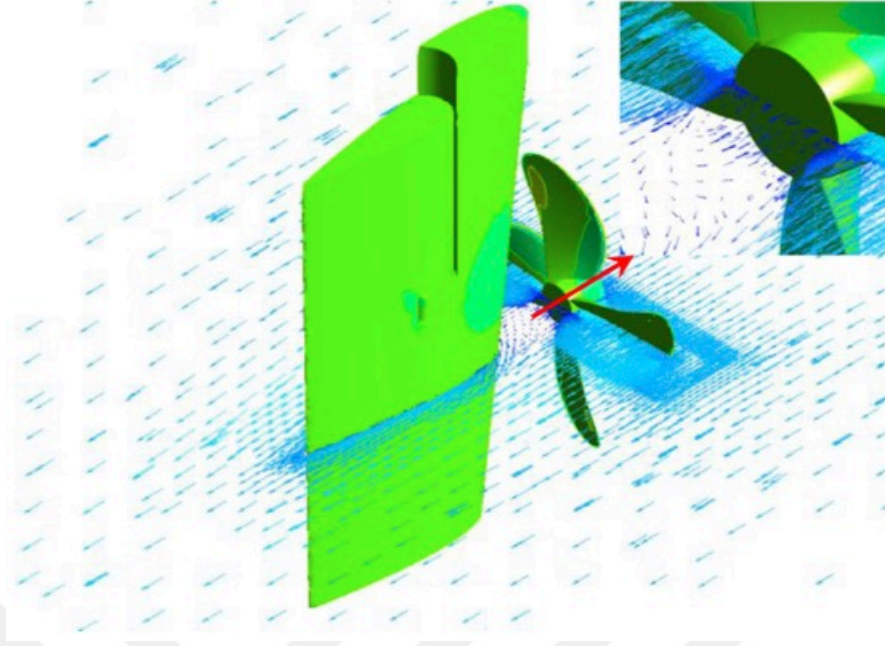
Burada A_G dümenin geometrik en-boy oranlarını (uzunluk- B_R / kanat genişliği- C_R), α_R ise etkin dümen açısını ifade etmektedir.

Geminin manevra kabiliyetini ve kontrolünü sağlayan dümen, geminin hareketinin yönünü değiştirmek için kuvvetlerin etki ettiği dümen ya da dümen yekesi, dümeni dümen makinesine bağlayan dümen donanımı, dümen donanımının çalışması için gerekli gücü sağlayan dümen makinesi ve bu makinenin kontrol donanımlarından oluşan bütüncül bir sistemdir (Eralp, 1998).



Şekil 7. Gemi üzerinde yer alan dümenin şematik gösterimi (Molland ve Turnock, 2007)

Şekil 7’de geminin kış tarafına bağlanmış pervane-dümen ikilisi verilmiştir. Pervanenin dönmesiyle oluşan hızlanan akışkan, dümenin yan yüzeylerinden akarak hareket etmektedir. Bu esnada dümen kumanda edilerek ve çeşitli açılarda döndürülerek oluşturulan kuvvet ve momentlerle birlikte geminin yönlendirilmesi sağlanmış olmaktadır. Şekil 8’de de örnek pervane-dümen akış analizi verilmiştir.



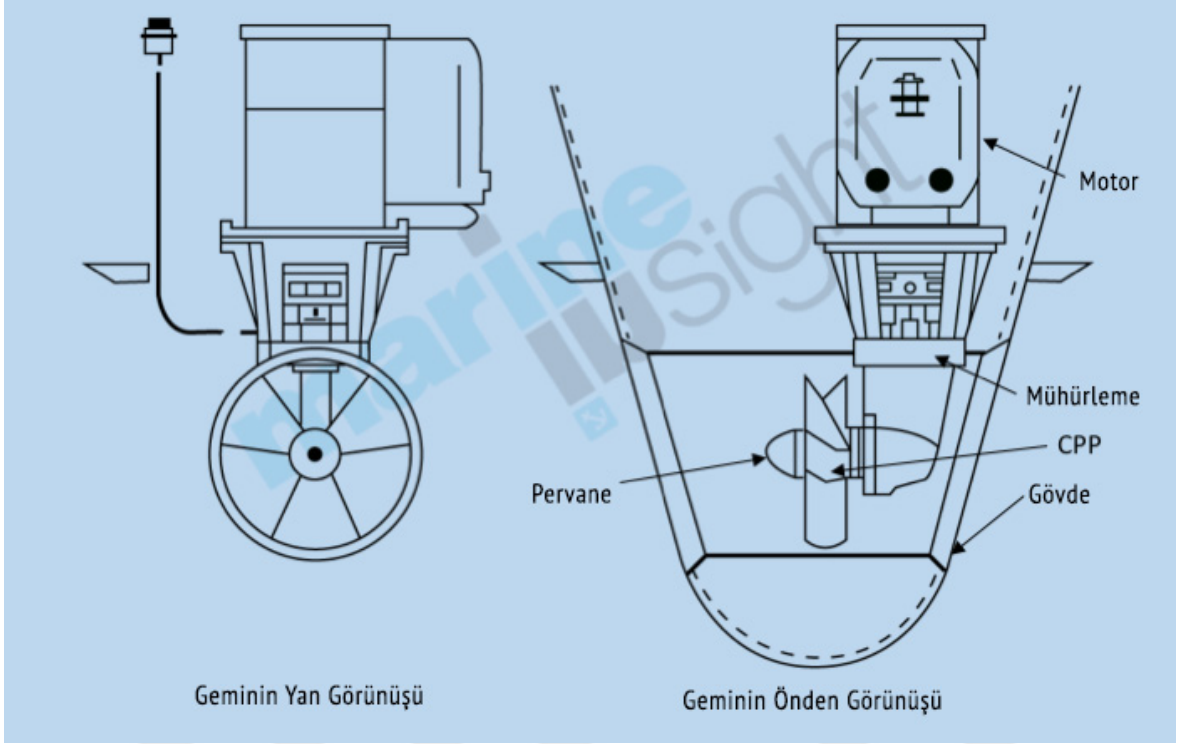
Şekil 8. Pervane-dümen ikilisinin hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yazılımı ile analizi örnek sonuçları (X. Yang vd., 2019)

- İterler (Başiter/Kıçiter)

Gemileri kumanda edebilmek için kaptanın kullanabileceği iki etkin kuvvet vardır. Bunlar boysal itme kuvveti sağlayan pervane ve dümen kuvvetidir. Gerek pervane gerekse de dümen, gemiyi kıçtan iterek hareket etmesine yardımcı olan doğrudan kumanda edilebilecek sistemlerdir. Dolayısıyla geleneksel bir gemiye yaptırabileceğimiz tüm manevralar kıçtan itme kuvvetiyle gerçekleşebilir. Böylelikle örneğin gemiyi hareket ettirmek/döndürmek istersek ancak kıçtan uygulayacağımız pervane kuvveti ve dümen açısıyla baş tarafta dönüş elde edebiliriz. Bu da tek pervaneli gemilerde geminin ileriye veya geriye yol kazanmasına sebebiyet verir. Yol almadan herhangi bir dönme işlemi gerçekleşemez. Bu sebeple de özellikle dar sularda veya liman vb. sınırlı alana sahip bölgelerde gemilerin manevra yapabilmeleri neredeyse olanaksızlaşır (Erol, 1987).

Dar alanlardaki bu kısıtlamalar yüzünden gemiyi döndürme gibi çeşitli hareketleri yapabilmek amacıyla eski dönemlerden beri römorkörler kullanılmaktadır. Ancak römorkörlere her an/her yerde ulaşımın olmaması, benzer şekilde römorkörün de gemiyi döndürebilmek için belli alanlara ihtiyaç duyması sebebiyle, römorkörler bu sorun etkin bir çözüm olmazlar. Bu sebeple, günümüzde geminin hareketleri üzerinde tam/daha efektif

kontrol sahibi olamama durumunu ortadan kaldırmak üzere başiter ve kıçiter donanımları gemilere eklenmiştir (McGeorge, 1995).

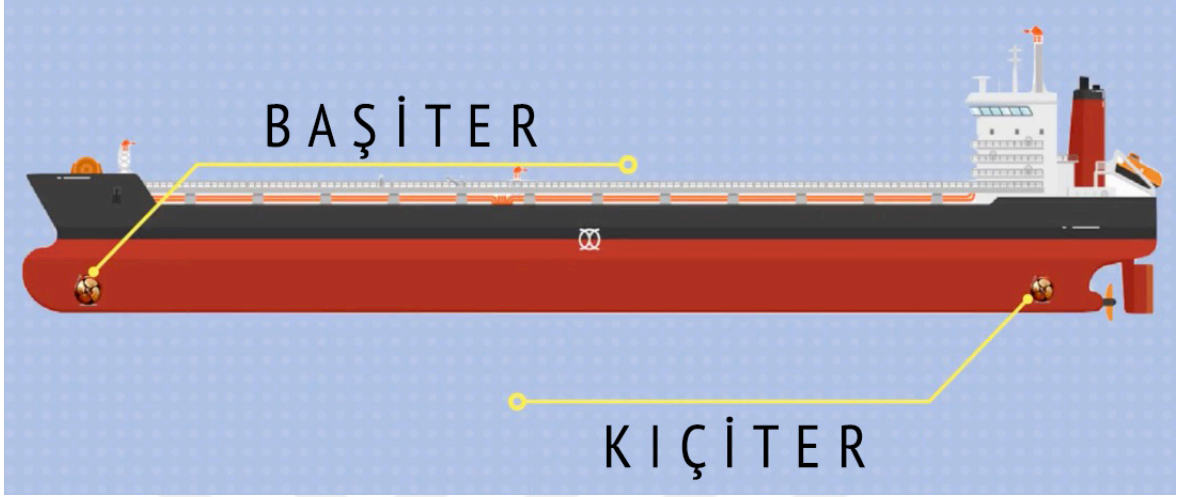


Şekil 9. İterin şematik gösterimi (Kaushik, 2019)

Şekil 9'da örnek bir iter montajı şematik olarak verilmiştir. Sol tarafta geminin yan görünüşü yer alırken sağ tarafta ise geminin önden görünüş kesiti verilmektedir. Burada gemi gövdesindeki boşlukta yer alan iter (rotor ve kontrol edilebilir adım pervanesinden (CPP) oluşan) görülmektedir. İteri çalıştıran motor ise sızdırmazlık işlemiyle birlikte gövde içerisine yerleştirilmiştir.

İterler temelde bakıldığında bir çeşit yönlendirmeye yarayan dümen işlevi gören sistemlerdir ve gemide baş ve kıç kısımlarında bulunabilirler (Şekil 10). Başiterler, baş bodoslanmanın gerisinde, omurgaya oldukça yakın bir yere yerleştirilen, içinde suyu bir noktadan emip öbür tarafa püskürten pervanesi bulunan bir boru düzeneğidir. Geminin yapısına eklenen başiterler sayesinde kaptanın kontrolüne, baş tarafa, omurgaya dik yönde denetlenebilir kuvvetler uygulayabilecek bir sistem verilmiş olur. Bu sayede gemi

manevraları daha dar alanda daha başarılı şekilde tamamlanabilirken, çoğu durumda römorkör ihtiyacı da ortadan kaldırılmış olur.



Şekil 10. Başiter ve kıçiterin gemi üzerindeki yerleşimi (MI, 2018)

Köprü üstünden kontrol edilen ve elektrik motoru tarafından tahrik edilen iterler çalıştırıldığı takdirde gemi üzerinde yön değiştirme, savrulma ve bordasal içe (başiter) veya dışa (kıçiter) kaymalara sebep olur. Bu yüzden iterler kullanılırken olası etkileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. İterler ve dümen birlikte kullanıldığı takdirde herhangi bir bordasal kayma olmaksızın ağırlık merkezi etrafında savrulma gerçekleştirilerek dar alanda kolay ve hızlıca manevra yapabilme imkanı sağlanmış olur. Benzer şekilde özellikle yanaşma ve ayrılma manevralarında başi/kıçı tutarak daha kolay ve etkili bir manevra gerçekleştirilmesine olanak sağlar (Chakrabarty, 2019).

Başiter dümen ile tek başına kullanıldığında her ne kadar daha az hareket ederek dönme işlemi yapılabiliriyorsa da yine de dümen etkinliği için gemi makinelerinin çalışması gerektiğinden gemi yol alır. Ancak kıç tarafa yerleştirilen ve yapısı başiterle benzer olan kıçiter donanımları sayesinde gemiler dururken ya da hareket halindeyken çok daha efektif bir şekilde kendi ağırlık merkezi etrafında dönüş yapabilmektedir.

Manevra esnasında geminin baş veya kıç yönünü değiştirmek için kullanılan iterler, geminin 3-4 knots hız aralığında en etkin şekilde çalışabilmektedirler (Chopra, 2017). Geminin hızı 1,5 knots'a düştüğünde veya 5 knots'a çıktığında ise iterlerin etkinliği ortadan kalkar. Tablo 3'te gemi tipine bağlı olarak iterden elde edilebilecek gücün hesaplanması için

gerekli k katsayısı ve itici güç (P) elde edilebilme için geminin her iki yüzeyinde bulunması gereken en düşük su yüzey alanı verilmiştir (Özdemir vd., 2008).

İterden elde edilecek güç denklemi denklem 43'te verilmektedir (T. Yılmaz, 2008).

$$P = k\Delta^{2/3} kW \quad (43)$$

Tablo 3. Gemi tipine bağlı olarak iter güç hesabı için gereken parametreler

Gemi Türü	İterden Elde Edilecek İtici Gücü Hesaplamak için Gereken k Katsayısı	İtici Güç Elde Etmek için Gereklî -Her Bir Yüzey için- Su Yüzey Alanı (kN/m ²)
Tanker/Kuru Yük Gemisi	0,60	0,048
Konteyner Gemisi	0,70	0,053
Feribot	1,35	0,120

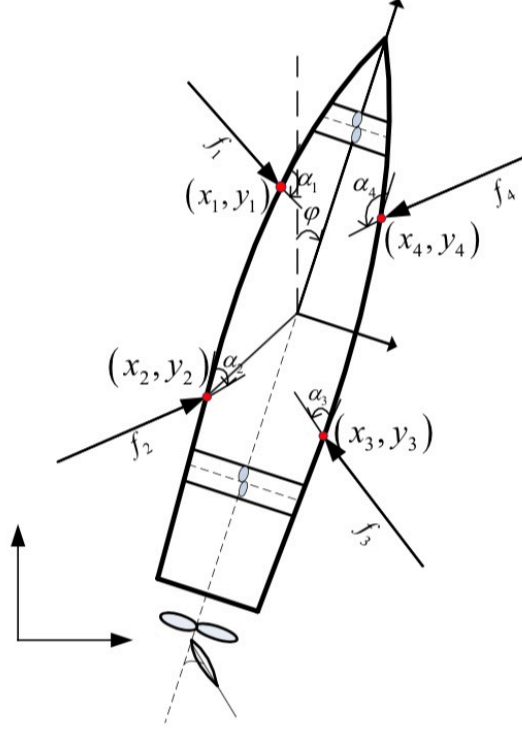
Düşük hızlarda gemi manevra kabiliyetini arttıran, özellikle yanaşma manevralarının daha emniyetli gerçekleşmesine yardımcı olan ve hem römorkör ihtiyacını azaltan hem de liman içinde daha hızlı manevra yapabilme imkanı sağladığından dolayı limanda geçirilen sürenin azalmasına bağlı olarak maliyetleri de düşüren iterler gemi idaresinde önemli bir yer teşkil etmektedir.

- Römorkör

Büyük gemiler, özellikle boğaz, kanal, geçit, liman gibi dar alanda hareket edilmesi gereken sularda güvenlik içinde manevra gerçekleştirememesi ve yanaşma esnasında manevra kabiliyetlerinde eksiklik gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Manevra kabiliyetleri sınırlı olan bu gemilerin çekilmesi, itilmesi, döndürülmesi gibi işlemlerde kullanılan, yüksek manevra kabiliyetine sahip, boyutlarına göre çok daha kuvvetli sevk sistemiyle donanmış olan bu yardımcı gemilere römorkör adı verilmektedir (Makouizad, 2013)

Kılavuz tekne veya pilot bot olarak da isimlendirilen römorkörlerle, özellikle liman içerisinde/bölgesinde gerçekleştirilen manevraların çok hassas yönlendirmelerle gerçekleştirilmesi olanağı bulunmaktadır. Düşük hızlarda hareket edilen bu bölgelerde dümen üzerinden geçen düşük su akışına bağlı olarak dümen etkinliğinin düşük olmasına

sebebiyle geminin hareket kabiliyeti kısıtlıdır ve istenilen kumandalara hızlı ve etkin bir şekilde cevap veremez. Bu gibi durumlarda, özellikle düşük hızlarda gerçekleştirilen yanaşma manevralarında, geminin rıhtıma güvenli bir şekilde yanaşabilmesi için römorkörlerden faydalanılabilmektedir (Bui vd., 2011).



Şekil 11. Römorkörlerin gemiye bağlanmasının şematik gösterimi (Bui vd., 2011)

Bir gemide römorkör kullanımının temel amacı, geminin o anki durumda karşılaştığı manevra kabiliyeti eksikliğini gidermektir. Bu noktada yapılması planlanan manevraya uygun olarak römorkör kıçtan ve/veya baştan, sancaktan ve/veya iskeleden gemiye bağlanarak basma-çekme şeklinde planlanan manevranın gerçekleştirilmesi sağlanabilir (Şekil 11).

Boğaz geçişlerinde dar alanda keskin dönüş yapma, liman içinde rıhtıma yanaşma, liman içindeki diğer gemileri en az etkileyecek şekilde hareket edilmesi ve benzeri durumlarda gemiyi omurgasal olarak ileri ve geri hareket ettirebilmek, gemiyi istenilen yönde ileri veya geri götürmek, gemiyi belirli bir alanda belirli bir yönde döndürebilmek

gibi durumlarda, geminin emniyetli hareketini sağlayabilmek için römorkörler kullanılabilir (Balakrishnan ve Sasi, 2016) (Şekil 12).

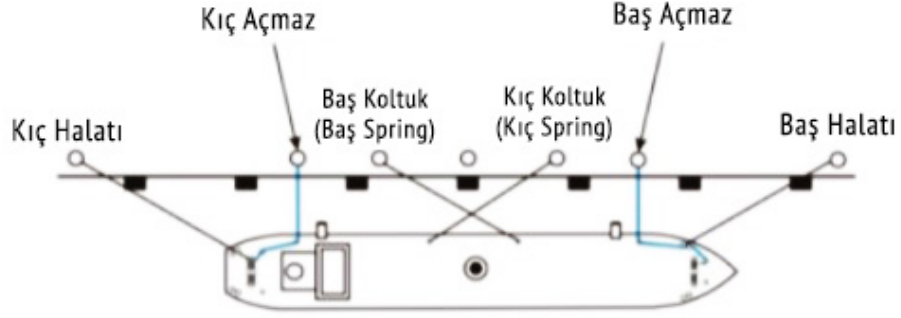
Geminin kendi yapısal ve donanımsal özellikleri kaynaklı, yükleme koşullarına bağlı, rüzgar ve akıntı gibi doğa koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan manevra kabiliyeti eksikliği de benzer şekilde römorkörlerle giderilebilir.



Şekil 12. Gemiye basma kuvveti uygulayan römorkör (URL-1, 2019)

- Halat

Genellikle sentetik fiberlerden üretilen halatlar hafif, yüzebilir ve özellikle yük bindiğinde kuvveti sönmüleyebilme özellikleri sayesinde, gemilerin limanda rüzgara ve akıntıya karşı gemiyi sabit tutmak amacıyla, gemileri bir süre kalacakları belirli bir yere bağlamada kullanılırlar (Natarajan ve Ganapathy, 1995).



Şekil 13. Gemi bağlama halatlarının yerleşim düzeni (K. U. Yang vd., 2017)

Şekil 13'te yer alan düzende rıhtıma gemilerin bağlanmasını sağlayan halatlardan baş halatı, geminin baş üstünden ileriye doğru verilen ve geminin geriye doğru hareket etmesini engelleyen, aynı zamanda vira edildiğinde geminin ileri gitmesini sağlayan halatlardır. Kıç halatı, geminin kıç üstünden geriye doğru verilen, geminin ileri hareket etmesini engelleyen ve gerektiğinde vira edilerek geminin geriye doğru hareket etmesini sağlayan halatlardır. Baş ve kıç açmaz halatları, geminin rıhtımdan paralel olarak açılmasını engelleyecek şekilde rıhtıma dik veya dike yakın açılarla verilen halatlardır. Bunlardan baş açmaz baş taraftan, kıç açmaz ise kıç taraftan rıhtıma dik olarak verilir. Koltuk yani spring halatları ise geminin baş ve kıç tarafından sahile paralele yakın olarak verilen, geminin ileri-geri hareketini en aza indirmeye yarayan halatlardır. Manevralar esnasında ilk önce verilen ve en son alınan halatlar spring halatlarıdır (MEB, 2017).

Yanaşma manevralarının son aşamasını halatla rıhtıma bağlanmak oluşturmaktadır. Rıhtıma paralel olarak pozisyon alan gemi baş ve kıçtan, omuzluklardan verilen halatlarla kıyıya sabitlenir ve manevra tamamlanır.

1.5. Yapay Zeka Kavramı

Geçmişten günümüze insan beyni ve sinir sistem konusunda yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların temel amaçlarından birisi de sinir sistemi ve beynin insanlardaki öğrenme, yorumlama ve karar verme süreçlerindeki etkinliği ve işleyişi ile ilgili olarak bilgi elde etmektir. Elde edilen bu bilgiler, tıp dışındaki disiplinlerde de yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle son dönemlerde yoğun olarak araştırmalar yapılan Yapay Zeka

(YZ) çalışmalarının temelinde de beyin-sinir sisteminin öğrenme-yorumlama-karar verme süreçlerinin taklit edilerek makinelere aktarılması yatmaktadır. Uzman sistemler gibi Yapay Zeka'nın bir diğer alt dalı olan Yapay Sinir Ağları (YSA) ise veriden öğrenebilmesi yönüyle öne çıkmaktadır.

İnsan beyninin çalışma yöntemlerini taklit eden Yapay Sinir Ağları, veriden öğrenebilen, genelleme yapabilen ve sınırsız sayıdaki değişkenle çalışabilen bir sistem olarak yapay zeka çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sahip olduğu bu ve benzeri özelliklerinden dolayı YSA, özellikle karmaşık problemlerin çözümü amacıyla, öngörü modellemelerinde de yoğun olarak kullanılmaktadır. Yapay Zeka alanının öne çıkan dallarından biri olan YSA, kendi kendine öğrenebilen sistemlerin de temelini oluşturmaktadır. İnsan sinir sisteminin bir nevi simülasyonu olarak ifade edebileceğimiz YSA, insan beyninin de temel işlem elemanlarından olan nöronları ve nöron yapılarını gerek şekilsel gerekse de işlevsel olarak taklit eden bir yapıya sahiptir. Bu yüzden, tıpkı insanlarda da olduğu gibi deneme yanılma gibi tecrübeyle kazanılan öğrenme olgusu, dijital ortama aktarılabilir. Tecrübe ederek öğrenen (bir başka deyişle veriden öğrenen) bu sistemler sayesinde matematiksel olarak modellenmesi zor olan problemlerin çözümleri çok daha kolay bir şekilde modellenebilmekte ve çözülebilmektedir. Buna bağlı olarak da özellikle tahmin ve öngörü problemlerinin çözümlerinde YSA yoğun olarak kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağları, geniş bir kullanım alanına sahip olmasının da katkısıyla, uzman sistemler konusunda çalışan araştırmacıların yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır.

Zeka, sözlükte insanın düşünme, akıl yürütme, objektif gerçekleri algılama, yargılama ve sonuç çıkarma yeteneklerinin tamamı şeklinde ifade edilmiştir. Zekayı, Lenat ve Feigenbaum (1987) karmaşık bir problemi çözmek amacıyla gereken bilgileri toplayıp birleştirme kabiliyeti şeklinde tanımlamışlardır. Feigenbaum (1989) ise farklı bir çalışmada zekayı bilgi kullanımı kavramına bağlı olarak karmaşık bir problemi, çözüm arama alanını daraltarak en kısa yoldan çözebilme yeteneği olarak ifade etmiştir.

Zekadan farklı olarak yapay zeka ise organik olmayan sistemlerde yer alan entegre devreler ve yazılımlar aracılığıyla organik sistemleri (beyin+sinir sistemi) taklit edebilen zeka olarak ifade edilebilir. Luger ve Stubblefield (1993), yapay zekayı zeki davranışların otomasyonu ile ilgilenen bilgisayar bilim dalı şeklinde tanımlarken, Russel ve Norvig (2003) insan gibi düşünüp insan gibi davranan, bir başka ifadeyle akılcı düşünüp akılcı davranan ve akılcı kararlar alan sistemler olarak tanımlamışlardır.

Uzman sistemler (US), genetik algoritma (GA), bulanık mantık (BM) ve yapay sinir ağları (YSA) gibi alt dalları olan yapay zekanın konuları disiplinler arası çalışmalar yapılan oldukça geniş bir araştırma ve uygulama alanıdır. US, insanların düşüncelerini gerçekleştirmeye yönelik, uzmanların bilgi ve deneyimlerini bilgisayara aktarılmasını amaçlayan ve bilgisayar tarafından kontrol edilen bir yazılımdır. BM, insan mantığına benzer şekilde, bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplindir. GA ise geleneksel yöntemlerle çözümü zor olan ve kimi zaman imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılan ve bir veri setinden özel bir veriyi tespit edebilen bir arama yöntemidir. Bu tez kapsamında detaylı olarak incelenen ve uygulaması gerçekleştirilen yapay sinir ağları ise temelde insan beyninin sinir sistemini taklit edebilen bilgisayar programcılarıdır (Korkmaz, 2011).

1.5.1. Yapay Sinir Ağları

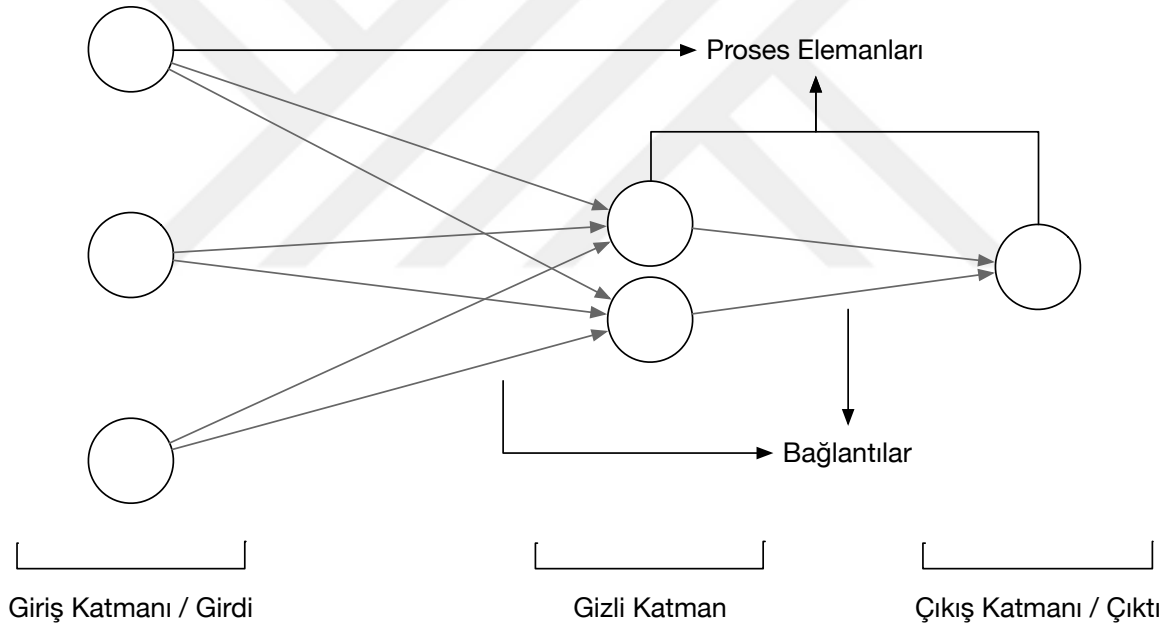
Yapay sinir ağları, değişken ağırlıklara sahip bağlantılar sayesinde birbirine bağlanan ve her biri kendi öz belleklerine sahip işlem elemanlarından oluşan; paralel ve dağıtık bilgi işlem yapıları olarak ifade edilebilir (Elmas, 2007). Öztemel (2006) ise yapay sinir ağlarını, beynin en önemli özelliklerinden biri olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri olan ve herhangi bir yardım almadan otomatik olarak geçmiş bilgilerinden öğrenebilen ve kendini geliştirebilen bilgisayar sistemleri olarak ifade etmiştir.

Graupe (1997), YSA'nı merkezi sinir sistemindeki biyolojik sinir hücrelerini taklit etmeye çalışan yapılardır olarak, Liptak (1995) biyolojik sinir sistemlerinin yapı ve süreçlerini taklit eden, karmaşık problemleri çözmek için kullanılan bir araç olarak, Haykin (2005) ise basit işlem birimlerinden oluşan, deneyimle elde edilen bilgileri biriktirmeye yönelik eğilimi olan ve bu bilgilerin kullanılmasını sağlayan paralel dağıtık bir işlemci olarak tanımlamıştır (Yurtoğlu, 2005).

Özetlemek gerekirse, yapay sinir ağları, bir insanın düşünme ve gözlemlene yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üreten bir sistem olarak ifade edilebilir. Bir insanın da bu tür problemlere çözüm üretebilmesinin temel sebebi biyolojik beynin sahip olduğu yaşayarak veya deneyimleyerek öğrenme yeteneğidir. Yani yapay sinir ağları, insan idrakiyle ve biyolojik sınırların matematiksel modellerinin geliştirilmesi ve genelleştirilmesi olarak da ifade edilebilir (Fausett, 1994).

Yapay sinir ağı, insanlar tarafından gerçekleştirilen yani gerçek bir beynin fonksiyonlarının ürünü olan kullanarak bir olaylı veya durumu öğrenebilen, öğrendiği bu bilgiler sonucu çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretilebileceğini belirleyebilen bilgisayar sistemleridir. Özellikle insan beyninin öğrenme, sınıflandırma, ilişkilendirme, genelleme, optimizasyon ve özellik belirleme gibi alanlarda başarıyla uygulanmaktadırlar. Bu sistemler örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturup daha sonra benzer konularda bu deneyimlerden faydalanarak karar verebilirler.

Yapay sinir ağı, biyolojik hücrelere benzer şekilde, birbirlerine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel olarak çalışabilen yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Proses elemanları olarak da ifade edilebilecek giriş-gizli-çıkış katmanlarındaki bu hücrelerin birbirleri ile bağlanmaları sonucu oluşan ağa yapay sinir ağı denmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. Bir yapay sinir ağı örneği

Literatürde farklı kullanım ve uygulama amaçlarına yönelik olarak çok sayıda yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Her ne kadar yapısı, çalışması ve genel bilgi işlem süreci bakımından farklılık gösterebilir de tüm ağlar bazı ortak özelliklere sahiptirler. YSA'nın en temel işlevi öncelikle bilgisayar sistemlerinin öğrenmesini sağlamak ve öğrendikleri bu olaylardan yola çıkarak benzer olaylar/durumlar karşısında benzer kararlar verebilmesini sağlamaktır. Klasik modelleme tekniklerinden gerek kavramsal gerekse de yapısal olarak

oldukça büyük farklılıklara sahip olan YSA yöntemi, temelde, insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek ortaya konulan bir modelleme yöntemidir (Maier ve Dandy, 2000). Birçok basit işlemci elemandan oluşan bu yapılarda öğrenme işlemleri farklı formlarda ifade edilen nümerik verileri taşıyan bağlantılar ve ağırlıklar yardımıyla sağlanmaktadır (Sağıroğlu vd., 2003). Bu öğrenme işlemlerini gerçekleştirmek üzere, YSA'ndaki tüm proses elemanları eş zamanlı olarak bir başka ifadeyle paralel olarak çalıştıkları için çok hızlı çıktı üretebilmektedirler. YSA'nın temel proses elemanı olan hücre yapısı doğrusal değildir. Buna bağlı olarak da hücrelerin birleşmesinden meydana gelen yapay sinir ağları da doğrusal değildir. YSA'nın bu özelliği tüm ağa yayılmış durumdadır. Sahip olduğu bu doğrusal olmayan ağ yapısı geleneksel programlama ve yapay zeka yöntemlerinin uygulandığı diğer bilgi işleme yöntemlerinden farklı olarak doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabilmesi mümkün olmaktadır (Yurtoğlu, 2005). Yapay sinir ağlarında bilgi diğer uygulamalarda olduğu gibi bir veri tabanında değil, ağın bağlantılarının değerlerinde/ağırlıklarında saklanırlar. Buna ek olarak, aynı zamanda, bilgi tüm ağa yayılmış durumdadır ve tek bir bağlantının herhangi bir anlamı yoktur. Hücrelerin birbirleri ile bağlantılarının değerleri tüm ağın değerini gösterir. İlgili ağın tamamı, öğrenilen olayın bütünü karakterize etmektedir. Yapay sinir ağları, insan zekası gibi örneklerle eğitilirler ve öğrenirler. YSA'nın ilgili problemleri/olayları öğrenebilmesi için ilk olarak mevcut olay veya problemle ilgili olarak örneklerin belirlenmesi ve sisteme gösterilmesi gerekmektedir (Kaya vd., 2005). Eğer problemle ilgili herhangi bir örnek yok ise veya bulunamıyorsa YSA'nın eğitilmesi mümkün olamaz. Bu yüzden örneklerin oluşturulması ve toplanması yapay sinir ağı için ayrı bir öneme sahiptir. Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için öncelikle eğitilmeleri ve bu eğitim sonucunda da ağın performanslarının test edilmesi gerekmektedir. Eğitim ve test işlemlerinden sonra ağ, kendisine gösterilen örneklerden yola çıkarak genelleme yaparak daha önce hiç görmediği örnekler/problemler hakkında bilgiler/çözümler üretebilirler. YSA'nın örnekler aracılığıyla kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür. YSA bir kez eğitildikten ve olayları öğrendikten sonra bozuk, belirsiz ve hatta eksik çalışabilir, sonuç üretebilirler. YSA çok sayıda proses elemanlarının bağlantısının paralel dağılmış olduğu bir yapıya sahiptir ve bu sahip olunan yapı sayesinde bilgi tüm ağa dağıtılmış halde saklanmaktadır. Giriş verisinde bulunacak bir hata da haliyle tüm ağa dağılmış olacaktır. Bundan dolayı bozuk veya eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri sayesinde hatalara karşı daha toleranslı olmaları sağlanmaktadır. YSA sınırsız sayıda

parametre ile çalışabilirler. Bu sayede de çok başarılı tahmin ve genel çözümler üretebilmektedirler. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, YSA'nın sadece sayısal bilgiler ile çalışabilmesidir. Sembolik ifadelerle gösterilen bilgilerin öncelikle sayısal gösterime çevrilip ağa o şekilde iletilmesi gerekmektedir. Daha sonra çıktıyla elde edilen sayılar bilgiler yeniden gerekli forma döndürülebilirler.

Yapay sinir ağları her ne kadar birçok avantaja sahip olsa da, dezavantajları da vardır. Bunların en önemlisi ağın davranışlarının yani çıktılarının açıklanamamasıdır. Ağ eğitim sonucunda bir olaya veya probleme dair çözüm ürettiğinde, bu çözümün nasıl ve neden üretildiği konusunda herhangi bir bilgi bulmak mümkün değildir. Bu durum da ağın sonucuna olan güveni azaltmaktadır. YSA'nın donanım bağımlı çalışmaları da bir sorun olarak ifade edilebilir. Özellikle gerçek zamanlı bilgi işleme durumlarında, ağlar paralel çalışabilecek kapasiteye sahip işlemcilerle ihtiyaç duymaktadırlar. Bir diğer dezavantaj olarak da problemlere uygun ağ yapısının belirlenmesi işleminin genellikle deneme yanılma yolu ile yapılabilmesidir. Bu aslında oldukça önemli bir sorundur. Çözülmesi düşünülen bir problem için uygun ağ oluşturulamazsa çözümü olan bir problem dahi çözülemeyebilir veya performansı düşük bir çözüm elde edilebilir veya istenilen optimum çözüm elde edilemeyebilir. Benzer şekilde bazı ağlarda parametre değerlerinin (katman sayısı, öğrenme katsayısı, her katmandaki proses elemanı sayısı gibi, aktivasyon ve transfer fonksiyonları) belirlenmesinde de bir kural olmaması iyi çözümler bulmayı zorlaştırmaktadır. Ağın öğrenmesi gereken problemin ağa gösterimi de bir diğer önemli konudur. YSA sadece sayısal bilgiler ile çalışmaktadır ve eğer varsa sembolik ifadeler öncelikle sayısal gösterime dönüştürülmelidir. Bu dönüştürme işleminin gerçekleştirilmesi için de belli bir kural olmaması, dönüştürme başarısını tamamen kullanıcının becerisine bırakmaktadır. Uygun bir gösterim mekanizması kurulamazsa problemin çözümü engellenebilir veya performans düşük kalabilir. Ayrıca ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için de belli bir kural yoktur. Bu karar da tıpkı diğer durumlar gibi kullanıcının kendisine bırakılmıştır. Genel olarak ağın hatasının belli bir değer altına indirilmesi eğitim için yeterli olarak kabul edilmektedir ve elde edilen sonuçlara dayanarak da sadece iyi çözümler üretebilen bir ağ oluşturuldu denilebilmektedir.

Bütün ifade edilen dezavantajlarına rağmen YSA her problem için değişik çözümler üretebilmekte ve oldukça başarılı, kabul edilebilir sonuçlar verebilmektedir. Ağları oluştururken yapılacak özverili çalışmalarla başarılı ve kabul edilebilir sonuçlar elde edebilecek bir yapay sinir ağı geliştirilebilir.

1.5.2. Yapay Zeka Çalışmaları

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaları temelleri James (1890) tarafından beyin fonksiyonları hakkında bilgi veren ilk eserin yayınlanmasıyla başlamıştır diyebiliriz. Böylelikle biyolojik beyin ve sinir sistemi hakkında araştırmalar başlamıştır. Buradan elde edilen veriler ışığında McCulloch ve Pitts (1943) ilk sinir ağı modelini geliştirmiş, bununla da yetinmeyip birkaç ara bağlantı da kurmaya çalışmıştır. Nörofizyolog olan McCulloch ve mantıkçı Pitts, insan beyninin hesaplayabilme yeteneğinden esinlenerek sadece girdi ve çıktı katmanlarına sahip olan temel bir sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Bu model bizlere, her türlü mantıksal ifadenin formülüze edilebilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir

Hebb (1949) yılında yayınladığı *Organization of Behavior* adlı çalışmasında öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele alarak bilginin ağdaki bağlantılarda depolanabileceğini ifade etmiş, nöronun bağlantılarını ve ağırlıklarını güncellemek için bir öğrenme yöntemi ortaya koymuştur. Hebbian kuralı olarak da bilinen bu kural, yapay sinir ağlarında kullanılan birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmuştur.

Gerek silikon teknolojisindeki gelişmeler gerekse de bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda bilgisayar uzmanları ve sinir bilimciler bir araya gelerek ilk nöro-bilgisayarları üretmişlerdir. Bu sayede de yapay sinir ağı modelleri ve uygulamaları yeni bir aşama kaydetmiştir.

Farely ve Clark (1954) tarafından rassal ağlar ile adaptif tepki üretme kavramı ortaya atılmıştır. Rosenblatt'ın (1958) "Perceptron"u geliştirmesinden sonra is yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Perceptron (algılayıcı), beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek katmanlı, eğitilebilen ve tek çıkışa sahip olan bir ağ modelidir. Bu model ağırlıkları düzelterek öğrenebilme yeteneğine sahiptir ve daha sonraları geliştirilerek çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturmuştur (Elmas, 2007).

1960 yılında Widrow ve Hoff ADALINE (ADaptive LInear NEuron) modelini geliştirmişlerdir ve bu model YSA'nın mühendislik uygulamaları için başlangıç kabul edilmiştir (Widrow ve Hoff, 1960). Bu model Rosenblatt'ın algılayıcı modeli ile aynı niteliklere sahip bir model olmakla beraber öğrenme algoritması daha gelişmiş bir modeldir (Elmas, 2007).

1969 yılında Minsky ve Pappert tarafından yazılan "Perceptron" isimli kitap yapay sinir ağlarına dayalı algılayıcıların bilimsel bir değerinin olmadığını ve doğrusal olmayan

problemlere çözüm üretemediğini iddia etmiştir. Tezlerini kanıtlamak için XOR probleminin çözülememesini örnek göstermişlerdir (Minsky ve Papert, 1969)

1972 yılında farklı disiplinlerde çalışan elektrik mühendisi Kohonen ve nöropsikolojist Andersen çağrışımlı bellek konusunda çalışmalarını yayınlamışlardır ve danışmansız öğrenme kuralının temelini oluşturmuşlardır (Anderson, 1972).

1982 yılında ise Kohonen kendi kendine öğrenme nitelik haritaları konusundaki çalışmasını yayınladı (Kohonen, 1982).

Grossberg yaptığı yayınlarla yapay sinir ağlarının psikolojik mantıksallığı ve mühendislik uygulamalarındaki kolaylığını gösterdi (Grossberg, 1973)

1988 yılında Hopfield tarafından yayınlanan çalışmalar ile yapay sinir ağlarının geliştirilebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretilebileceği gösterildi (Hopfield, 1988).

1987 yılında Grossberg ve Carpenter Adaptif Rezonans Teorisini geliştirdiler ve danışmansız öğrenme konusunda geliştirilmiş en karmaşık yapay sinir ağını duyurdular (Carpenter ve Grossberg, 1987)

1980 ve 1986 yılları arasında Fukushima yaptığı yayınlarla görsel şekil ve örüntü tanıma amaçlı geliştirilmiş Neocognitron modelini tanıttı. Bu model danışmanlı öğrenme yapan bir ağ modeliydi. Çalışmalar ağırlıklı olarak çıkan sonuçların kullanılabilirliği konusundaydı (Fukushima, 1980, 1986)

1988 yılında Rumelhart ve arkadaşları paralel programlama konularındaki çalışmalarını sonlandırıyor ve çok katmanlı algılayıcı modelinin temellerini atıyorlardı (Rumelhart ve McClelland, 1988).

1988 yılında Broomhead ve Lowe Radyal tabanlı fonksiyonlar modelini çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak geliştirdiler. Özellikle filtreleme problemlerine karşı oldukça etkili olduğu görüldü (Broomhead ve Lowe, 1988).

1988 yılında Specht Probalistik ağları, 1991 yılında ise Genel Regrasyon Ağlarını geliştirdi (Specht, 1988, 1991).

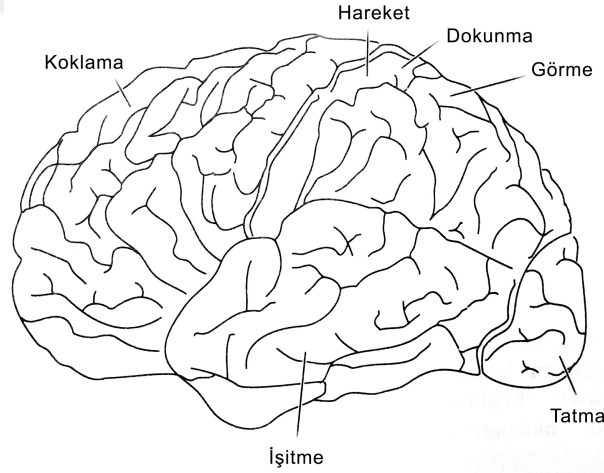
1.5.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı Ve Temel Elemanları

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarını daha iyi anlayabilmek için biyolojik sinir sistemi konusunda da bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

Biyolojik sinir sistemi, birbirleriyle etkileşim halinde olan, beynimizde yer alan birçok sinir hücrelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Bir sinir ağı milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Beynimizde 10^{10} adet sinir hücresi ve bunlarında 6×10^{13} 'ten fazla sayıda bağlantısının olduğu söylenmektedir (Öztemel, 2006). İnsan beynini, çok hızlı çalışabilen mükemmel bir bilgisayar olarak düşünebiliriz. Biyolojik sinir ağlarının performansları çok yüksek ve karmaşık olayları işleyebilecek yetenektedirler. Yapay sinir ağları ile amaç da işte bu yetenekleri bilgisayarlara kazandırmaktır.

1.5.3.1. Biyolojik Sinir Hücresi

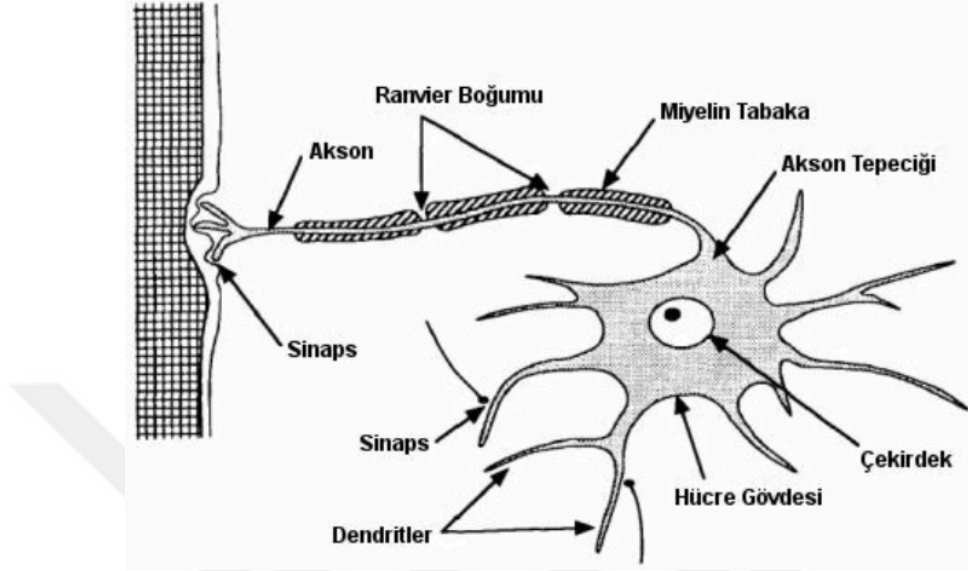
Biyolojik sinir ağları, beş duyu organından gelen bilgilerle, geliştirdiği algılama ve anlama mekanizmasını çalıştırarak olaylar arasındaki ilişkileri öğrenen, insan beyninin çalışmasını sağlayan en temel yapılardan biridir (Şekil 15). Duyu organlarından gelen bilgiler beyin sinir sistemi sayesinde beyne taşınır ve beynin oluşturduğu kararlar da yine sinir sistemi sayesinde vücut organlarına iletilir.



Şekil 15. Beyin üzerinde beş duyu bölgesinin şematik gösterimi (Bose ve Liang, 1995)

Bir başka ifadeyle biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistemdir. Alıcı sinirler, organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, elektriksel sinyallere

dönüştürerek beyne iletirler. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel sinyalleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür (Yazıcı vd., 2007).



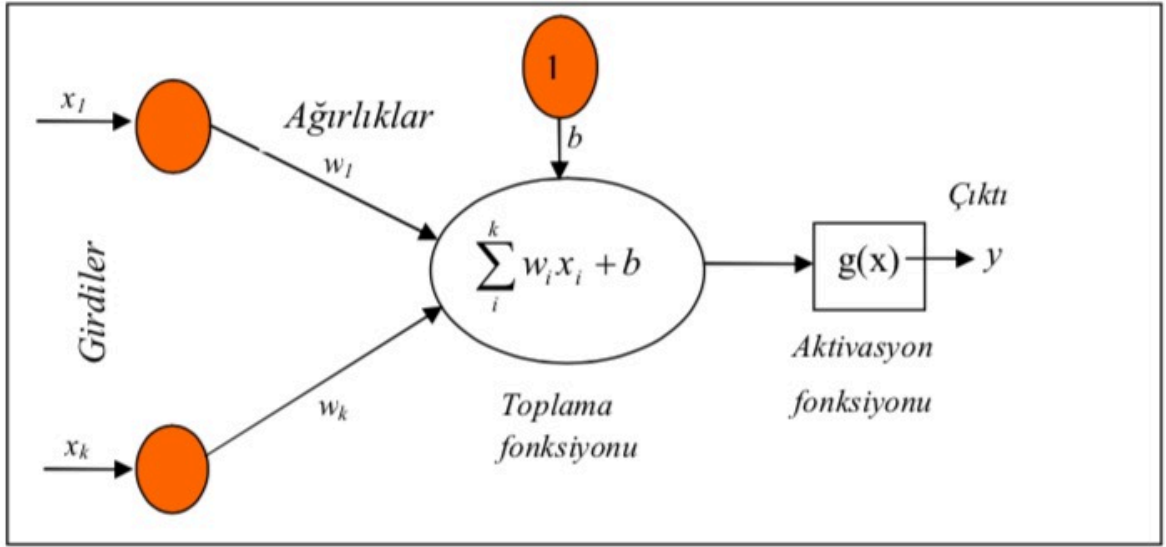
Şekil 16. Biyolojik sinir hücresi gösterimi (Freeman ve Skapura, 1991)

Şekil 16’da da görüleceği üzere biyolojik sinir sisteminin temel işlem elemanı olan biyolojik sinir hücresi (nöron) sinapslar, akson, soma (hücre gövdesi), ve dendritlerden oluşur. Dendritler, nöronun kısa, ağaç dalları biçiminde, görevi hücreye girdilerin sağlanması olan uzantılardır (Luger ve Stubblefield, 1989). Bir nöronda yüzlerce, bazen de binlerce dendrit çıkabilir. Aksonlar, işlenen bilgileri çıktı olarak diğer hücreye göndermeye yarayan uzantılardır (Winston, 1992). Bir hücrenin birden çok dendriti olmasına rağmen tek bir aksonu vardır. Sinapslar ise sinir hücrelerinde yer alan aksonların diğer sinir hücreleri veya onların dendritleri üzerinde sonlanan özelleşmiş bağlantı noktalarıdır. Bir başka deyişle sinir hücrelerinin kesişim noktalarıdır (Luger ve Stubblefield, 1989). Bu noktaların görevleri, aksondaki elektriksel iletinin diğer hücrelere aktarılmasıdır. Hücre gövdesi olarak da adlandırılan soma ise hücrenin yaşamasını sağlayan işlevleri görür. Hücre çekirdeği denilen soma nucleus’u içerir. Burası sinaps üzerinden dendritler aracılığıyla gelen sinyalleri alıp işler, kendi elektriksel sinyalini oluşturur ve aksonlar aracılığıyla dendritlere; dendritler aracılığıyla da bir sonraki sinir hücresinin sinapslarına gönderir. Böylece iki hücrenin birbirleri ile bilgi alışverişi sağlanmış olur. Bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaşmadan sinir hücresi herhangi bir tepki üretmez (Winston, 1992). Hücrenin

tepkisini arttırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi sinaps belirler. Bir başka deyişle sinyaller değişmeden gönderilebileceği gibi sinaps tarafından değiştirilerek de gönderilebilir. Sinaps nörondan nörona sağlanan bağlantının gücünü arttırıp azaltabilmektedir (Basheer ve Hajmeer, 2000); (Turban ve Aronson, 2001).

1.5.3.2. Yapay Sinir Hücresi

Tıpkı biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da Yapay Sinir Hücreleri (YSH) vardır. YSH, aynı zamanda Proses Elemanları (PE) olarak da adlandırılmaktadır. Her PE beş temel elemana sahiptir. Girdiler (x_k), ağırlıklar (w_k), toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardan (y) oluşan bu elemanlar Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17. Yapay sinir hücresi (proses elemanı) modeli (Es, 2013)

Bir YSH’ne diğer hücrelerden veya dış dünyadan gelen bilgiler girdiler (x_i) olarak adlandırılır. Gelen girdilerdeki bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar (w_i) üzerinden hücreye girer ve bu ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Ağırlıklar hücreye gelen bilginin hücre üzerindeki etkisini ve önemini belirler. Toplama fonksiyonu ise hücreye gelen net girdiyi hesaplamak amacıyla kullanılan bir fonksiyondur ve genellikle

net girdi, her bir girdinin (x_i) kendi ağırlıklarıyla (w_i) çarpımlarının toplamı şeklinde ifade edilir ve şu şekilde formülize edilir:

$$Net\ Girdi = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (43)$$

Yapay sinir ağının yapısına göre, modelde toplama fonksiyonu olarak toplam, maksimum, minimum, çarpım veya signum gibi çeşitli fonksiyonlardan biri kullanılabilir. İlgili problem için tercih edilecek en uygun toplam fonksiyonu genellikle deneme yanılma yöntemiyle bulunabilmektedir. Tablo 4'te çeşitli toplama fonksiyonları liste olarak verilmiştir.

Tablo 4. Toplama fonksiyonu çeşitleri (Hamzaçebi, 2011)

Fonksiyon Türü	Toplama Fonksiyonu	Açıklaması
Toplam	$Net\ Girdi = \sum_i w_i + x_i$	Hücreye gelen tüm bilgiler ağırlıklar ve girdiler birbirleriyle çarpıldıktan sonra toplanır.
Maksimum	$Net\ Girdi = Maks(w_i x_i)$ $i=1, 2, 3, \dots, N$	N adet girdi ve ağırlıklar birbirleriyle çarpıldıktan sonra en büyük değer net girdi olarak alınır.
Minimum	$Net\ Girdi = Min(w_i x_i)$ $i=1, 2, 3, \dots, N$	N adet girdi ve ağırlıklar birbirleriyle çarpıldıktan sonra en küçük değer net girdi olarak alınır.
Çarpım	$Net\ Girdi = \prod_i w_i x_i$	Önce girdiler ve ağırlıklar, daha sonra elde edilen değerler birbirleriyle çarpılır.
Signum	$Net\ Girdi = \sum_i sgn(w_i x_i)$	N adet girdi ve ağırlıklar birbirleriyle çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur ve en büyük olanı net girdi olarak kabul edilir.

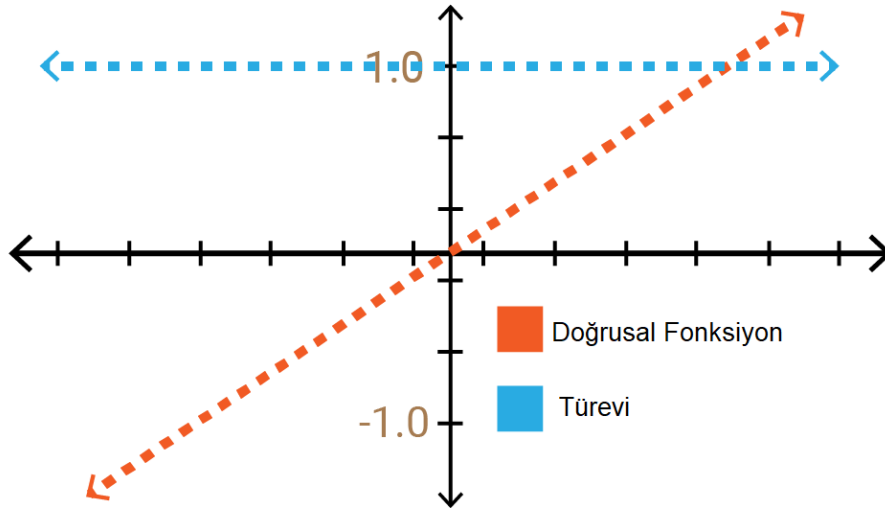
Problemler için en uygun fonksiyon bulmaya yönelik herhangi bir formül mevcut değildir. Ayrıca yapay sinir ağındaki bütün proses elemanlarının aynı toplama fonksiyonundan geçirilme zorunlulukları da bulunmamaktadır. Bazen tüm proses elemanları

aynı toplama fonksiyonu ile işlenirken kimi modellerde proses elemanları farklı farklı toplama fonksiyonlarına tabi tutulmaktadırlar.

Transfer fonksiyonu olarak da ifade edilen aktivasyon fonksiyonu ise toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur.

Aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmezler. Çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır ve bu durum ilk YSA denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir (Minsky ve Papert, 1969). Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değer ise çıktıları oluşturmaktadır. Üretilen çıktılar dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre zaman zaman kendi çıktısını kendisine girdi olarak da gönderebilir. Genellikle kullanılan aktivasyon fonksiyonları olan doğrusal, basamak, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları aşağıda verilmiştir (Kızırak, 2019).

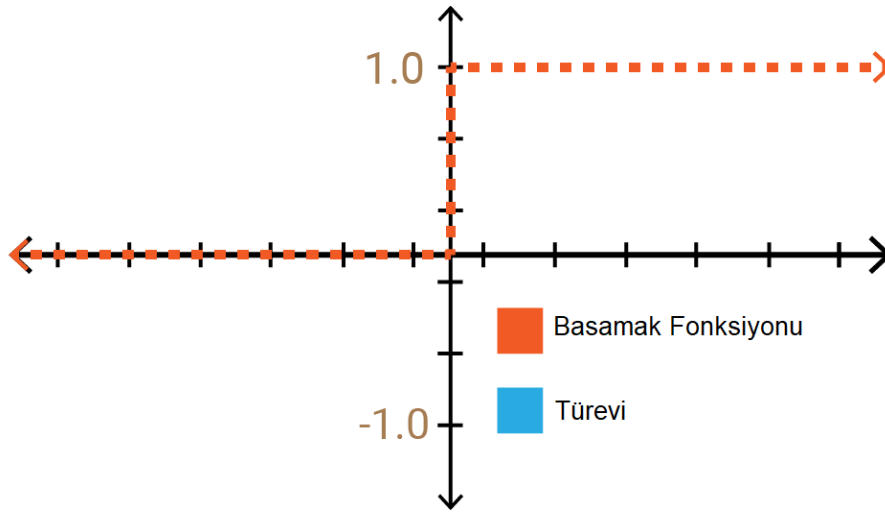
Doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan, matematiksel olarak $g(x)$ şeklinde tanımlanan bu fonksiyonda net girdiler doğrudan doğruya hücrenin çıkışını vermektedirler. Ancak girdi ile çıktı arasında doğrusal bir oran olduğundan, türevinin sabit olmasından dolayı sinir ağları modellemelerinde kullanılması tercih edilmez.



Şekil 18. Doğrusal (linear) fonksiyon

Hücreye gelen net girdinin belirlenen bir eşik değerin altında ya da üstünde olması duruma göre çıktığı 1 veya 0 olarak veren fonksiyona ise basamak fonksiyonu denir ve bu tip fonksiyonlar genel olarak tek katmanlı ağlarda kullanılır. İkili değer alan bu fonksiyon genellikle ikili sınıflayıcı olarak çıkış katmanlarında tercih edilir. Türevlenebilir bir fonksiyon olmadığından dolayı da gizli katmanlarda kullanımı tercih edilmez.

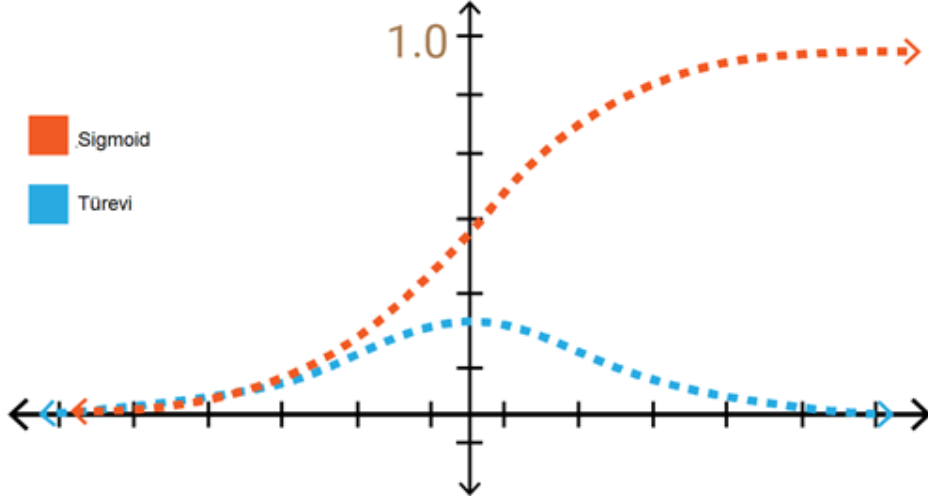
$$g(x) = \begin{cases} b & x \geq d \\ a & x < c \end{cases} \quad (44)$$



Şekil 19. Basamak (adım) fonksiyonu

Yapay sinir ağı modellerinde en sık kullanılan iki aktivasyondan biri olan sigmoid aktivasyon fonksiyonu, türevi alınabilir ve doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, hücrenin net girdisinin her bir değeri için 45 numaralı denklemden geçirilerek 0 veya 1 arasında bir değer üretmektedir (S. Haykin, 1994). Bu sebeple de sinir ağlarında yoğun olarak aktivasyon fonksiyonu olarak kullanımı tercih edilir.

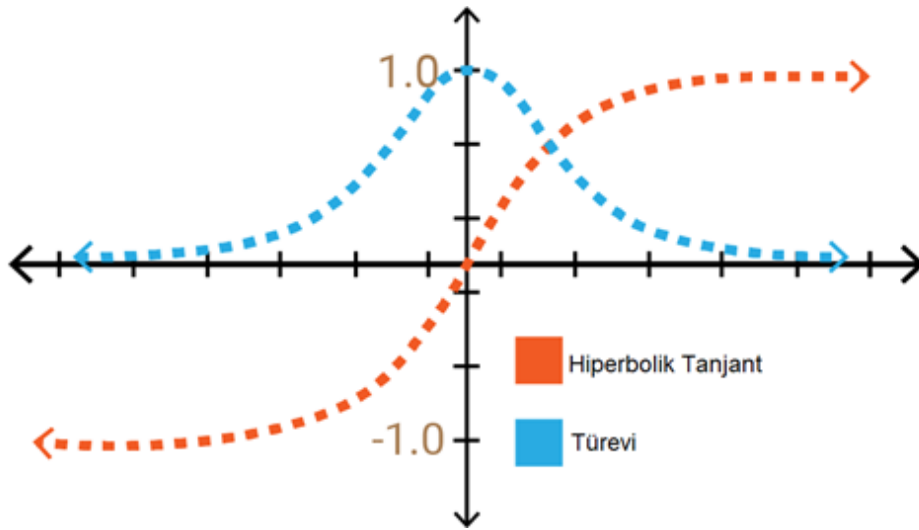
$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (45)$$



Şekil 20. Sigmoid fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonunun farklı bir çeşidi olan hiperbolik tanjant fonksiyonu, hücreye gelen net girdinin 46 numaralı denklemde gösterilen tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır. Sigmoid fonksiyonuna göre türevinin daha dik olması sebebiyle (-1,+1) aralığında daha çok değer alabilen hiperbolik tanjant fonksiyonu, daha hızlı öğrenme ve daha geniş aralığa sahip olmasından dolayı daha verimli olmaktadır.

$$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (46)$$



Şekil 21. Hiperbolik tanjant fonksiyonu

İnsan beyni yapay sinir ağı modellerinin kapsayabileceğinden çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bilgi işleme modelleri gerçek biyolojik sistemleri tamamen doğru bir şekilde temsil edememektedir (Turban ve Aronson, 2001). Biyolojik sinir ağı ile yapay sinir ağlarının karşılaştırmasını Tablo 5’te verilmiştir:

Tablo 5. Biyolojik sinir ağı ile YSA karşılaştırması (Sağiroğlu vd., 2003)

Biyolojik Sinir Ağı	Yapay Sinir Ağı
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Sinir Hücresi (Nöron)	Proses Elemanı
Sinaps	Ağırlıklar
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi (Soma)	Aktivasyon Fonksiyonu
Akson	Yapay Sinir Hücresi Çıkışı
Düşük Hız	Yüksek Hız
Çok Miktarda Nöron	Az Miktarda Nöron

1.5.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır.

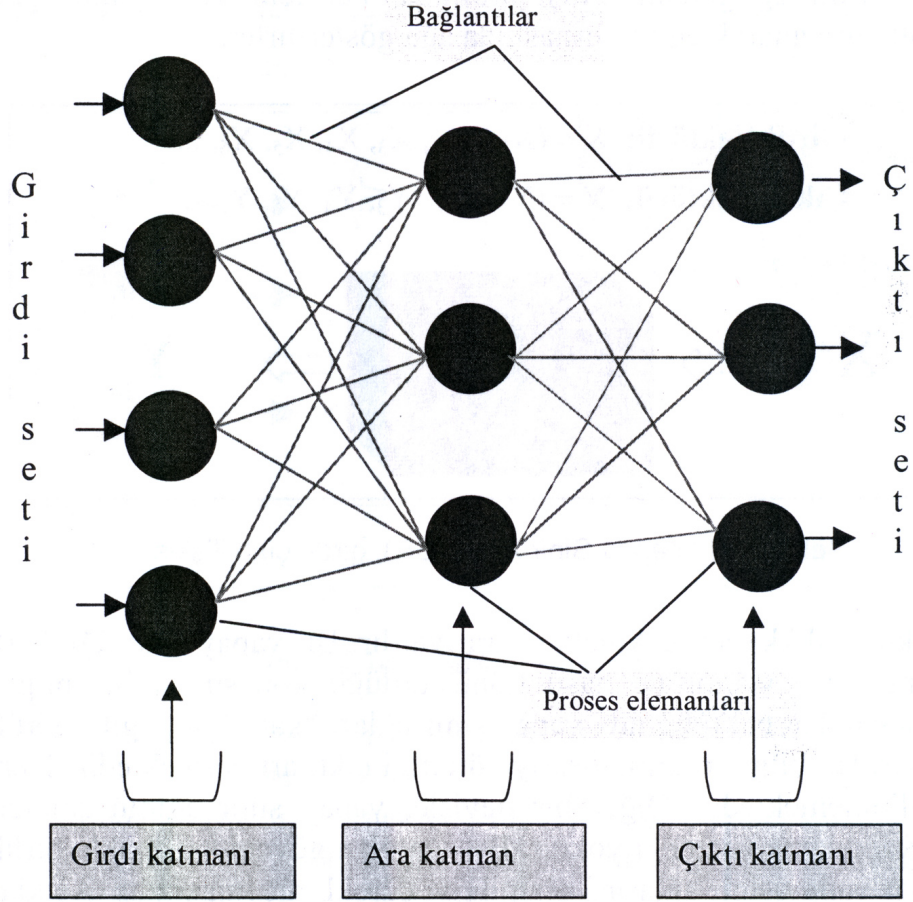
Genel olarak hücreler üç katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Katmanların değişik şekillerde birbirleriyle bağlanmaları farklı ağ mimarilerini doğurur. YSA üç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar sırasıyla;

- Girdi Katmanı
- Gizli (Ara) Katman
- Çıktı Katmanı

olarak sıralanabilir (Şekil 22).

Girdi katmanında yer alan proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara gönderirler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Gizli katman olarak da adlandırılan ara katmanda ise girdi katmanından gelen bilgiler

işlenerek çıktı katmanına gönderilir. YSA'nda bilginin işlenmesi bu ara katmanda gerçekleştirilir. Bir ağın birden fazla ara katman olabilir. Çıktı katmanındaki proses elemanları ise ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından gelen örnek seti için üretmesi gereken çıktıyı üretir ve üretilen bu çıktıyı dış dünyaya veya bir sonraki yapay sinir hücresine gönderir.



Şekil 22. Bir yapay sinir ağı örneği (Öztemel, 2006).

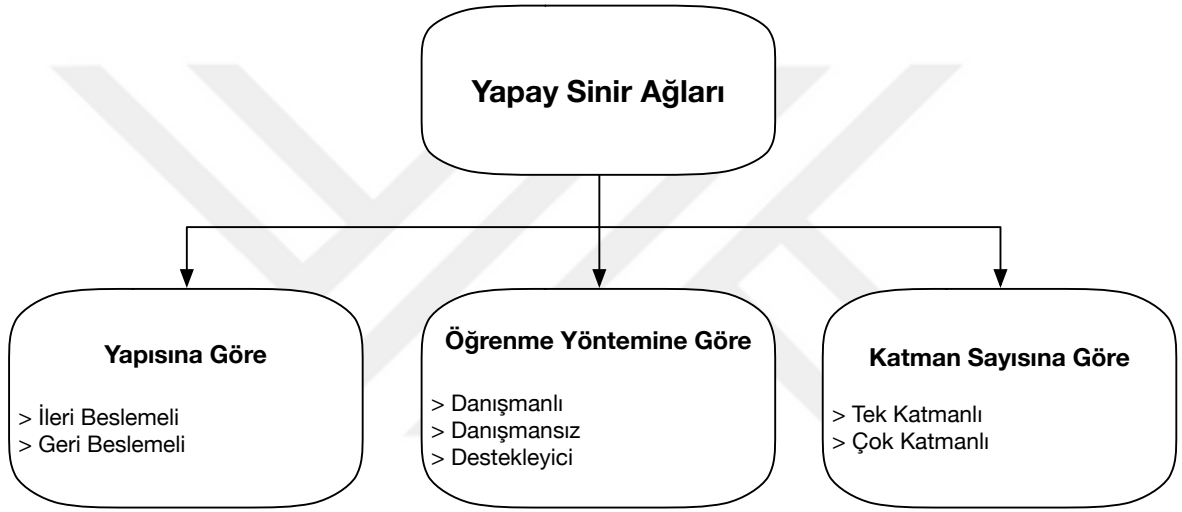
1.5.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerinden oluşurlar. Her bir sinir hücresi arasındaki bağlantıların yapısı ağın yapısını belirler. İstenilen sonuçlara ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği ise öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan öğrenme algoritmalarına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde ağın

ağırlıkları değiştirilir. Buradan yola çıkarak genel anlamda YSA'nı yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırabiliriz.

1.5.4.1. YSA'nın Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları yapılarına göre, öğrenme yöntemlerine göre ve katman sayılarına göre Şekil 23'teki gibi sınıflandırılabilir.

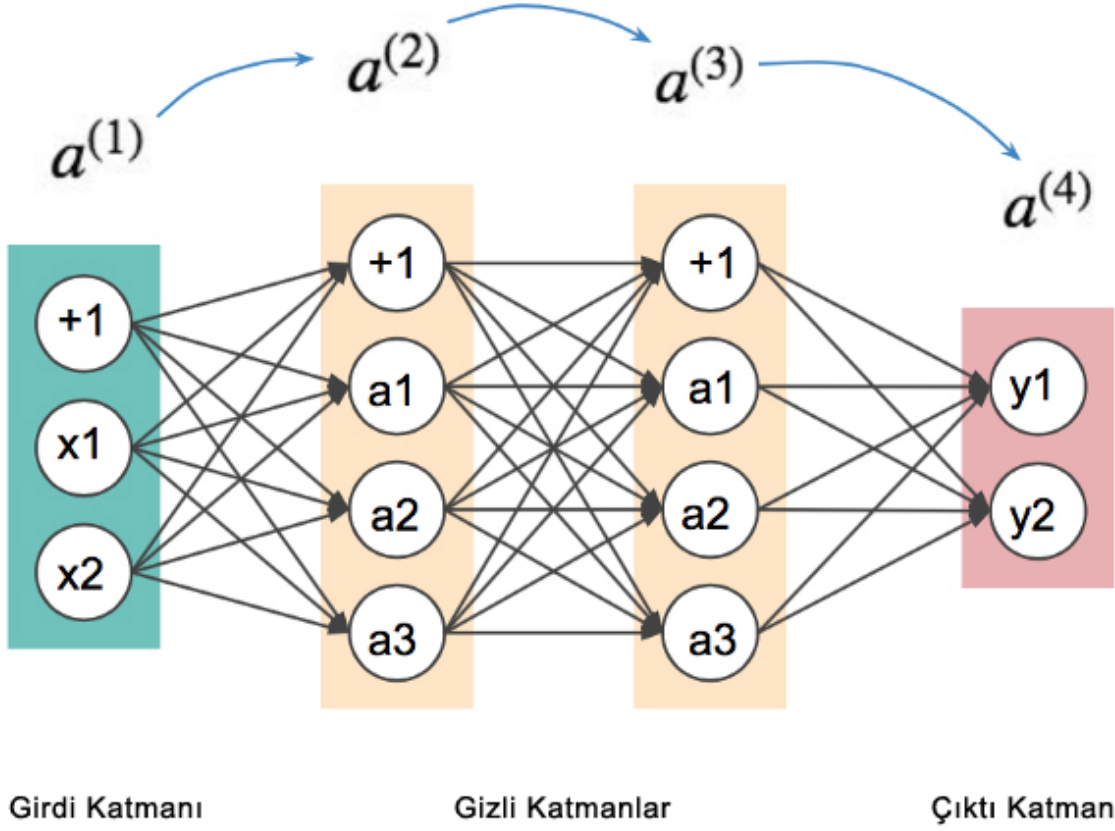


Şekil 23. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, nöronlarının aralarındaki bağlantılarının yapısına göre İleri Beslemeli (Feedforward) Ağlar ve Geri Beslemeli (Feedback) Ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

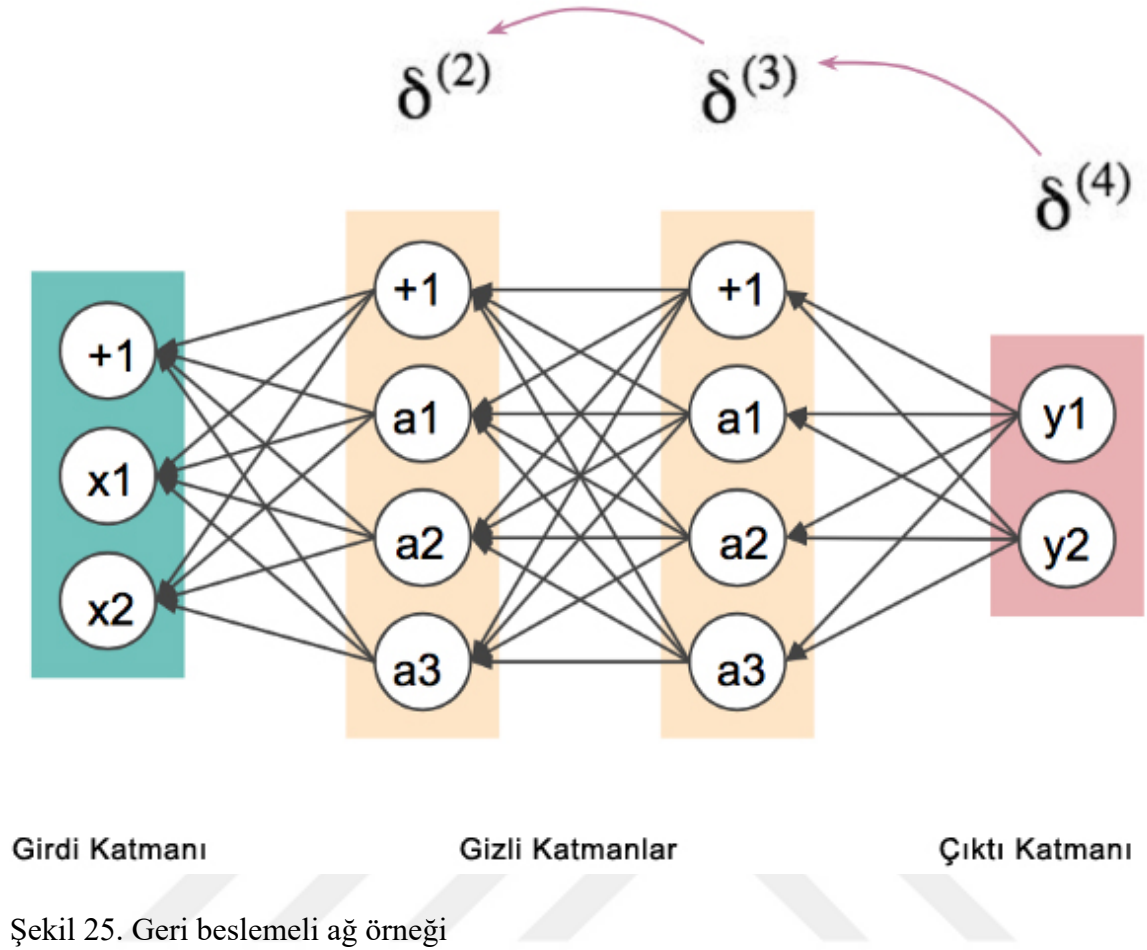
İleri beslemeli bir ağda proses elemanı genellikle katmanlara ayrılmıştır. İşaretler, girdi katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. PE bir katmandan diğer katmana bağlantı kurarken aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz (Şekil 24). İleri beslemeli ağlara örnek olarak Multi Layer Perceptron (MLP) ve Linear Vector Quantization (LVQ) ağları verilebilir. Bu tip ağların en popüler olanı ise MLP'dir (Göktepe vd., 2005). İleri beslemeli YSA'nda hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir.

Girdi katmanı, dış ortamdan aldığı bilgiyi hiç değiştirmeden ara katmana iletir. Bilgi, ara katman ve çıktı katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir.



Şekil 24. İleri beslemeli ağ örneği

Geri beslemeli YSA'nda ise çıktı ve ara katmanlardaki çıkışların giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısı vardır (Öztemel, 2006). Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur (Şekil 25). Bu tür ağların dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır (Göktepe vd., 2005). Bundan dolayı özellikle önceden tahmin uygulamalarında kullanılırlar. Bu tür ağlara örnek olarak Hopfield, Self Organized Map (SOM), Elman ve Jordan ağları verilebilir.



Şekil 25. Geri beslemeli ağ örneği

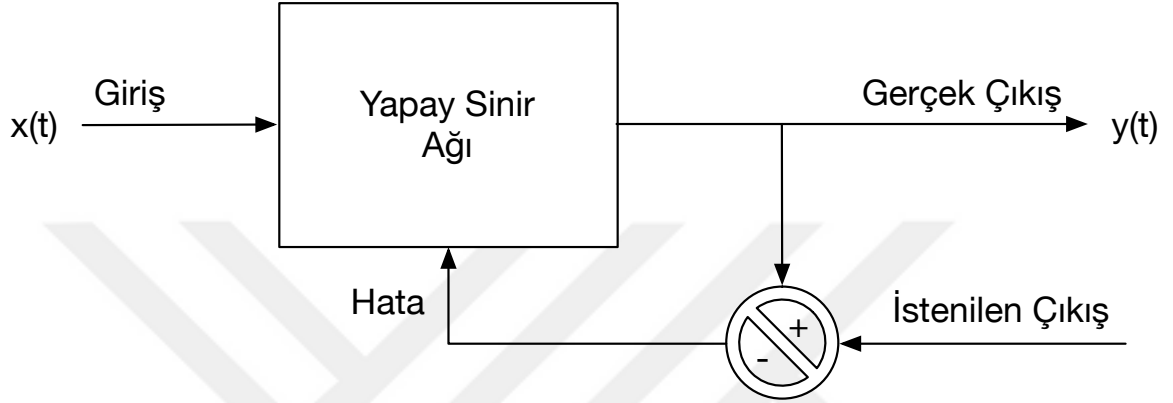
İleri beslemeli ağlarda gecikme yoktur ve işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değerleriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir (Kılıç, 2007). Geri beslemeli ağlarda ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur (Kılıç, 2007).

1.5.4.2. YSA'nın Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

Öğrenme gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanır. YSA'nda genel olarak Danışmanlı (Öğretmenli), Danışmansız (Öğretmensiz) ve Destekleyici Öğrenme olmak üzere üç öğrenme metodundan söz etmek mümkündür.

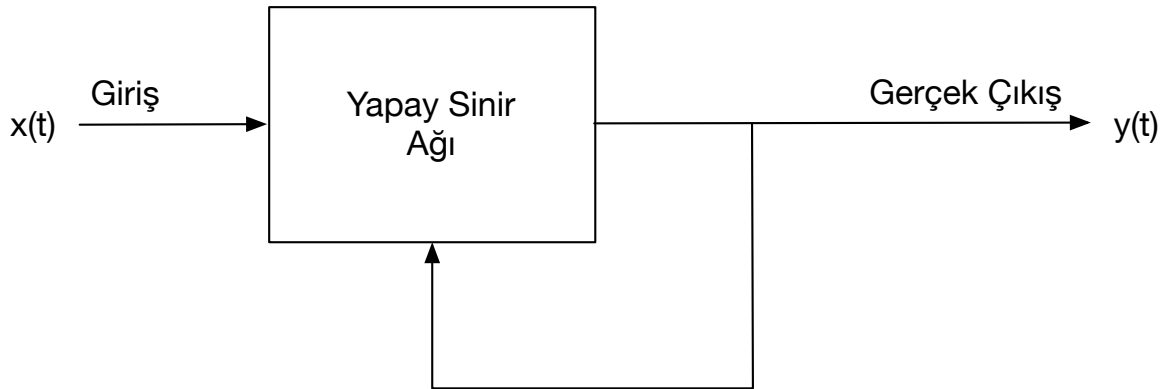
Danışmanlı öğrenmede ağa örnek olarak bir doğru çıkış verilir. Bu öğrenmede ağın ürettiği çıktılar ile hedef çıktılar arasındaki fark hata olarak ele alınır ve amaç bu hatayı en

aza indirgeyebilmektir. Bu nedenle de bağlantıların ağırlıkları en uygun çıkışı verecek şekilde sürekli değiştirilir. Şekil 26’da danışmanlı öğrenme yapısı görülmektedir. Widrow-Hoff (1960) tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland (1988) tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmasına örnek gösterilebilir.



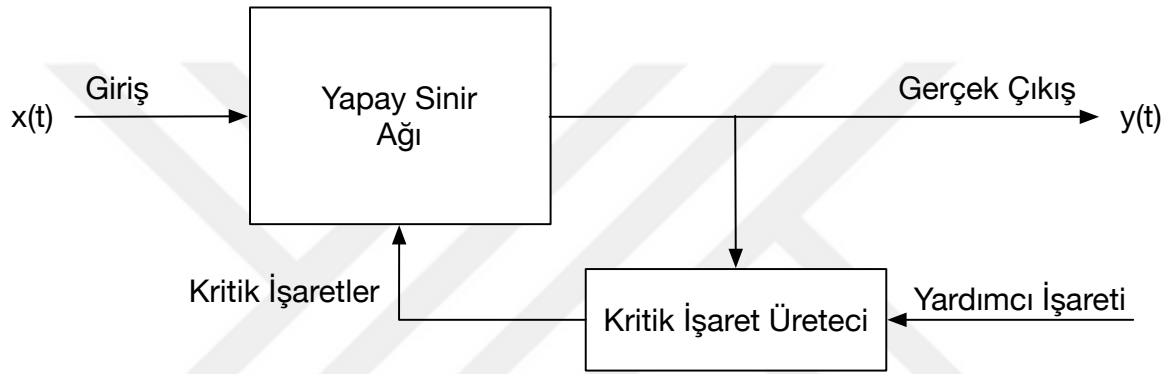
Şekil 26. Danışmanlı öğrenme algoritması

Danışmansız öğrenme algoritmasında ise ağı sadece girdiler verilir. Ağın ulaşması gereken hedef çıktılar verilmez. Girişe verilen örneklerden elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirir. Grossberg tarafından geliştirilen Adaptif Rezonans Teori (ART) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM öğrenme kuralının kullanıldığı danışmansız öğrenme algoritması Şekil 27’de görülmektedir.



Şekil 27. Danışmansız öğrenme algoritması

Bazı durumlarda ağa çıktının ne olduğunu vermek mümkün olmayabilir. Buna karşın ağın ürettiği çıktının doğru veya yanlış olduğu belirtilebilmektedir. Destekleyici öğrenme yöntemi danışmanlı öğrenme yöntemiyle bu noktada benzerlik göstermektedir. Burada direkt olarak hedeflenen çıktıyı vermek yerine, ağın çıktılarının ne derece doğru olduğunu belirten bir skor veya derece bildirilir. Özellikle optimizasyon problemlerini çözmek için tercih edilen Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltmann Kuralı veya GA destekleyici öğrenme algoritmasına örnek gösterilebilir. Destekleyici algoritma, Şekil 28'de görülmektedir.



Şekil 28. Destekleyici öğrenme algoritması

Yapay sinir ağlarında, çok çeşitli ağ modelleri ve bunlara bağlı öğrenme algoritmaları mevcuttur. Bu öğrenme algoritmalarına bağlı olarak YSA'nda yoğun olarak kullanılan ağ modellerini ise şu şekilde listeleyebilmek mümkündür (Mehrota vd., 1997):

- Tek Katmanlı Algılayıcılar (TKA)
- Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)
- Adaline/Madaline Modeli
- LVQ Modeli
- ART – Elman – Hopfield Ağları
- Counterpropagation Ağı
- Cognitron ve Neocognitron Ağı
- SOM
- Bileşik Ağlar

1.5.5. Yapay Sinir Ağlarında Eğitim Ve Problem Çözümü

En basit ifadeyle YSA'nın eğitimini, sistem için en uygun olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesi şeklinde tanımlayabiliriz. Eğitim işlemi ise yeni bağlantı ağırlıkları oluşturma, bağlantı ağırlıklarını değiştirme ve bazı bağlantı ağırlıklarını yok etmeyle gerçekleştirilir.

Yapay sinir ağları eğitimi esnasında elde ettiği bilgileri, sinir hücreleri arasında bağlantı ağırlıkları olarak saklar. Eğitim süresi boyunca bilgiye ihtiyaç duyulması ve sinir hücreleri arasındaki bağlantı ağırlıkları vasıtasıyla bilgilerin saklanması yönüyle sinir hücreleri insan beynini andırır.

YSA eğitimindeki önemli noktalardan biri de eğitimi sağlayacak olan eğitim kümesinin seçilmesidir. Eğitim kümesinin çok büyük seçilmesi her zaman için eğitimin daha doğru olacağı anlamına gelmez. Eğitim kümesi oluşturulurken birbirine yakın bilgilerden ziyade, az miktarda da olsa birbirinden farklı ve bağımsız bilgilerin seçilmesi daha verimli bir eğitim sağlar (Sırdaş vd., 2001).

YSA'nda öğrenme olayının iki aşaması vardır. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir. Ağın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı kalarak farklı şekillerde olmaktadır.

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra, ağ uygulamaya sokulmadan önce öğrenip öğrenmediğini ölçmek için yapılan denemelere ağın test edilmesi denilmektedir. Test etmek için ağın öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılmalıdır. Test etme sırasında ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Test örnekleri ağa gösterilir. Ağ eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekler için çıktı üretir. Elde edilen çıktıların doğruluk değerleri ağın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir (Öztemel, 2006).

Ancak her zaman ağın performansı iyi olmayabilir. Ağ eğitilirken bulunan örnekler problem uzayını tam olarak temsil etmiyorsa, oluşturulan ağ modeli için doğru parametreler seçilmemişse, ağın ağırlıkları başlangıçta doğru belirlenmemişse, ağ modeli doğru seçilmemişse ağın performansı düşük olabilir, doğru sonuçlar üretemeyebilir. Bu gibi durumlarda örnek uzayı değiştirilebilir veya genişletilebilir, başlangıç ağırlıkları değiştirilebilir, katman sayısı, katmanlardaki proses eleman sayısı, gerekirse ağ modeli komple değiştirilebilir. Bunları biri veya aynı anda birden fazlası yapılarak ağın performansı

arttırılmaya çalışılır. Her bir değişiklik sonucunda ağ yeniden eğitilmeli ve yeniden test edilmelidir.

Yapay Sinir Ağları ile bulunan çözümler her zaman için en iyi çözümlerde denilemez. YSA, belli bir hata değeri kabul edilerek bu hataya göre çözümler üretir. Farklı bir ağ modeli veya parametrelerde yapılacak bir değişiklik sonucunda belki de ağ çok daha iyi bir sonuç üretebilir. Hata toleransı içerisinde kalmak kaydıyla YSA, en iyi çözümlerin dışında kalan yerel çözümleri de çözüm olarak kabul eder.

1.5.6. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Yapay sinir ağları, öncelikle modelleme, tahmin ve sınıflandırma, uygulamaları olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları yoğun olarak kesin sınırları olmayan, çok boyutlu, karmaşık, eksik ve hata olasılığı yüksek veriler olması ve matematiksel olarak modellenmenin imkanı olmayan veya çok zor olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak bakıldığında bir yapay sinir ağının öngörü, sınıflandırma, veri süzülmesi/kavramlaştırılması/birleştirilmesi, resim veya görüntü işleme, teşhis/tanıma/eşleştirme/yorumlama, optimizasyon ve fonksiyonlarını gerçekleştirme beklenmektedir (Elmas, 2007).

Yapay Sinir Ağları, bu fonksiyonları sağlayacak şekilde endüstriyel uygulamalar, ulaştırma, havacılık, finans ve borsa, askeri ve savunma, tıp, ilaç sanayi, biyomedikal, vb. gibi neredeyse tüm alanlarda, başta kimya, inşaat, elektrik, elektronik, imalat, makine, sistem, kontrol ve endüstri mühendisliği olmak üzere birçok problemin çözümü konularında uygulanma imkanı bulmuştur.

1.5.7. Yapay Sinir Ağları Yazılımları

Yapay sinir ağları ile ilgili olarak hali hazırda kullanılan birçok yazılım kütüphanesi ve simülasyon ortamı mevcuttur. Bu ortamların bazıları (Joone, Annie, F-ANN, Neural Network Toolbox for MATLAB, vb.) sadece kütüphane kısmından oluşurken bazıları da (Genesis, Stuttgart Neural Network Simulator, vb.) ise yapay sinir ağı tasarlamayı sağlayan araçları da içermektedirler.

1.6. Literatür Özeti

Yapay sinir ağlarının (YSA) yetenekleri göz önüne alındığında, matematiksel olarak modellenmesi zor, lineer olmayan kompleks problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar vermesi doğal karşılanmalıdır. Tıpkı insan beyni gibi öğrenen, yorumlayan ve karar veren bu sistemler kontrolcü olarak kullanılması yönünde ilk araştırmalar Yamato ve arkadaşları (1990) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları otomatik gemi yanaşmasını gerçekleştirmek amacıyla kullanılmış ve yanaşma başarıyla sağlanmıştır. Daha sonra Fuji ve Ura (1991) yapay sinir ağlarının danışmanlı ve danışmansız öğrenme modellerini insansız araçlarda denemiş ve sonuçları gerçek verilerle karşılaştırmıştır. İnsansız araçlar dışında YSA sıcak kontrolü (Cui ve Shin, 1992), motor hava yağ karışımı ayarlama (Zhai ve Yu, 2009) gibi alanlarda kullanılmıştır. Bu arada Aoyama ve arkadaşları (1995) yapay sinir ağlarıyla birlikte bulanık mantık kullanımı fikrini araştırmışlar ve nöro-bulanık sistemlerle hibrit kontrolcü tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Yamato ve arkadaşlarının ardından Hasegawa ve Kitera (1993) ile Im ve Hasegawa (Im ve Hasegawa, 2001, 2002) otomatik gemi yanaşması konusunda çalışmaları devam ettirmişlerdir. Hasegawa (1993) yapay sinir ağlarını uzman sistemlerle birlikte ana kontrolcü olarak uygularken Im (Im ve Hasegawa, 2001, 2002) farklı bir yaklaşım sergileyerek tek ve merkezci bir kontrolcü yerine pervane ve dümeni kontrol eden iki farklı kontrolcü/ağ yapısı üzerinde çalışmışlardır. Geliştirdikleri modelde çift kontrolcü kullanımı dışında aynı zamanda rüzgarın gemi üzerindeki olası etkilerini tespit edip bunları göz önünde bulundurmaya üzere de yapay sinir ağlarından faydalanmıştır. Bu yaklaşım düşük rüzgar hızlarında nispeten etkili olsa da özellikle paralel gelen güçlü rüzgarlarda yetersiz kalmıştır. Ağ modeline standart manevra planlarını ekleyerek eğitim setindeki ağırlıkları değiştirmeyi denemesine rağmen yine de sonuçlar yeterli olmamıştır. Rüzgarın etkisini göz önünde bulunduracak şekilde ağ eğitimi sağlayamamıştır. 2007 yılında yaptığı çalışmada ise Im ve arkadaşları (Im vd., 2007) farklı bir yaklaşım sergileyerek seçici kontrolcü kullanmayı denemiştir. Bu şekilde yanaşma manevrasını çeşitli bölgelere ayırarak gemiyi bir bölgeden diğer bölgeye aktarmaya üzere her bölgedeki kontrol için ayrı ağlar kullanılmasını önermiştir. Bu yaklaşımın aksine Nguyen ve arkadaşları (2007) danışmansız eğitim modelini benimseyen bir ağ kullanımı önerisi sunmuştur. Bu ağ herhangi bir şekilde çevrimdışı eğitime tabi tutulmadan kullanılacak olup aktif olarak çalışma esnasında elde ettiği

verilerden anlık çevrimiçi öğrenim yapılmasını önermiştir. Ancak yapılan çalışmada güvenilir bir seti oluşturulmadığı gibi sistemin performansı da net olarak belirlenememiştir.

Aynı dönemde Mizuno ve arkadaşları (2007) lineer olmayan programlama yöntemleriyle en kısa zamanda yanaşma manevralarını gerçekleştirme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Önerilen yöntemle ilk çalışmalar Xu ve Hasegawa (2012) tarafından yapılmış ve başlangıçta tutarlı bir eğitim seti oluşturulmuştur. Fakat birbirine bağlı göz önünde bulundurulması gereken çok fazla parametre olması sistemin eğitimi sırasında dümenin verimsiz bir şekilde cevap vermesine sebep olmuştur. Benzer şekilde dış etkiler göz ardı edildiğinde de YSA'nın verimi düşük hızlarda manevra yapma zorunluluğundan dolayı çok iyi olmamıştır. Özellikle rüzgarın yönü ve şiddeti tahmin edilemez olduğundan dolayı ağ eğitimi esnasında modele nasıl ekleneceğine dair net bir yöntem ortaya koyulamamıştır. Ahmed ve arkadaşları (2012, 2013, 2014, 2015, 2016) lineer olmayan programlama yöntemlerini kullanarak farklı bir teknikle eğitim seti oluşturmayı önermiştir. Maneuvering Modeling Group (Yasukawa ve Yoshimura, 2015) tarafından sağlanan matematiksel gemi modelini baz alarak ve Fujiwara ve arkadaşlarının (1998) yayınladığı rüzgar modeliyle birlikte kullanarak rüzgarın etkisini eğitim seti içerisinde değerlendirmeye çalışmıştır. Böylelikle rüzgardan kaynaklı etkilere karşı ağın tepkisini ölçmek istemişlerdir. Her ne kadar model rüzgarsız havada uygun sonuçlar verse de rüzgar olduğu durumlar dümen açısında çok büyük sapmalar olduğu görülmüştür. Yine de oluşturulan eğitim seti rüzgar etkisini göz önünde bulunduran ilk eğitim seti olmuştur.

Yapay sinir ağları dışında otomatik yanaşma manevraları için farklı yöntemler de önerilmiştir. Berretta (2013) ve Formentin (2013) kontrol merkezli bir matematiksel model önermişler ve 8 metrelik bir tekne üzerinde deneme yapmışlardır. Tasarlanan kontrolcü tam otomatik bir sistem yerine sanal asistan olarak görev yapmış olur rüzgar ve akıntı gibi dış etkileri görmezden gelerek kullanıcıya destek olmuştur. Nguyen ve arkadaşları (2018) son yaptıkları çalışmalarla yapay sinir ağlarıyla birlikte mesafe ölçüm sistemi kullanmışlardır. Mesafe ölçüm sistemleriyle birlikte belirli limanlara bağlı kalmadan eğitilen bir ağ vasıtasıyla farklı limanlara yanaşmalar yapılabileceği gösterilmiştir. Oluşturulan ağ, sadece geminin dümen ve pervanesini kontrol etmekte olup rüzgar, akıntı vb. dış etmenler modele dahil edilmemiştir. Hazırlanan model sadece simülasyon ortamında denenmiş, deneysel bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

Yapay sinir ağları ile otomatik manevra gerçekleştirilmesindeki en büyük problem öngörülemeyen, başta rüzgar ve akıntı olmak üzere, dış etmenlerdir. Benzer şekilde düşük

hızlarda manevra yapılması gerekliliği de zorlayıcı bir faktördür. Ağın verimli bir şekilde çalışabilmesi için eğitilmesi, eğitilebilmesi için de düzgün ve doğru bir eğitim setinin oluşturulması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar deneysel verilerden oluşturulan eğitim setlerinin eksikliğinden dolayı bazı konularda yetersiz kalabilmektedir. Benzer şekilde rüzgar ve akıntının etkisi modellenemediğinden dolayı ağların eğitimi esnasında göz önünde bulundurulamamaktadır. Bu noktada deneysel olarak manevraların gerçekleştirilmesi ve rüzgar-akıntı gibi etkilerin verilerinin de ağ modeline eklenmesi gerek ağın gerekse de manevranın başarılı olabilmesi için elzemdir.

1.7. Tezin Amacı Ve Kapsamı

Gemi yanaşma manevralarının matematiksel olarak modellenmesindeki zorluklar, kural tabanlı kontrolcüler, bulanık mantık, uzman sistemler gibi farklı kontrol yöntemleriyle bu manevraların gerçekleştirilebilme ihtimalinin kontrol ve kumanda edilemeyen parametrelerin çokluğu sebebiyle düşük olması, alternatif yöntemler geliştirmeyi zorunlu kılmıştır.

Yanaşma manevralarının gerçekleşmesi, gemi kontrolü konusundaki en karmaşık ve zorlu problemlerden biridir. Matematiksel olarak modellenmesinin zorluğu, öngörülemeyen durumların çokluğu bu problemlerin çözümü için gemi kaptanı gibi düşünen, yorumlayan ve karar verebilen sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Halihazırda gemilerin yanaşma manevralarının başarısı büyük oranda gemiyi idare eden kaptanın bilgi ve tecrübesine bağlıdır. Şekil 29'da şematik olarak verildiği üzere gemiyi tanıma, geminin karakteristiklerine hakim olma, hava durumunu, deniz durumunu takip etme, tüm bu parametreleri düşünerek yapılacak manevranın sonuçlarını hesaplayıp ona uygun komut verme işini biyolojik beyin sayesinde gerçekleştirmektedir. Bu manevraların kontrolü için de tıpkı insan beyninde olduğu gibi mevcut şartlardaki tüm verileri anlayabilen, yorumlayabilen, değerlendiren ve bu süreç sonunda karar verip uygulayan yapay sinir ağları gibi sistemler gerekmektedir.

İkinci bölümde ise tez kapsamında yapılan uygulama için kullanılacak yöntem, liman seçimi ve gemi seçiminden söz edilmiştir. Yöntem olarak seçilen yapay sinir ağları hakkında gerek yapısından gerekse de öğrenme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca uygulamanın yapıldığı Singapur Limanı'ndan ve seçilen konteyner gemi tipinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde ise yapılan çalışmadan, oluşturulan ağ yapısından, ağın eğitimi ve test süreçlerinden, ağ performansından bahsedilmiştir. Eğitimi tamamlanan ağa, daha önce hiç görmediği şartlara bağlı olarak bir manevra yaptırılmış ve sonuçları gerçek ortamda kaptan tarafından yapılan manevralarla karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise tez çalışması kapsamında yapılan uygulamalar özetlenerek literatürle karşılaştırmaları yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca bundan sonra yapılacak çalışmalar için de önerilerde bulunulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bir gemiyi kıyıya yanaştırma işlemi, gemi kaptanlarının karşılaşılabilecekleri en karmaşık işlerden biri olarak ifade edilmektedir (Ahmed ve Hasegawa, 2013). Gemi kullanımının aksine yanaştırma manevraları için çevresel etkenler de dahil olmak üzere birçok parametrenin eş zamanlı olarak kontrol edilmesi, elde edilen verilerin değerlendirilip buna uygun şekilde manevra planlanması zorunluluğu mevcuttur. Bu işlemleri kontrol sistemleri yardımıyla otomatikleştir konusunda çeşitli çalışmalar halihazırda yürütülmeye devam etmektedir. Bulanık mantık gibi kural tabanlı kontrolcüler (Hasegawa ve Kitera, 1993), PID gibi standart denetleyicilerle çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da bu tür sistemler yanaşma manevraları gibi durumlar için sahip oldukları kısıtlayıcı özellikleri sebebiyle çok verimli sonuçlar sağlamamıştır. Örnek olarak bulanık mantık gibi kural tabanlı kontrolcülerin verimli olarak kullanılabilmesi için tüm kontrol sürecinin bulanıklaştırılması ve tüm süreci kapsayacak kural tabanı oluşturulması gerekmektedir. Ancak yanaşma manevraları gibi öngörülemez durumların tahminleri önceden net olarak belirlenemeyeceğinden dolayı maalesef bu yöntemlerin verimli şekilde kullanılabilmesi mümkün olamamaktadır.

Benzer şekilde ilk nesil uzman sistemlerde de manevra esnasında olabilecek tüm koşulların kurallandırılması gerektiğinden ve bunun da mümkün olmadığından dolayı bu sistemler de yanaşma manevra kontrolü için sağlıklı araçlar olmaktan çıkmışlardır. Bu ve benzeri sistemler yanaşma manevralarının uygulanması için oldukça rijit seçenekler olarak kalmaktadır.

Mevcut sistemlerdeki bu ve benzeri kısıtlamalar sebebiyle, insanların öngörü, yorumlama ve karar verme süreçleri bütünü olan yanaşma manevralarının kontrolü için tıpkı insana benzer sistemler kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun için de günümüzde insan beyninin özelliklerinden esinlenerek problem çözümleri sağlayan yapay sinir ağları en iyi alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

İnsan beyninin özelliklerini kopyalayan, çok farklı değişkenlerle sorunsuz olarak çalışabilen, matematiksel olarak modellenmesi zor olan problemlerin çözümlerini tıpkı insan beyninde olduğu gibi öğrenerek ve tecrübe ederek sorunlara çözüm bulan yapay sinir ağları bu tez kapsamında yapılacak çalışmanın da yöntemi olarak tercih edilmiştir.

Literatürde halihazırda bu konuda yapılmış çalışmalarda genellikle Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (JASNAOE) tarafından, gemi manevralarının tahminine yönelik olarak yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere Maneuvering Modeling Group (MMG) tarafından oluşturulan gemi manevralarının tahminlerine yönelik matematiksel model standardı kullanılmaktadır (Yasukawa ve Yoshimura, 2015). Uygulamaya yönelik yapılan çalışmalarda ise nispeten kontrolü kolay, komutlara tepkileri daha kısa sürede veren, dış etkenlerden daha az etkilenen 3-5 metre boyutlarına sahip küçük tekneler veya model gemiler kullanılmaktadır (Formentin vd., 2013).

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan gerçek zamanlı ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülatörü üzerinde handysize olarak tanımlayabileceğimiz 30000 DWT/~1800 TEU kapasiteli 180 metrelik konteyner gemisi tercih edilmiştir.

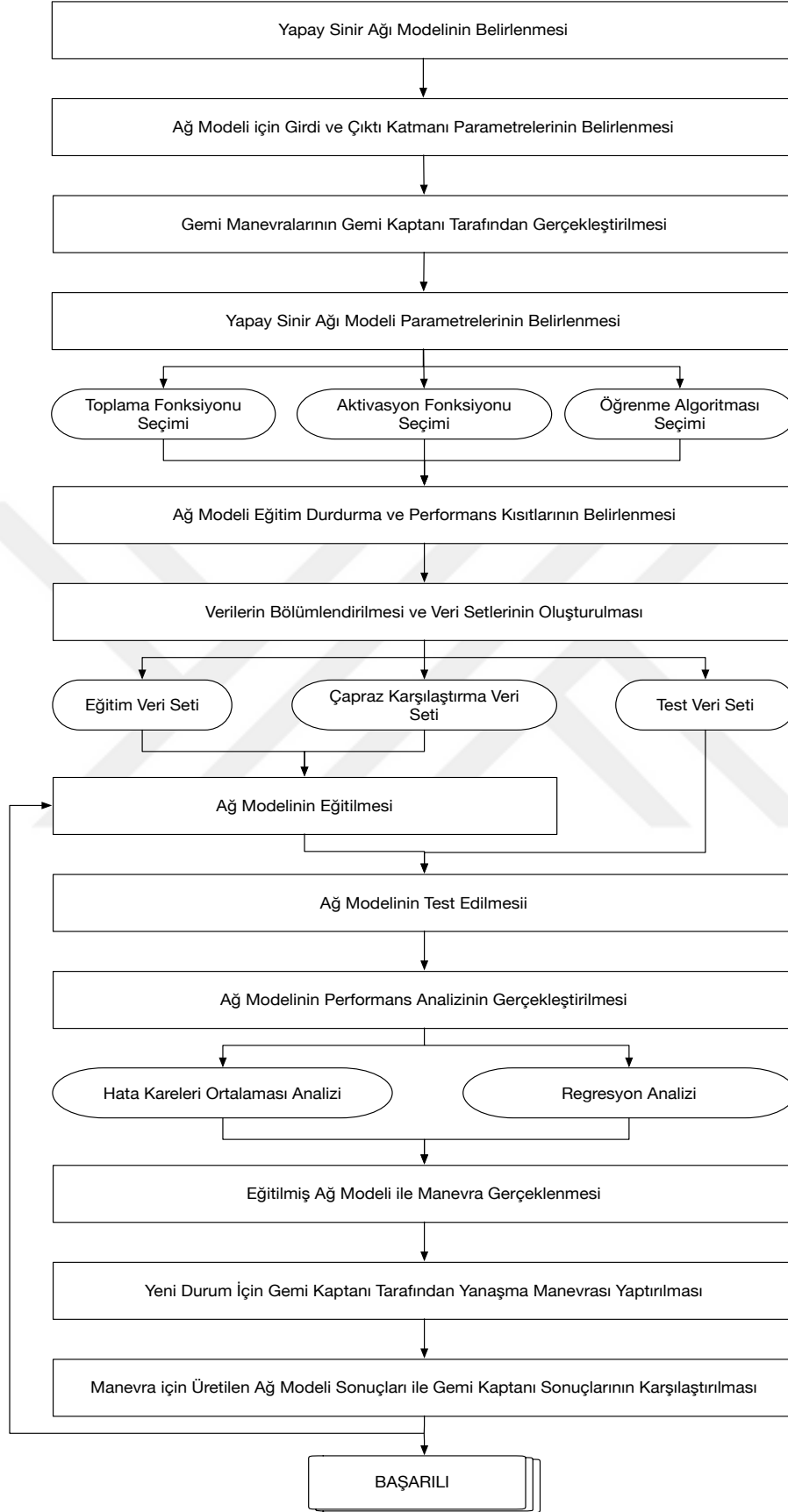
Uygulamanın yapılacağı liman tercihi olarak gerek limanın önemi (Williams, 2017) gerekse de simülatör ortamında gerçek zamanlı olarak hava-akıntı koşullarına uygun verilere sahip olunmasından dolayı Singapur Limanı tercih edilmiştir.

Tez kapsamında uygulama yapılmak üzere seçilen yöntem, gemi ve limanla ilgili olarak detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır.

2.1. Yöntem Seçimi

Yapay sinir ağları, özellikle matematiksel olarak modellenmesi zor veya mümkün olmayan problemlerin çözümlerinde matematiksel modele ihtiyaç duymadan, gerçek hayattaki olaylar ve olayların arkasındaki değişken etkenlerin birbirleri ile olan ilişkilerinden öğrenerek, bir problemin çözümü için günümüzde yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir.

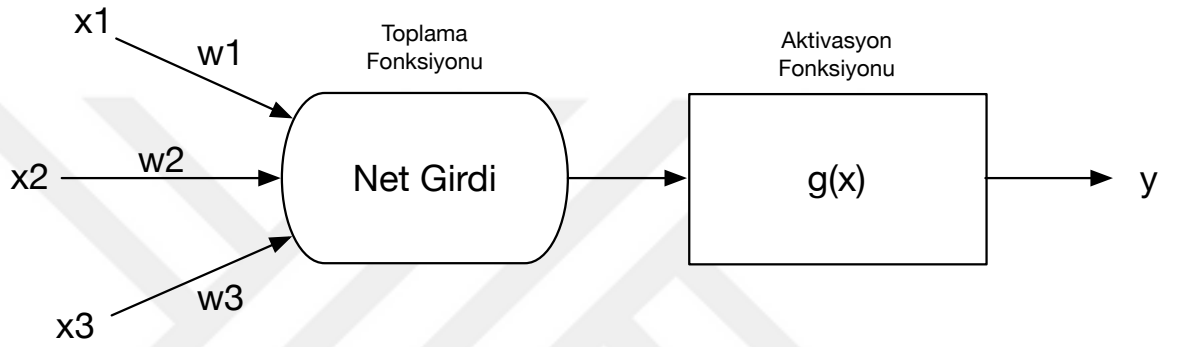
Bu tez çalışması kapsamında da otomatik gemi yanaşma manevralarının gerçekleşmesi, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilme, hata toleransına sahip olma, genelleme yapabilme, verileri kullanarak öğrenebilme gibi avantajları göz önünde bulundurularak yapay sinir ağları yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 30. Yapılan çalışmaların iş akış diyagramı

2.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Çalışma Prensibi

Şekil 31’de basit bir yapay sinir ağı örneği verilmiştir. x_1, x_2, x_3 girdi değerlerini, w_1, w_2, w_3 bu girdi değerlerinin ağırlıklarını ifade etmektedir. Toplama fonksiyonu ile ağı net girdisi hesaplanarak elde edilen değerler çıkışa çevrilmeye üzere aktivasyon fonksiyona iletilmektedir. Bu örnekte çıktı katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 31. Basit yapay sinir ağı örneği

Ağın girdi ve ağırlıklarını şu şekilde tanımlayabiliriz.

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,9 & w_1 &= 0,2 \\ x_2 &= 0,4 & w_2 &= -0,4 \\ x_3 &= 0,7 & w_3 &= 0,3 \end{aligned}$$

Bu değerleri kullanarak ağın net girdisini

$$\begin{aligned} \text{Net Girdi} &= \sum_i w_i x_i \\ &= (0,9 * 0,2) + (0,4 * -0,4) + 0,7 * 0,3 \\ &= 0,18 - 0,16 + 0,21 = 0,23 \end{aligned} \tag{47}$$

şeklinde elde ederiz. Çıkan bu sonucu sigmoid aktivasyonundan geçirirsek

$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{1}{1+e^{-0,23}} = 0,56 \quad (48)$$

şeklinde ağıımızın çıktısını elde ederiz. Elde edilen bu çıktının sonucu, gerçek verilerle karşılaştırılıp öncelikle olarak hata oranı elde edilir. Bu hata oranı, bizim istediğimiz/belirlediğimiz hata oranından düşük ise eğitim sonlandırılır ve ağ öğrenmiş kabul edilerek uygulama gerçekleştirilir. Eğer ki hata oranı istediğimiz değerlerden yüksek ise, bu sefer öğrenme algoritmasına göre başlangıç ağırlık değerleri değiştirilerek ağ yeniden eğitilir. Bu işlem hata oranı belirlenen değerine altına düşene kadar devam eder.

Yukarıda sözü edilen eğitim yöntemi tek katmanlı bir ağın tek bir hücresinin tek bir parametresi için gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı, birden fazla girdi ve/veya çıktının olduğu, proses elemanının birden fazla olduğu durumlarda her bir proses elemanı için aynı işlemler gerçekleştirilerek ağın eğitilmesi sağlanır.

2.1.2. Ağ Modelinin Seçimi Ve Veri Normalizasyonu

Tez çalışması kapsamında yapılacak çalışmalarda çok katmanlı algılayıcı modeli, ağ modeli olarak seçilmiştir. Ağın girdi parametrelerinin öğrenme için ağa tanıtılmadan önce normalize edilmesi gerekmektedir. Bu normalizasyon işlemi de aşağıdaki denklemlere göre gerçekleştirilebilir (G. Zhang vd., 1998):

a) [0,1] aralığında doğrusal dönüşüm (Sigmoid Fonksiyonu için)

$$x_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (49)$$

b) [a,b] aralığında doğrusal dönüşüm (Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu için)

$$x_n = (b - a) \frac{x_0 - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} + a \quad (50)$$

c) Basit normalizasyon işlemi

$$x_n = \frac{x_0}{x_{maks}} \quad (51)$$

Ağ modelimizde çalışma kapsamında hiperbolik tanjant fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu olarak seçilmiştir. Öğrenme işlemi öncesi verilerimizin normalizasyonu 50 numaralı denkleme göre, hiperbolik tanjant fonksiyonu için (-1,1) aralığında normalize edilmelidir.

2.1.3. Öğrenme Algoritması, Toplama ve Aktivasyon Fonksiyonu Seçimi

Ağımızda net girdilerin hesaplanması için toplama fonksiyonu olarak 52 numaralı denklemde belirtilen fonksiyon seçilmiştir.

$$\text{Net Girdi} = \sum_i w_i + x_i \quad (52)$$

Aktivasyon fonksiyonu olarak 53 numaralı denklemde ifade edilen hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, tüm katmanlarda verilerimizin işlenmesi için seçilmiştir.

$$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (53)$$

Öğrenme yöntemi olarak, yapay sinir ağlarının eğitiminde sunmuş olduğu hız ve kararlılık nedeniyle Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması seçilmiştir.

Yapay sinir ağları yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmalarda genellikle öğrenim algoritması olarak geri yayılım algoritması tercih edilmektedir (Wilamowski ve Yu, 2010). Birinci dereceden türev bilgisi gerektiren bu algoritma, kötü yakınsama hızı ve düşük eğitim verimi gibi dezavantajlara sahiptir (Ferrari ve Jensenius, 2008).

Eğim düşüm ve Newton algoritmalarından türetilen, ikinci dereceden türev gerektiren Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasında öğrenme hızının belirgin bir şekilde arttığı ve daha kararlı sonuçlar ürettiği görülmüştür (Wilamowski ve Chen, 1999). Sağladığı bu avantajlardan dolayı da günümüzde yapay sinir ağlarının eğitiminde öğrenme algoritması olarak tercih edilmektedir (Dohnal, 2004); (Khosravi vd., 2006).

Eğim düşüm ve Newton algoritmalarından türetilen Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması denklem 54'te verilmiştir (Çavuşlu vd., 2012).

$$\Delta\omega = (J^T J + \mu I) J^T e \quad (54)$$

Denkleimde yer alan ω ağırlık vektörünü, I birim matrisi, μ kombinasyon katsayısını ifade etmektedir. J, $[(P \times n), N]$ boyutunda Jacobian matrisini, e, $[(P \times n), 1]$ boyutunda hata vektörünü göstermektedir. Burada yer alan P eğitim örnek sayısını, n çıkış sayısını, N ise ağırlık sayısını ifade etmektedir. Levenbert-Marquardt algoritmasında parametre güncelleme işlemleri, tüm giriş örnek değerleri için oluşturulan hata vektörü ve Jacobian matrisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Jacobian matrisi ise denklem 55'te gösterilmiştir.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{11}}{\partial \omega_1} & \frac{\partial e_{11}}{\partial \omega_2} & \dots & \frac{\partial e_{11}}{\partial \omega_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{1n}}{\partial \omega_1} & \frac{\partial e_{1n}}{\partial \omega_2} & \dots & \frac{\partial e_{1n}}{\partial \omega_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{p1}}{\partial \omega_1} & \frac{\partial e_{p1}}{\partial \omega_2} & \dots & \frac{\partial e_{p1}}{\partial \omega_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{pn}}{\partial \omega_1} & \frac{\partial e_{pn}}{\partial \omega_2} & \dots & \frac{\partial e_{pn}}{\partial \omega_N} \end{bmatrix} \quad (55)$$

Hata vektörü de denklem 56'ya göre elde edilmektedir.

$$e = \begin{bmatrix} e_{11} \\ \dots \\ e_{1n} \\ \dots \\ e_{p1} \\ \dots \\ e_{pn} \end{bmatrix} \quad (56)$$

54 numaralı denklemle ifade edilen güncelleme denklemindeki μ ayarlanabilir bir parametre olup ayarlama işlemi 57 numaralı denkleme göre gerçekleştirilmektedir.

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu(t) * k & E(t) > E(t - 1) \\ \mu(t)/k & E(t) \leq E(t - 1) \end{cases} \quad (k = sbt) \quad (57)$$

2.1.4. Ağ Performansının Ölçülmesi

Bir problemin çözümüne yönelik olarak geliştirilen algoritma/modellerin performansı, modelin hem ne kadar hızlı çalıştığı hem de sonuçların ne kadar doğru olduğu ile ölçülür. Hızlı sonuç üreten ağların başarılı gibi görünse de elde edilecek kötü sonuçlar genel olarak ağın da kötü sonuç vermesine sebep olacaktır. Ağın eğitimi konusunda önemli olan nokta, öncelikle, ağın doğru sonuç üretmesidir. Bu noktada da ağın ürettiği sonuçların doğruluğu ve buna bağlı olarak da ağın performansının ölçülmesi gerekmektedir. Ağın sonuçlarının doğruluğu da ağ tarafından tahmin edilen sonuçların tahmin hatalarının analizi ile mümkün olmaktadır. En basit ifadeyle bir tahmin hatası (e), gerçek çıktı değeri (Y) ile ağ tarafından tahmin edilen çıktı değerinin (F) arasındaki fark olarak ifade edilebilir.

$$e = Y - F \quad (58)$$

Denklem 58'den elde edilen tahmin hataları, denklem 59'daki hata kareleri ortalaması eşitliğinden geçirilerek hata miktarı hesaplanır ve buna bağlı olarak da ağın performans ölçümü gerçekleştirilmiş olur.

$$\text{Hata Kareleri Ortalaması (HKO)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (59)$$

Elde edilen bu hata kareleri ortalamasının değerinin bilinmesinin tek başına bir anlamı olmadığı, bunun yerine ortalama mutlak yüzde hata değerinin bilinmesinin daha önemli olduğu ifade edilmektedir (Makridakis vd., 1983).

$$\text{Yüzde Hata (YH)} = \frac{e_t}{Y_t} * 100 \quad (60)$$

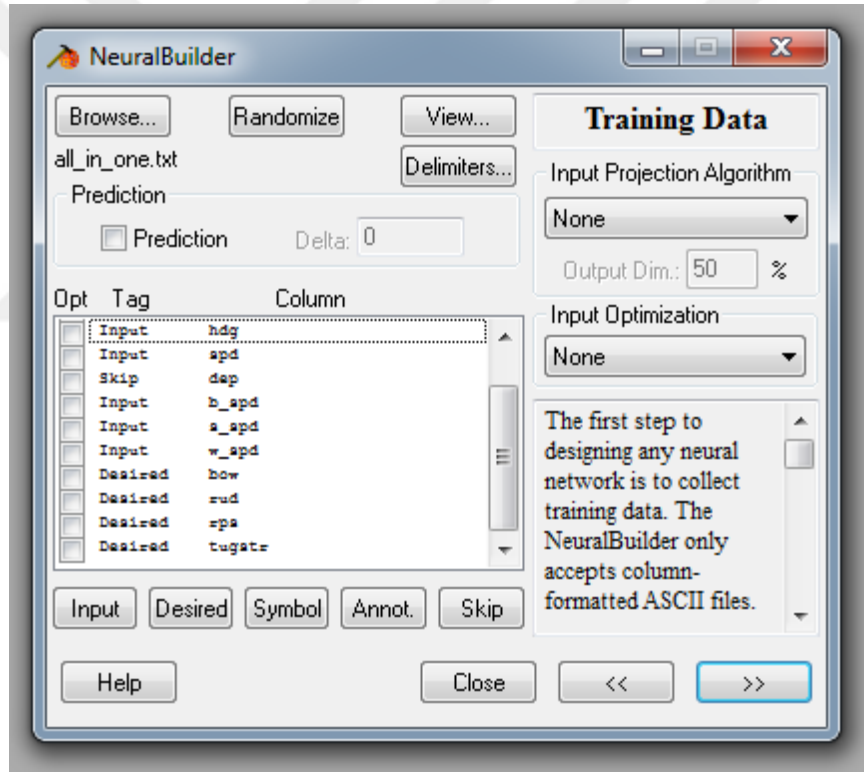
$$\text{Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| * 100 \quad (61)$$

Denklem 60 ve 61 kullanılarak ağ tarafından üretilen sonuç ile gerçek sonuçlar karşılaştırılarak hata oranı belirlenir ve buna bağlı olarak da ağın performansına dair yorum yapılarak eğitim tamamlanır ve ağ eğitilmiş kabul edilir veya hata oranını azaltmaya yönelik olarak ağırlıkların değiştirilmesi sağlanarak ağın eğitilmesine devam edilir.

2.1.5. Ağın Modellenmesi İçin Kullanılacak Uygulama Platformu Seçimi

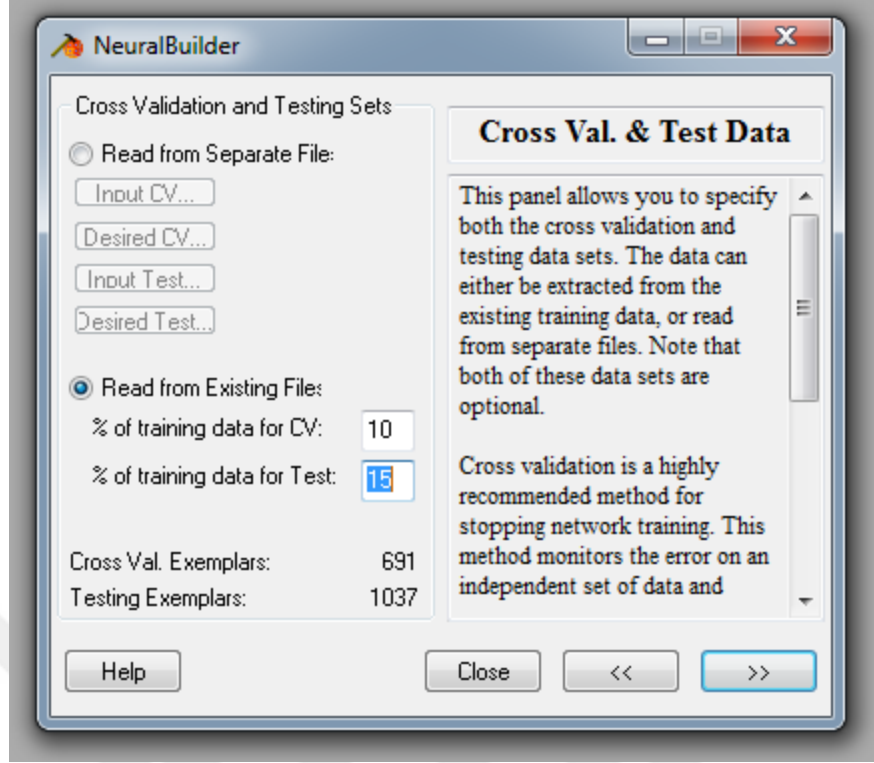
Tez kapsamında gemi yanaşma manevralarının kontrol edilmesine yönelik olarak tasarlanacak olan yapay sinir ağı modeli NeuroDimension firmasına ait NeuroSolutions 6.0 yazılımı ile geliştirilmiştir ve modellenmiştir.

Ağ modeli NeuroSolutions 6.0 uygulamasının NeuralBuilder modülü ile modellenmiştir. Şekil 32’de gösterilen arabirim üzerinden, ağ eğitiminde kullanılacak olan veri seti uygulama tanıtılmaktadır. Buradan veri setinde yer alan parametrelerin giriş ve çıkış olarak tanımlanması gerçekleştirilmektedir. Ayrıca veri normalizasyonu ve veri setindeki verilerin karmaşılaştırılması işlemleri de bu arabirim üzerinden gerçekleştirilmektedir.



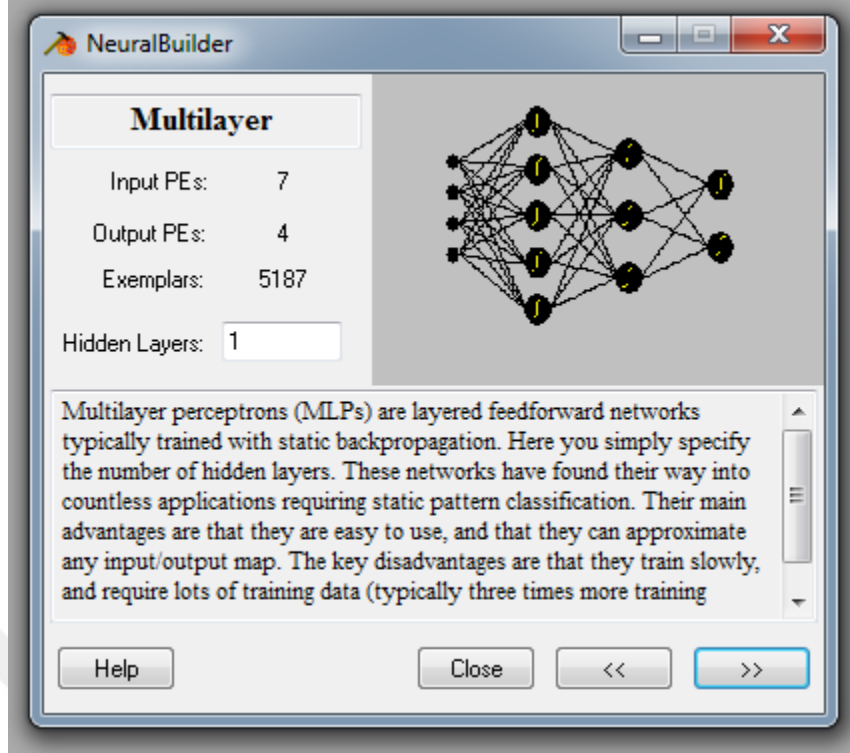
Şekil 32. NeuralBuilder ile ağ verilerinin içe aktarılması

Şekil 33’te ekran görüntüsü verilen arabirimde ise verinin bölümlendirilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu arabirim üzerinde tüm veri seti, eğitim, çapraz karşılaştırma ve test verisi olarak bölümlendirilmektedir.



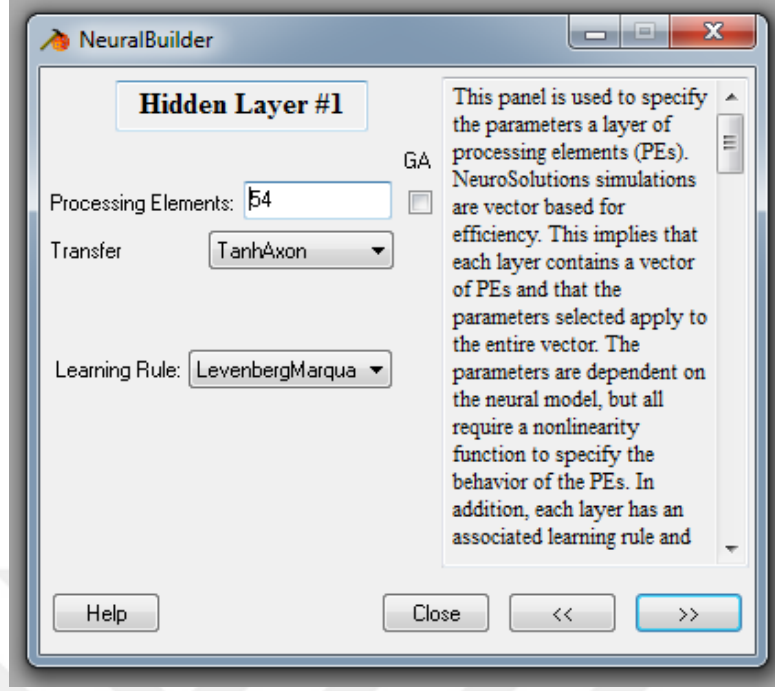
Şekil 33. Ağ modeli için kullanılacak verilerin bölümlendirilmesi

Şekil 34'te ise gizli katman seçimi yapılmaktadır. Ekran halihazırda ağın girdi ve çıktı parametrelerine bağlı olarak girdi katmanı ve çıktı katmanındaki proses elemanı sayıları görülmektedir. Bu ara birim kullanılarak eğitim için hazırlanan modelin gizli katman sayısı belirlenmektedir.

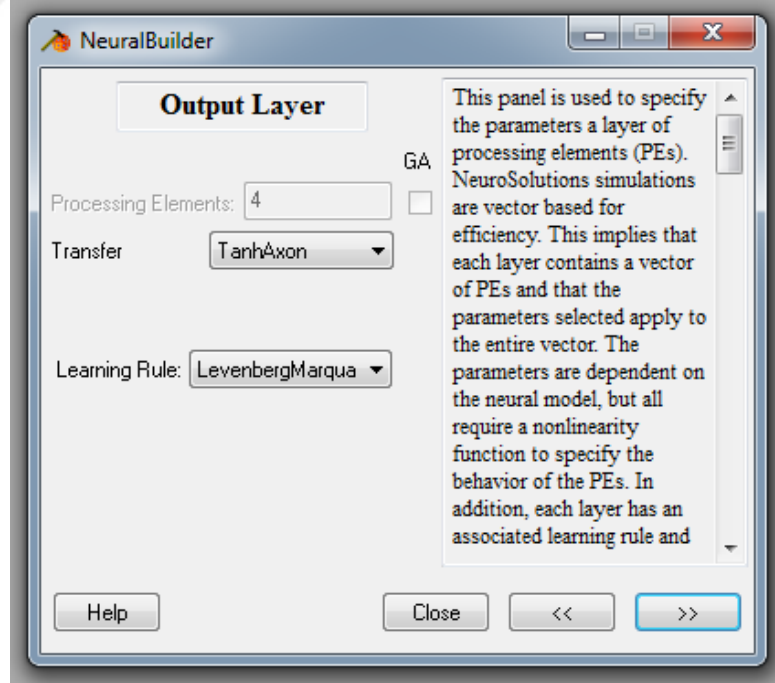


Şekil 34. Gizli katman sayısının belirlenmesi

Şekil 35'te gizli katmanda yer alacak proses elemanı sayısı ile birlikte eğitim esnasında gizli katmanda kullanılacak olan aktivasyon fonksiyonları ve öğrenme algoritmalarının tanımlanması, Şekil 36'da ise çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonu ile öğrenme algoritmasının tanımlanmasının yapıldığı arabirim gösterilmektedir.

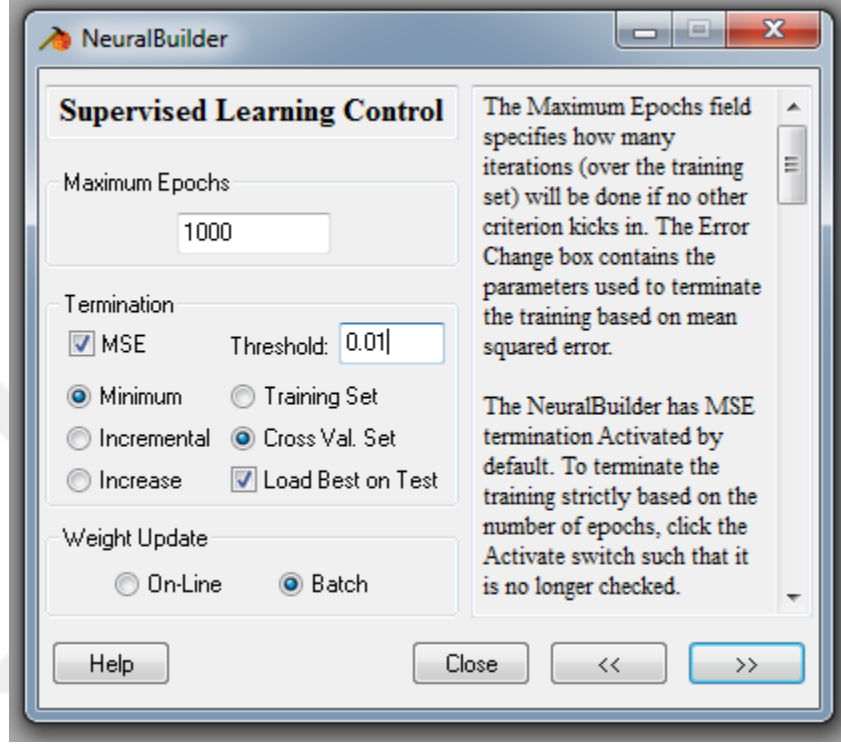


Şekil 35. Gizli katmandaki proses eleman sayısı, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasının seçimi



Şekil 36. Çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonu ile öğrenme algoritmasının seçimi

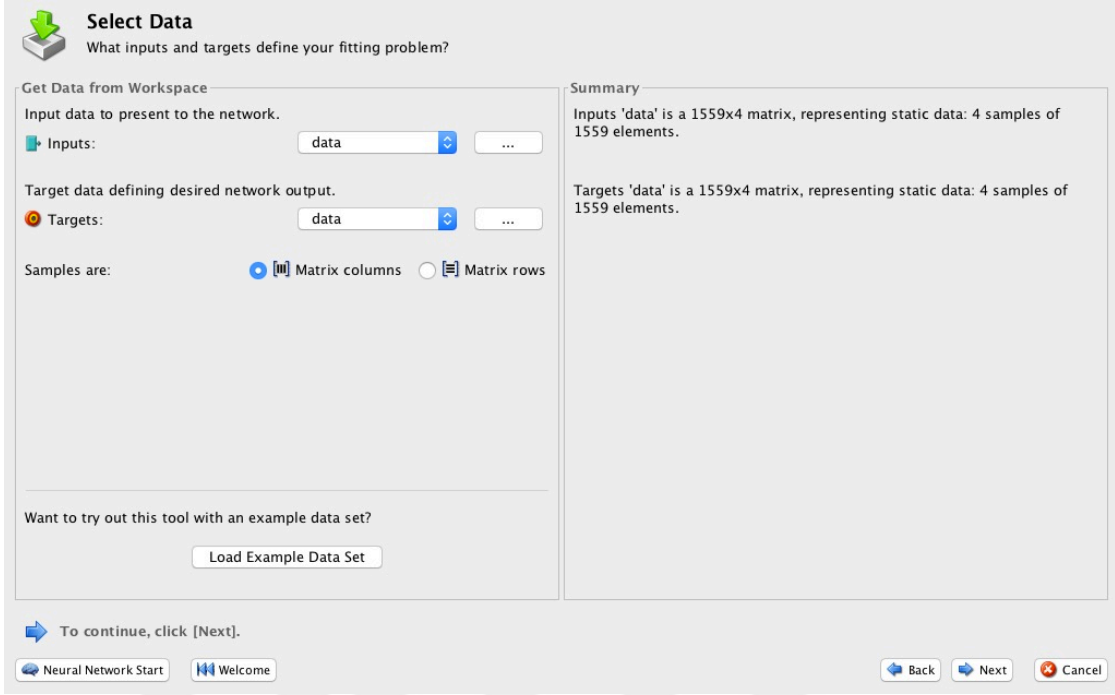
Şekil 37’de yer alan uygulama arabiriminde veri setindeki her bir verinin ağa toplam kaç kez tekrar edecek şekilde gösterileceği belirlenirken aynı zaman ağı performans kriteri olarak kullanılacak parametrelerin tanımlanması da gerçekleştirilmektedir.



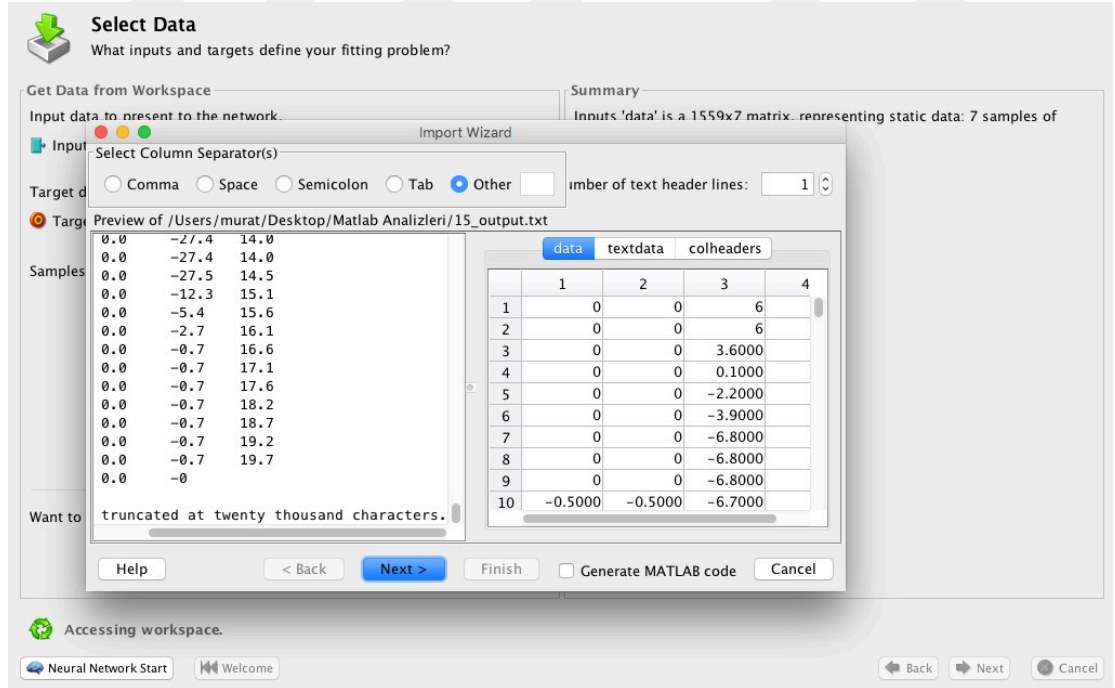
Şekil 37. Ağın performans kriterlerinin tanımlanması

Ağın çıktılarının performans testleri ise MathWorks firmasının MATLAB R2015b yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. MATLAB yazılımı ile gerek hata kareleri ortalaması gerekse de regresyon analizleri yapılmış olup elde edilen sonuçlara göre öğrenmenin tamamlanmasına veya öğrenmeye devam edilmesine karar verilmiştir.

Şekil 38 ve Şekil 39’da veri setlerinin MATLAB’ın Neural Network Toolbox’ı aracılığıyla uygulamada içe aktarılması gösterilmektedir. NeuroSolutions’ın aksine MATLAB’ta veriler matris formunda içe aktarılmaktadır.

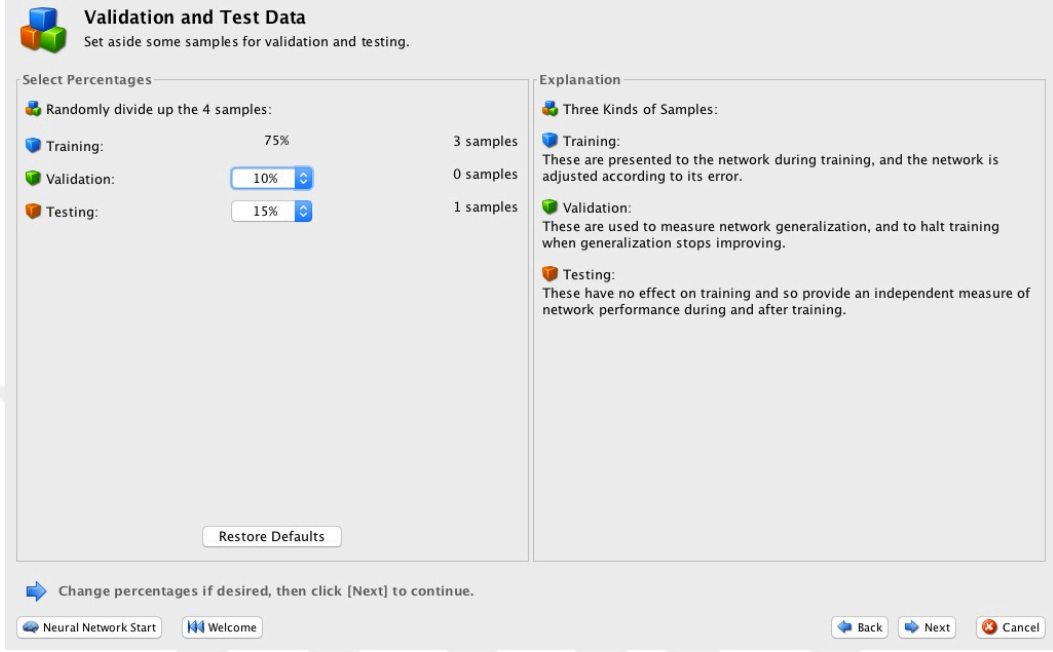


Şekil 38. Veri setlerinin MATLAB uygulamasında içe aktarılması

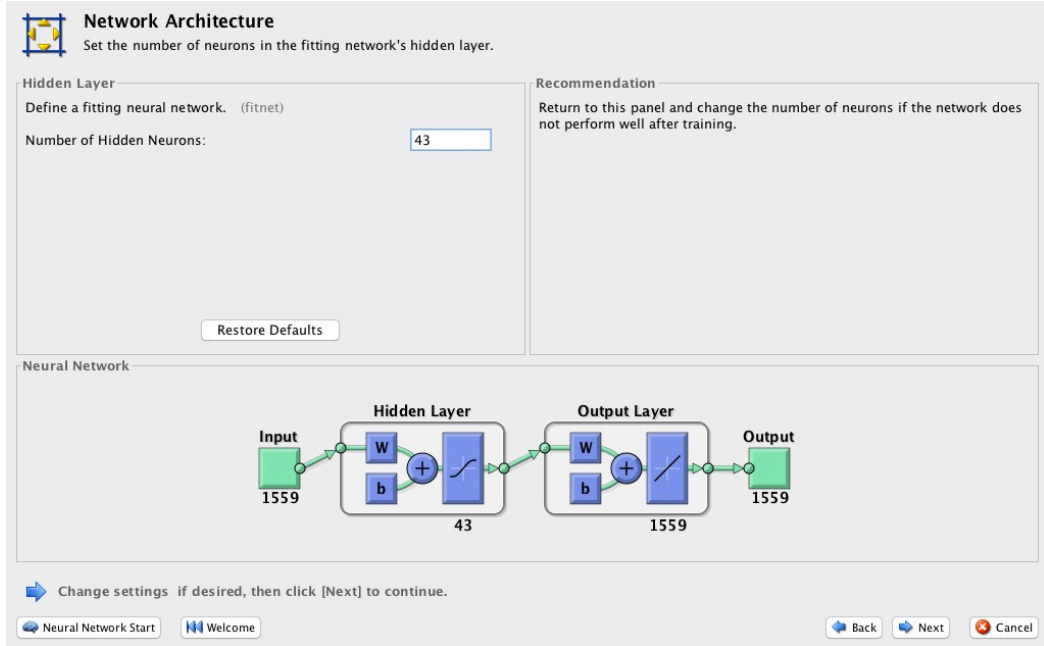


Şekil 39. MATLAB Neural Network Toolbox'ı ile veri setlerinin içe aktarımı

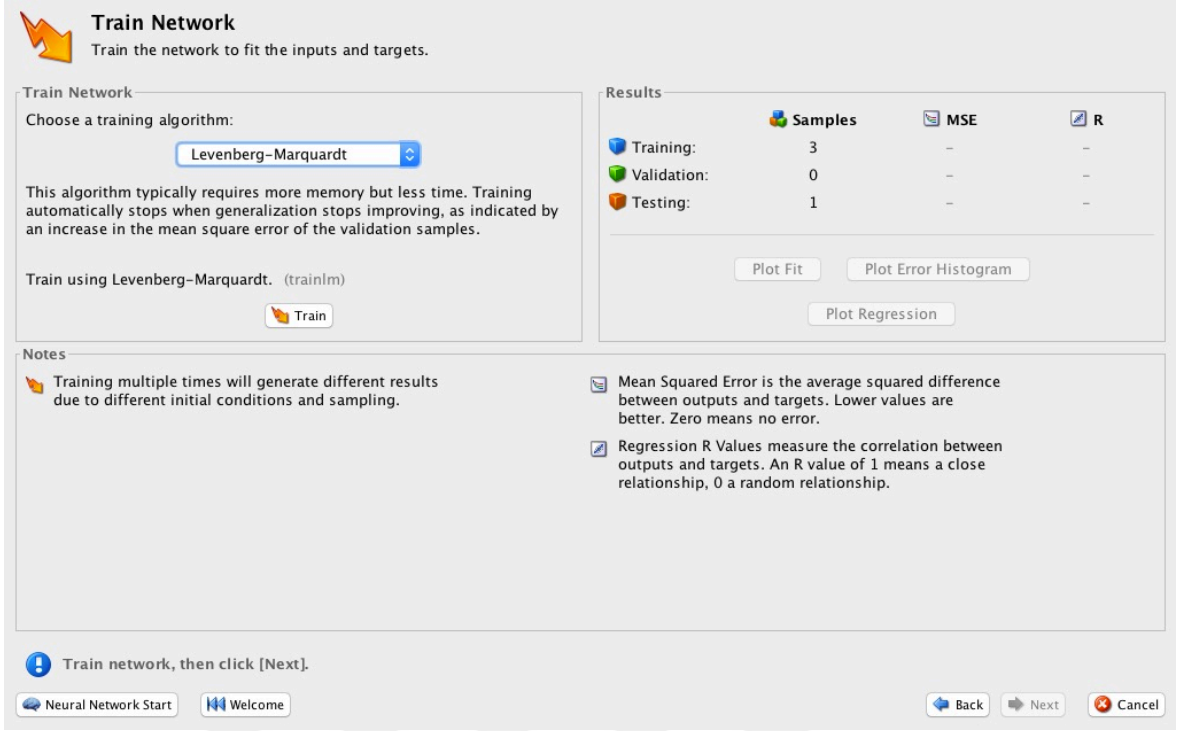
Şekil 40 ve Şekil 41’de ise veri setlerinin bölümlendirilmesi ve proses eleman sayılarının belirlenmesi işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 40. Veri setinin MATLAB ortamında bölümlendirilmesi



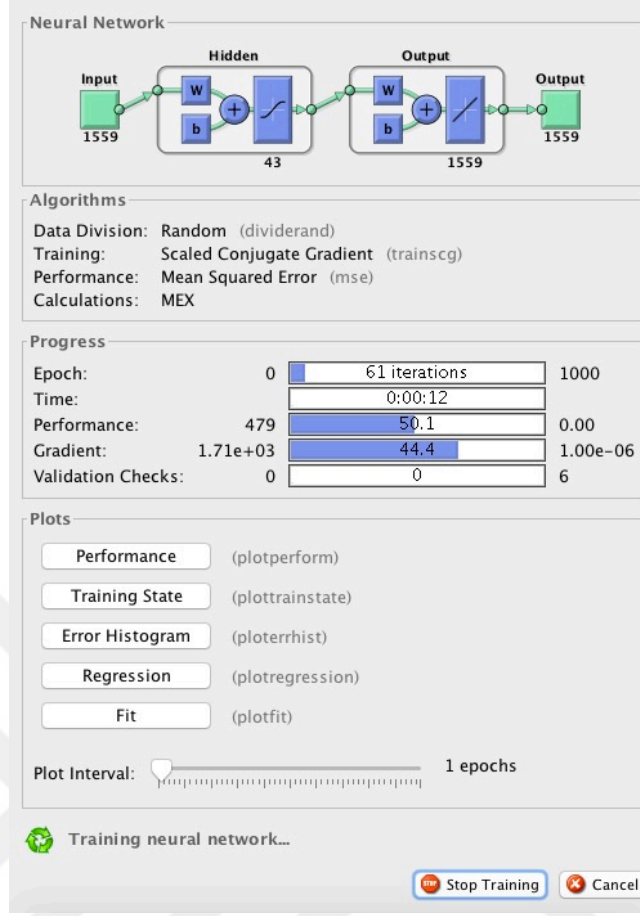
Şekil 41. Gizli katman sayısının tanımlanması



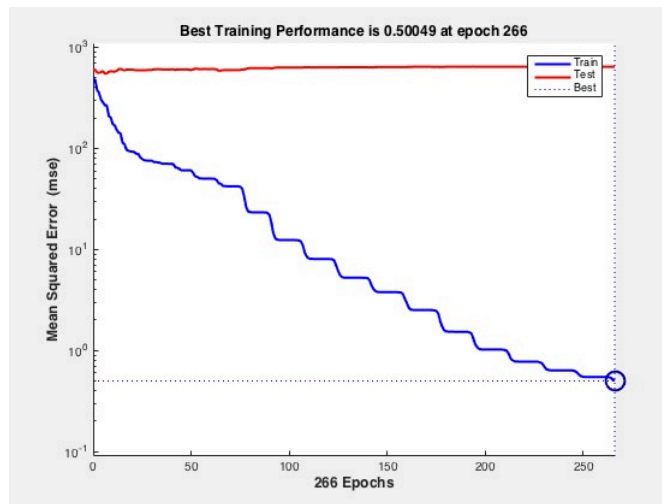
Şekil 42. Öğrenme algoritmasının seçimi

Şekil 42’de uygulama içinden öğrenme algoritmasının seçim ekranı gösterilmektedir. Şekil 43’de ise oluşturulan ağa dair genel bilgiler yer almaktadır. Bu ekrandan eğitim süreci, eğitimin performansı ve her bir ağa yeniden gösterimin performans kriterleriyle değişimi anlık olarak takip edilebilmektedir.

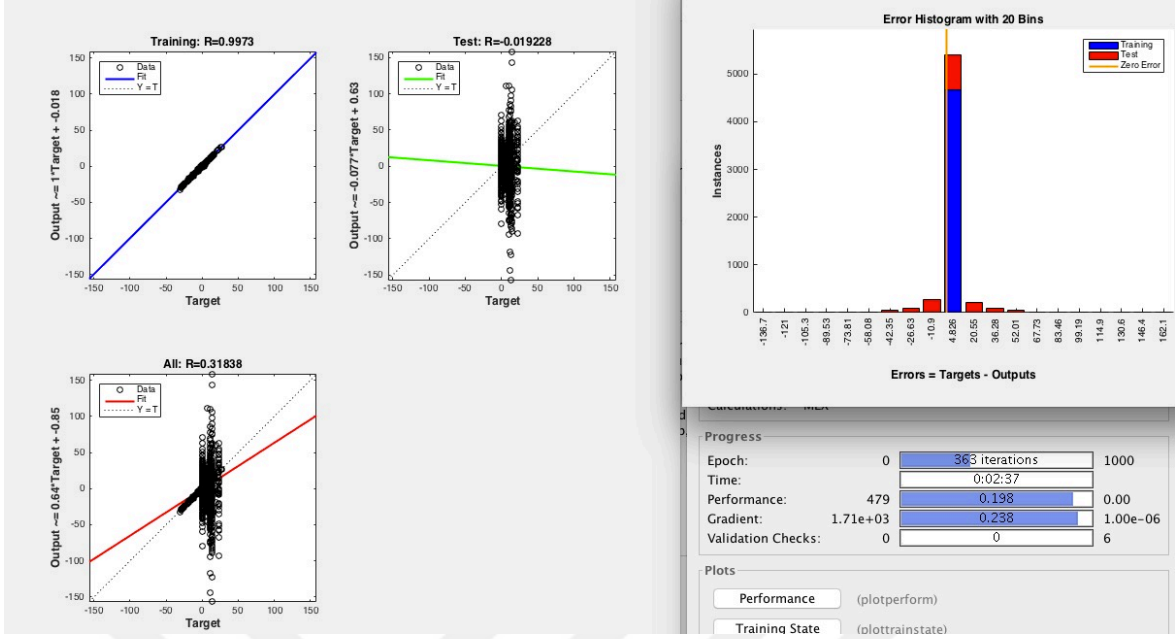
Şekil 44’te eğitim süreciyle değişen hata kareleri ortalamasının ağın eğitimine bağlı değişimi, Şekil 45’te ise bir diğer performans kriteri olan regresyon analizinin ağın eğitimiyle değişimi anlık olarak takip edilebilmektedir.



Şekil 43. MATLAB Neural Network Toolbox'ında eğitim sürecinin takibi



Şekil 44. Hata kareleri ortalaması performans kriterinin eğitim esnasındaki değişimi



Şekil 45. Performans ölçütlerinden regresyon analizinin eğitim sürecine göre değişimi

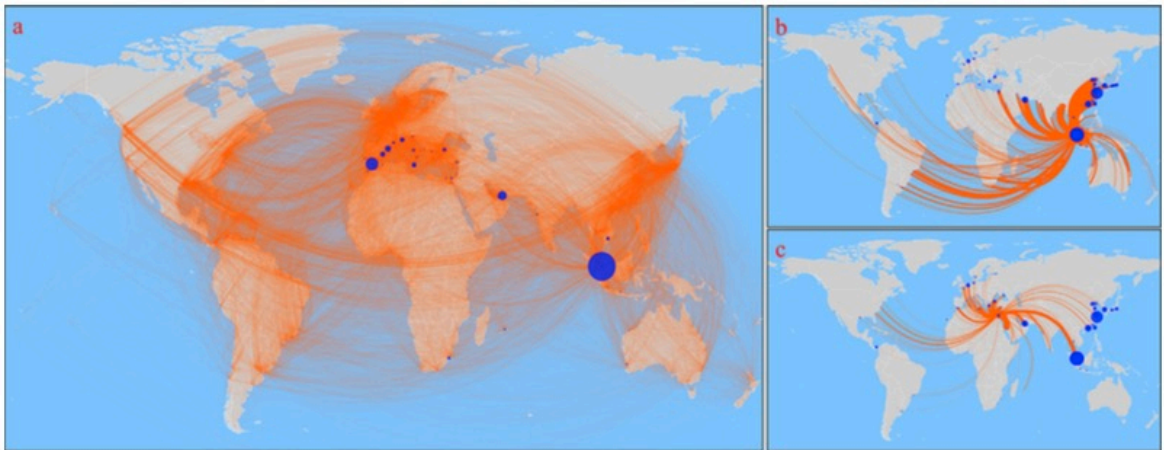
2.2. Liman Seçimi

Asya kıtasının en güneyinde, Malay Yarımadasının güney ucunda, Malakka Boğazı, Güney Çin Denizi ve Cava Denizi'nin kesişim bölgesinde yer alan Singapur (Şekil 46), gerek coğrafik stratejik konumu gerekse de doğal liman olma özelliği sayesinde son 50 yıllık süreçte artan şekilde başlıca ticaret limanlarından biri haline gelmiştir (Sin vd., 2016). Singapur Boğazı, batısında Malakka Boğazı ile doğusunda Güney Çin Denizi'ni birbirine bağlayan, 105 km uzunluğu ve 16 km genişliği ile dünyanın en önemli ve en yoğun denizyollarından biri konumundadır. 2005 ile 2015 yılları arasında %29.3 oranında gemi trafiği artışı gösteren Singapur Boğazı, özellikle ticari gemiler ve deniz kuvvetleri tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır (Meng vd., 2017; Qu ve Meng, 2012). 2016 yılında, Malakka Boğazı ve Singapur Boğazı sayesinde, Singapur, dünyanın en büyük üç ham petrol arıtma merkezlerinden biri olurken aynı zamanda en büyük üçüncü ham petrol ve petrol ürünleri ticaret merkezi ve ortalama 130 bin geminin uğradığı liman konteyner hacmi bakımından dünyanın en büyük ikinci konteyner limanı konumuna gelmiştir (Kang vd., 2018; UNCTAD, 2018).



Şekil 46. Singapur ülke planı ve konumu

Dünyadaki ticari malların yaklaşık üçte birini taşıyan ve 120 ülkeden 600'den fazla limanı birbirine bağlayan Hint Okyanusu-Pasifik Okyanusu arasındaki en kısa rota üzerinde bir geçit olan Singapur Limanı, içerisinde herhangi bir zamanda yaklaşık 1000 gemi bulunan, ortalama her 2-3 dakikada bir gemilerin girip çıktığı yoğun bir limandır (MPA, 2014; L. Zhang vd., 2015) (Şekil 47).



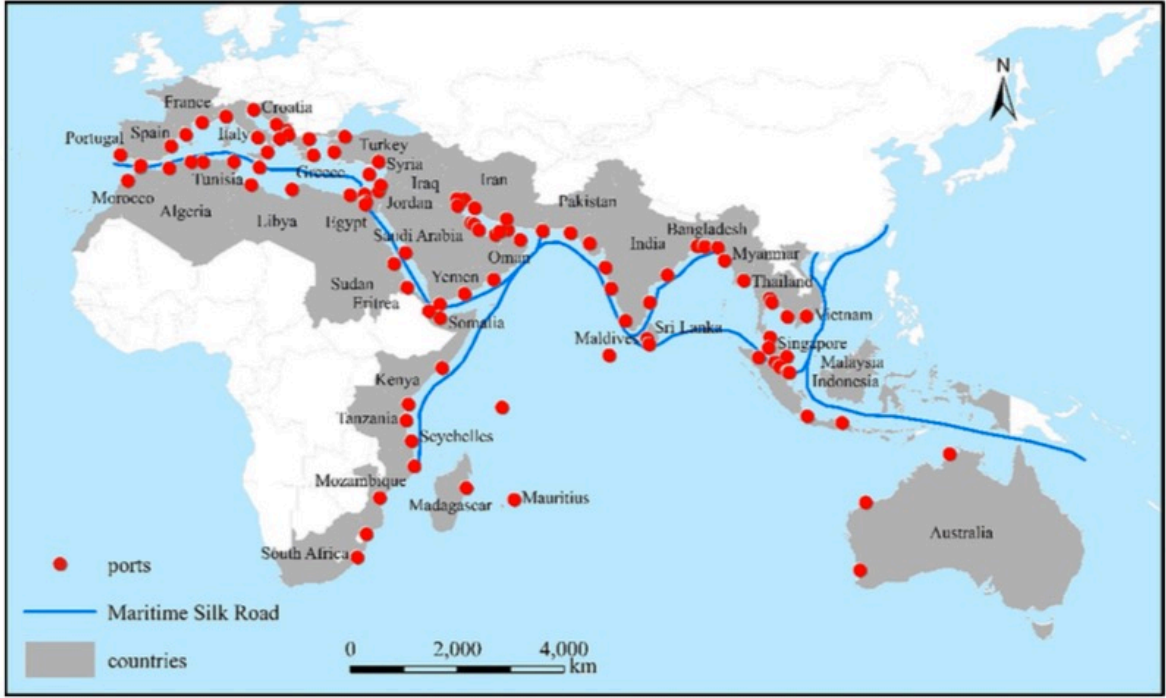
Şekil 47. Küresel deniz taşımacılığı ağı: (a) Tüm limanlar, (b) Singapur, (c) Port Said (Peng vd., 2018)

Tablo 6’da da görüleceği üzere 2018 yılında, bir önceki yıl gerçekleştirilen 33,7 milyon TEU adetlik konteyner işlem miktarını %8,7 oranında arttırarak 36,6 milyon TEU adete çıkarmış olup toplamda 630 milyon tonluk kargo yükleme/boşaltma gerçekleştirilmiştir. 2018 yılında toplam 140768 geminin yanaştığı Singapur Limanı, aynı zamanda dünyanın lider yakıt ikmal limanı unvanını da korumuştur (Soh, 2019).

Tablo 6. 2014-2018 yılları arası Singapur Limanı performansı (Soh, 2019)

Yıl	Gelen Gemi Tonajı (milyar GT)	Konteyner Çıkış Hacmi (milyon TEU)	Kargo Çıkış Hacmi (milyon ton)	Yakıt Satış Hacmi (milyon ton)
2014	2,37	33,9	581,3	42,4
2015	2,50	30,9	575,8	45,2
2016	2,66	30,9	593,3	48,6
2017	2,80	33,7	627,7	50,6
2018	2,79	36,6	630,0	49,8

Aynı zamanda Singapur, Çin tarafından önerilen ve 21. Yüzyıl Denizcilik İpek Yolu Girişimi olarak adlandırılan (Şekil 48), değişen küresel ve politik ticaret koşullarındaki 51 ülkeyi deniz yolu ile birbirine bağlamayı amaçlayan ve ticari ilişkileri geliştirmek üzere ortaya çıkan girişimin de önemli limanlarından biri olmaktadır (Wang vd., 2018).



Şekil 48. Denizcilik İpek Yolu Girişimi Limanları'nın dağılımı (Peng vd., 2018)

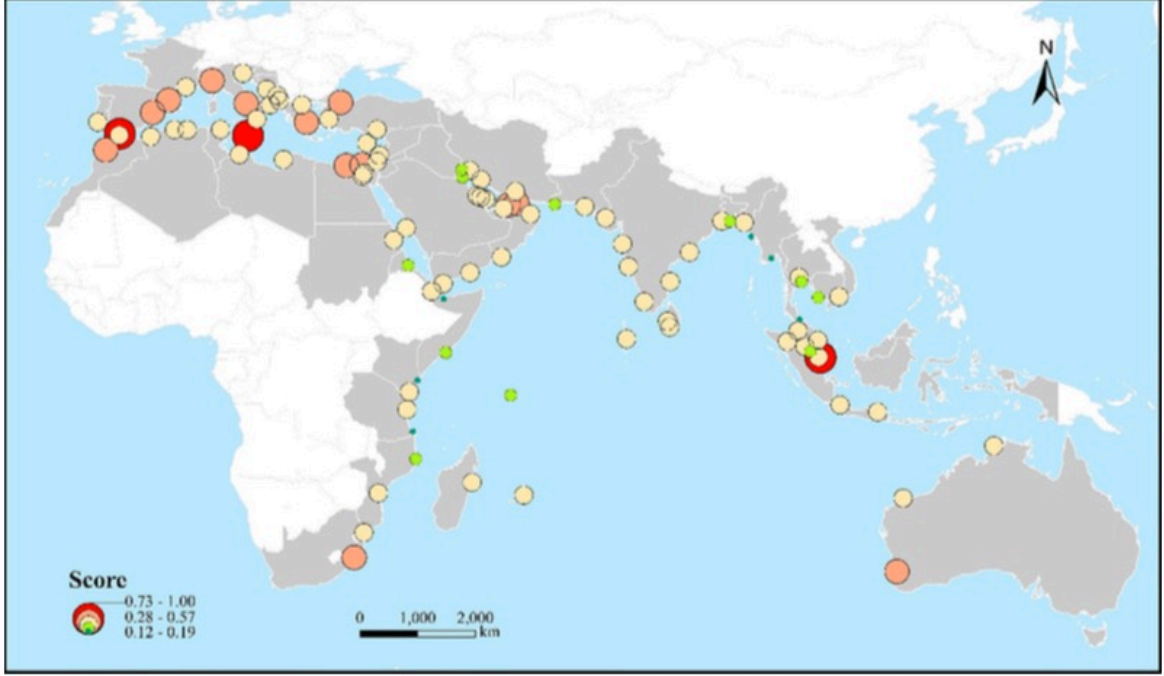
Ayrıca, 2017 yılında Menon Economics tarafından yayınlanan Dünyanın Önde Gelen Denizcilik Başkentleri Raporu'na göre de Singapur Limanı nakliye, denizcilik teknolojileri ve limanlar ve lojistik konularında birinci olmanın yanı sıra Tablo 7'de de görüleceği üzere genel sıralamada da birinci olmuştur.

Tablo 7. 2017 yılı dünyanın önde gelen denizcilik başkentleri (Williams, 2017).

Sıra	Nakliye	Finans / Kanunlar	Denizcilik Teknolojileri	Limanlar / Lojistik	Cazibe / Rekabet	Genel Ortalama
1	Singapur	Londra	Oslo	Singapur	Singapur	Singapur
2	Hamburg	Oslo	Singapur	Şangay	Oslo	Hamburg
3	Atina	New York	Tokyo	Rotterdam	Kopenhag	Oslo
4	Londra	Singapur	Şangay	Hong Kong	Hamburg	Şangay
5	Hong Kong	Şangay	Busan	Hamburg	Dubai	Londra

Peng ve arkadaşlarının (2018) Denizcilik İpek Yolu Girişimi'ni değerlendirmek üzere yaptıkları ve limanların fiziksel ve coğrafi koşulları, kapasiteleri, potansiyelleri,

verimlilikleri gibi kriterleri kapsayan çalışmaları sonucunda Singapur Limanı, en yüksek puanı alan 10 limandan biri olarak da belirlenmiştir.

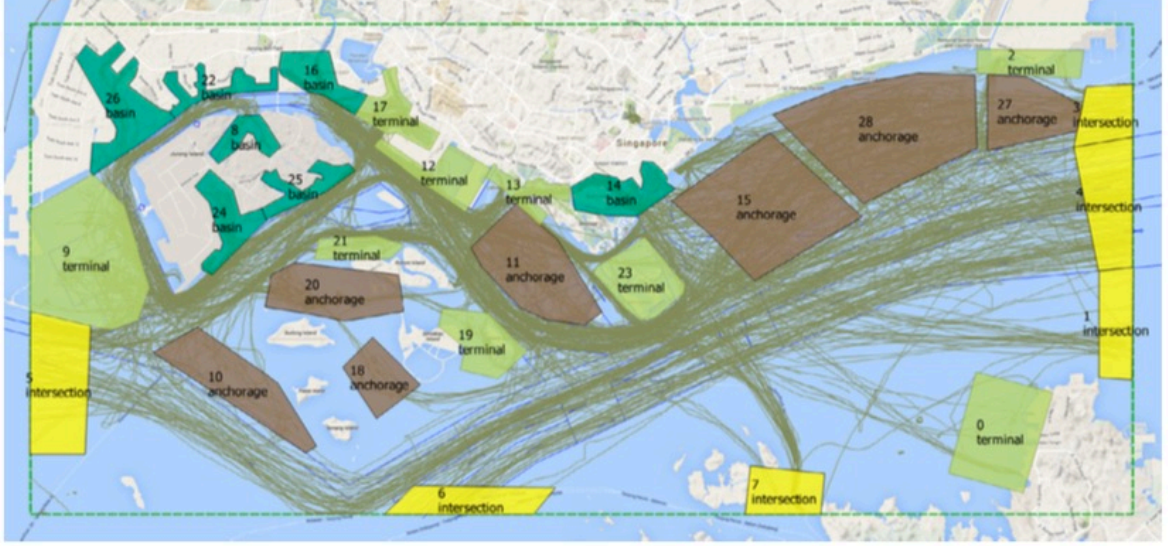


Şekil 49. Çeşitli limanların kapsamlı rekabet edebilirliğini gösterir harita (Peng vd., 2018)

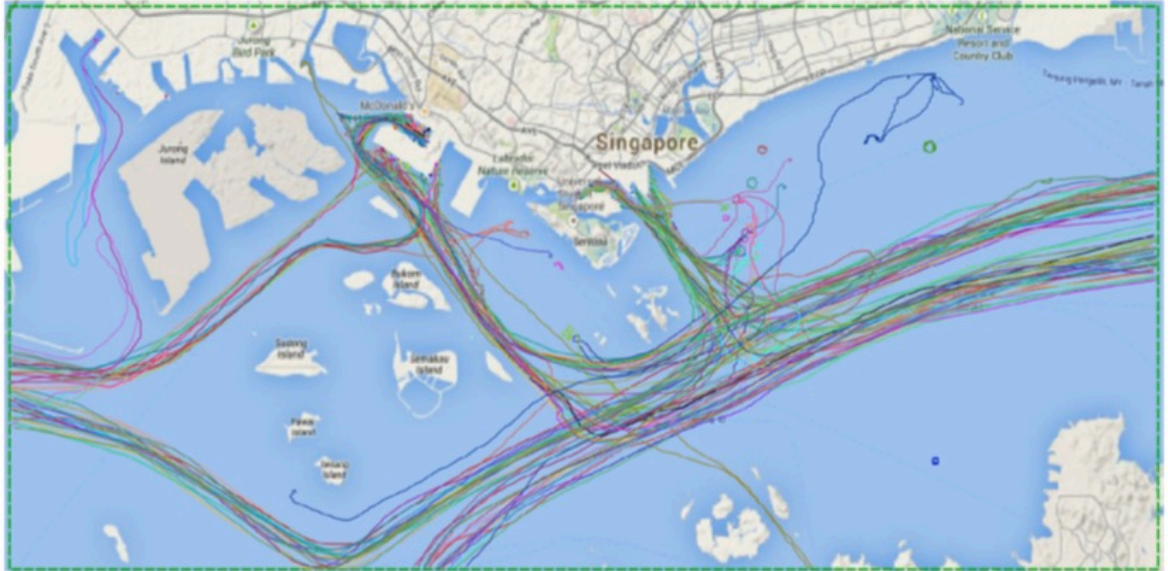
Şekil 49’da yer alan haritada 0.73-1.0 aralığındaki değerlere sahip olan ve kırmızı nokta ile gösterilmiş limanlar araştırma parametrelerini en iyi sağlayan limanlar olarak ifade edilebilir.

Şekil 50’de Singapur Limanı’nın trafik bölgeleri verilmiştir. Şekil 51’de ise Singapur Limanı’nda giriş/çıkış yapan konteyner gemilerinin yol izlerinin bulunduğu harita verilmiştir. Her iki haritadan da görülebileceği üzere liman trafiği oldukça yoğundur. Küresel lojistik ağının en önemli düğüm noktalarından biri, aynı zamanda dünya denizcilik endüstrisinde hayati öneme sahip olan Singapur Limanı’ndaki bu trafik yoğunluğuna bağlı olarak meydana gelebilecek bir kaza veya tıkanıklık sonucu limanın; boğazın geçici olarak kapalı kalması günlük yaklaşık 10 milyon \$’lık kayıplara neden olabileceği öngörülmektedir (L. Zhang vd., 2017). Bu noktada özellikle bu kadar yoğun hareketliliğin olduğu liman dışı/içi bölgelerinde seyreden gemilerin gerek dış etmenlere bağlı kendi hareketlerini takip ve kontrol edebilmeleri gerekse de diğer gemilerle haberleşerek

birbirlerinin pozisyonlarına göre kendi rota/manevralarını düzeltebilmeleri önem arz etmektedir.

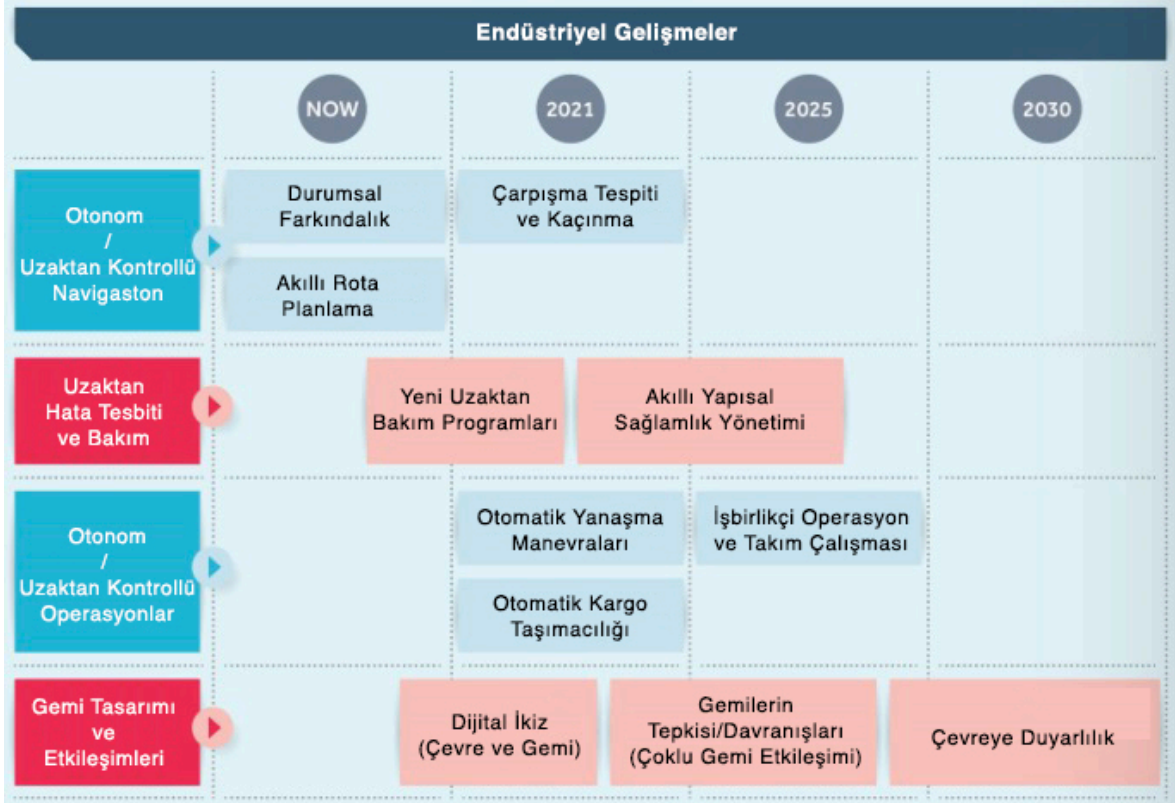


Şekil 50. Singapur Limanı etrafındaki trafik bölgesi (L. Zhang vd., 2017)



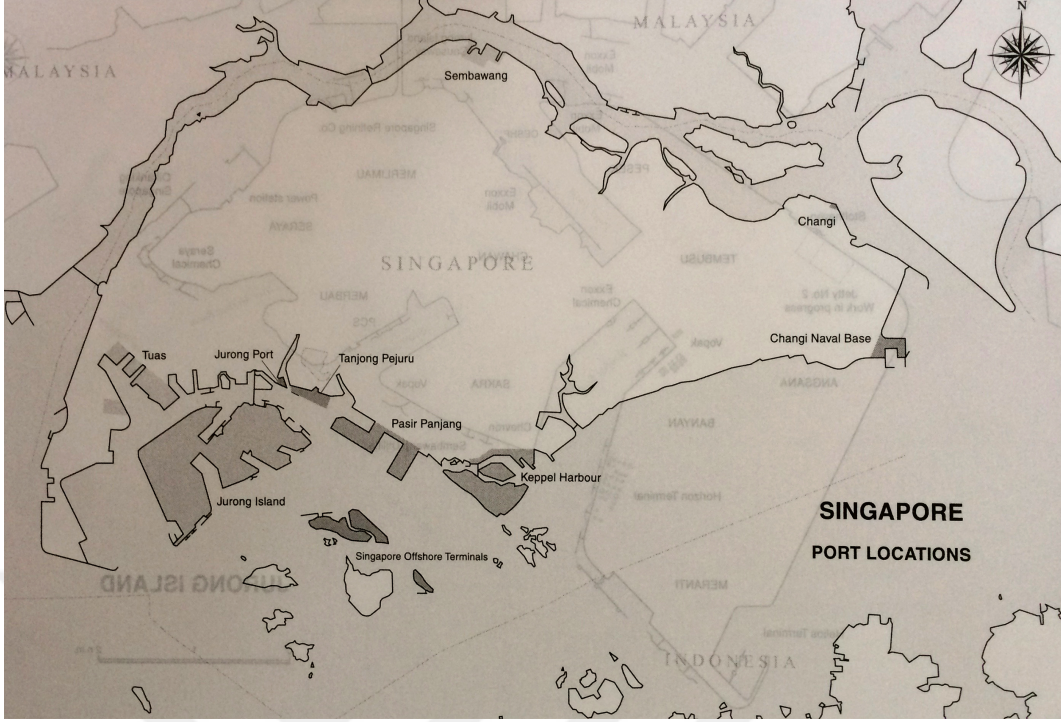
Şekil 51. Konteyner gemilerinin izlediği yollar (L. Zhang vd., 2017)

Singapur Denizcilik Enstitüsü'nün 2019 yılında yayınladığı raporda da görüldüğü üzere (Şekil 52) Singapur Limanı için hazırlanan 2021-2030 yol haritasında 2019 yılı itibariyle otonom gemi ve denizcilik sistemleri konusunda çalışmaların hayata geçirileceği, 2021 itibariyle de gemi yanaşma manevralarının otomatikleştirilmesine yönelik olarak planlamaların yapıldığı görülmektedir (MPA, 2019).



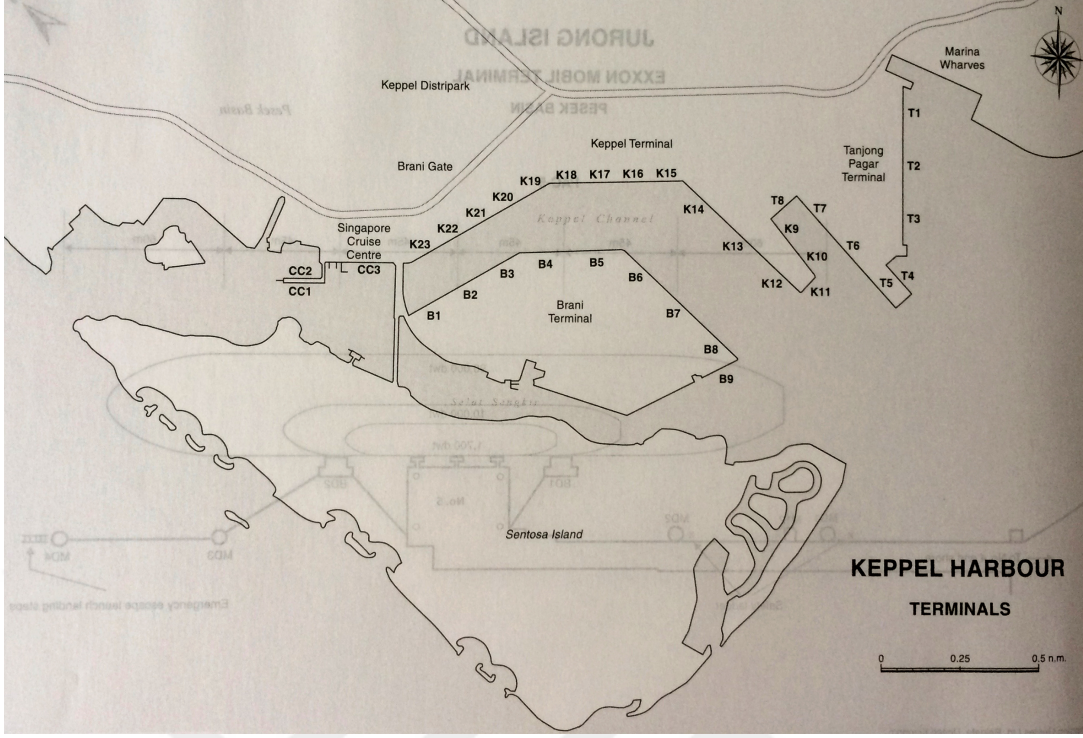
Şekil 52. Singapur Limanı için gelecek yol haritası (2019-2030) (MPA, 2019)

Tez çalışması kapsamında uygulama yapılırken de dünya denizciliği ve küresel ticaret açısından önemi, otomatik gemi yanaşma manevralarıyla ilgili olarak çalışmalara öncülük ediyor olmaları göz önünde bulundurularak Singapur Limanı tercih edilmiştir.



Şekil 53. Singapur Limanı'ndaki liman yerlerinin dağılımı (GTPE, 2018)

Buna ek olarak, limandaki anlık rüzgar ve akıntı durumlarına olan erişim sayesinde yapılacak olan simülasyon ve uygulamalar sonucunda el edilecek veri setleri ile modellenecek yapay sinir ağının daha etkili bir öğrenme gerçekleştireceği ve eğitim sonrası ağ modelinin uygulama performansını test etmede aşamasında da sonuçların gerçeğe yakınlığı açısından Singapur Limanı simülasyon sisteminde, modelimizin eğitim ve uygulamasının yapılacağı liman olarak seçilmiştir. Şekil 53'te Singapur Limanı'nın daha yakın bir görüntüsü şematik olarak verilmiş olup haritada ayrıca limanda yer alan terminaller detaylı olarak gösterilmiştir. Gemi yanaşma manevralarının gemi kaptanı tarafından gerçekleştirilmesi ve elde edilen verilerle eğitilen ağın performans testlerinin yapılması için yanaşma terminali olarak seçilmiş olan Keppel Terminali'nin şematik gösterimi Şekil 54'te verilmiştir. Yapılan çalışmalarda yanaşmalar Singapur Limanı Keppel Terminali'nde yer alan 310 metre uzunluğa, 12,5 metre derinliğe sahip olan K14 numaralı rıhtıma gerçekleştirilmiştir.

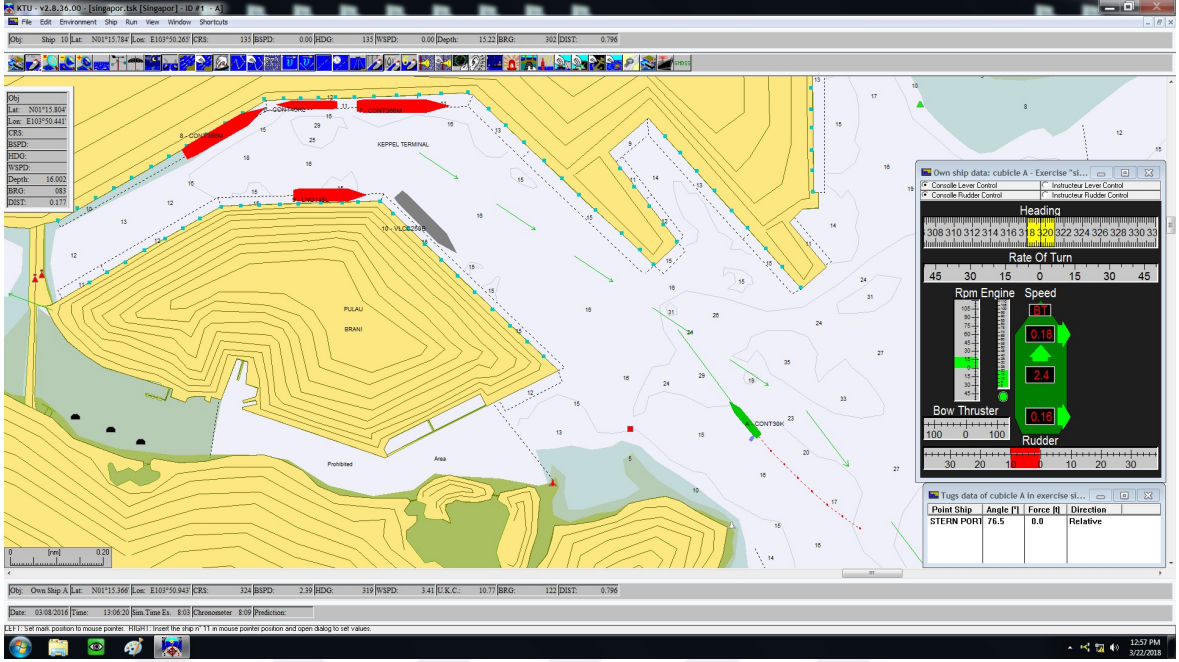


Şekil 54. Singapur Limanı Keppel Terminali (GTPE, 2018)

Şekil 55’te de ECA Sindel Mistral 4000 Tam Donanımlı Köprü Üstü Simülatorü üzerinde yer alan Singapur Limanı haritası gösterilmektedir. Görseldeki haritada Keppel Terminali bölgesindeki 13 numaralı rıhtıma (K14) yanaşma manevrası yapmak üzere yaklaşmakta olan gemi görülmektedir. Tablo 8’de Keppel Terminali’nin özellikleri verilmiştir.

Tablo 8. Keppel Terminali teknik özellikleri (Gordon vd., 2005)

Konumu	01°16’N 103°50’E
Alan	96 ha (960000 m ²)
Su Çekimi (Draft)	9,6 – 14,6 m
Rıhtımlar	4 Ana Gemi – 10 Besleyici Gemi
İskele Uzunluğu	3300 m
Donanım	36 Konteyner Vinci – 117 Açık Alan Vinci
Konteyner Depolama Alanı	20,230



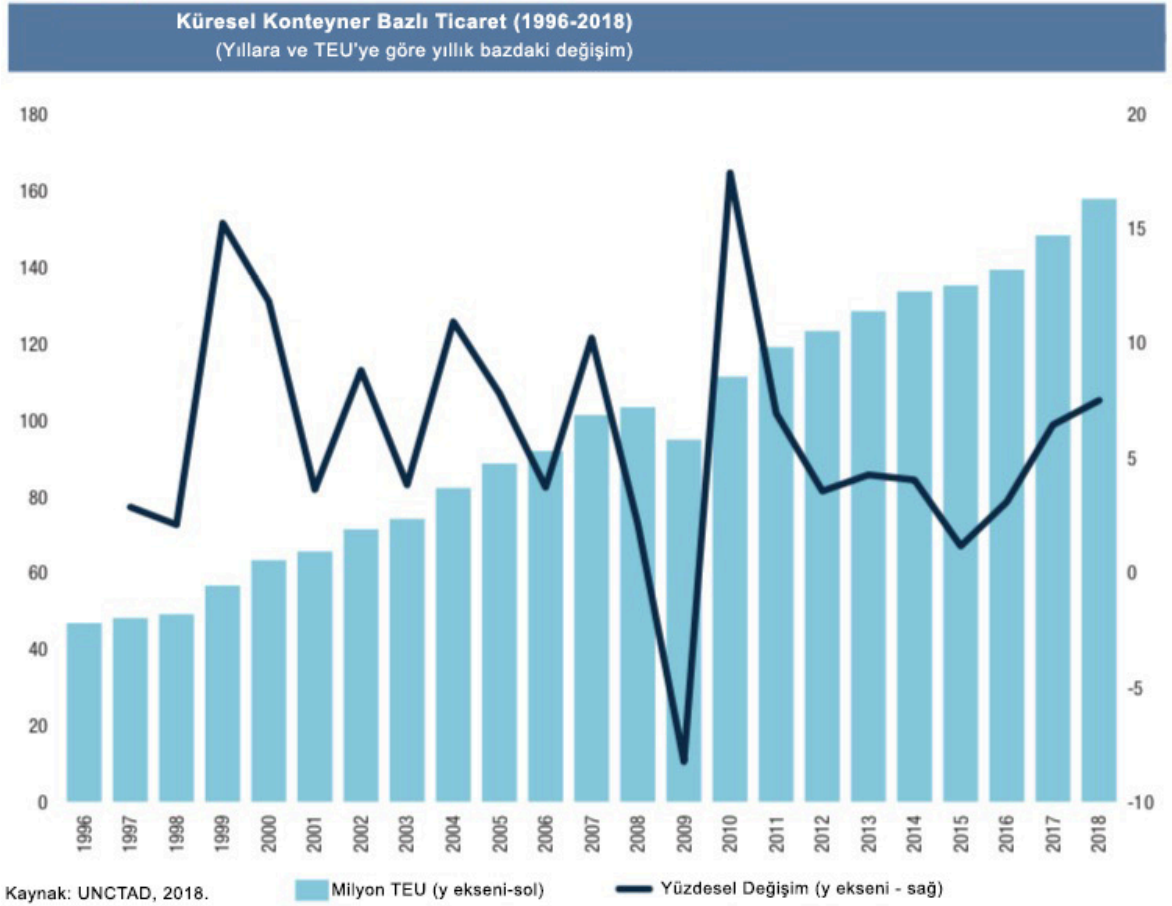
Şekil 55. Singapur Limanı Keppel Terminali köprü üstü simülasyonu ekran görüntüsü

2.3. Gemi Tipi Seçimi

1960'lı yılların başında başlayan konteyner taşımacılığı, birçok alanda büyük bir hızla klasik taşımacılığın yerini almaya başlamıştır. Dünya deniz ticaretinin önemli bir bölümünü içine alan konteyner taşımacılığı, diğer deniz taşımacılık modellerine göre çok daha hızlı bir şekilde büyüme göstermektedir (Öztürk, 2007). Hava yolu taşımacılığından 7 kat, karayolu taşımacılığından 2,5 kat ucuz olan denizyolu taşımacılığı (UTİKAD, 2000) dünya ticaretinin %92'sini karşılamaktadır (Akten, 2005).

Ucuz bir şekilde ve büyük miktarlarda gerçekleştirilen deniz taşımacılığının aynı zamanda daha güvenli ve basit yapılabileceği öngörüsüyle birlikte 1998 yılında konteynerizasyon fikri ortaya çıkmıştır (OSC, 1998). Bu sayede su geçirmeyen ve en az bir kapağa sahip olacak şekilde üretilen konteynerlerle yükleme ve boşaltma işlemleri daha kolaylaştırılmış olup aynı zamanda yüklerin birleştirilmesi de gerçekleştirilmiştir. Bu iki öngörüyle birlikte de yük taşıma etkinliği ve verimliliği artırılmıştır (Fossey, 1998). Böylelikle yükleme-boşaltma esnasındaki işlemler kolaylaşmış, insan gücü ve zaman konusunda tasarruflar sağlanmıştır. Bir başka ifadeyle, yükleme-boşaltma işlemlerinin hızlanması sayesinde gemilerin limanda geçirdikleri sürenin kısalması, taşınacak yükün dış

etmenlerden korunması için konteynerin başlı başına bir ambalaj olması ve taşınacak ürünlerin ekstra bir ambalajlanmaya ihtiyaç duymaması, kapalı ve mühürlenmiş yapısından dolayı hem konteyner içindeki taşınan eşyaların çalınma riskinin azalması hem de eşyaların güvenli bir şekilde taşınabilmesi, birçok kez yeniden konteynerin kullanılabilir yapıda olması, standart dikdörtgen formuyla üretilmelerinin de sağladığı avantajla kolayca istiflenebilme ve taşınabilme gibi sağladığı faaliyetlerin direkt olarak taşıma ücretlerini düşürücü etkisi de göz önünde bulundurularak, Şekil 56'da da görüldüğü gibi konteyner taşımacılığının denizyolu taşımacılığındaki yeri yıllar boyunca artış göstermektedir (Stopford, 2009; Yıldırım, 2011).

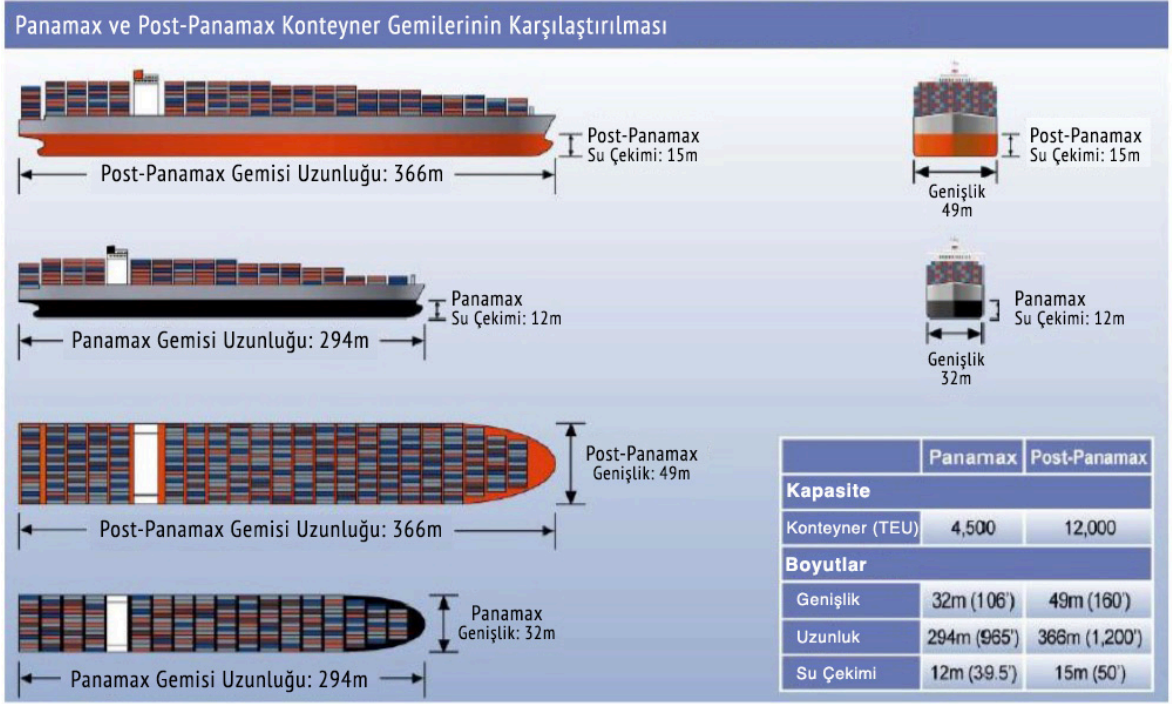


Şekil 56. Küresel bazda konteyner ticaretinin yıllara göre değişimi (UNCTAD, 2018)

2.3.1. Konteyner Gemileri Ve Sınıflandırılması

Günümüzde deniz ticaretinde yük taşıma amacıyla çok çeşitli tip ve boyutlarda yoğun olarak kullanılan ve tüm dünyada hızla yaygınlaşan konteyner gemileri, kapasitelerine, taşıdıkları yüklere, geçiş yaptıkları/yapabildikleri rotalara göre isimlendirilmektedirler. Konteyner gemileri, aşırı büyük gemileri de dahil ettiğimizde 7 nesli,

- 1960-1970 yılları arasında kullanılıp Feeder (500 TEU altı)/Feedermax olarak isimlendirilen ve 135-200 metre arasında uzunluğa, 800 TEU'ya kadar taşıma kapasitesine sahip, su çekimleri 9 m'den az olan 1. nesil konteyner gemileri,
- 1970-1980 yılları arasında kullanılan Handy Size (2000 TEU'ye kadar)/Sub Panamax olarak da adlandırılan, 215 metre civarı uzunluğa, 1000-3000 TEU kapasiteye sahip, su çekimleri 10 metre civarında olan 2. nesil konteyner gemileri,
- Adını Panama Kanalı'ndan alan, Panamax olarak da isimlendirilen, 1980-1988 yılları arasında kullanılan, 3000-5000 TEU aralığında kapasitelere sahip, yaklaşık 250-290 metre boya sahip, su çekimi Panama Kanalı geçiş limiti de olan 12 metre ile sınırlı 3. nesil konteyner gemileri,
- 1988-1996 yılları arasında Post Panamax adıyla kullanılan, kapasitelerinin 4000-6000 TEU'ya, boylarının 275-305 metreye ulaştığı, su çekimlerinin 13 metre civarına ulaşan 4. nesil konteyner gemileri,
- Post Panamax Plus olarak tanımlanan, 1996-2006 yılları arasında kullanılan, 5000-8000 TEU'luk kapasitesiyle 335 metre ve üzeri boya sahip, su çekimi 13-15 metre civarında olan 5. nesil konteyner gemileri,



Şekil 57. Panamax ve Post-Panamax konteyner gemilerinin şematik gösterimi (FDOT, 2013)

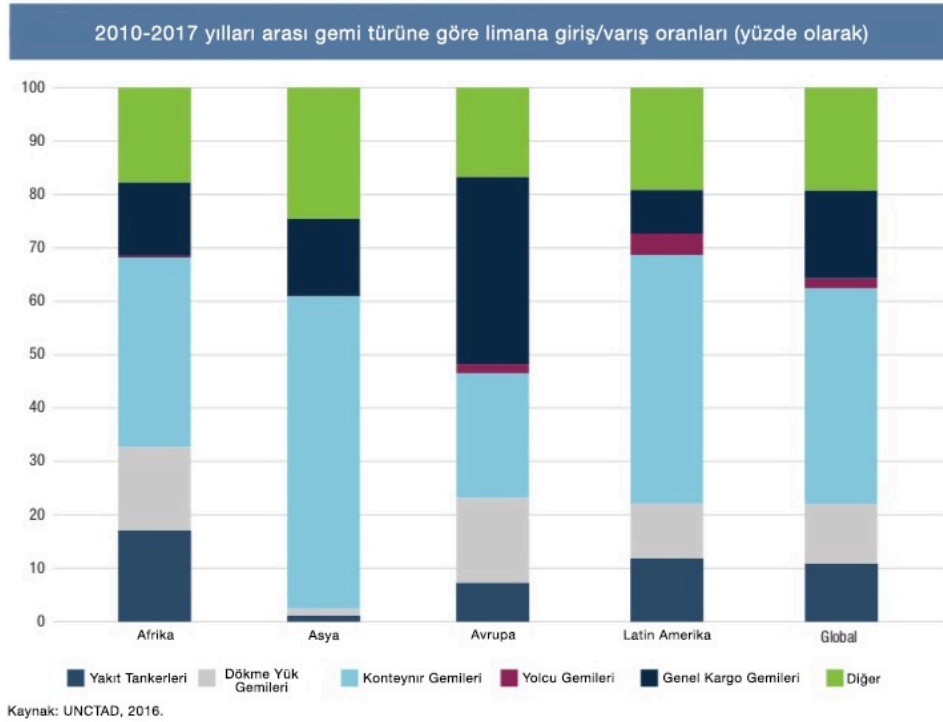
- Suez Max veya Çok Büyük Gemiler olarak adlandırılan, boyları 400 metreye, kapasiteleri 9000-15000 TEU'ya ulaşacak şekilde inşa edilen, 2006 sonrasında kullanılan, su çekimleri 16 metreye kadar ulaşan 6. nesil konteyner gemileri,
- Aşırı Büyük (Ultra-Mega) Gemiler veya Post Malacca Max/Post Suez Max olarak tanımlanabilecek, boylarının 450 metre, su çekimlerinin 21 metre (sadece Singapur ve Rotterdam konteyner terminalleri bu kapasiteye sahip (Diesel, 2004), taşıma kapasitelerinin 18000 TEU olması planlanan geleceğin gemileri olarak ifade edilen 7. nesil konteyner gemileri

olarak sınıflandırabiliriz (Ekin, 2011; Evangelos, 2006; Mervin, 2006; Nas, 2010; Yıldırım, 2011).



Şekil 58. 1996-2013 arası gemi boyut ve kapasitelerinin değişimi (Dasgupta, 2016)

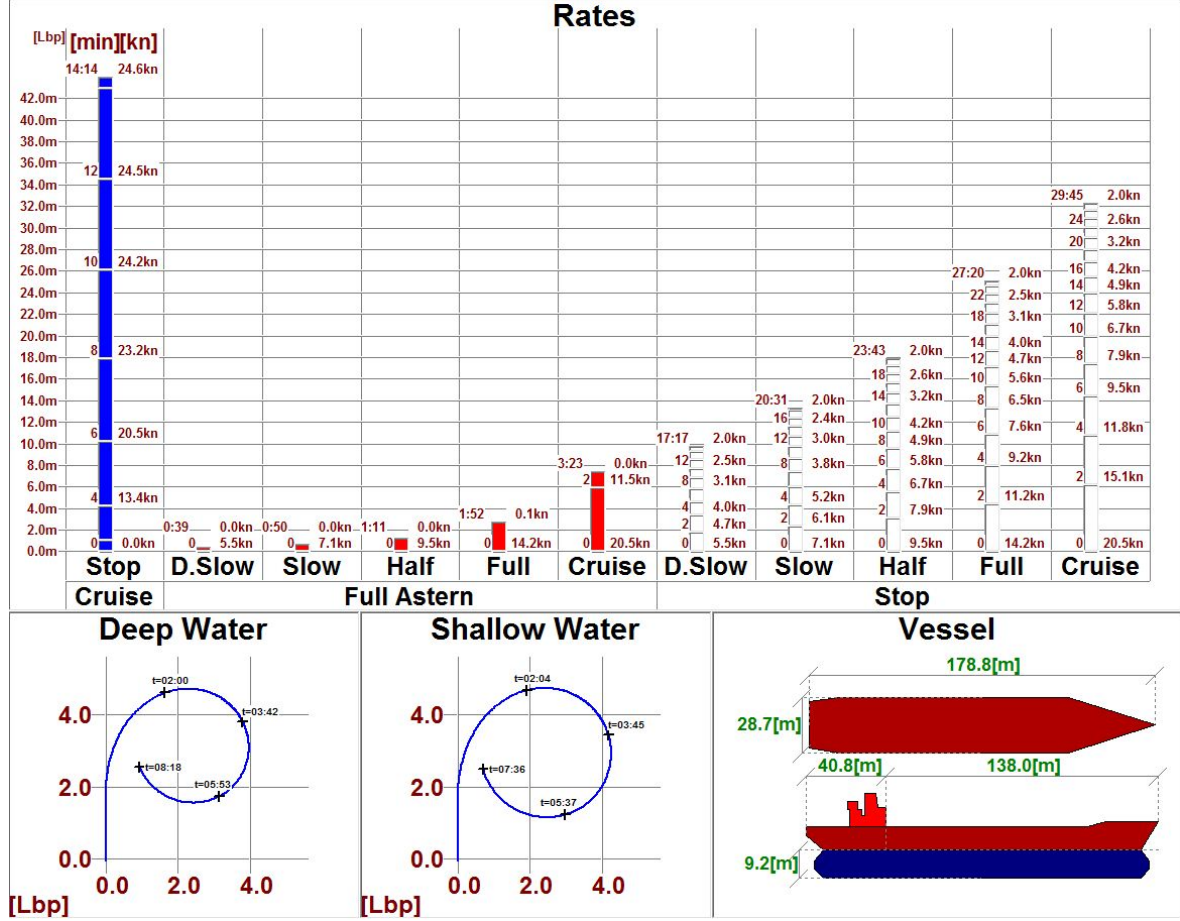
2010-2017 yılları arasında gemi türüne göre limana varış oranlarına bakıldığında konteyner gemilerinin gemi trafiğinde yoğunluk oluşturduğu görülmektedir (Şekil 59). Gelecekte de denizyolu taşımacılığının bel kemiğini oluşturacak olan konteyner gemileri, bu çalışma kapsamında uygulamalar yapılmak üzere gemi tipi olarak seçilmiştir.



Şekil 59. Limana giriş/varış oranları (2010-2017) (UNCTAD, 2016)

2.3.2. Tam Donanımlı Köprü Üstü Simülasyonu

Tez çalışması esnasında ağ modeli oluşturulmasına yönelik olarak eğitim veri setinin elde edilmesi için 1800 TEU kapasiteye sahip konteyner gemisi tercih edilmiş olup, geminin manevra özelliklerini içeren pilot kartı Şekil 60'da verilmiştir.



Şekil 60. Konteyner gemisine ait pilot kart

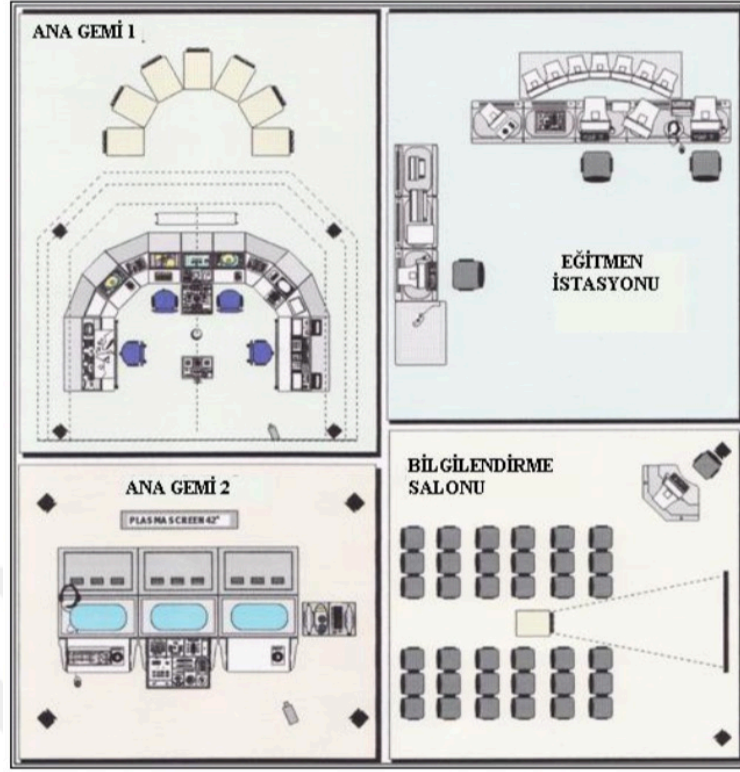
Şekil 61'de yanaşma manevralarının gerçekleştirildiği ECA Sindel Mistral 4000 Tam Donanımlı Köprü Üstü Simülasyonu'nde tanımlı olan konteyner gemisinin teknik özellikleri ekran görüntüsü olarak yer alırken, detaylı teknik özellikleri de Tablo 9'de verilmiştir.



Şekil 61. Konteyner gemisinin ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülatörü uygulama arabirimi görünümü

Tablo 9. Seçilen konteyner gemisinin teknik özellikleri

Tipi	Konteyner (Handysize)
Uzunluğu (m)	178,80
Genişliği (m)	28,73
Su Çekimi (Draft) (m)	9,22
Dedveyt (Deadweight) Ton (t)	30000
Maksimum Hız (knots)	20,50
Motor Gücü (kW)	20000
Pervane Sayısı	1
Dümen Sayısı	1
Maksimum Dümen Açısı	35°
Başiter Gücü (kW)	1200
Maksimum İleri Yol Hızı (rpm)	111
Maksimum Tornistan Hızı (rpm)	50

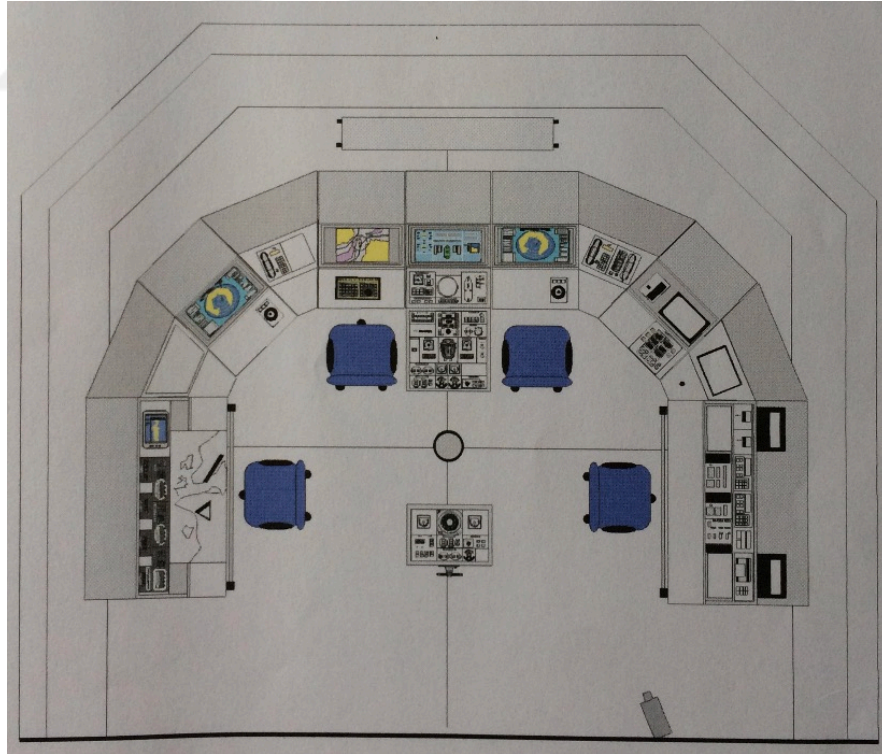


Şekil 62. ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülasyon merkezi yerleşim planı (H. Yılmaz, 2012)

Şekil 62’de köprü üstü simülasyon merkezinin yerleşim planı verilmektedir. Çalışma esnasında gemi manevraları Ana Gemi 1 olarak isimlendirilen A kübik’te gerçekleştirilmiş olup manevralar Eğitim Odası’ndan takip edilmiştir. Daha sonra ağ modelinin eğitimi için kullanılacak veri setleri yine Eğitim Odası’nda yer alan merkezi sunucu üzerindeki uygulama arabiriminden alınmıştır.



Şekil 63. ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülatörü



Şekil 64. ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülatörü A-küçük şematik gösterimi

Şekil 63 ve Şekil 64'te gemi yanaşma manevralarının gerçekleştirildiği köprü üstü simülasyonunun A kübik fotoğrafı ve şematik görünümü verilmiştir. A kübikte tam donanımlı bütünleştirilmiş köprü üstü sistemi bulunmaktadır. Köprü üstünde iskele kısımda harita masası, GPS, saat, hızölçer ve derinlikölçer bulunmaktadır. Ön konsolda radar (2 adet), elektronik harita görüntüleme sistemi, kumanda ekranı, VHF radyo telefon (2 adet), dahili haberleşme ünitesi, dümen konsolu, baş üstü paneliyle (anenometre, dümen müşirleri) entegre kontrol konsolu, demir kontrol paneli, alarm ekranı, cayro pusula, oto pilot, dümen kontrol sistemi, iticilerin kontrol panosu, kısıtlı görüş işaretleri ve seyir fenerlerine ait kumanda üniteleri yer almaktadır. Köprü üstünde sancak kısımda dürbün kontrol sistemi ve GMDSS ünitesi bulunmaktadır. 210 derecelik yatay görüş açısına sahip görsel sistem, gerçeğe uygun rüzgar ve makine sesi sağlayan ses üretme sistemi ve casus kamera gibi gerçek bir gemi ortamını yaratacak ekipman ve sistemler de simülasyonda bulunmaktadır.



Şekil 65. ECA Sindel Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülasyonu kontrol odası

Şekil 65'te ise eğitmen istasyonunun fotoğrafı yer almaktadır. A kübikte gerçekleştirilen gemi manevraları eş zamanlı olarak istasyonda yer alan sunucu üzerinden takip edilebilmektedir. Yerleşik 7 ekran üzerinden köprü üstünden gemi kaptanının gördüğü görüntünün birebir aynısı görülmektedir. Sunucu üzerinde ise gerçekleştirilen yanaşma

manevraları takip edilmektedir. Yanaşma manevraları esnasındaki tüm kontroller gemi kaptanı tarafından A kübikte yer alan köprü üstünden yapılmış olup sadece römorkör kontrolü eğitim istasyonundan gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol telsiz bağlantısı ile gemi kaptanının süre/güç talebine göre gerçekleştirilmiştir. Ayrıca manevra sona erdikten sonra geminin rıhtıma bağlanması işlemi de yine sunucu üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İlgili manevralar için tüm parametrelerin tanımlamaları sunucu üzerinde yer alan yazılım üzerinden gerçekleştirilmektedir. Geminin seçimi ve harita üzerindeki konumunun belirlenmesi, geminin başlangıç hız ve yön tayinin yapılması, dış etmen olarak akıntı ve rüzgar durumu (varlığı/yokluğu, hangi yönde etki edeceği, şiddeti), manevra esnasındaki diğer gemi trafiğinin düzenlenmesi, römorkör atamaları ve kontrolü, rıhtıma bağlanma aşamasında halatların atamaları ve kontrolleri buradan gerçekleştirilmektedir. Ayrıca anlık olarak gemiyle ilgili temel bilgiler (konumu, hızı, yönü, vb.) ile gemi kaptanının verdiği komutlar (dümen, pervane hızı, başiter kullanımı, vb.) da yine uygulama üzerinden takip edilebilmektedir. Manevra tamamlandıktan sonra, tüm manevra yeniden uygulama üzerinden oynatılabilmektedir. Ayrıca ilgili manevraya ait tüm parametreleri içeren tablolar da uygulama üzerinden okunabilip WDIAGRAM modülü aracılığıyla da dışa aktarılabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen yanaşma manevraları köprü üstündeki kumanda ve kontrol panelleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olup manevraya ait veriler eğitim istasyonunda yer ana bilgisayarlardan toplanmıştır.

Otomatik gemi yanaşma manevraları, gemi kontrolü alanındaki en karmaşık problemlerden biri olarak gösterilmektedir. Düşük hızlarda gemi hareketi kompleks yapısı ve karakteristikleri, dış etkenlerin kesin olarak öngörülememesi ve yanaşma manevraları esnasında dümen ve pervane kumanda etme amaçlı kullanılacak kontrolcünün önemli olması sebebiyle bu tür manevralarının en sağlıklı şekilde gerçekleştirilebilmesi için yapay sinir ağlarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu tez kapsamında Singapur Limanı için konteyner gemisine ait yanaşma manevraları da yapay sinir ağı kullanılarak modellenmiştir. Farklı şartlar altında gerçekleştirilmiş olan manevralardan elde edilen veriler ağın eğitimi için kullanılmış olup daha sonra eğitilen/öğrenen ağ ile birlikte yeni/farklı bir manevra gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı ile gerçekleştirilen bu manevralar, simülatörde yapılan gerçek manevralar ile karşılaştırılarak sonuçlar grafik olarak sunulmuştur.

2.4. Yapay Sinir Ağı Modeli

2.4.1. Yapay Sinir Ağı Modeli Oluşturulurken Kullanılan Parametreler

Yapay sinir ağı modeli, tam donanımlı köprü üstü simülatoründe gerçekleştirilen yanaşma manevraları sonucunda elde edilen gemi/yanaşma verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Yapay sinir ağı modelinde kullanılan giriş parametrelerini konum, hız ve dış etmenlerden kaynaklı veri setleri olmak üzere üçe gruba ayırıp incelemek mümkündür. Konum veri seti olarak geminin pozisyonu (X ve Y eksenini doğrultusunda konum ve geminin pruva yönü/açısı), hız veri seti olarak geminin gerçek hızı ile birlikte baş kayma hızı ve kıç kayma hızı, dış etmen olarak da rüzgar hızı giriş parametreleri olarak seçilmiştir.

Çıkış parametreleri olarak da dümen açısı, pervanenin dönüş hızı ve başiter kullanımı belirlenmiştir. Ayrıca olası römorkör kullanımı da göz önünde bulundurularak römorkör gücü de çıkış parametresi olarak ağ modeline eklenmiştir.

Tablo 10'da model oluşturulurken kullanılan girdi katmanı parametreleri, Tablo 11'de ise modelin çıktı katmanı parametreleri birimleriyle birlikte özetlenmiştir. Çıktı katmanında yer alan başiter gücü birimi kW olarak tanımlaması yapılmış olmakla birlikte modelde kullanılan veri setinde bu bilgi yüzde (%) cinsinden eğitim/test veri setlerine aktarılmıştır.

Tablo 10. YSA modeli ile kullanılan girdi katmanı parametreleri ve birimleri

Hız			Konum			Dış Etmenler
Geminin Hızı	Baş Kayma Hızı	Kıç Kayma Hızı	Geminin Yönü	X eksenini	Y eksenini	Rüzgar Hızı
(knots)	(knots)	(knots)	(deg)	-	-	(knots)

Tablo 11. YSA modeli ile kullanılan çıktı katmanı parametreleri ve birimleri

Pervane Dönüş Hızı	Dümen Açısı	Başiter Gücü	Römorkör Gücü
(rpm)	(rad)	(kW) - %	(ton)

2.4.2. YSA Modeli İçin Eğitim, Test, Uygulama Veri Setlerinin Oluşturulması

Yanaşma manevralarının yapay sinir ağı modeli oluşturulmadan önce, modelin eğitimi ve uygulaması için en önemli kısım olan verilerin elde edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu noktada bir gemi kaptanı tarafından aynı tip gemiyle farklı meteorolojik şartlar altında aynı limanın aynı terminaline/rıhtımına aynı şekilde yanaşma manevraları gerçekleştirilmiştir. Bu manevralardan elde edilen verilerle ağ modeli kurularak eğitilmiştir. Eğitimin tamamlanmasının ardından yapay sinir ağlarının daha önce hiç görmediği parametrelerle uygulama yapılış ve farklı şartlar altında gemi yanaşma manevrasının gerçeklenmesi sağlanmıştır. Ağın yanaşma manevrasına yönelik olarak ağın ürettiği sonuçlar, tam donanımlı köprü üstü simülatörü aracılığıyla gerçekleştirilen asıl manevra ile karşılaştırılmıştır.

Ağın eğitimi amacıyla üç farklı hava koşulu altında benzer yanaşma manevraları gerçekleştirilmiştir. Rüzgarın olmadığı durgun hava (0 knots), hafif rüzgarlı (10 knots) hava ve şiddetli rüzgarlı hava (20 knots) için manevralar gerçekleştirilmiştir. Tüm bu yanaşma manevraları sonucunda toplam 5356 adet veriyi kapsayan eğitim ve test amacıyla kullanılacak veri seti elde edilmiştir. Bu veri setinin %75'lik kısmı olan 4018 adet veri eğitim amacıyla ağ modelinde kullanılmıştır. Kalan verilerin %10'luk kısmı olan 535 veri çapraz karşılaştırma (CV) için ayrılırken %15'lik kısım olan 803 adet veri de ağın/eğitimin performansını ölçmek amacıyla test verisi olarak ayrılmıştır.

Bazı ağ uygulamalarında çok fazla miktarda veri bulunması durumunda, ağın eğitim süresi veri miktarıyla paralel olarak uzayabilmektedir. Hata oranı belli bir değerin altına düşmesine rağmen tüm setin eğitimi tamamlanana kadar eğitime devam edilmektedir. Bunun sonucunda da hata oranı düşük olmasına rağmen eğitime devam edilmesi sebebiyle artık ağda öğrenme değil ezberleme denilen durum ortaya çıkmaktadır. Böylelikle ağ aslında ğrenmeyip, veri setini ezberlemektedir. Sonuç olarak da ağ modeli tarafından üretilen sonuçlar istenildiği gibi olmayıp, ağ doğru bir çalışmamaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için çapraz karşılaştırma verileri de model eğitim esnasında kullanılabilir.

Eğitim esnasında ağın hiç görmediği bu veriler, hata oranı belli bir değerin altına indiğinde test amaçlı olarak ağa gösterilir ve ağın ürettiği sonuçlar gerçek sonuçlarla karşılaştırılır. Eğer ki çıkan sonuçlar arasındaki hata oranı istenilen seviyedeyseniz ağ eğitilmiş kabul edilir ve eğitim tamamlanır. Eğer ki hata oranı istenilen değerlerin üzerinde olursa,

eğitim işlemine devam edilir. Bir sonraki iterasyon için yine hata oranı belli bir seviye altına düştüğünde çapraz karşılaştırma işlemi yapılarak ağın performansı anlık olarak test edilir.

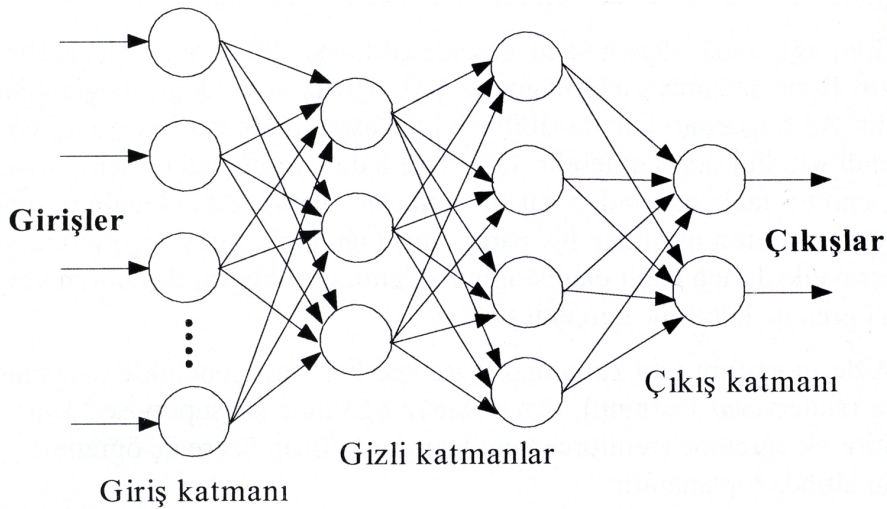
Eğitim sürecinin tamamlanmasının ardından %15'lik test seti eğitilmiş ağ modeline gösterilmiştir. Ağın ürettiği sonuçlarla çıkan sonuçların karşılaştırması yapılarak istenilen performans sağlandığından dolayı eğitim başarıyla tamamlandı şeklinde kabul edilmiştir.

Eğitim aşamasından sonra oluşturulan sinir ağına daha önceden hiç görmediği bir yanaşma manevrası yaptırılmıştır. 15 knots hızındaki rüzgarlı hava şartlarında geminin yanaşma manevra yaptırılması sağlanmıştır. Bunun sonucunda ağın ürettiği veriler tam donanımlı köprü üstü simülatörde gerçekleştirilen ve gemi kaptanı tarafından yapılan manevradan elde edilen verilerle karşılaştırılıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.4.3. Yapay Sinir Ağı İçin Ağ Modelinin Seçimi

Yapay sinir ağları ile çözülmek istenilen problemler genellikle girdileri ile çıktıları arasındaki bağlantıları doğrusal olmayan, matematiksel olarak modellenmesi zor veya imkansız olan problemlerdir.

Tez kapsamında yapılan bu çalışmada, mevcut problemin çözümü için en uygun model olan çok katmanlı algılayıcı modeli, danışmanlı öğrenme yöntemiyle birlikte kullanılmıştır. Kullanılan ağ yapısı örneği Şekil 66'da verilmiştir.



Şekil 66. Çok katmanlı algılayıcı örnek modeli

Ağ modeli oluşturulurken giriş katmanında 7 proses elemanı, çıkış katmanında ise 4 proses elemanı olacak şekilde ağ modellenmiştir. Gizli katman sayısının artması, bizim problemimizde, ağ yapısını karmaşıktırarak performansının düşmesine sebep olduğundan dolayı ağımız tek gizli katman içerecek şekilde oluşturulmuştur.

2.4.4. Yapay Sinir Ağı İçin Öğrenme Modelinin Seçimi

Oluşturulan yapay sinir ağında öğrenme modeli olarak Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması (LMÖA) tercih edilmiştir. Bu öğrenme algoritmasında, giriş ve çıkış arasındaki hata değeri bulunduktan sonra nöronlar kendi hatalarını azaltmak için ağırlıklarını yeniden ayarlamak durumundadırlar. Ağırlık değiştirme denklemleri de ağdaki performans fonksiyonunu en küçük yapacak şekilde düzenlenmiştir. Bu algoritma, maksimum komşuluk fikri üzerine en küçük kareler tahmin olarak da ifade edilebilmektedir. Diğer öğrenme yöntemlerine göre daha kararlı ve hızlı bir yöntem olduğundan dolayı ağ modelinin eğitiminde LMÖA tercih edilmiştir.

2.4.5. Yapay Sinir Ağı İçin Seçilen Diğer Parametreler

Problemin çözümü için oluşturulan ağımız çok katmanlı algılayıcıya sahip ileri beslemeli, danışmanlı öğrenmeli bir ağdır. Levenbert-Marquardt öğrenme algoritmasıyla ağın eğitimi gerçekleştirilmiş olup ağda tek gizli katman kullanılmıştır. Girdi katmanında 7, çıktı katmanında ise 4 proses elemanı olarak şekilde ağ modeli oluşturulmuştur. Veri setimizde yer alan verilerin tamamını (-1,1) aralığında normalize edilmiştir. Ağ modelinde gizli katman ve çıktı katmanlarında aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu, toplama fonksiyonu olarak da toplam fonksiyonu kullanılmıştır.

Her bir veri ağa 1000 kez gösterilmiş olup eğitimin durdurulması için gerekli olan hata oranı katsayısı ise 0,01 olarak tanımlanmıştır.

2.4.6. Yapay Sinir Ağı Modellemesi İçin Kullanılan Yazılımlar

Tez kapsamında yapılan çalışmada elde edilen veri setiyle oluşturulan ağ, iki farklı yazılımla modellenmiş ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

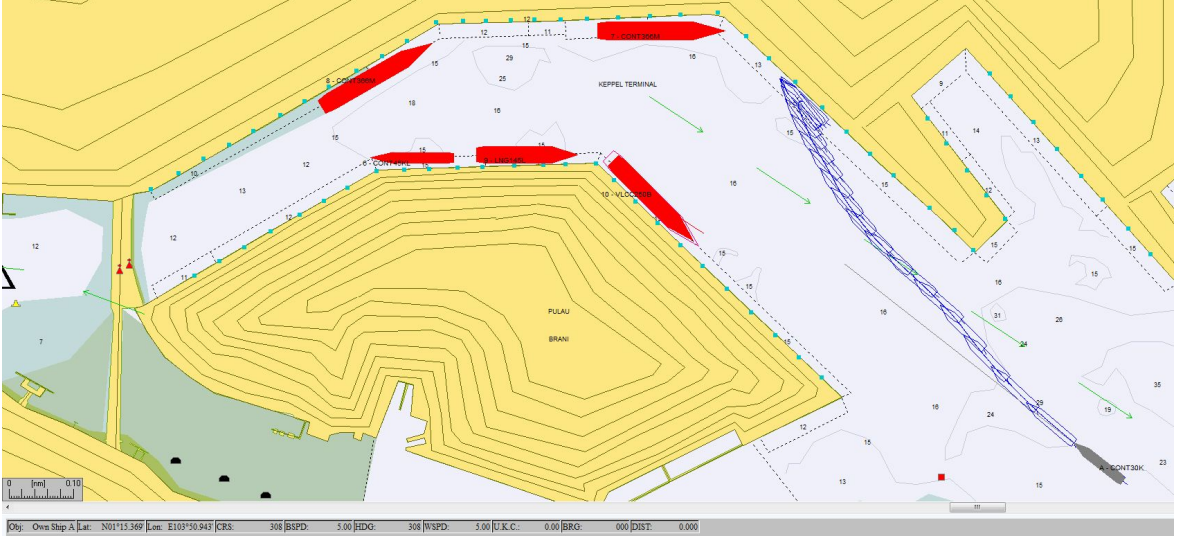
Ağın eğitimi ve performans testleri hem NeuroDimension firmasına ait NeuroSolutions 6.0 programı ile hem de MathWorks firmasının MATLAB yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yanaşma manevrası verileri Eca Sindel Mistral 4000 Tam Donanımlı Köprü üstü Simulatörü'nden elde edilmiş olup sinir ağları Microsoft Windows 10 Professional 64 Bit işletim sistemine sahip bilgisayar üzerinde çalışan NeuroSolutions 6.0 uygulaması ve macOS High Sierra işletim sistemine sahip bilgisayar üzerinde çalışan MATLAB R2015b yazılımının Neural Network Toolbox'ında oluşturulmuş, test edilmiş ve uygulanmıştır.

2.5. Gemi Yanaşma Manevraları Sonucunda Elde Edilen Veriler

Ağ modelinde kullanılacak veri setinin oluşturulması için gemi kaptanı tarafından tam donanımlı köprü üstü simülatöründe çeşitli gemi yanaşma manevraları yapılmıştır. Her bir manevrayla ilgili olarak gemiye ait tüm parametreler anlık olarak kaydedilmiş olup tüm verilerin birleştirilmesiyle ağın eğitim ve testi için gerekli olan veri seti elde edilmiştir.

2.5.1. Rüzgarsız Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar

İlk olarak oluşturulacak sinir ağının eğitiminde kullanılmak üzere rüzgarsız havada ($r=0$ knots) yanaşma manevrası gerçekleştirilmiştir. Gemi kaptanı tarafından gerçekleştirilen bu manevra toplam 28 dakika 31 saniye sürmüştür. Liman dışında başlayan manevra, Keppel Terminali'ne yanaşma işleminin gerçekleşmesiyle sonlanmıştır. Şekil 67'de yaklaşma yanaşma manevrasının harita üzerindeki izi gösterilmiştir.



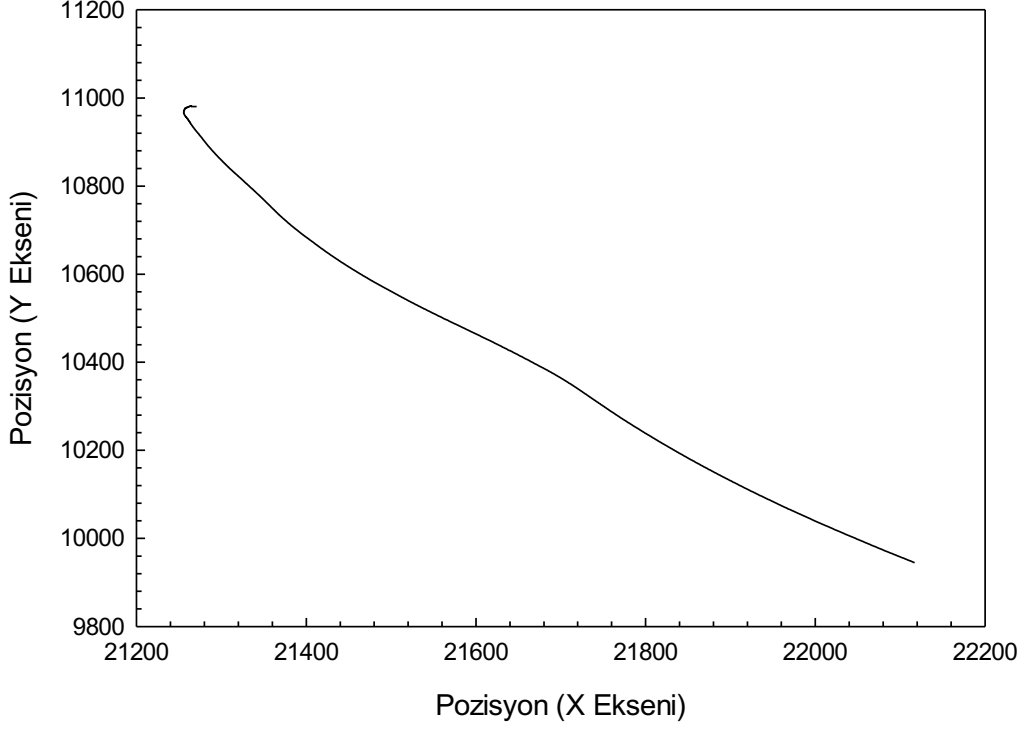
Şekil 67. Rüzgarsız hava ($r=0$ knots) durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası



Şekil 68. Rüzgarsız hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detay görünümü

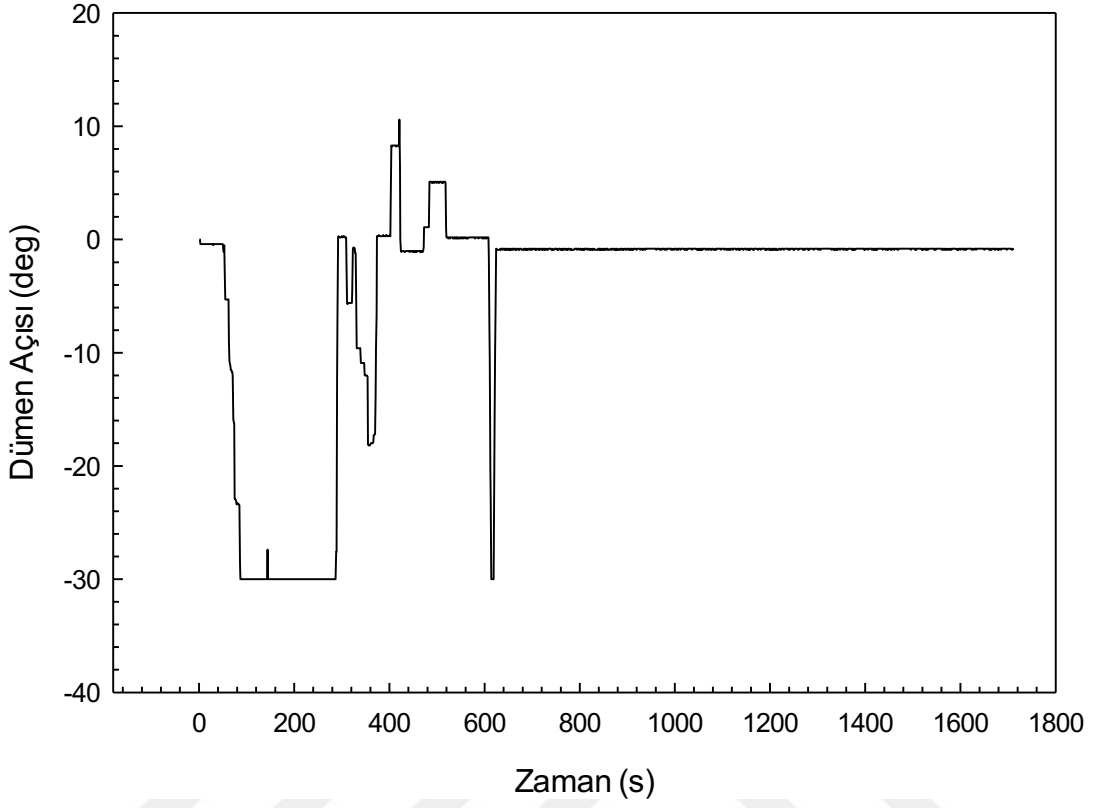
Şekil 68'de ise gemi yanaşma manevrasının son aşaması olan rıhtıma yanaşma manevrası ve bağlanma öncesi geminin son pozisyonunun detaylı görünümüne yer

verilmiştir. Baş omuzluktan rıhtıma yanaşan geminin daha sonra kıçını römorkör yardımı ile yanaştırdığı ve manevrayı tamamladığı görülmüştür.



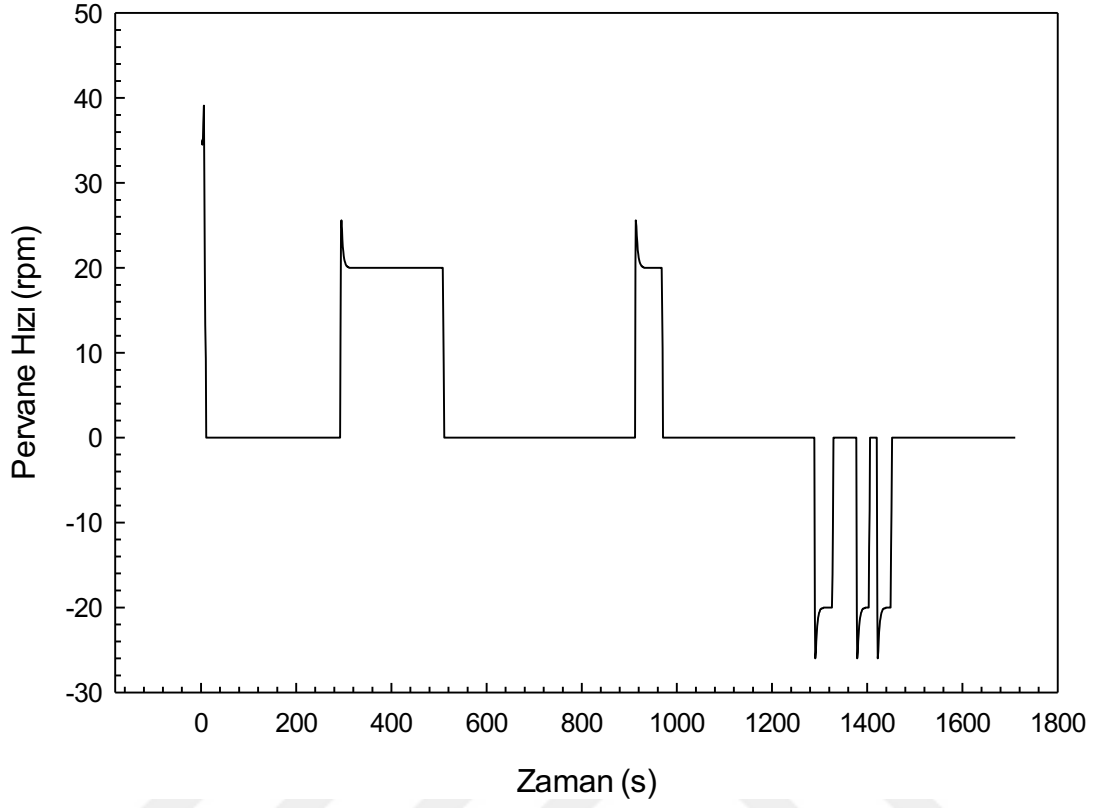
Şekil 69. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu

Şekil 69’da rüzgarsız havada gerçekleştirilen yanaşma manevrası esnasında geminin hareketi ve tüm manevra süresince bulunduğu pozisyonların ve bunlara bağlı olarak izlediği rotanın izi gösterilmiştir. Grafik geminin konum koordinat bilgilerinin x ve y cinsinden iki boyuta aktarılmasıyla elde edilmiştir.



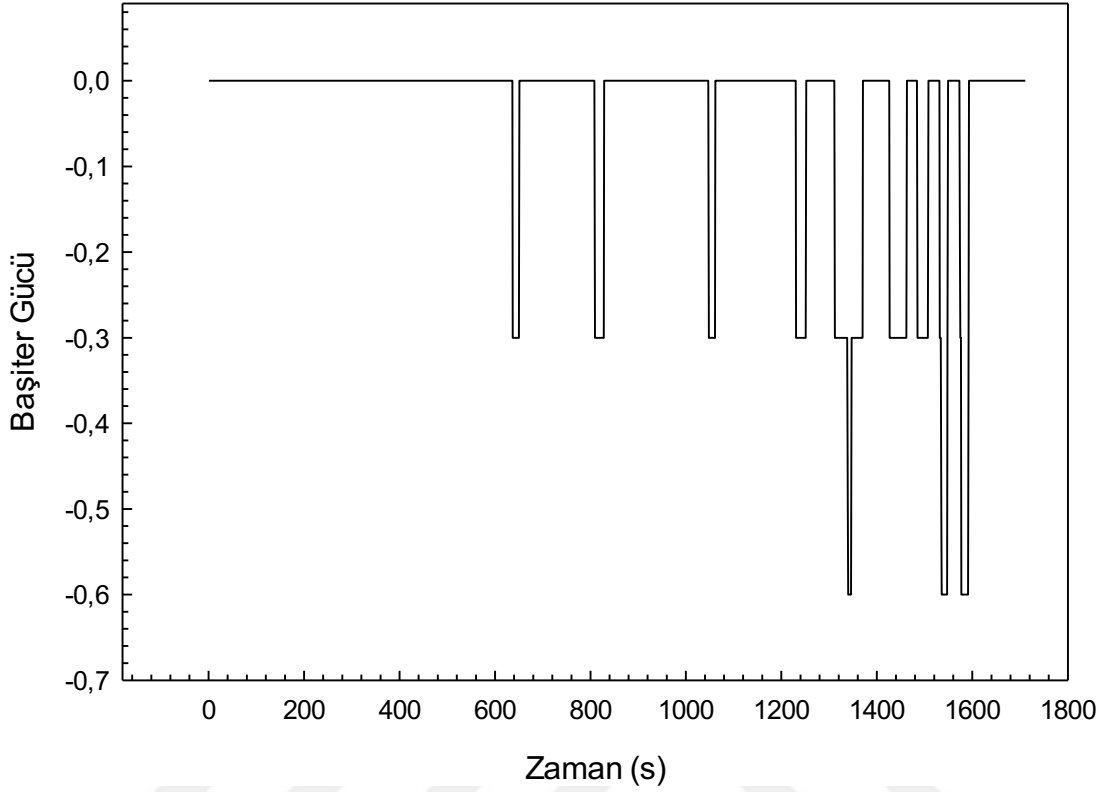
Şekil 70. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin dümen açısı

Şekil 70’de rüzgarsız havada gerçekleştirilen yanaşma manevrası esnasında geminin dümen açısının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Geminin liman girişinde yanaşma manevrasına başlaması (0. saniye) ile manevranın tamamlanması (1711. saniye) arasındaki süreçte gemi kaptanı tarafından geminin pruvasını kontrol etmek için verilen dümen açısının zamana bağlı değişiminin yer aldığı grafikte 10. dakikaya kadar geminin pruva açısının kontrolünün dümen vasıtasıyla sağlandığı, bu andan sonra ise yanaşma manevrası tamamlanana kadar dümenin manevrada çok etkin olmadığı görülmektedir.



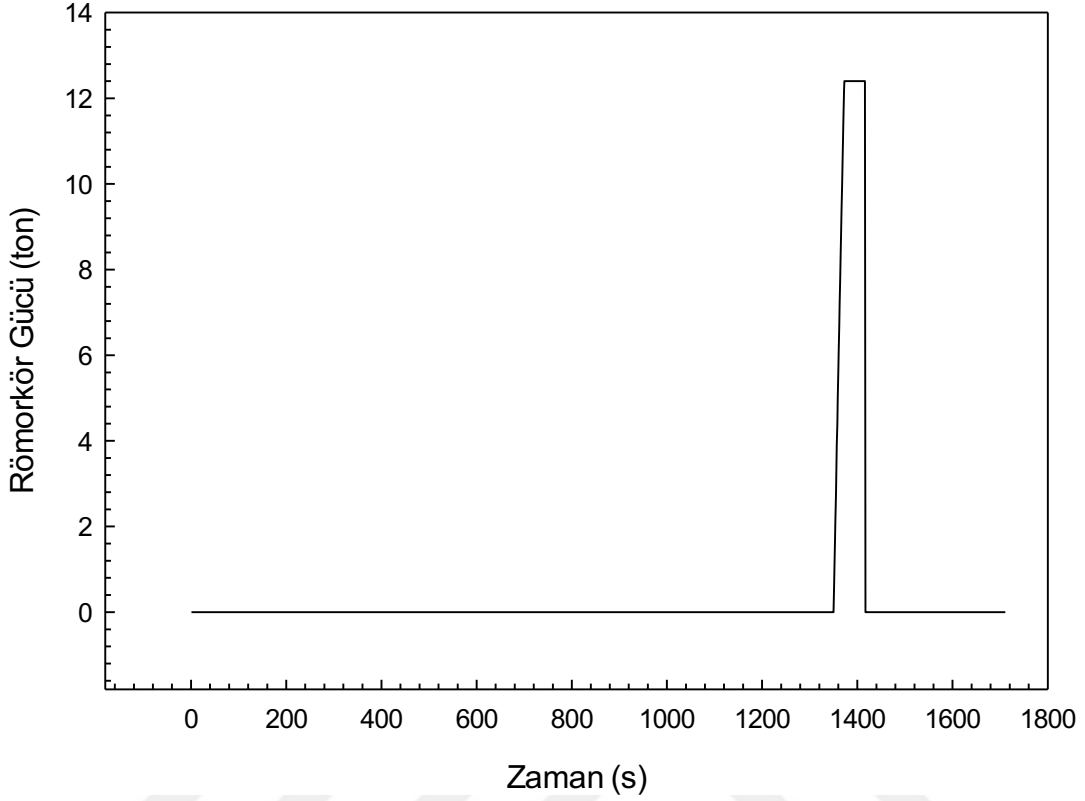
Şekil 71. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin pervane hızı

Şekil 71’de de rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasındaki geminin pervane hızının zamana bağlı değişimini gösteren grafik verilmiştir. Yanaşma manevrası esnasında geminin hızını istenilen seviyede tutmak, dümen verimliliğini arttırmak amacıyla çeşitli zamanlarda ileri yol, yanaşmanın tamamlanmasına yakın ilgili rıhtıma yanaşıldığı süreçte geminin hızını azaltmak ve geminin kıçını toplamak içinse tornistan yapıldığı görülmüştür.



Şekil 72. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin başiter kullanımı

Şekil 72'de yanaşma manevrası esnasında başiter kullanımının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekil 70'de yer alan dümen açısı grafiği ile birlikte değerlendirildiğinde liman girişinde ve rıhtıma yanaşma esnasında ilk etapta geminin pruva açısının kontrolünün dümen ile sağlandığı, sonrasında ise yönlendirmenin başiter kullanımıyla yapıldığı görülmüştür. Başiter kullanımı veri setinde yüzde olarak ifade edilmiştir. Grafikte yer alan her 0,3'lük değer %25'lik güç kullanımını ifade etmektedir.



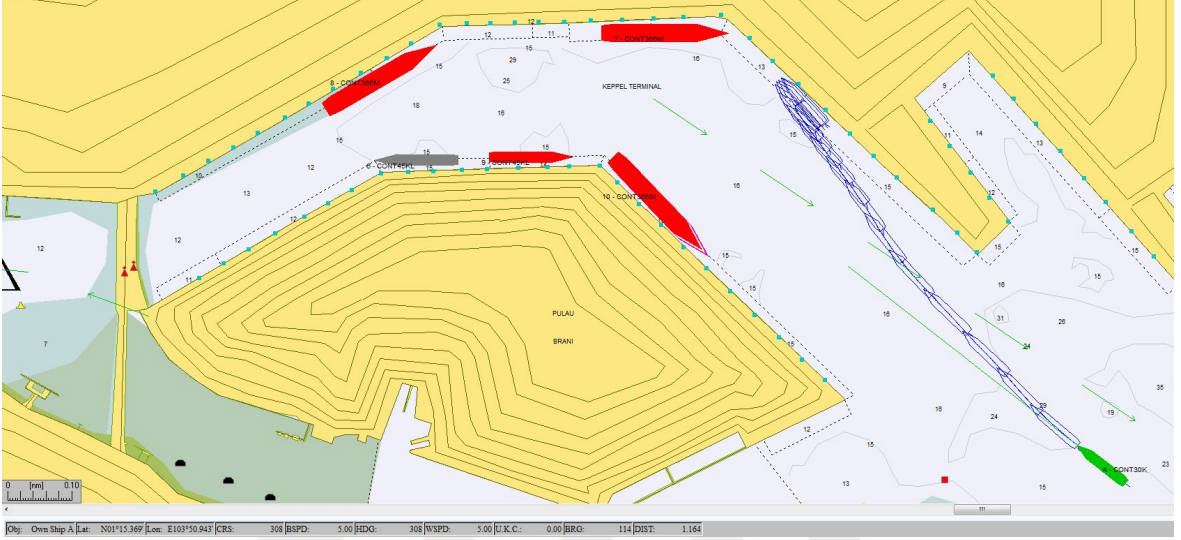
Şekil 73. Rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında geminin römorkör kullanımı

Son olarak Şekil 73 incelendiğinde rüzgarsız havada yanaşma manevrası esnasında römorkörün çok kısa bir süre için kullanıldığı gösterilmiştir. Rüzgarsız şartlarda yanaşma manevrası için dümenin ve başiterin gemiyi yönlendirme açısından daha etkin bir şekilde kullanıldığını, römorkörün sadece son bölümde geminin kıçını yanaştırmak için kullanıldığını söylemek mümkündür.

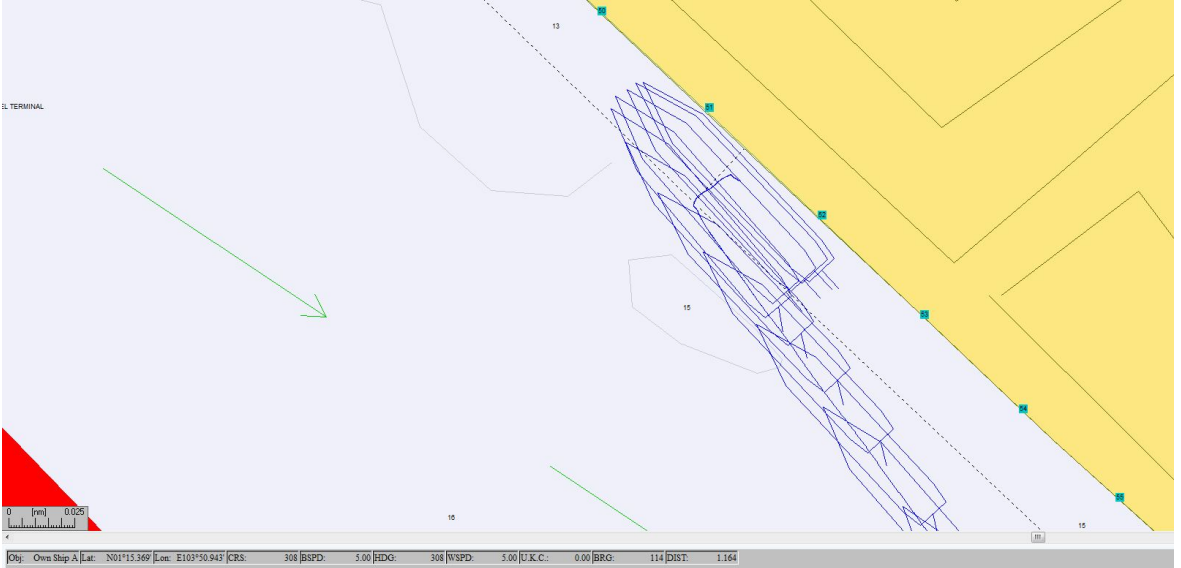
2.5.2. Az Rüzgarlı Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar

Gerçekleştirilen ikinci manevrada dış etmen olarak rüzgar etkisini de görmek amacıyla bu sefer gemi kaptanı tarafından az rüzgarlı (10 knots) havada yanaşma manevrası gerçekleştirilmiştir. Bu manevra da toplam 26 dakika 43 saniye sürmüştür. Liman dışında başlayan manevra, yine Keppel Terminali'ne yanaşma işleminin gerçekleşmesiyle sonlanmıştır. Şekil 74'te yaklaşma yanaşma manevrasının harita üzerindeki izi verilmiştir.

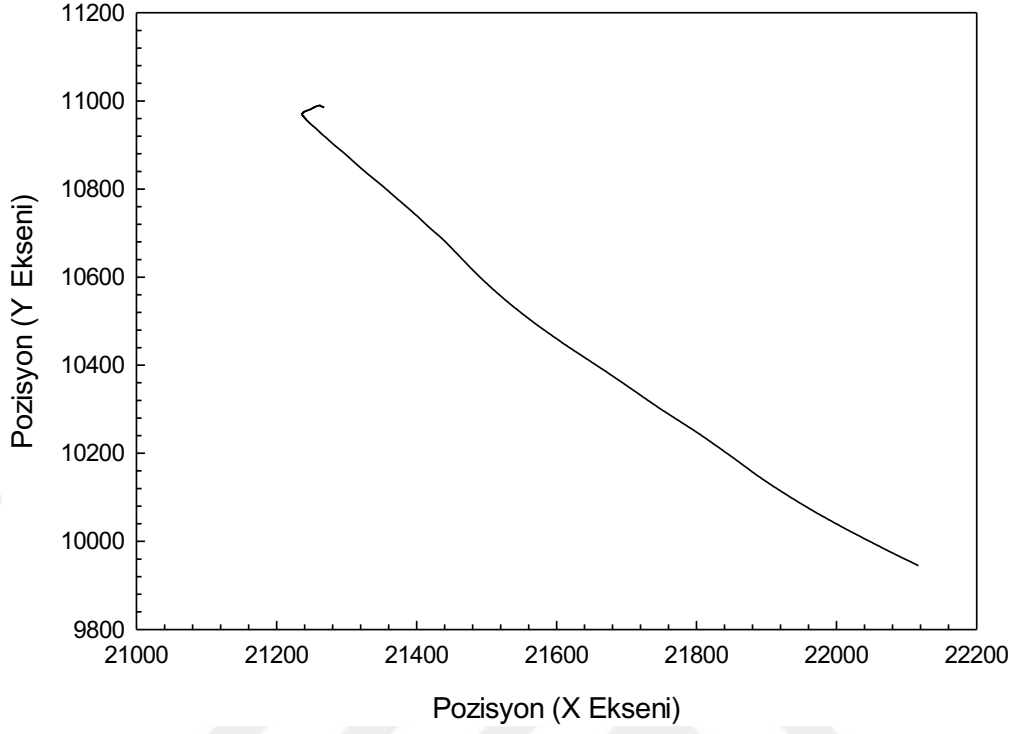
Şekil 75'te ise rıhtıma yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonları detaylı görünüm olarak verilmiştir. Burada rıhtıma paralel olarak gelen geminin son aşamada da paralel olarak rıhtıma yanaşarak manevrayı tamamladığı görülmüştür.



Şekil 74. Az rüzgarlı hava ($r=10$ knots) durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası

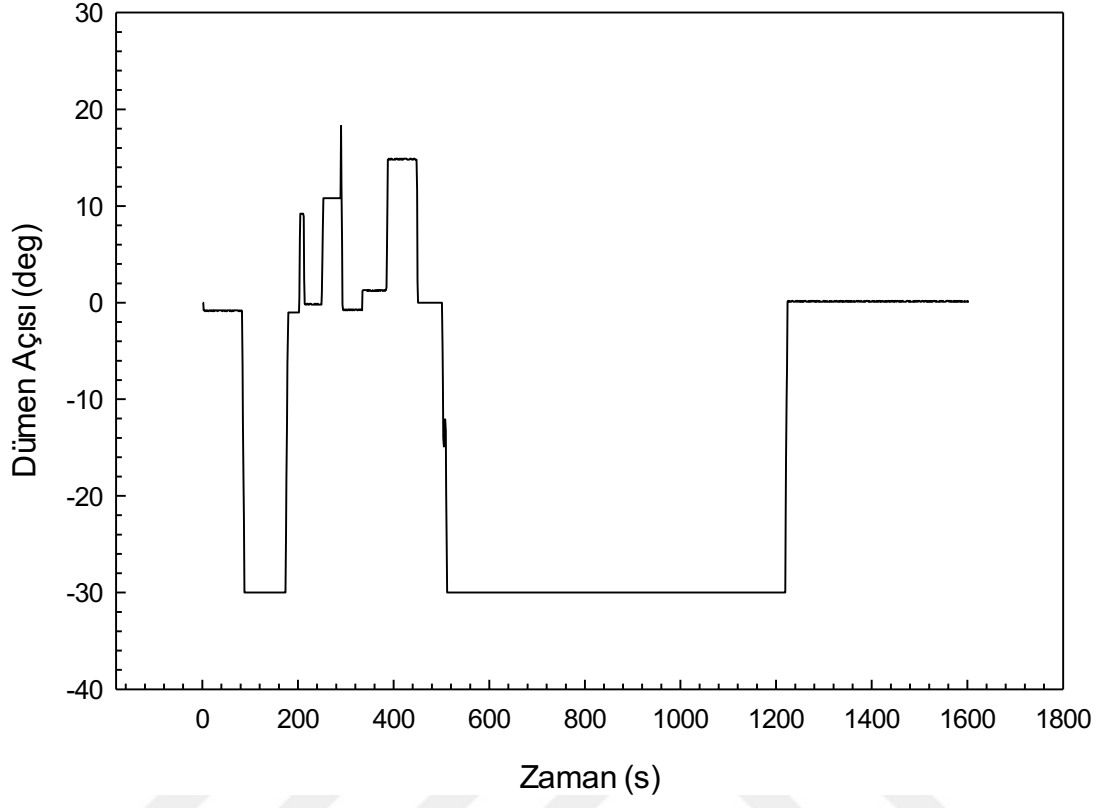


Şekil 75. Az rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detay görünümü



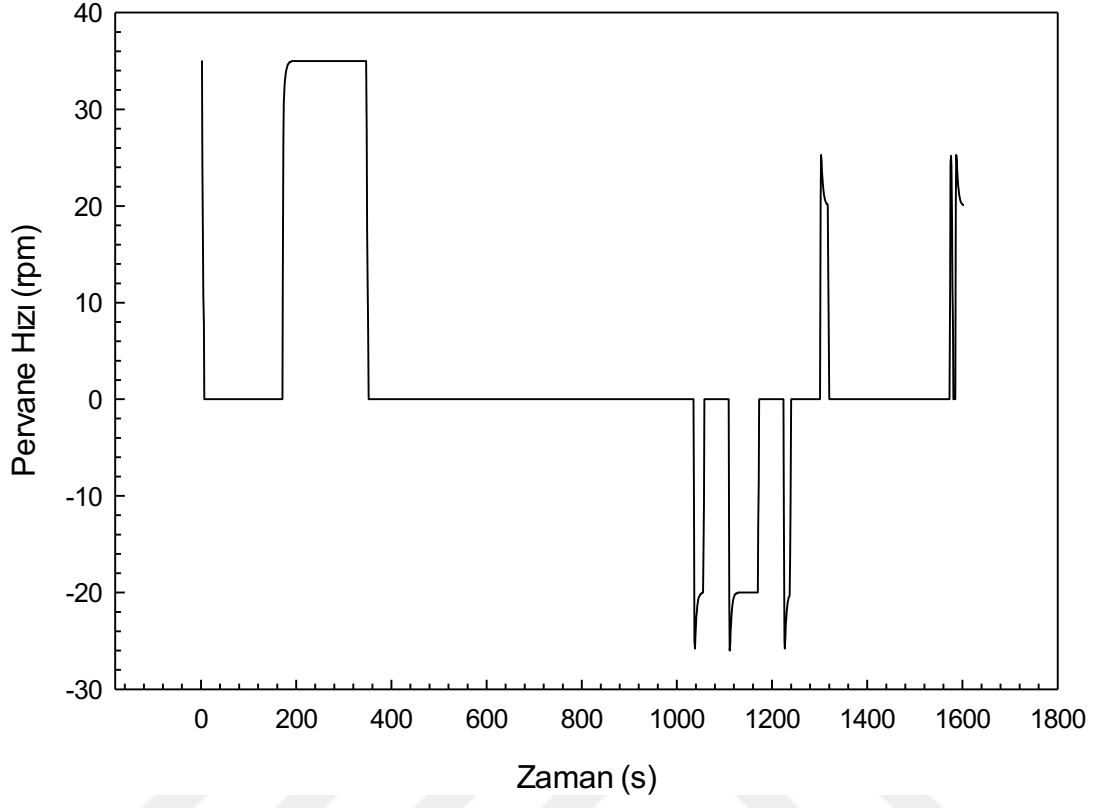
Şekil 76. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu

Şekil 76'da az rüzgarlı havada geminin rıhtıma yanaşma manevrasının gemi konum bilgilerinin x ve y eksenine indirgenmesiyle rota izi olarak gösterilmiştir. Liman girişinden itibaren yanaşılacak rıhtıma kadar düz bir rota izleyen gemi, son kısımda yanaşma manevrasını yapmış ve manevrasını başarıyla tamamladığı görülmüştür.



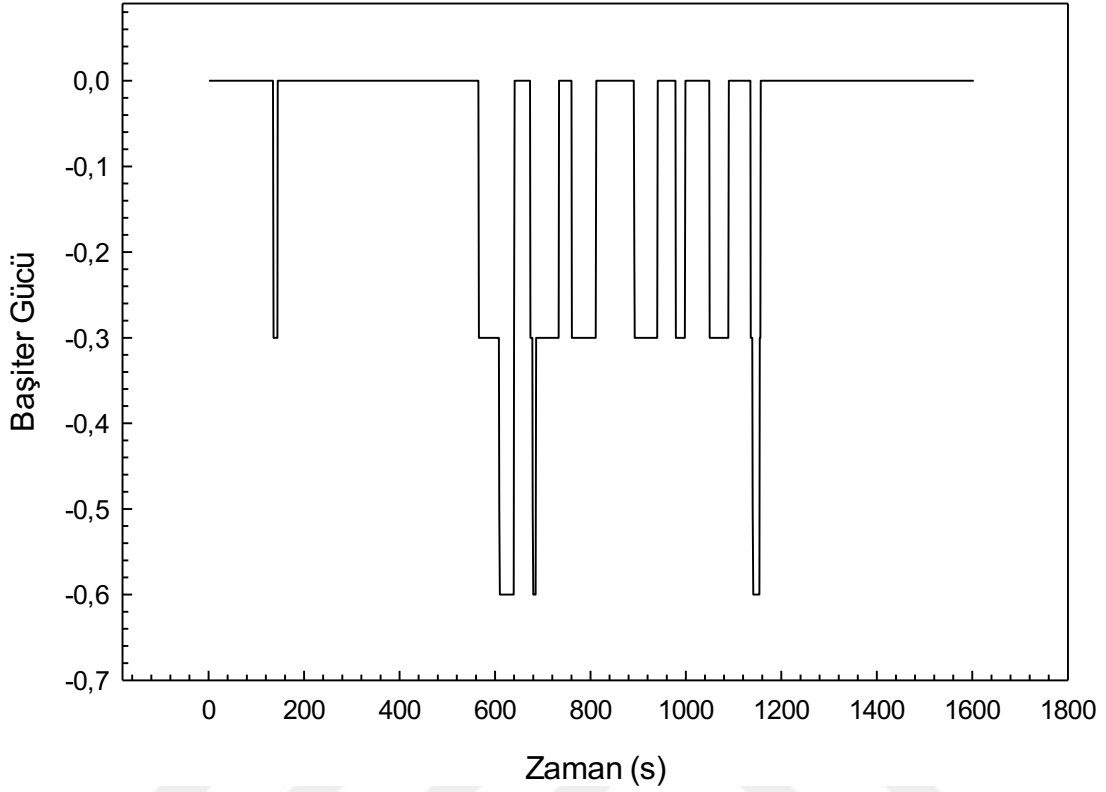
Şekil 77. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin dümen açısı

Şekil 77’de az rüzgarlı havada gemi yanaşma manevrası esnasında dümen kullanımının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Rüzgarın gemi üzerindeki etkilerini bertaraf etmeye ve gemiyi rotasında tutmaya yönelik olarak dümenin daha yoğun olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.



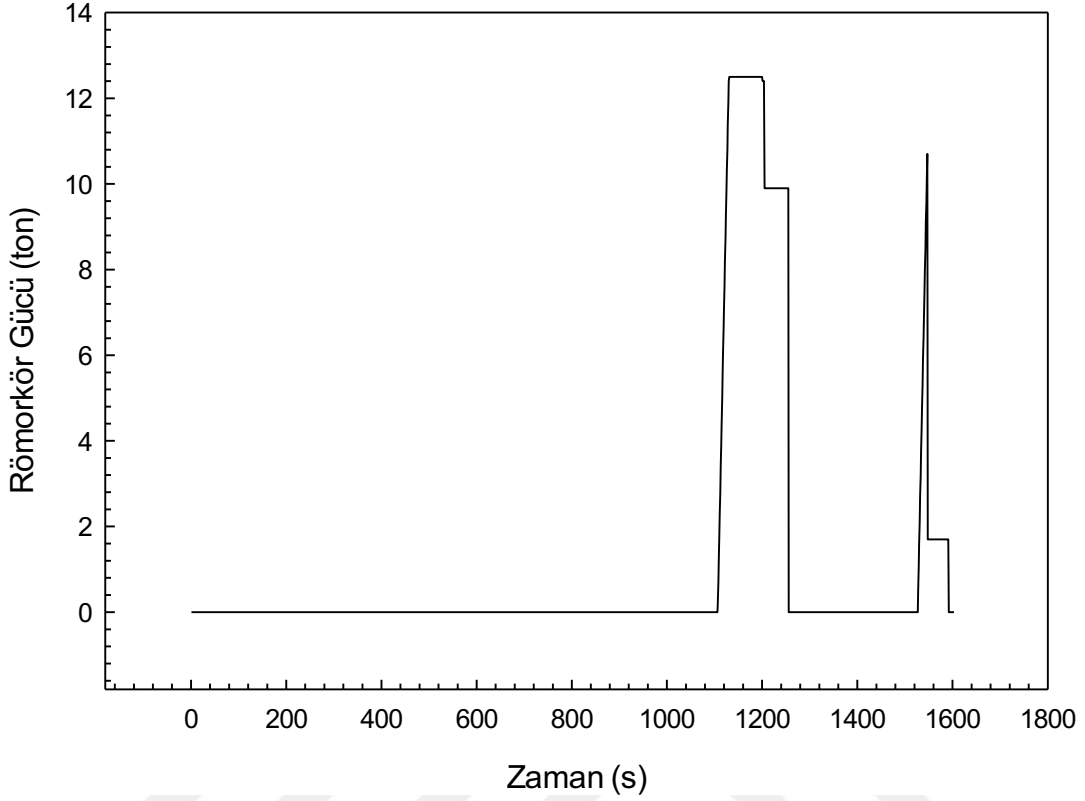
Şekil 78. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pervane hızı

Şekil 78’de az rüzgarlı hava durumunda yanaşma manevrası süresince pervane hızındaki değişimin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Geminin hareketi esnasında dümenin etkinliğini arttırmak, rüzgarın gemi üzerindeki etkilerini bertaraf edip yanaşma rotasını korumaya yönelik olarak pervanenin ileri yol ve tornistanda kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 79. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin başiter kullanımı

Şekil 79’da başiterin az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasındaki kullanımının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Rüzgarın gemi üzerindeki rotadan uzaklaştırıcı etkisinin engellemek ve pruva açısını istenildiği şekilde koruyabilmek için başiterin yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür. Yanaşma manevranın son bölümünde ise başiter kullanılmamıştır.

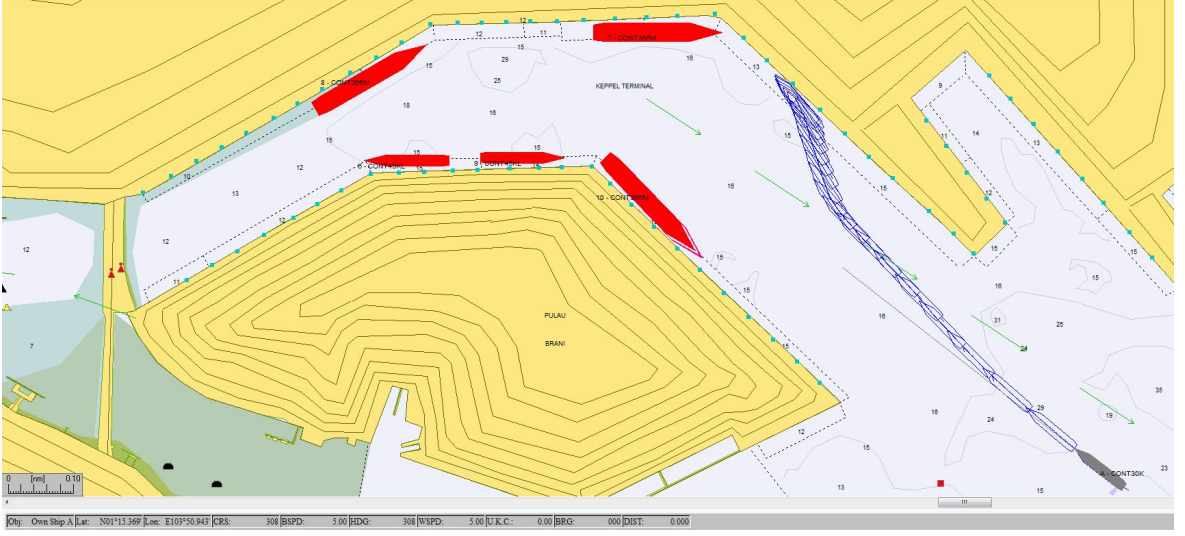


Şekil 80. Az rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin römorkör kullanımı

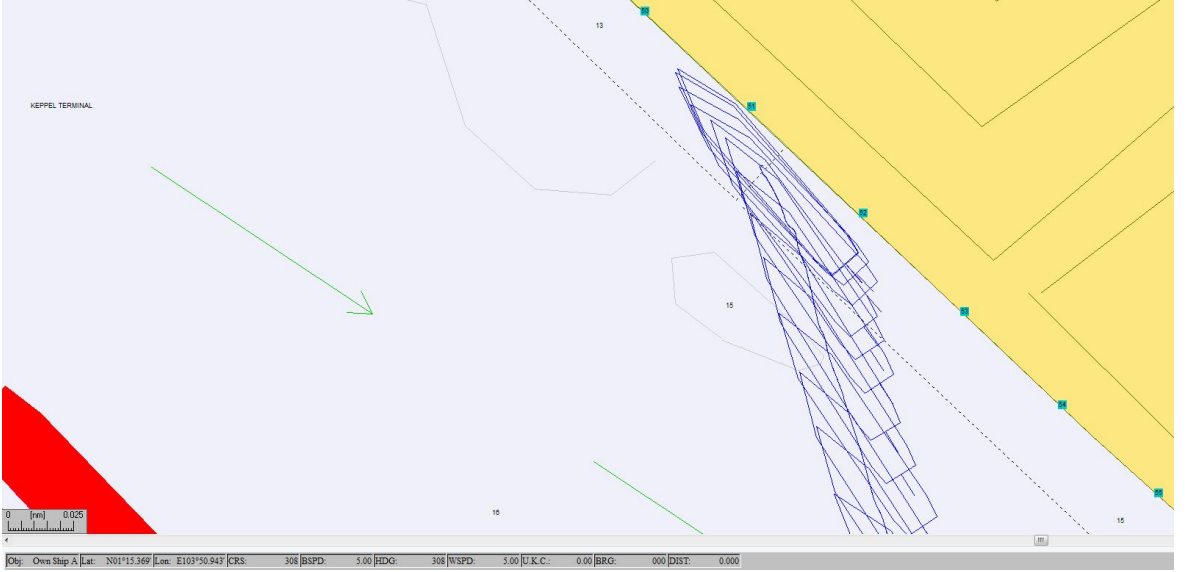
Şekil 80'de az rüzgarlı havada römorkör kullanımının zamana göre değişimi verilmiştir. Rüzgardan kaynaklı etkilerden kaynaklı olarak son yanaşma manevra öncesi geminin kıç kısmını toplamak için römorkör kullanıldığı görülmüştür. Son aşamada ise dümen ve başiter yerine gemi römorkör yardımıyla rıhtıma yanaştırılmıştır.

2.5.3. Çok Rüzgarlı Hava Durumunda Gerçekleştirilen Manevralar

Ağın eğitimi için kullanılmak üzere gerçekleştirilen üçüncü ve son manevrada ise çok rüzgarlı (20 knots) havada yanaşma manevrası gerçekleştirilmiştir. Bu manevra da toplam 34 dakika 02 saniye sürmüştür. Liman dışında başlayan manevra, yine Keppel Terminali'ne yanaşma işleminin gerçekleşmesiyle sonlanmıştır. Şekil 81'de yaklaşma yanaşma manevrasının harita üzerindeki izi görülmektedir. Şekil 82'de ise kıyıya yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonları detaylı görünüm olarak verilmiştir.

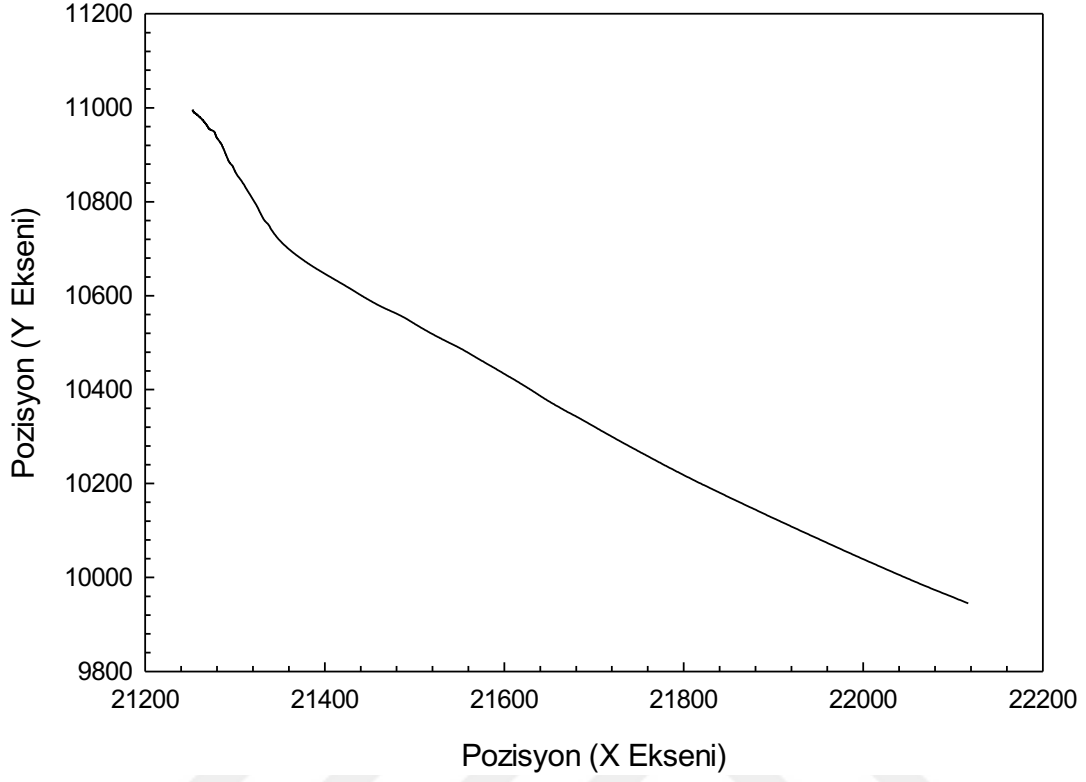


Şekil 81. Çok rüzgarlı hava ($r=20$ knots) durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası



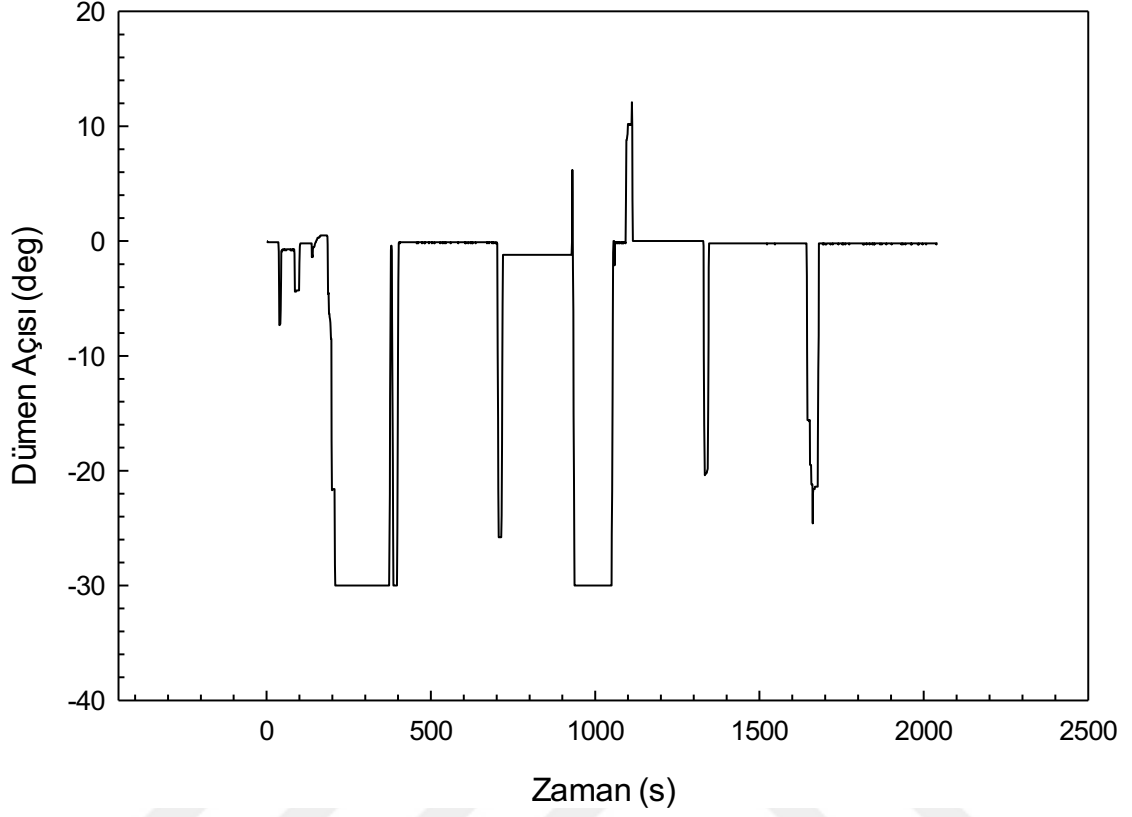
Şekil 82. Çok rüzgarlı hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrası detay görünümü

Yanaşma manevraları esnasında, sınır ağında çıktı parametresi olarak kullanacağımız dümen açısı, pervane hızı, başiter ve römorkör kullanımı değerlerini gösteren grafikler de aşağıda verilmiştir.



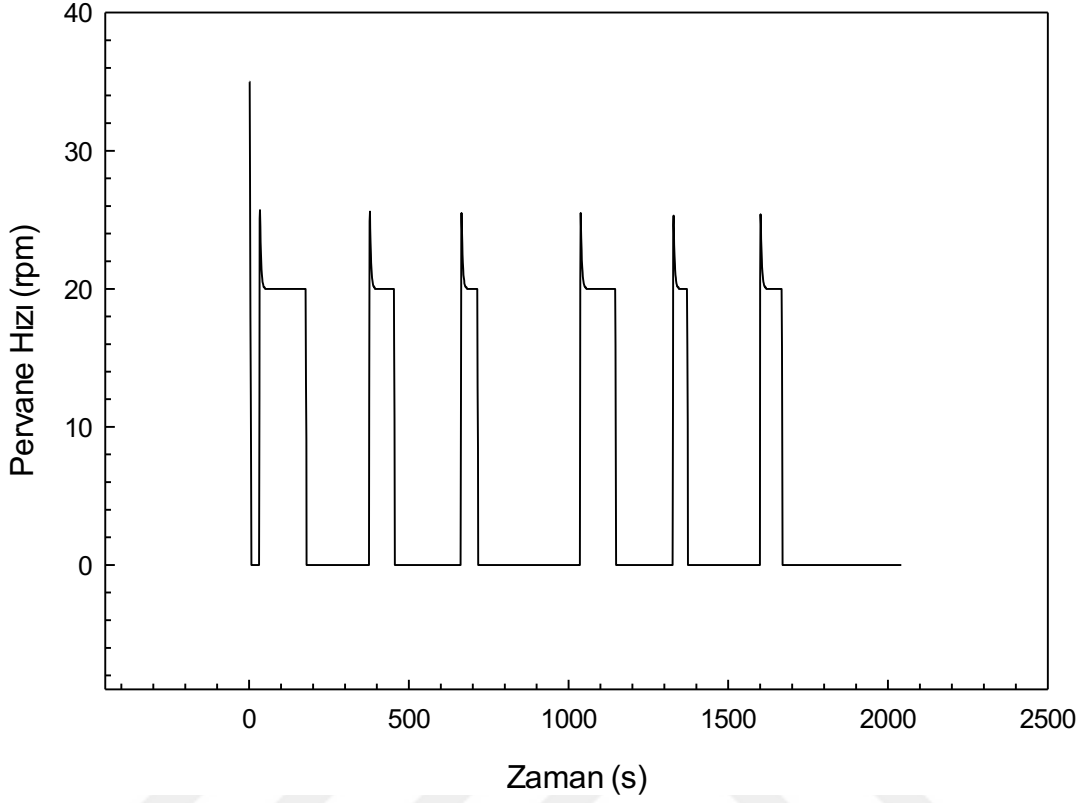
Şekil 83. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pozisyonu

Şekil 83'te geminin yanaşma esnasında izlediği rotanın izi gösterilmiştir. Çok rüzgarlı havanın gemi üzerinde rotadan uzaklaştırıcı etkisi grafikte gösterilmiştir.



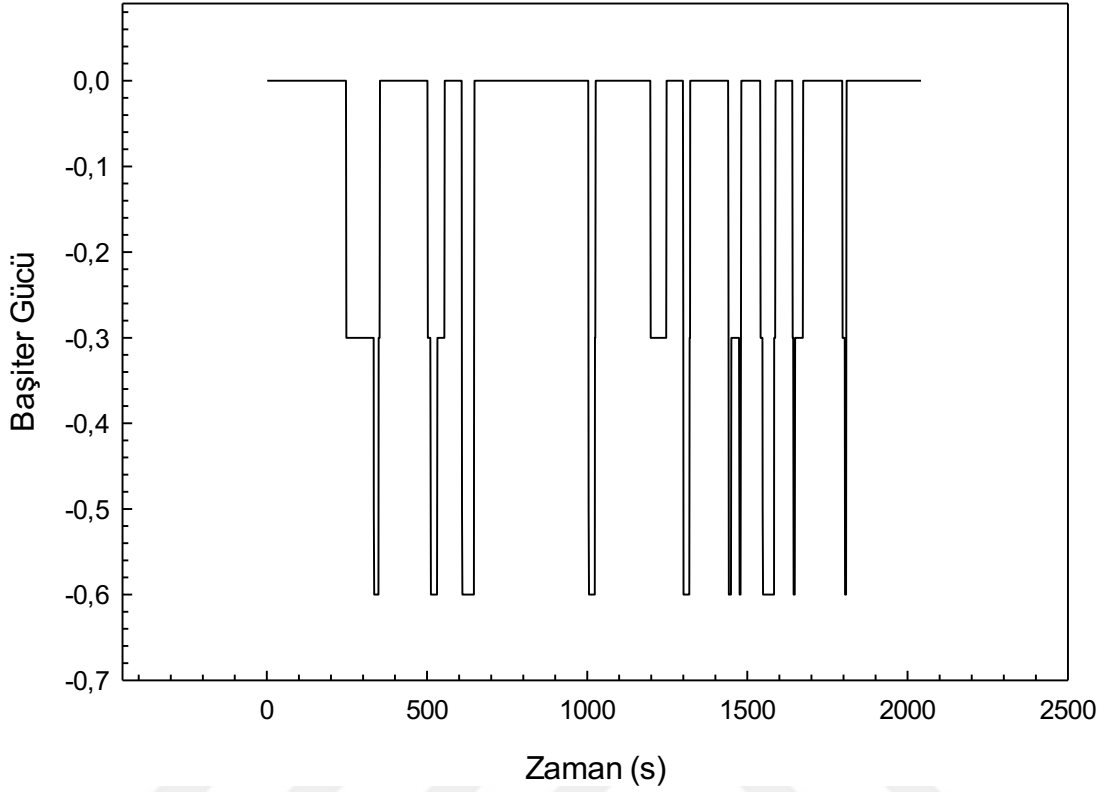
Şekil 84. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin dümen açısı

Şekil 84’te çok rüzgarlı havada geminin kontrolü için dümen açısının kullanımının zamana bağlı değişimini veren grafik verilmiştir. Geminin pruvasının istenilen doğrultuda tutulabilmesi için başiterle birlikte dümen açısının sıklıkla değiştirildiği görülmüştür.



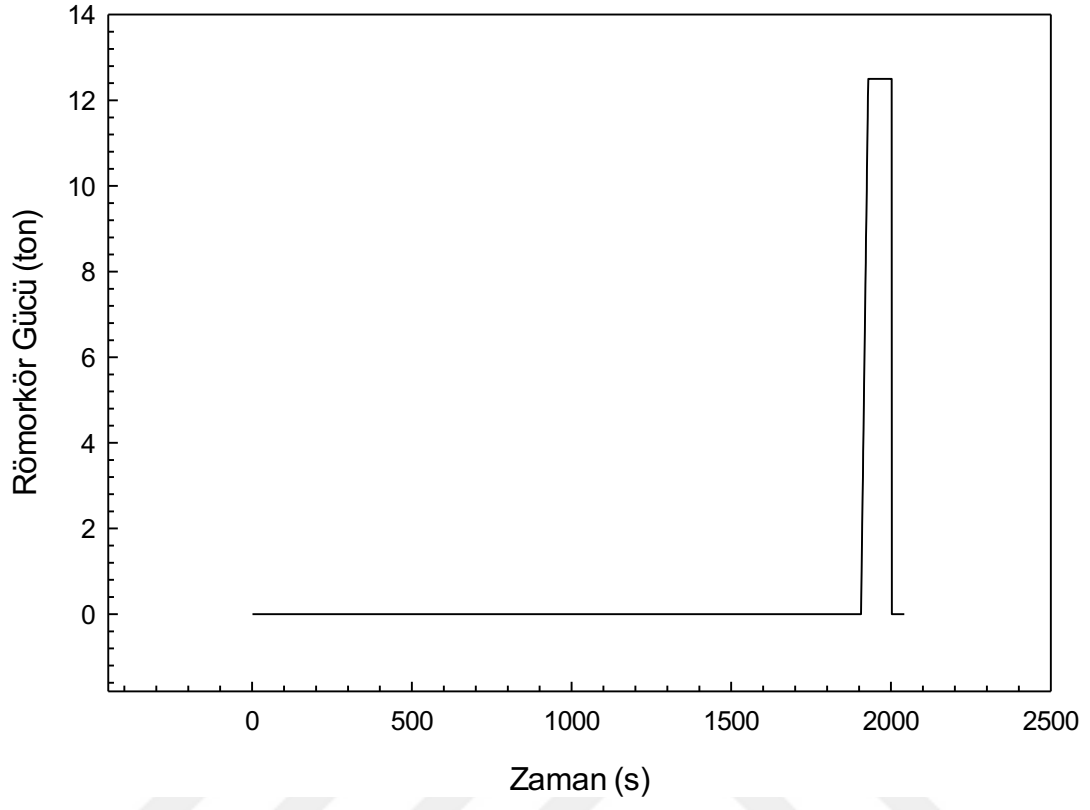
Şekil 85. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin pervane hızı

Şekil 85'te ise pervane hızının değişimi gösterilmiştir. Aşırı rüzgarlı havanın gemi üzerindeki rota bozucu etkisine karşı dümen etkinliğini arttırmak, geminin konumunu kontrol edebilmek için pervanenin yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 86. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin başiter kullanımı

Şekil 86'da başiter kullanımının değişimi gösterilmiştir. Rüzgardan kaynaklı dışa savurucu etkiyi bertaraf edebilmek için yanaşma esnasında sıklıkla başiter dümen ile birlikte kullanılmıştır. Şekil 87'de ise römorkör kullanımının değişimi gösterilmiştir. Yanaşma manevrasının sadece son aşamasında geminin kıçını rıhtıma yanaştırmak için römorkör kullanıldığı görülmüştür.



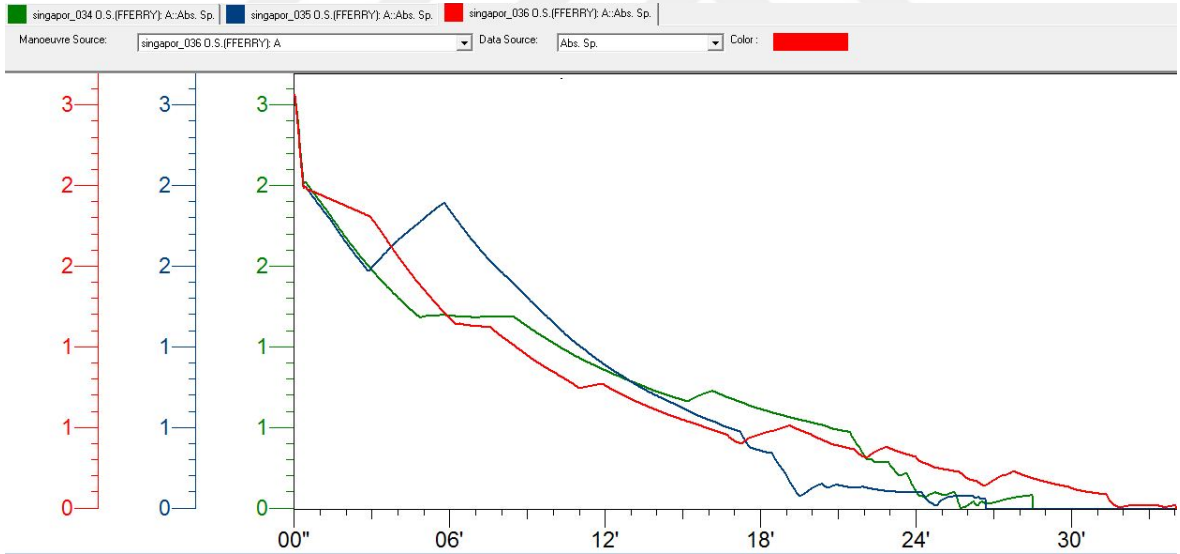
Şekil 87. Çok rüzgarlı havada yanaşma manevrası esnasında geminin römorkör kullanımı

3. BULGULAR

3.1. Yanaşma Manevralarının Karşılaştırmaları

Oluşturulan yapay sinir ağının eğitilmesi, test edilmesi ve farklı şartlar altındaki uygulamaların yapılabilmesi amacıyla gemi kaptanı tarafından gerçekleştirilen manevra sonucunda elde edilen verileri girdi ve çıktı katmanında kullanacağımız parametreler açısından aşağıdaki şekillerde verildiği gibi karşılaştırabilmemiz mümkündür.

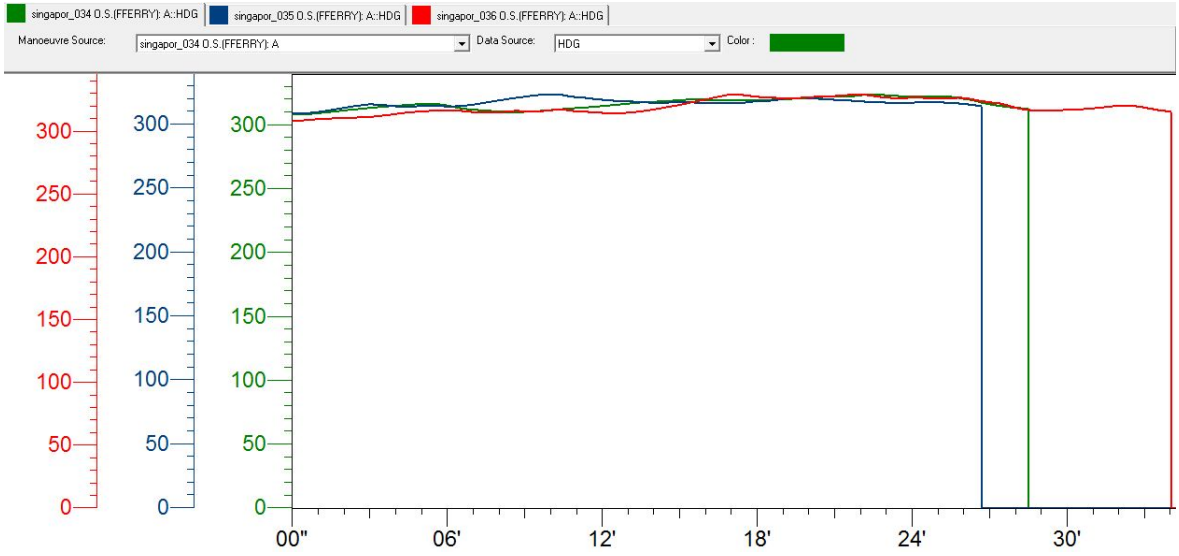
Grafiklerde yeşil renkli eğriler rüzgarsız ($r=0$ knots) hava durumunda gerçekleştirilen yanaşma manevrasını, mavi renkli eğriler az rüzgarlı ($r=10$ knots) hava gerçekleştirilen yanaşma manevrasını ve kırmızı renkli eğriler de çok rüzgarlı ($r=20$ knots) hava durumundaki yanaşma manevrasını temsil etmektedir.



Şekil 88. Geminin hızına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

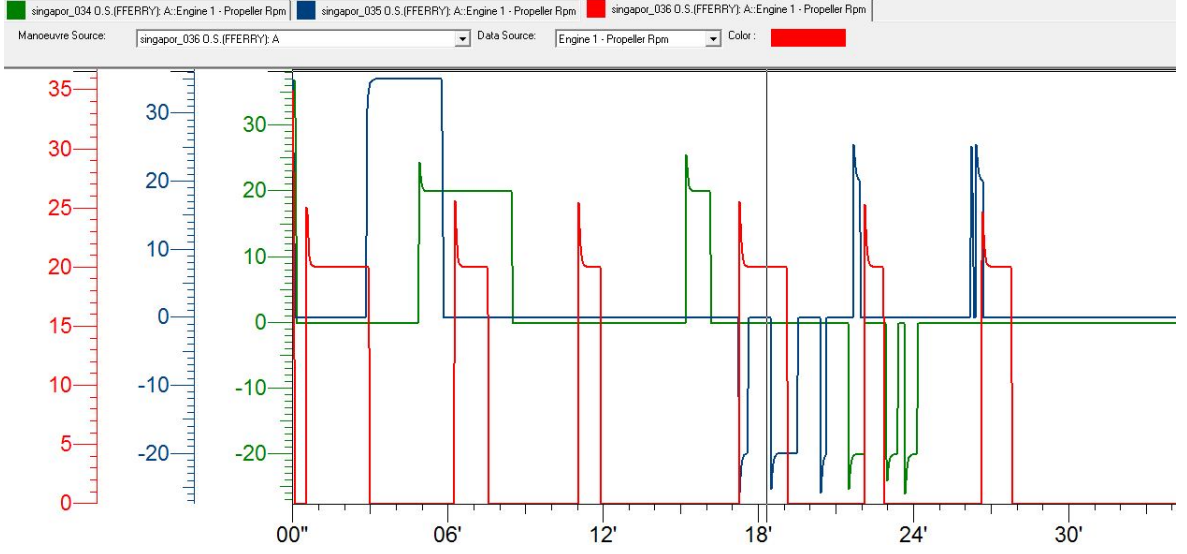
Şekil 88'de geminin farklı rüzgar şartlarındaki yanaşma manevrası esnasında geminin hızının knots cinsinden değişimi zamana bağlı (dakika) olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde yanaşma manevrasının başlangıç pozisyonunda (liman girişinde) geminin hızının 4 knots altında olduğu görülmüştür. Manevralar sırasıyla rüzgarsız havada 28 dakika,

az rüzgarlı havada 26 dakika, çok rüzgarlı havada ise 34 dakika sürmüştür. Eğriler incelendiğinde yanaşma manevraları esnasında geminin kontrolü için gemi üzerindeki hızın bu manevralar özelinde çok bir değişkenlik göstermediği ve birbirlerine paralel olduğu görülmüştür. Benzer hızlarda olmasına rağmen farklı sürelerde geminin yanaşma manevrasının gerçekleşmesinin sebebi olarak geminin rüzgarı farklı şekillerde alması ve dümen-başiter-römorkör kullanımı ile rüzgar etkisinin gemi hızını destekleyici şekilde kullanımı olarak açıklamak mümkündür.



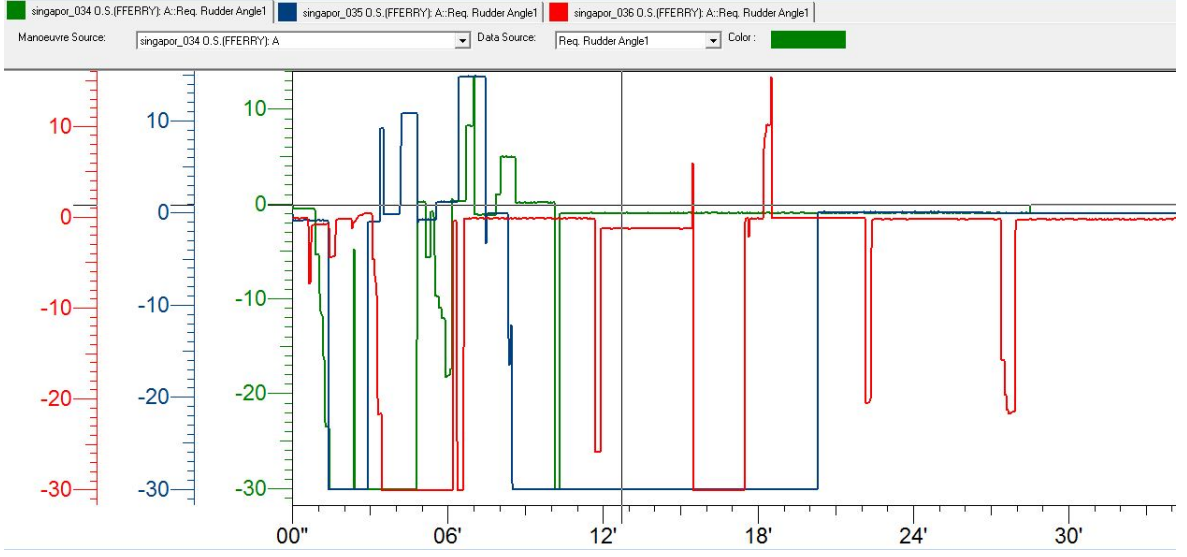
Şekil 89. Geminin yönüne bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

Şekil 89 incelendiğinde yanaşma manevrası süresince geminin rotasını koruduğu ve rüzgara bağlı etkilerden dolayı rotasında bir değişimin olmadığı görülmektedir. Bu noktada geminin yanaşma rotasının korunması için dümen, başiter ve römorkörün kullanım sürelerinin güçlerini değiştirdiğini söylemek mümkündür.



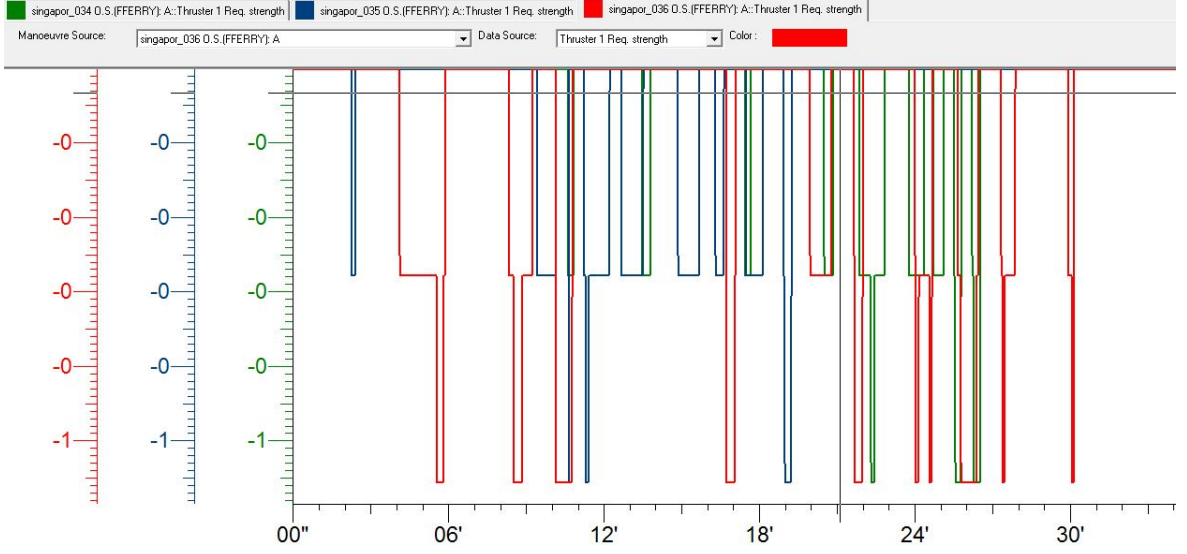
Şekil 90. Geminin pervane dönüş hızına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

Şekil 90'da pervane dönüş hızının farklı meteorolojik hava şartlarında yanaşma manevrası esnasındaki değişimi verilmiştir. Yeşil renkle ifade edilen rüzgarsız hava durumu ile kırmızı renkle ifade edilen çok rüzgarlı hava durumundaki pervane kullanım farklı daha net görülmektedir. Özellikle çok rüzgarlı havada geminin rotasını korumaya yönelik olarak yapılan manevraların gerek etkinliğini arttırmak gerekse de geminin hızını korumak için pervane daha sık/düzenli kullanılmıştır. Az rüzgarlı havayı ifade eden mavi renkli eğriler incelendiğinde ise liman içinde ilerlerken rüzgar etkisine bağlı pervane kullanımını çok önemli bir değişkenlik göstermezken rıhtıma yanaşma esnasında pervanenin kullanımıyla hem dümenin çalışma etkinliğini arttırmak hem de rüzgardan kaynaklı etkileri minimize etmek için ana makinenin kullanımına başvurulmuştur.



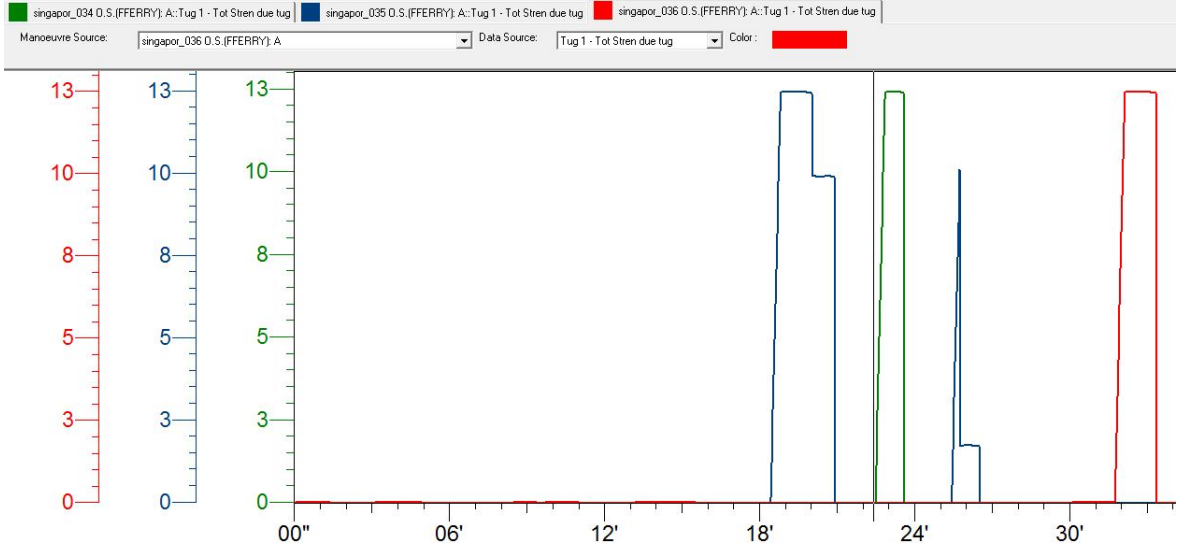
Şekil 91. Geminin dümen açısına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

Şekil 91’de dümen açısındaki değişimin manevra süresi boyunca ki zamana bağlı olarak değişim eğrileri verilmiştir. Yeşil renkle ifade edilen rüzgarsız ve mavi renkle ifade edilen az rüzgarlı hava şartlarını gösteren eğriler incelendiğinde girişi itibariyle geminin yanaşma açısının/pozisyonunun ayarlanması için dümenle geminin kontrol edildiği, daha sonrasında ise gemi konumun kontrolü için dümenin kullanılmadığı görülmektedir. Çok rüzgarlı havada ise tüm yanaşma manevrası boyunca diğer sistemlerle birlikte dümen de aktif olarak kullanılmıştır.



Şekil 92. Geminin başiter kullanımına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

Şekil 92’de geminin başiter kullanımının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Özellikle kırmızı renkle gösterilen çok rüzgarlı hava şartlarında geminin rotasını korumak için, kafayı düzeltmek için başiter %25 ve çoğunluk %50 güçte çalışacak şekilde kullanılmıştır. Rüzgarsız ve az rüzgarlı durumlarda ise sadece kafa düzeltmeleri için kısa aralıklar %25 güçte başiterin dönem dönem çalıştırıldığı görülmektedir.



Şekil 93. Geminin römorkör kullanımına bağlı olarak manevraların karşılaştırılması

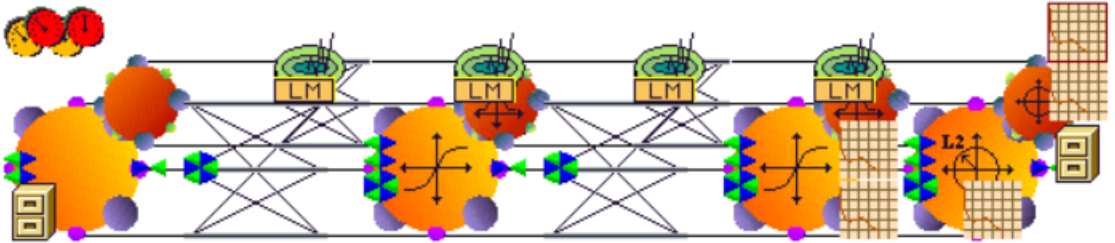
Şekil 93'te ise römorkör kullanım süreleri ve güçlerinin zamana bağlı değişimleri verilmektedir. Burada da az rüzgarlı (yeşil eğri) ve çok rüzgarlı (kırmızı eğri) havalarda sadece son aşamada gemiyi rıhtıma yanaştırmak için römorkör kullanılırken grafikte de görüldüğü üzere az rüzgarlı havada yanaşma manevrası öncesi geminin pozisyonunun düzeltilmesi amacıyla bir süre kış bölümden itme şeklinde römorkör kullanıldığı görülmektedir.

Tüm parametreler bir arada değerlendirildiğinde, gemi yanaşma manevralarının aslında oldukça karmaşık ve her bir manevranın -benzer şartlar altında olsa dahi- birbirinden bağımsız/özel olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Bu yüzden manevra esnasında eş zamanlı olarak geminin hızının, o anki pozisyonunun, dümen açısının, başiterin ve römorkörün geminin manevrasının başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için ne şekilde kullanılacağına, anlık değişimlere ne şekilde tepki verilmesi gerektiğinin planlanması ve buna uygun şekilde tepki verilmesini gerektiğini söylemek mümkündür. Bir gemi kaptanı tüm şartları değerlendirip, öngörülerine dayalı olarak bu manevraları gerçekleştirebilirken geleneksel algoritmalar bu konularda başarılı sonuçlar üretememektedir. Temel gemi hareketi/manevralarına yönelik olarak geminin tüm sistemlerinden gelen verilerin/geri bildirimlerin işlenmesi, geminin pozisyonunun değerlendirilmesi ve hedefe yönelik olarak yapılması gerekenlerin öngörülüp buna uygun olarak aksiyon alınması geleneksel programlama yöntemleriyle mümkün olurken özellikle rüzgar, akıntı gibi öngörülemeyen

anlık durumlar karşısında bu algoritmalar verimli sonuçlar üretememektedir ve istenildiği gibi hassas kontroller sağlanamamaktadır. Bu noktada yapay sinir ağları gibi olaylar öğrenen ve sonuçlar üreten modeller yanaşma manevraları gibi karmaşık problemin çözümünde etkili sonuçlar üretmektedirler.

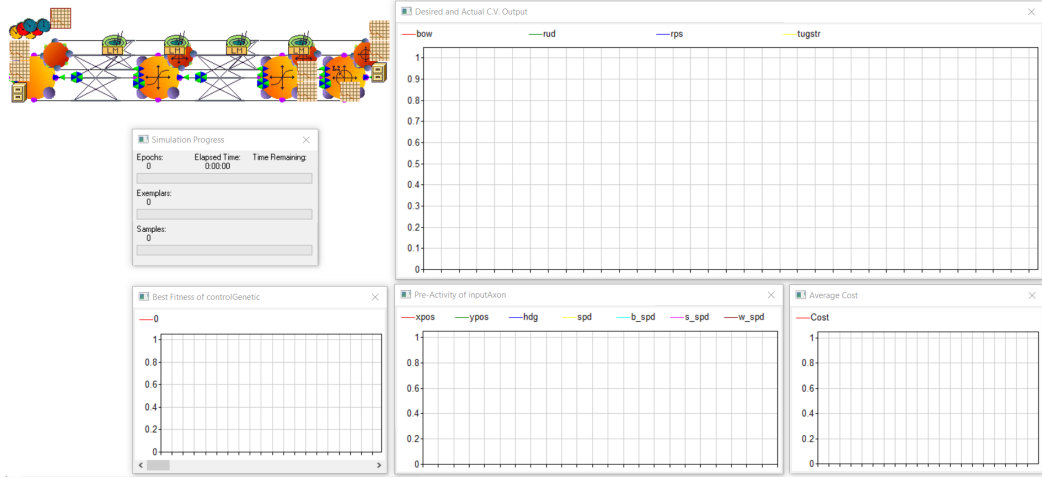
3.2. Yapay Sinir Ağı İle Gerçekleştirilen Manevranın Performansı

Bir önceki bölümde yer alan bulgular ışığında elde edilen verilerden oluşturulan veri setleri ile modellenen ağı (Şekil 94) eğitilmesi sonucunda, farklı meteorolojik şartlar altında eğitilmiş ağ modeline daha önce hiç karşılaşmadığı meteorolojik şartlar altında yanaşma manevrası yaptırılmıştır. Yapılan yanaşma manevralarından farklı olarak orta rüzgarlı (15 knots) durum için sinir ağı modelinin ilgili manevrayı gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Daha sonra bir gemi kaptanı tarafından aynı şartlar altında yanaşma manevrası Mistral 4000 tam donanımlı köprü üstü simülöründe gerçekleştirilmiştir. Ağın ürettiği sonuçlarla gemi kaptanının manevrası sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp ilgili manevranın başarıyla gerçekleştirildiği görülmüştür.



Şekil 94. NeuroSolutions ortamında oluşturulan sinir ağı

Şekil 94'te NeuroSolutions yazılımının oluşturulan sinir ağı modelinin şematik gösterimi verilmiştir. Tek gizli katmana sahip olan bu ağ modelinde gizli katmanda ve çıktı katmanında Leverberg-Marquardt Öğrenme Algoritması (LMÖA) ağırlıkların belirlenebilmesi amacıyla öğrenme fonksiyonu olarak kullanılmıştır.



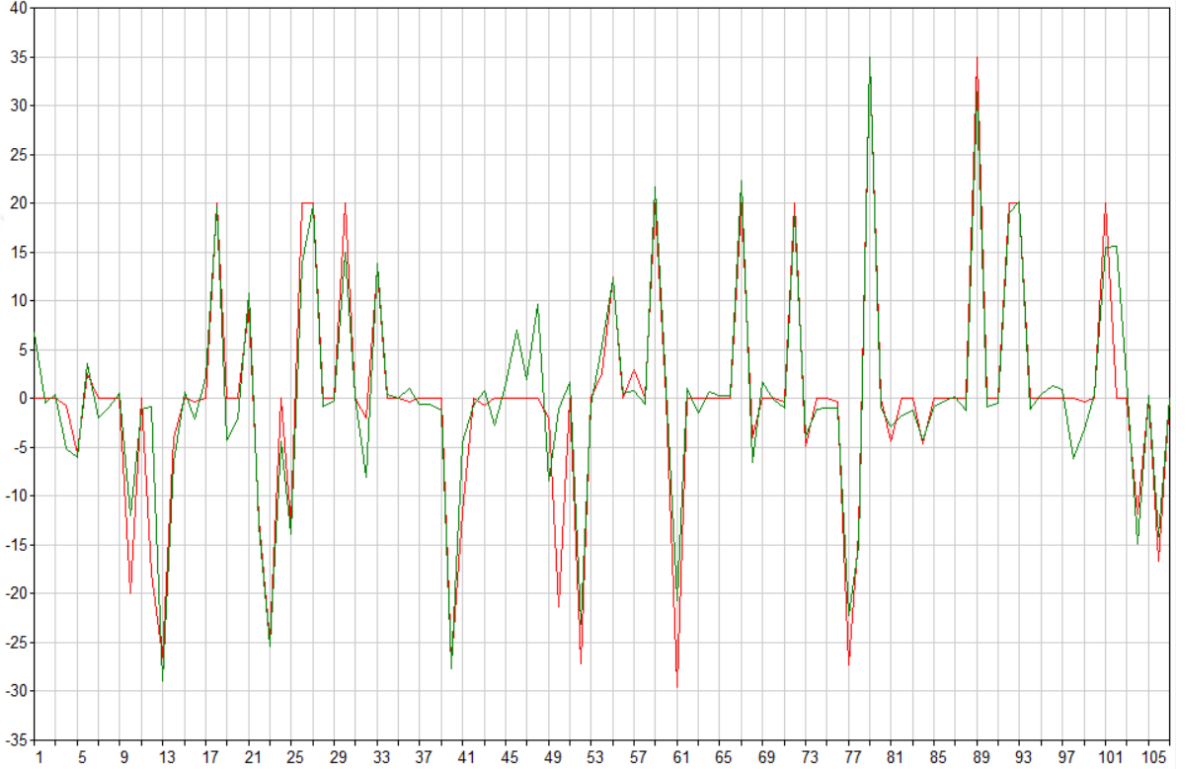
Şekil 95. NeuroSolutions ağ eğitimi ortamı

Şekil 95 ve Şekil 96'da NeuroDimension firmasının yazılım arabirimi görülmektedir. Ağın eğitimi esnasında hata oranları, eğitim performansı, eğitilen parametrelerin gerçek parametrelerle ne kadar yakınsadığı anlık olarak takip edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlarda sapma tespit edildiğinde eğitim durdurularak ağ model parametreleri güncellenerek eğitime yeniden başlamak mümkün olmaktadır. Ağın hangi bölümlerde yakınsadığı, yakınsamanın öğrenme mi yoksa ezberlememi olduğu kararı da yine öğrenme ve hata eğrilerinin değişimine göre tespit edilebilmektedir.



Şekil 96. NeuroSolutions uygulamasında ağ eğitiminin gösterimi

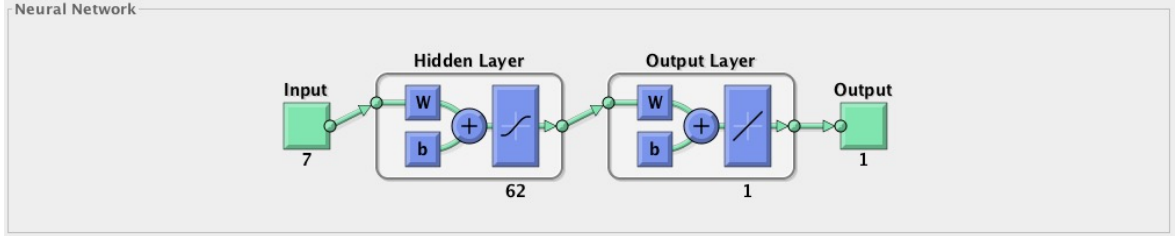
Şekil 97’de oluşturulan ağ modelinin eğitim esnasındaki grafikleri görülmektedir. Kırmızı eğriler gerçek kaptan manevrasının değerlerini ifade ederken yeşil renkli eğriler model tarafından üretilen sonuçları göstermektedir. Grafikten de görüleceği üzere eğitimin tamamlanması sonucunda elde edilen bu grafikte her iki eğrinin de birbirine uyumlu olduğu, düzgün ve orantılı bir şekilde örtüştüğü gözükmemektedir.



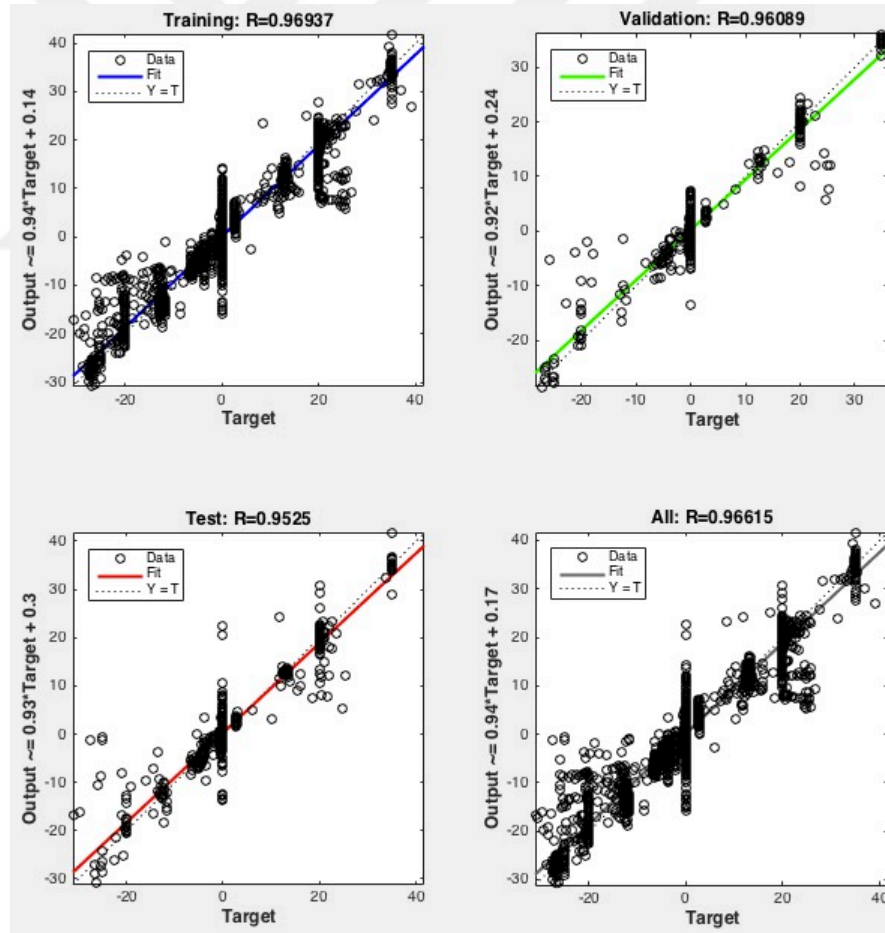
Şekil 97. Yapay sinir ağının pervane dönüş hızı eğitim sonuçları

Pervane dönüş hızı için verilen eğitim sonuçları, çok katmanlı algılayıcı modelinin hiperbolik tanjant aktivasyon kullanılarak levenberg-marquardt öğrenme algoritması ile eğitilmesi sonucunda tek gizli katmana sahip ağ tarafından üretilmiştir (Şekil 98). Gizli katmanında 62 proses elemanı bulunan modelin eğitim esnasında 0 knots, 10 knots ve 20 knots rüzgar şartlarında yapılmış yanaşma manevrayla ilgili veri setleri kullanılmış olup ağın eğitimi sağlanmıştır. Sonrasında 15 knots rüzgar şartı için ağ modeli uygulamalı olarak test edilmiştir. Eğitim sonucunda, hata oranları hata kareleri ortalaması yöntemiyle hesaplanmış olup eğitim seti için 0,66478, çapraz karşılaştırma seti için 0,77308 ve test seti için 0,95795 olarak bulunmuştur. Verilerin regresyon analizleri sonuçları da eğitim seti için 0,96937,

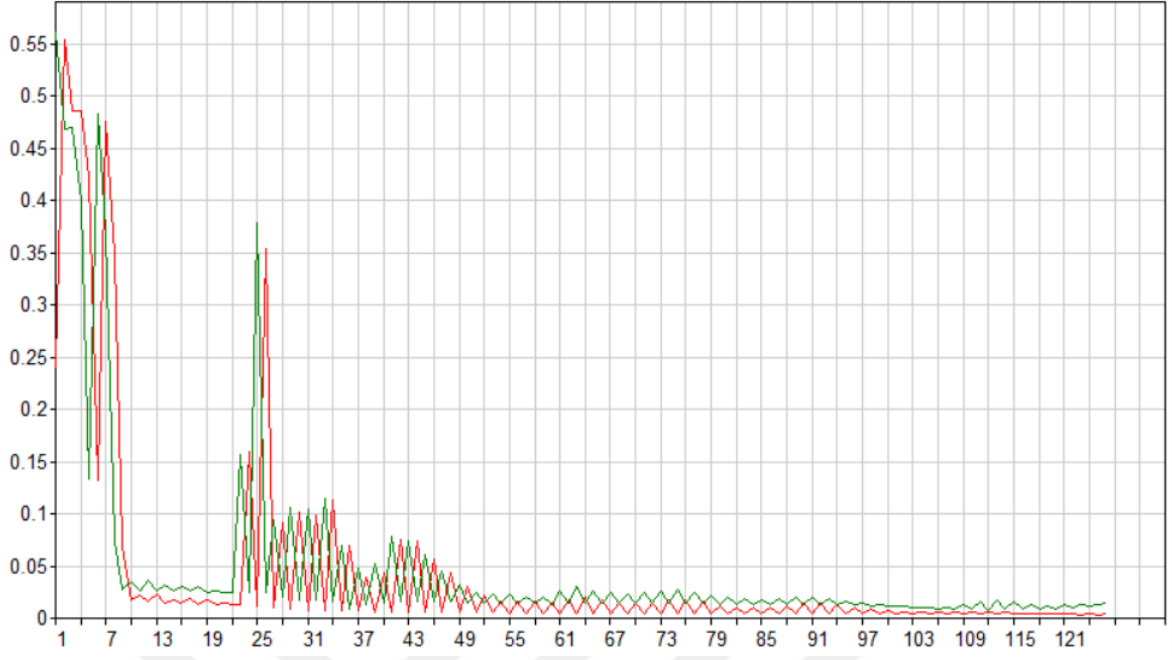
çapraz karşılaştırma seti için 0,96089 ve test seti için 0,95249 olarak elde edilmiştir (Şekil 99). Modelin tümü değerlendirildiğinde regresyon analizinin sonucunun 0,96615 olduğu görülmüştür.



Şekil 98. Pervane dönüş hızı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli



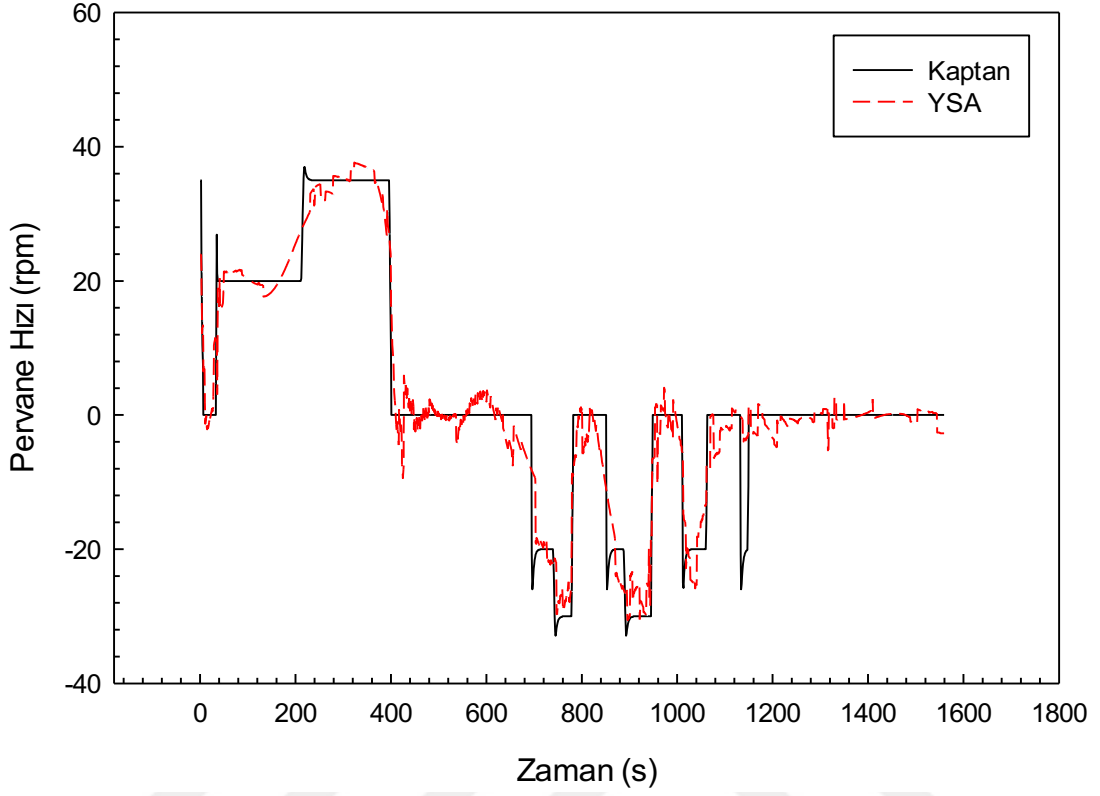
Şekil 99. Yapay sinir ağı pervane dönüş hızı için regresyon analizi sonuçları



Şekil 100. Yapay sinir ağının pervane dönüş hızı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği

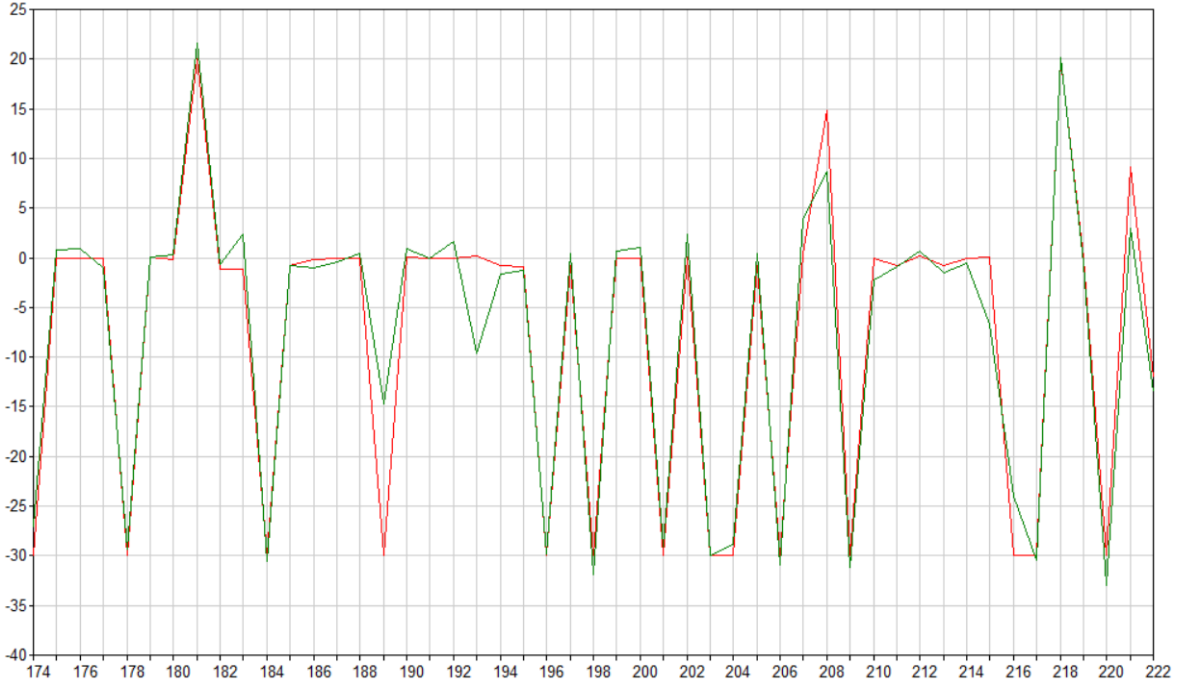
Grafikte (Şekil 100) de görüleceği üzere eğitim işlemi başarıyla tamamlanmış olup, eğitim esnasında ağın ürettiği sonuçlar gerçek sonuçlarla neredeyse birebir örtüştüğü görülmüştür. 124. iterasyon sonucunda ağın hata oranı 0,01'in altına düştüğünden dolayı da eğitim tamamlanmış kabul edilmiştir.

Orta rüzgarlı (15 knots) durum için gerçekleştirilen yanaşma manevraları için ağın ürettiği sonuçlarla kaptan tarafından yapılan yanaşma manevrası sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması ise Şekil 101'de verilmiştir.



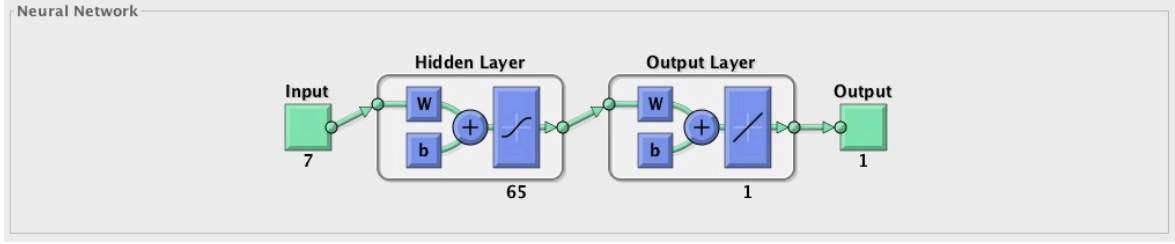
Şekil 101. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının pervane hızı bakımından karşılaştırılması

Şekil 101’de ağ modeli tarafından gerçekleştirilen manevrada esnasında pervane hızı değişiminin gemi kaptanının manevra esnasındaki pervane kullanımıyla karşılaştırılması zamana bağlı olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde ağın ürettiği sonuçlarla gemi kaptanının manevrası sonucunda elde edilen verilen örtüştüğü, benzer eğilimlere sahip olduğu görülmektedir.

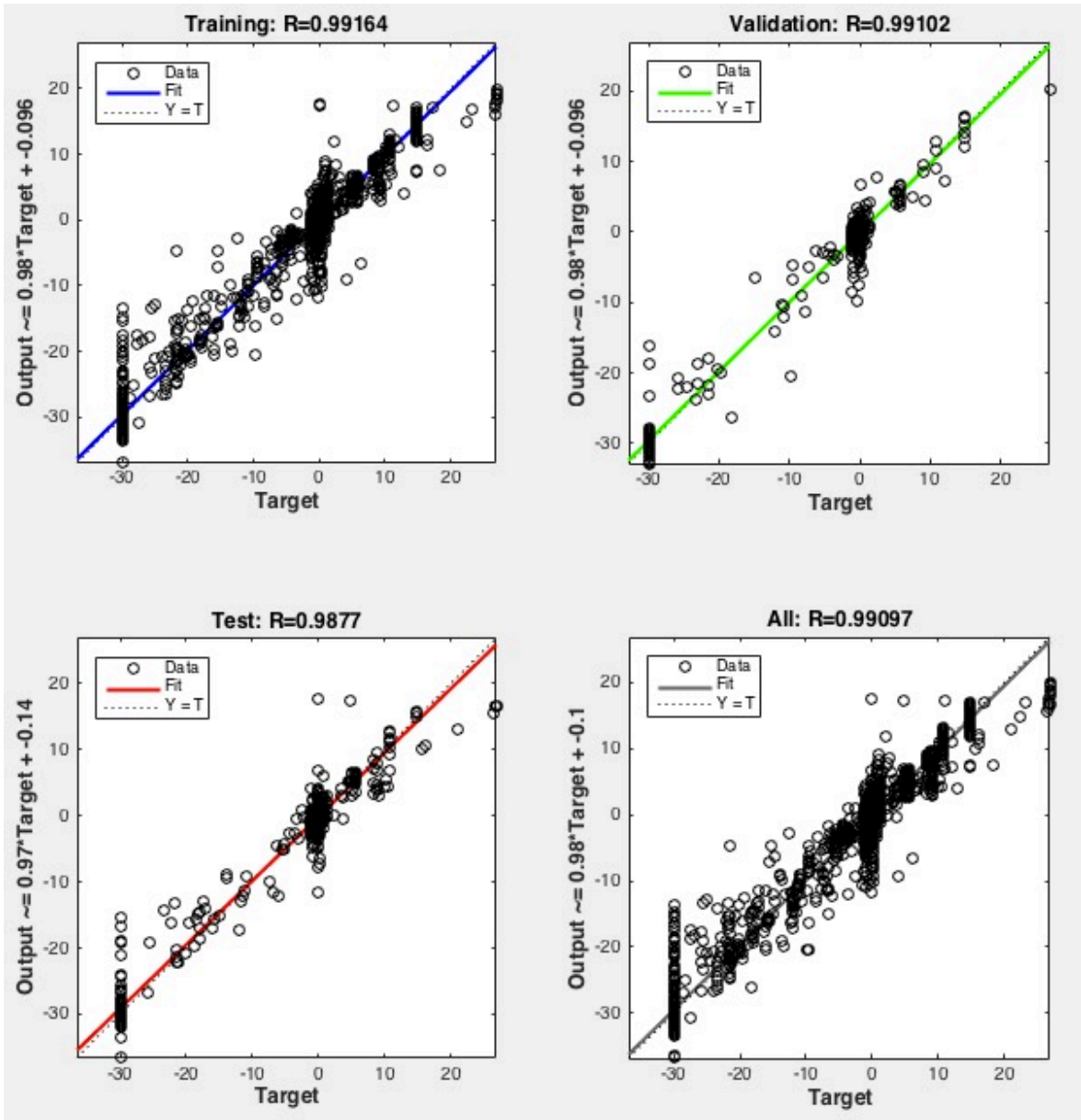


Şekil 102. Yapay sinir ağının dümen açısı eğitim sonuçları

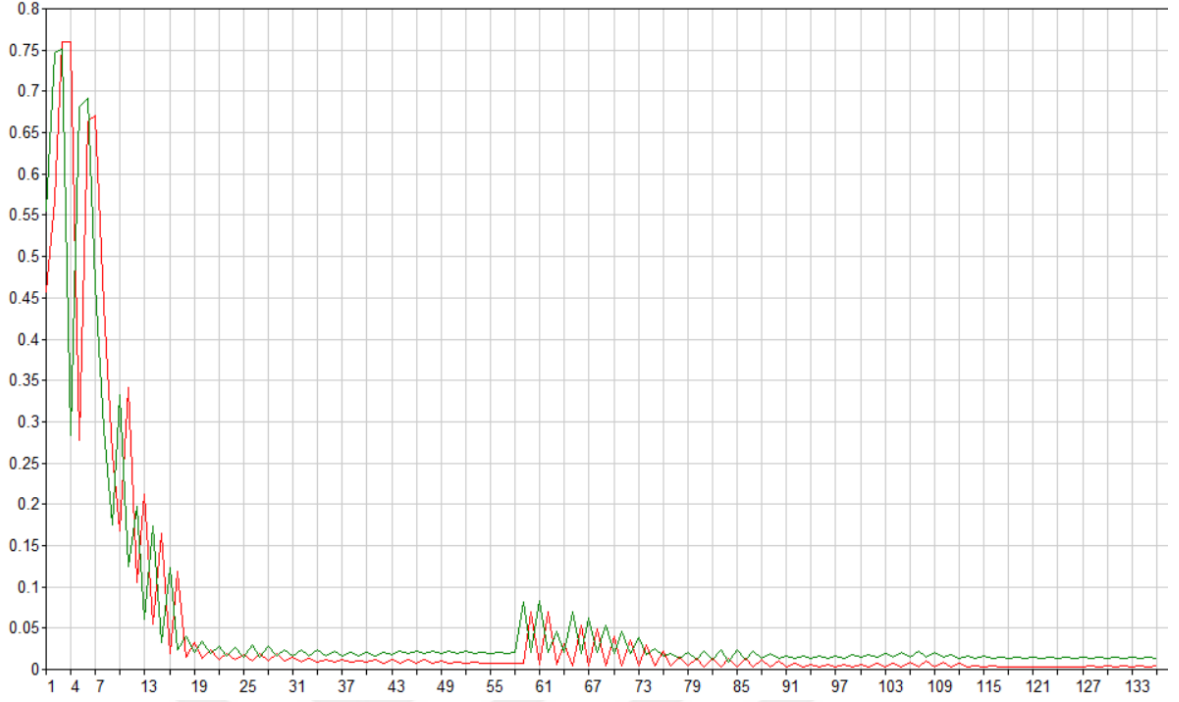
Şekil 102’de, manevra esnasındaki dümen açısı için ağ modelinin eğitim sonuçları verilmiştir. Oluşturulan modelde tek gizli katmana sahip ağın gizli katmanında 65 proses elemanı seçilmiştir (Şekil 103). 0 knots, 10 knots ve 20 knots rüzgar şartlarında yapılmış yanaşma manevralarından elde edilen veriler eğitilen ağ, Daha sonra 15 knots rüzgar şartı için test edilmiştir. Eğitim sonucunda, hata oranlarının hesaplanmasında hata kareleri ortalaması yöntemi kullanılmış eğitim seti için 0,25007, çapraz karşılaştırma seti için 0,25999 ve test seti için 0,37718 olarak hesaplanmıştır. Şekil 104’de verilerin regresyon analizleri sonuçları verilmiştir. Eğitim seti için 0,99164, çapraz karşılaştırma seti için 0,99102 ve test seti için 0,98770 olarak elde edilirken, veri setinin geneli için yapılan analizde 0,99097 gibi benzerlik oranı yüksek kabul edilebilecek bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 103. Dümen açısı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli



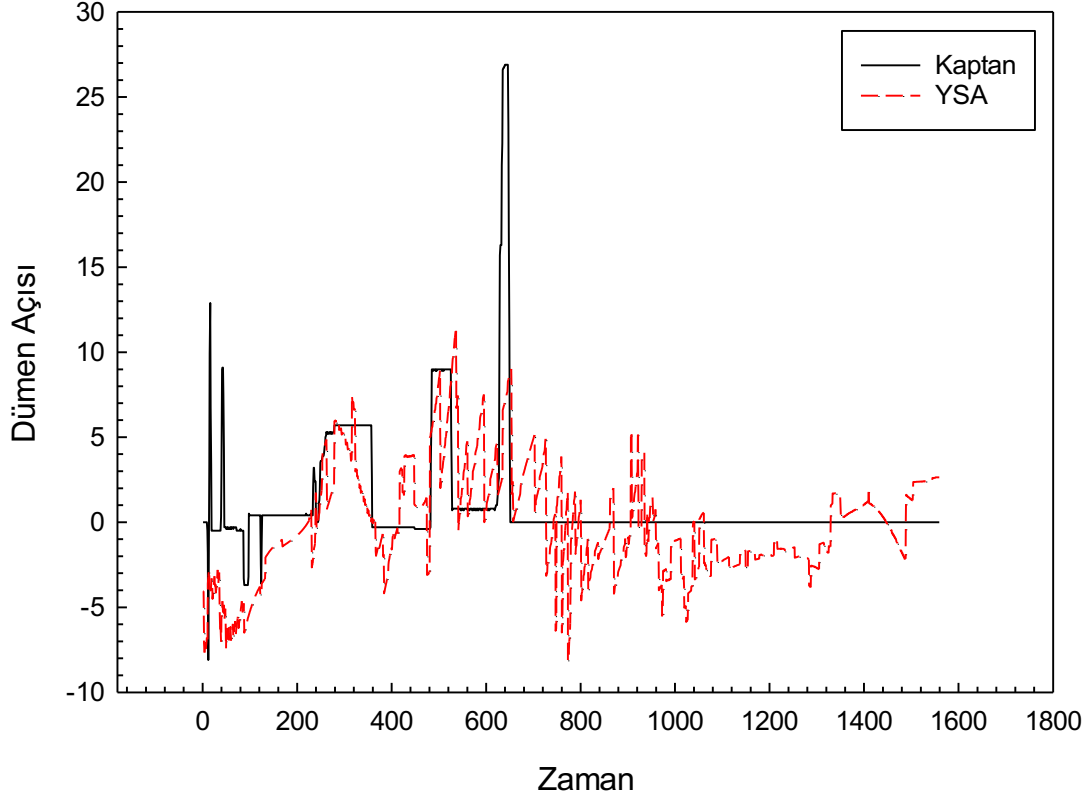
Şekil 104. Yapay sinir ağı dümen açısı için regresyon analizi sonuçları



Şekil 105. Yapay sinir ağının dümen açısı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği

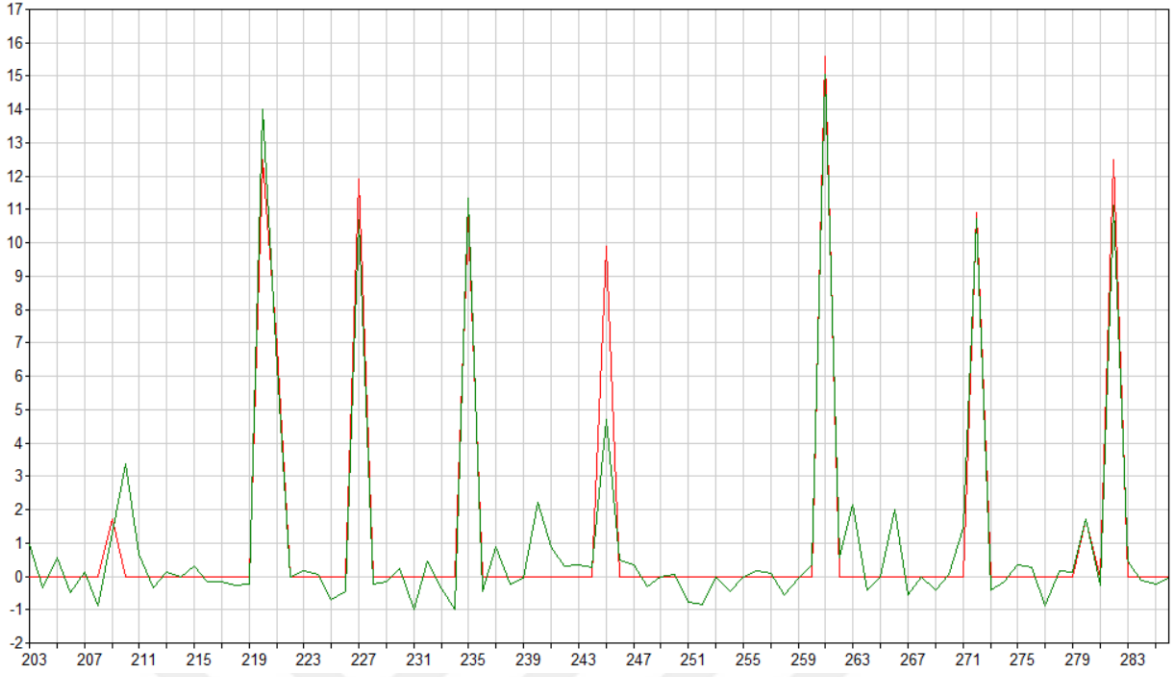
Şekil 105'te verilen hata değişim grafiğinden de görüleceği üzere 135 iterasyon sonucunda ağın hata oranı kabul edilen değer olan 0,01'in altına düştüğünden dolayı eğitim tamamlanmış kabul edilerek ve ağ modeli eğitilmiş olarak değerlendirilmiştir.

Eğitilen ağ modelinin orta rüzgarlı (15 knots) durum için yanaşma manevrasını gerçekleştirilmesi ve ilgili manevra için dümen açısı yönünden ürettiği sonuçların gemi kaptanı tarafından yapılan yanaşma manevrası sonucu elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 106'da verilmiştir.



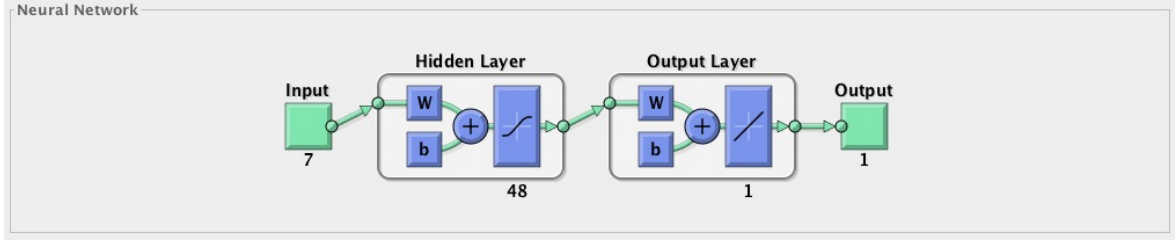
Şekil 106. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının dümen açısı bakımından karşılaştırılması

Şekil 106’da ağ modeli ile gemi kaptanının 15 knots orta rüzgarlı hava durumu için gerçekleştirilen yanaşma manevralarındaki dümen açısı değişiminin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ağ tarafından tahmin edilen dümen açısı ilk 600 saniye boyunca gemi kaptanının manevrasıyla karakteristik olarak benzeştiği görülürken, bu süreden sonra farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. Gemi kaptanı tarafından gerçekleştirilen manevrada 10. dakikadan itibaren manevranın tamamlanmasına kadar geçen sürede geminin kumandası römorkör ve başiter kullanımıyla sağlanırken ağ tarafından dümen açısının değişimiyle geminin rotasının korunumu için kullanıldığı görülmektedir.

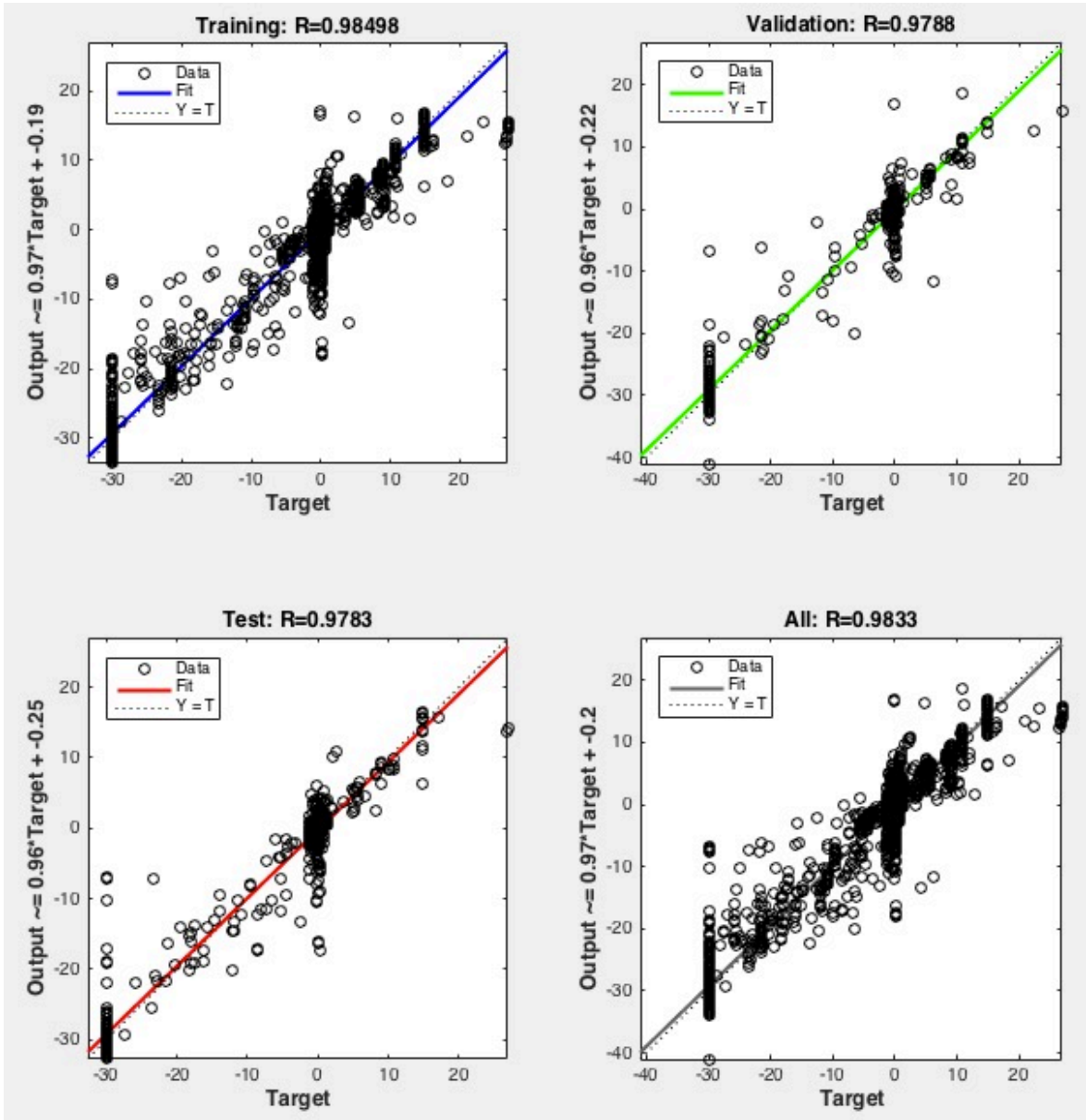


Şekil 107. Yapay sinir ağının römorkör kullanımı eğitimi sonuçları

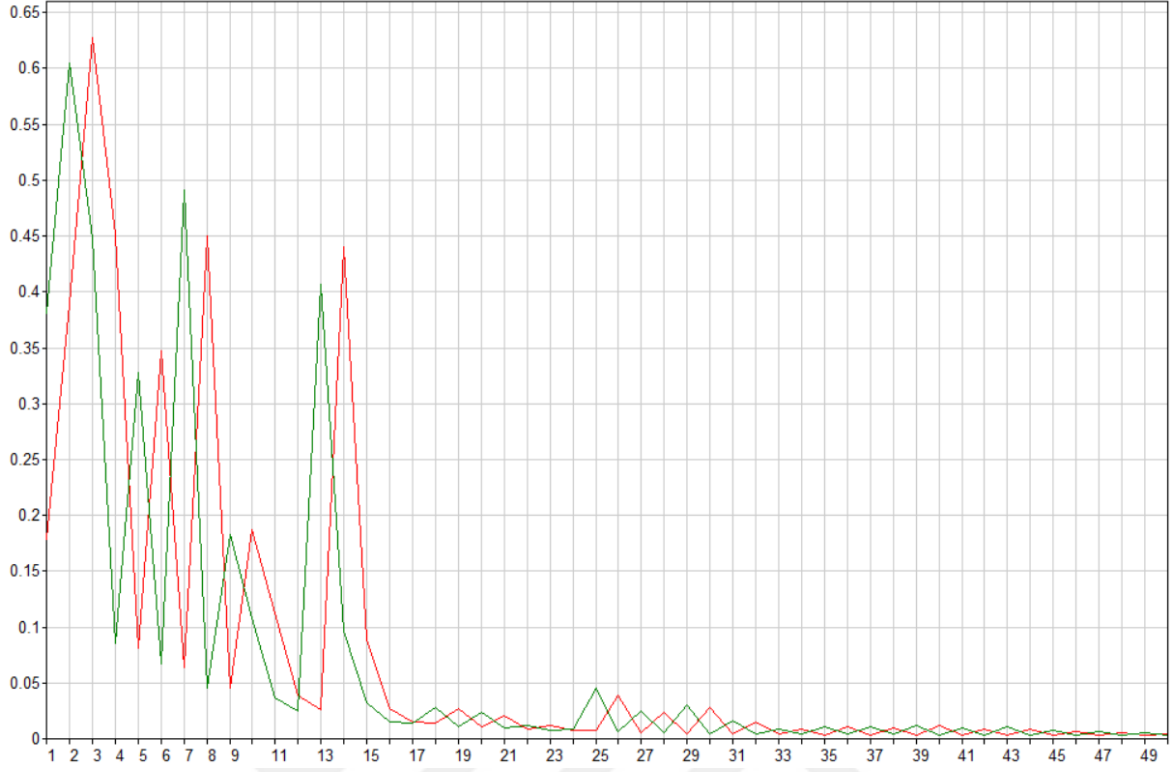
Şekil 107’de römorkör kullanımı sonucu elde edilen verilerle eğitilen ağ modeli için eğitim sonuçlarının değişim grafiği verilmiştir. Tek gizli katmana sahip ağın gizli katmanında 48 proses elemanı tercih edilmiştir (Şekil 108). 0 knots, 10 knots ve 20 knots rüzgar şartlarında yapılmış yanaşma manevrasıyla ilgili elde edilen veri setleriyle ağın eğitimi sağlanmış olup, 15 knots rüzgar şartı için ağın sonuç üretmesi beklenmiştir. Eğitim sonucunda, hata oranları hata kareleri ortalaması yöntemiyle hesaplanmış olup eğitim seti için 0,44117, çapraz karşılaştırma seti için 0,69066 ve test seti için 0,65115 olarak elde edilmiştir. Verilerin regresyon analizleri sonuçları da eğitim seti için 0,98498, çapraz karşılaştırma seti için 0,9788 ve test seti için 0,9783 olarak elde edilmiştir. Şekil 109’da verilen römorkör kullanımı için regresyon analizi sonuçlarında ayrıca tüm veri seti üzerinden yapılan regresyon analizinin sonuçlarının da 0,9833 olduğu görülmektedir.



Şekil 108. Römorkör kullanımı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli



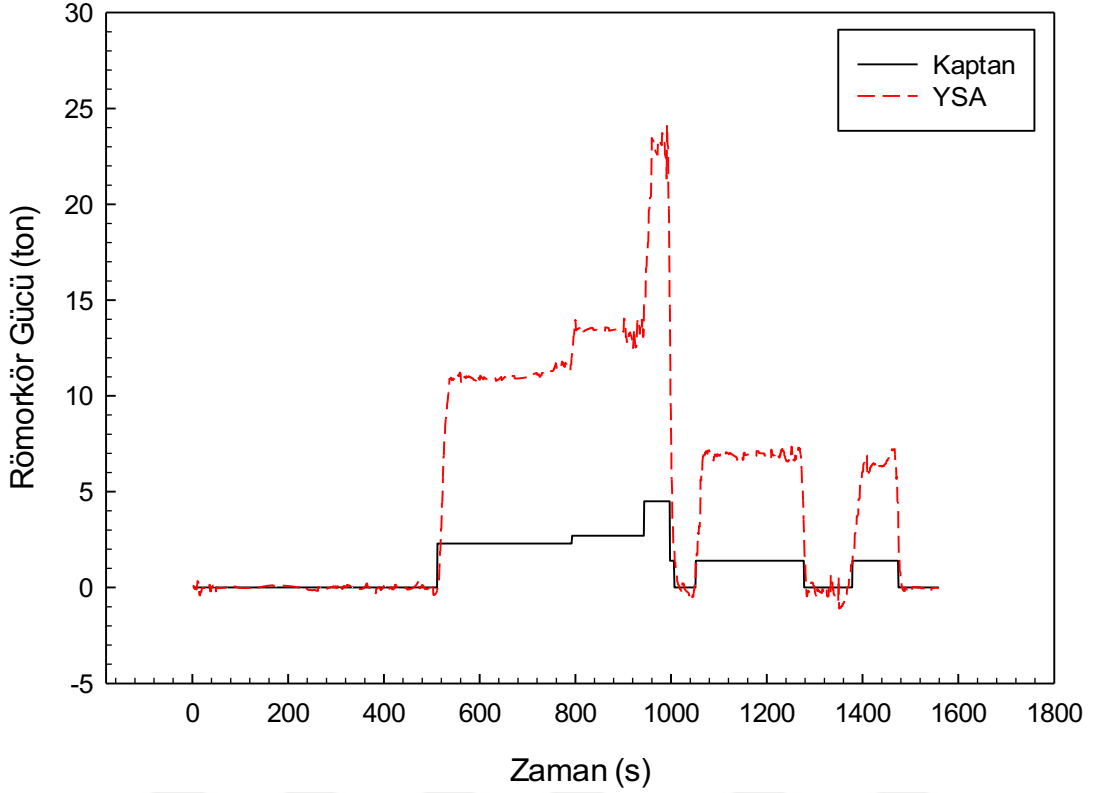
Şekil 109. Yapay sinir ağı römorkör kullanımı için regresyon analizi sonuçları



Şekil 110. Yapay sinir ağının römorkör kullanımı eğitim sonuçları için hata değişimi grafiği

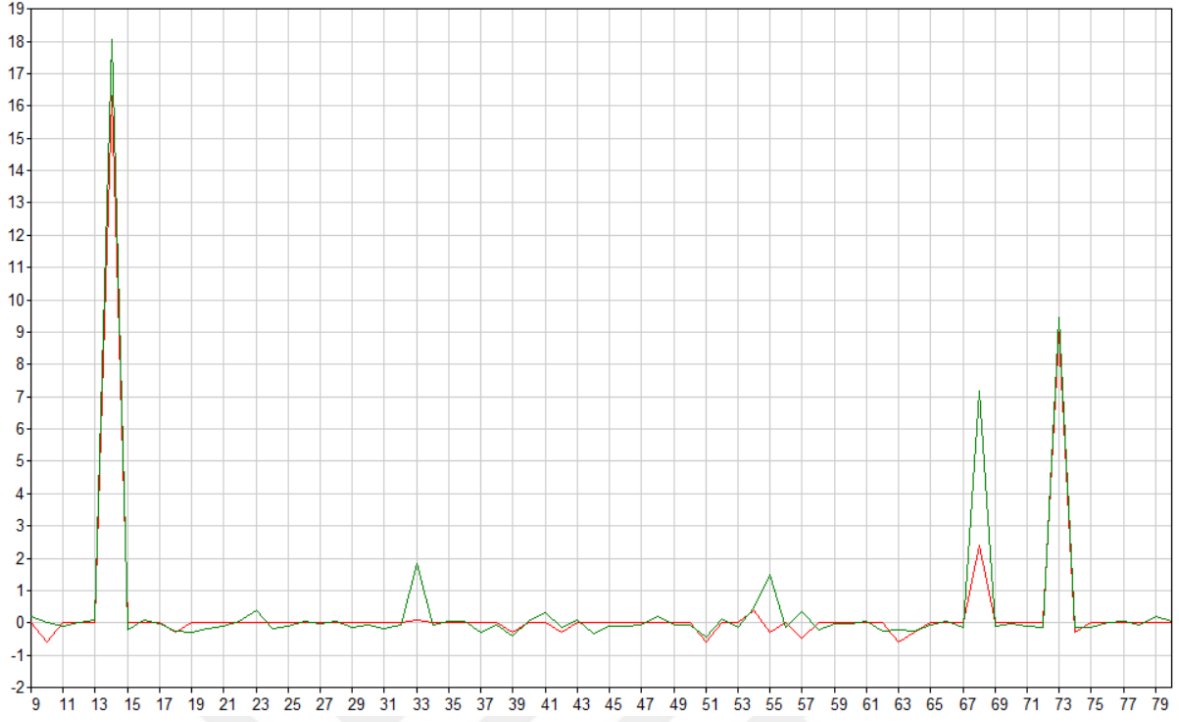
Şekil 110'da ağ modelinin eğitim durdurma kriteri olan 0,01 değerinin altına 54 iterasyon sonucunda düştüğü ve bu aşamada eğitimin tamamlanmış kabul edildiği görülmektedir.

Orta rüzgarlı (15 knots) durum için gerçekleştirilen yanaşma manevraları için ağın ürettiği sonuçlarla gemi kaptanı tarafından yapılan yanaşma manevrası sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 111'de verilmiştir.



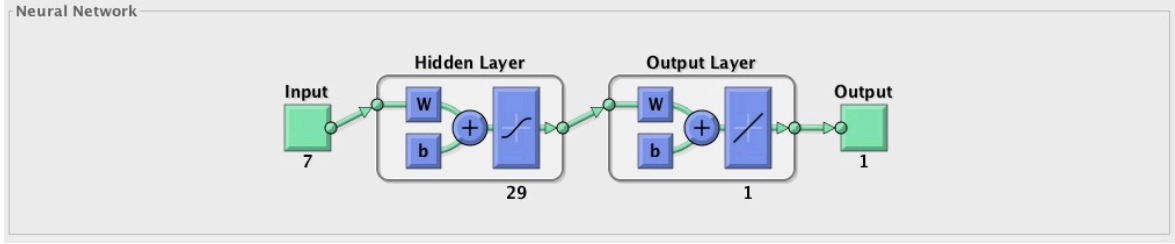
Şekil 111. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının römorkör kullanımı bakımından karşılaştırılması

Grafikten de görüleceği üzere YSA modeli ile gemi kaptanının römorkör gücü kullanımının karakteristikleri birbiriyle benzerlik göstermektedir. Aradaki farklılık, gemi kaptanı ile ağ modelinin veri setlerinin geneli incelendiğinde, dümen açısı ve başiter kullanımı arasındaki farklılıktan kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Gemi kaptanı tarafından başiterle geminin kontrolü sağlanarak konum kontrolü yapılırken ağ modeli tarafından üretilen sonuçlar değerlendirildiğinde konum kontrolü için dümen ve daha yoğun römorkör kullanımının tercih edildiği görülmektedir.

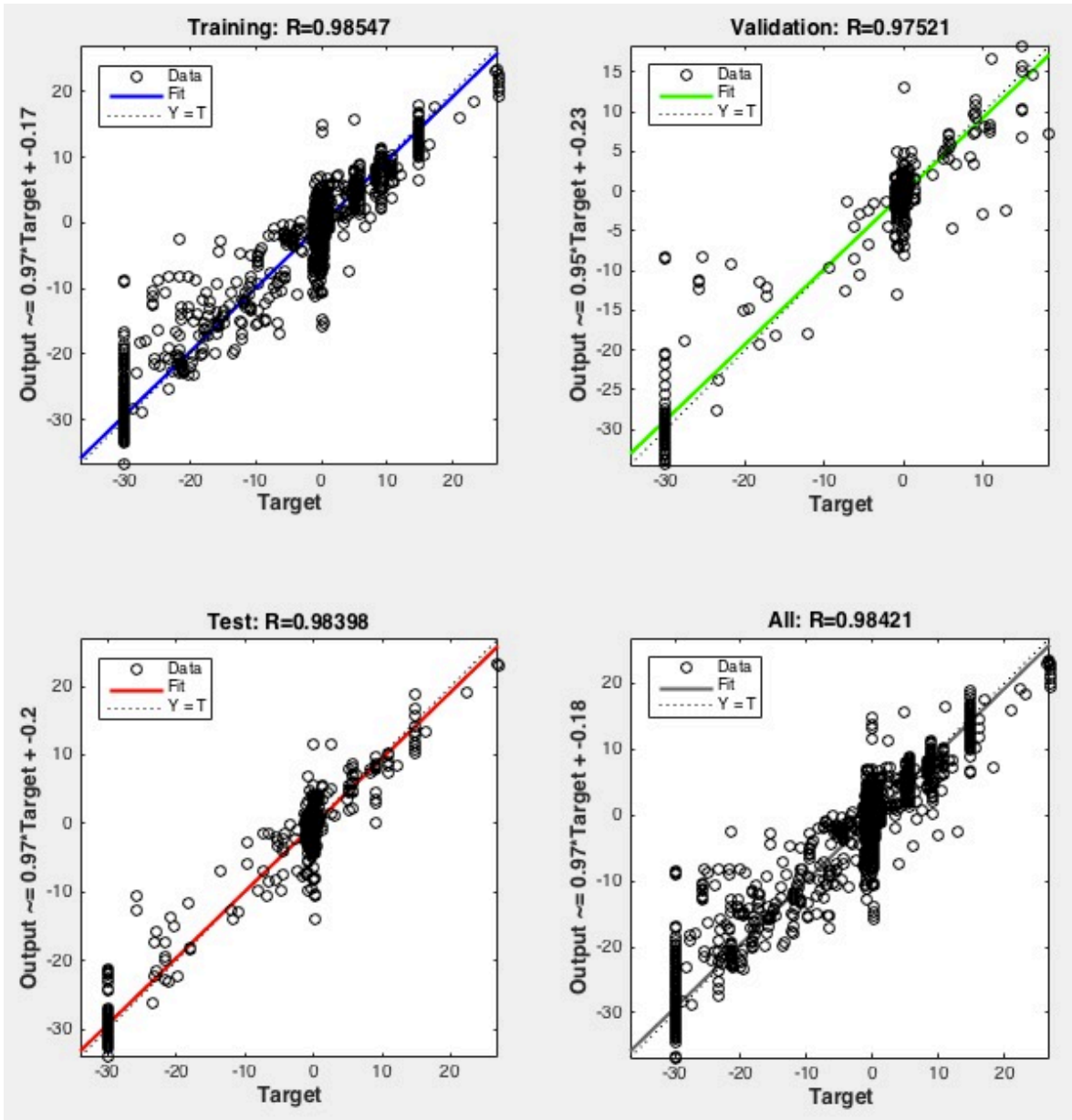


Şekil 112. Yapay sinir ağının başiter kullanımı eğitimi sonuçları

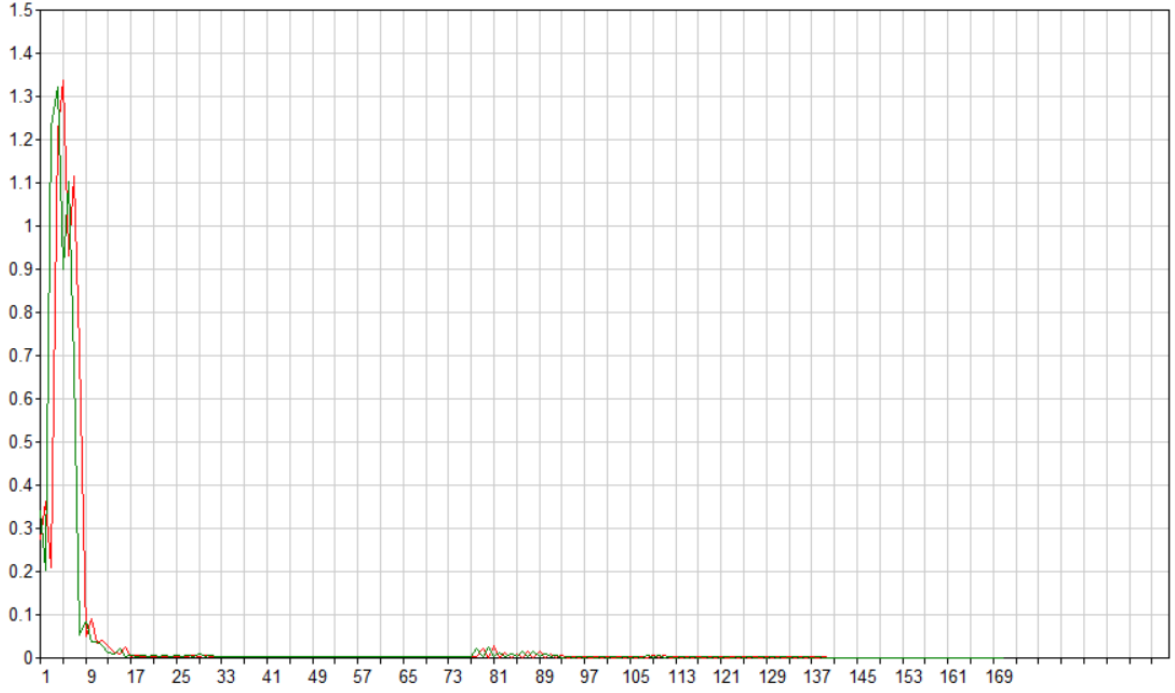
Şekil 112’de başiter kullanımı sonucu elde edilen veri setinin eğitimi sonuçları verilmiştir. Gizli katmanında 29 proses elemanı seçilmiş olan ağ modelinin (Şekil 113) eğitimi için 0 knots, 10 knots ve 20 knots rüzgar şartlarında yapılmış yanaşma manevrayla ilgili veri setleri kullanılmış olup ağın eğitimi sağlanmıştır. Sonraki aşamada ise 15 knots rüzgar şartı için eğilmiş ağ modelinin testi gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonucunda modelin performansı hata kareleri ortalaması yöntemiyle hesaplanmış olup eğitim seti için 0,43434, çapraz karşılaştırma seti için 0,75128 ve test seti için 0,46548 olarak bulunmuştur. Verilerin regresyon analizleri sonuçları da eğitim seti için 0,98547, çapraz karşılaştırma seti için 0,97521 ve test seti için 0,98398 olarak elde edilmiştir. Şekil 114’te regresyon sonuçları grafiği toplu olarak verilmiştir. Test veri setinin geneli üzerinde yapılan regresyon analizi sonucunda 0,98421 gibi benzerlik oranı yüksek bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 113. Başiter kullanımı için MATLAB ortamında oluşturulan ağ modeli



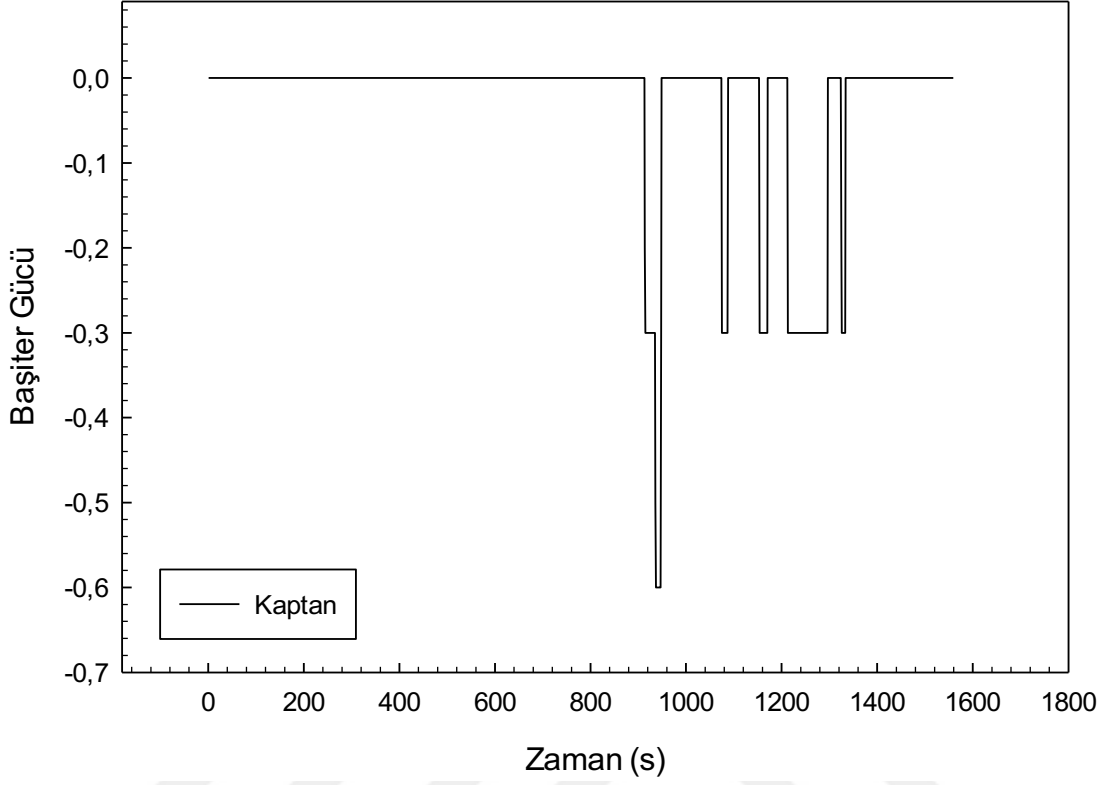
Şekil 114. Yapay sinir ağı başiter kullanımı için regresyon analizi sonuçları



Şekil 115. Yapay sinir ağının başiter kullanımı eğitimi sonuçları için hata değişimi grafiği

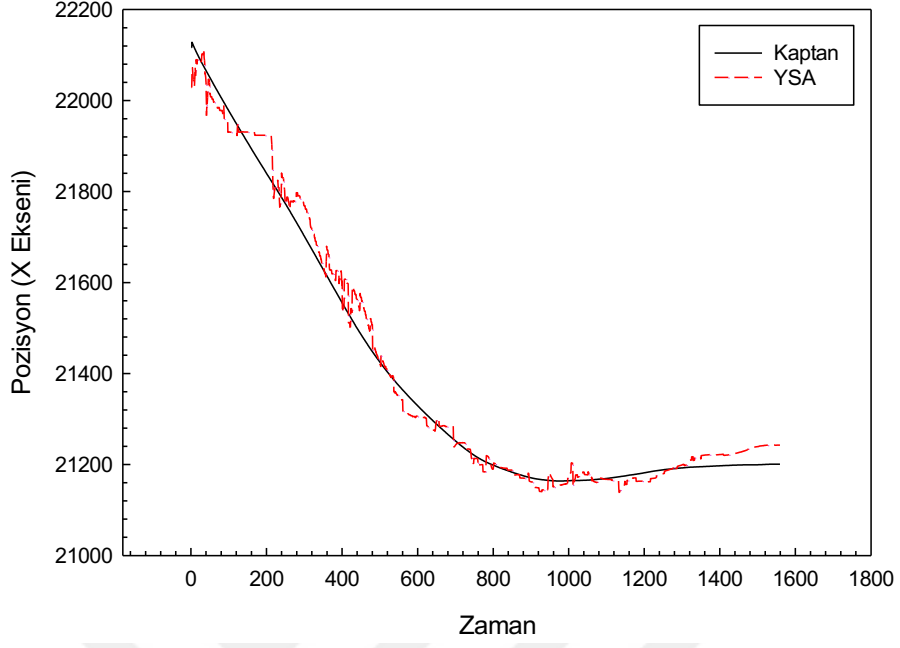
173 iterasyon sonucunda eğitilen ağ modelindeki hata oranı 0,01'in altına düştüğünden dolayı eğitim tamamlanmış varsayılarak ağ modeli eğitilmiş kabul edilmiştir (Şekil 115).

Orta rüzgarlı (15 knots) durum için gerçekleştirilen yanaşma manevraları için ağın ürettiği sonuçlarla gemi kaptan tarafından yapılan yanaşma manevrası sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 116'da verilmiştir. Sinir ağıyla yapılan manevra için, 15 knots rüzgarlı havada gemi yanaşması esnasında başiter kullanılmadığı görülmüştür. Grafik incelendiğinde kaptanın yanaşma manevraları esnasında başiteri çok kısa süreli/düşük güçle (%25) kullanmıştır. Ağın gerçekleştiği manevrada başiter kullanımının olmadığı, Şekil 112'de yer alan römorkör kullanım grafiğindeki Gemi Kaptan-YSA farkının da buradan kaynaklandığı görülmektedir.

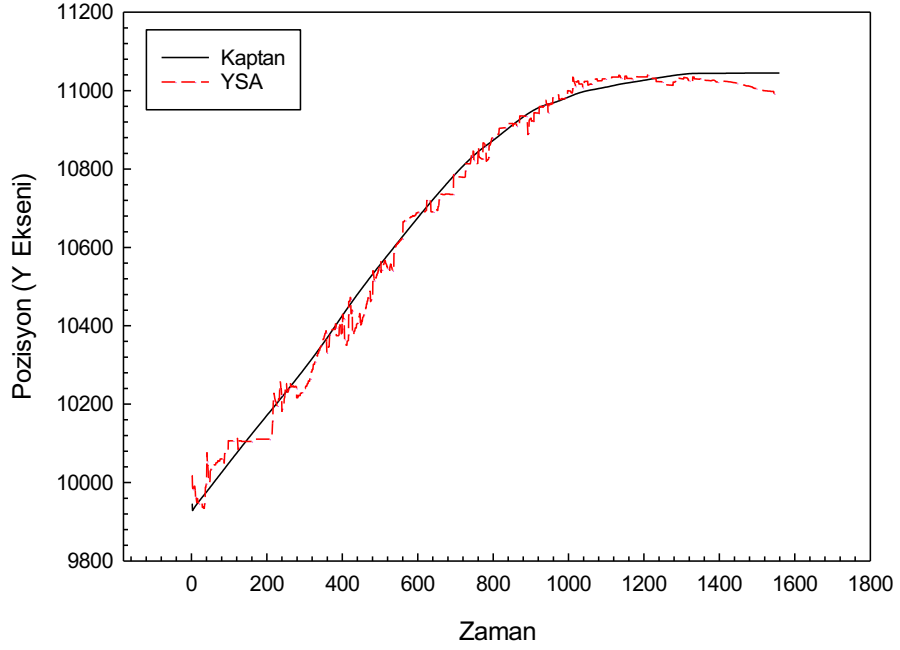


Şekil 116. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının başiter kullanımı bakımından karşılaştırılması

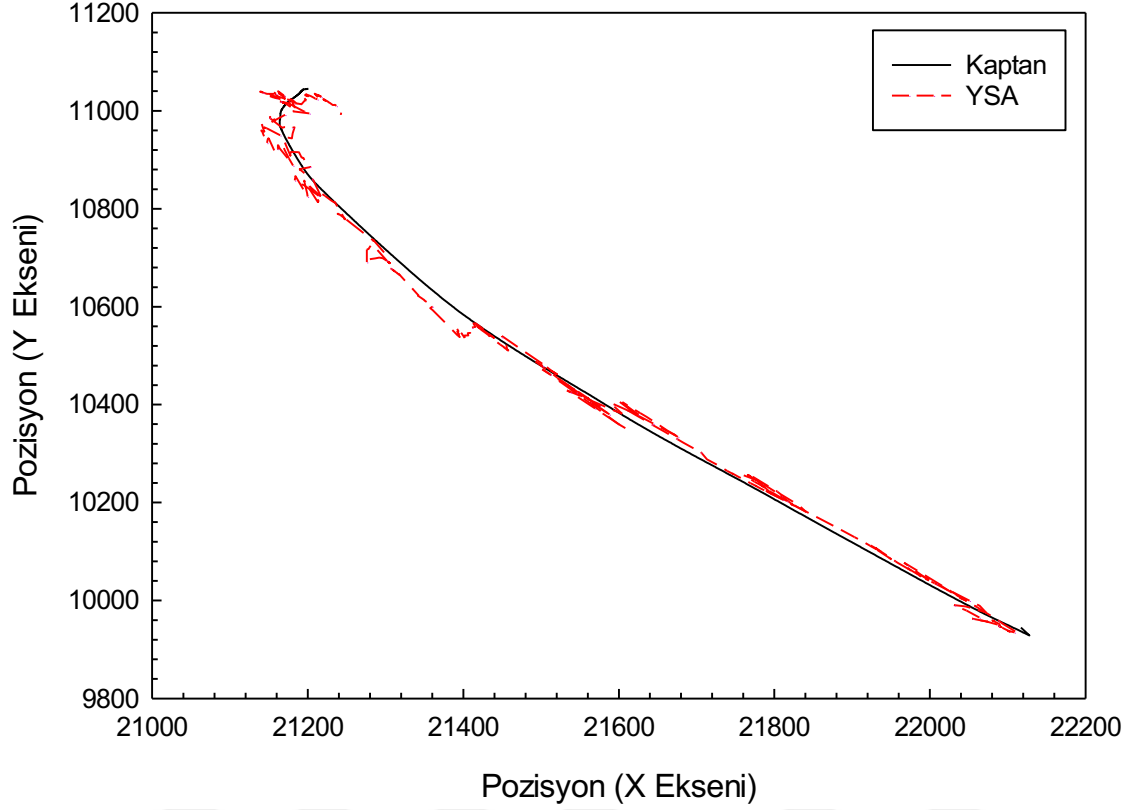
Yukarıda verilen tüm grafikler göz önüne alındığında rüzgarsız-az rüzgarlı-çok rüzgarlı meteorolojik şartlar altında gerçekleştirilen manevralar sonucunda elde edilen veri setleriyle eğitilen ağın, orta rüzgarlı (15 knots) şartlar altında gerçekleşmesi istenen yanaşma manevrasının sonucunda geminin pozisyonu Şekil 117 ve Şekil 118’de zaman-pozisyon ekseninde incelenmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere 15 knots rüzgarlı havada yapay sinir ağı modeli ile gerçekleşen manevra sonucu geminin izlediği rota ile gemi kaptanın izlediği rotanın izinin karakteristik olarak birbirinin aynısı olduğu görülmektedir. Veri seti üzerinden yapılan hata analizi sonucunda da farkın %5’in altında olduğu görülmüştür.



Şekil 117. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının pozisyon (X eksen) bakımından karşılaştırılması



Şekil 118. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının pozisyon (Y eksen) bakımından karşılaştırılması



Şekil 119. YSA ile gemi kaptanının yanaşma manevralarının karşılaştırılması

Şekil 119'da ise ağ tarafından gerçekleştirilen yanaşma manevrası sonucu üretilen verilerle x ve y ekseni bazında geminin yanaşma rotasının izi olarak çizilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere kaptan kontrolünde tam donanımlı köprü üstü simülatörü ile gerçekleştirilen yanaşma manevrası sonucu ile oluşturulan yapay sinir ağı modelinin ürettiği sonuçların birbiriyle örtüştüğü ve veri seti üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda da eğitilmiş ağ modeli tarafından daha önce hiç karşılaşmadığı şartlarda gerçekleştirilen test/uygulama sonucunda başarılı bir şekilde yanaşma manevrasını gerçekleştirdiği görülmektedir.

4. TARTIŞMA VE İRDELEME

Son dönemlerde yoğun bir şekilde hayatımıza giren blokzincir ve otonom araçlar konusunda gelişen teknolojilere denizcilik sektöründe de ön plana çıkmaya başladığı görülmektedir. Bu noktada özellikle gaz emisyonlarının azaltılması (2018 yılının Nisan ayında IMO tarafından duyurulan geleceğe yönelik stratejilerin en başında gemilerin gaz emisyonlarının düşürülmesi yer almaktadır. Bu konuda yapılacak geliştirmelere bağlı olarak 2050 yılına kadar gaz emisyonlarının %50 oranının azaltılması hedeflenmektedir (UNCTAD, 2018)) ve insan kaynaklı hataların minimize edilmesi ve aynı zamanda düşük maliyetlerle gemi işletmeciliği yapmaya yönelik olarak otonom gemilerin geliştirilmesinin ön plana çıktığı görülmektedir (CMI, 2017). İlk uzaktan kontrollü/tam otonom ticari kargo gemilerinin 2020 yıllarında hizmete girmesi planlanmaktadır (Wingrove, 2018). İlk etapta kıyıya yakın ve kısa rotalarda uzaktan kontrollü otonom gemiler şeklinde uygulan planlamaları yapılmakta beraber 2030'a kadar açık denizlerde otonom gemilerin kullanılmaya başlanması öngörülmektedir (DNV.GL, 2018).

Otonom gemiler konusundaki güncel gelişmelere bakıldığında, açık deniz operasyonlarında kullanılmak üzere ilk tamamen otonom, düşük maliyetli gemi prototipi üretildiği (Kongsberg, 2017), daha da önemlisi yapay zeka tabanlı sistemler geliştirilerek hem mevcut deniz trafiğinin daha emniyetli seyretmesi hem de gerçek anlamda ilk kendi kendini idare edebilen gemilerin hayata geçirilmesine yönelik çalışmalar başladığı görülmektedir (Rolls-Royce, 2017). 2018 yılında hazırlanan rapora göre deniz kazalarının %75-96 oranındaki bölümünün insan kaynaklı olduğu gözlemlenmiştir. 2011-2016 yılları arasında yaklaşık 1,6 milyar dolarlık mali kayıpların %75'i de yine insan kaynaklı hatalardan kaynaklandığı görülmektedir (AGCS, 2018). Bu noktada, önümüzdeki yıllarda otonom gemiler hem insan kaynaklı hataların azaltılması ve daha emniyetli seyir ve operasyonlar gerçekleştirilmesine hem daha verimli rota seçimi, seyir ve manevra gerçekleştirilmesine bağlı olarak gerek maliyetlerin düşmesine gerekse de gaz emisyonlarının azaltılması hem de karbon ayak izinin azaltılması gibi çevre dostu gemiler olarak ön plana çıkacaktır.

Otonom gemilerin geliştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen araştırmalar günümüzde artan otomatik yanaşma manevraları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Qiang vd., 2019). Ahmed ve Hasegawa (2013) tarafından da ifade edildiği gibi bir gemiyi kıyıya

yanaştırma işlemini, gemi kaptanlarının karşılaşılabilecekleri en karmaşık süreçlerden biri olduğu görülmektedir. Genel gemi kullanımının aksine yanaştırma manevraları için çevresel etkenler de dahil olmak üzere gemiye dair tüm parametrelerin eş zamanlı olarak kontrol ve kumanda edilmesi zorunluluğu, yanaşma manevralarının otomatik olarak gerçekleştirilmesi önündeki en büyük zorluk olduğu görülmektedir (Padideh vd., 2016; L. Zhang vd., 2015). Aynı zamanda yanaşma manevralarının gerçekleştirildiği düşük hızlarda gemi manevra kabiliyetinin kötüleşmesi de geminin manevra esnasındaki kumanda ve kontrolünü zorlaştıran bir diğer etken olarak ortaya çıkmaktadır (Rødseth, 2017; Q. Zhang vd., 2017).

Yanaşma manevraları gerçekleştirilirken gemi kaptanı geminin karakteristik özellikleri ve teknik özellikleri dışında çevresel koşulları da göz önünde bulundurmalı, mevcut durumları değerlendirip buna göre yapılacak manevrasını planlamalıdır. Bu planlamaların ardından da elindeki sistemleri kullanarak nihai hedefe başarılı bir şekilde ulaşmalıdır. Tüm bu süreçleri de kaptanlar yıllar içinde edindikleri bilgi ve süreç içerisinde edindikleri tecrübe ve deneyimlerle yorumlayarak gerçekleştirebilmektedirler.

Yeterince eğitilen ve tecrübe sahibi olan insan beyni için bu tür işleri geçmiş deneyimleri yorumlayıp mevcut koşullar için çıkarımda bulunarak nihai hedefe doğru gereken aksiyonu almak mümkündür. Ancak standart algoritmalar ve geleneksel programlama yöntemleriyle bu tür süreçlerin otomatik olarak gerçekleştirilmesi günümüzde halen çözülmeyi bekleyen problemlerin başında gelmektedir. Genel gemi kullanımı esnasında her ne kadar otomatik kontrol ve kumanda sistemleri kullanılabilir olsa da düşük hızlarda ve öngörülemeyen çevresel koşulların başarısızlığa çok kolay sebep olabileceği yanaşma manevraları için maalesef bu sistemler yeterli olamamaktadırlar. Bu noktada da son yıllarda yapay zeka alanında çalışmalara yoğunlaşmakta olup beynin öğrenme ve yorumlayabilme kapasitesini simüle edebilen yapay sinir ağları ile bu tür öngörülemeyen durumların ortaya çıkabileceği anlık ve hassas müdahale gerektirebilecek durumlar için sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Yapay sinir ağlarının otomatik yanaşma manevraları için kontrolcü olarak kullanılabileceği fikri ilk olarak Yamato (1990) tarafından önerilmiş olup, tek bir parametreyi kontrol etme fikri Hasegawa (1993) ve Im (2001) tarafından geliştirilerek dümen ve pervaneyi kontrol edebilecek bir yapay sinir ağının uzman sistemle birlikte kullanılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda matematiksel gemi modeli kullanılmış olup herhangi bir dış etmen göz önünde bulundurulmamıştır.

Yanaşma manevralarının otomatikleştirilmesi önündeki en önemli problemlerin başında düşük hızlarda geminin hareket kabiliyetinin kötüleşmesi ve buna bağlı olarak kontrol edilebilmesinin zorlaşması ve öngörülemeyen çevresel etkenlerin kontrol modellerine eklenebilmelerindeki problemler gelmektedir (Q. Zhang vd., 2017; X. Zhang, 2012). Bu problemlerin çözümlerine yönelik gerçekleştirilen ilk çalışmalarda (Hasegawa ve Kitera, 1993; Im ve Hasegawa, 2001, 2002) çevresel etmenler göz önünde bulundurulmadan sadece geminin kontrolünün yapay sinir ağları yöntemiyle gerçekleştirilmesi konusunda araştırmalar yapılmıştır ve rüzgarsız, akıntısız koşullarda sadece dümen ve pervane kontrolü ile yanaşma manevraları gerçekleştirilmiştir.

Kuşkusuz ki gerçek deniz ortamında yapılacak olan manevralarda bu tür yaklaşımlarla elde edilen değerler ve modeller gemilerin başarılı şekilde yanaşma manevrasının gerçekleştirilmesi için yeterli olmayacaktır. Özellikle akıntı ve rüzgar gibi çok temel doğal etkenler bu modellerin uygulanabilirliğini geçersiz kılacaktır. Bu noktada da rüzgar şartlarının gemi üzerindeki etkilerini inceleyen ve Fujiwara vd. (1998) tarafından ortaya atılan rüzgarın matematiksel modeli yapay sinir ağları ile birlikte kullanılarak rüzgar etkisi altında yanaşma manevralarının gerçekleştirilmesine çalışılmıştır (Ahmed ve Hasegawa, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016). Yapılan bu çalışmalarda Fujiwara'nın (1998) matematiksel rüzgar modeli ile Manevra Modelleme Grubu tarafından önerilen matematiksel gemi modeli (Yasukawa ve Yoshimura, 2015) baz alınarak ağ modeli eğitilerek test edilmiştir. Ancak rüzgarın gemi üzerindeki etkisi doğru bir şekilde model aktarılamadığından sonuçlar başarısız olmuştur. Yüksek hızlarda gemiye istenilen kumandalar verilebilirken yanaşma manevrasının gerçekleştirildiği düşük hızlarda sonuçlar yetersiz kalmış, manevra işlemleri başarıyla tamamlanamamıştır.

Sadece matematiksel gemi modelleri üzerinde yapılan çalışmalar dışında Berretta (2013), Formentin (2013) ve Nguyen ve arkadaşları (2018) deneysel çalışmalar yapmış olup eğitilmiş ağ modellerini 8 metrelik tekneler üzerinde denemişlerdir. Ancak benzer şekilde matematiksel modelle rüzgarın etkisi tam olarak ağa gösterilemediğinden dolayı model verimli olmamış yanaşma manevrası başarıyla tamamlanamamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında ise farklı bir yaklaşım sergilenerek tam donanımlı köprü üstü simülöründe gerçekleştirilen gemi manevralarından elde edilen parametreler ağ modelinin kurulmasında ve ağın eğitilmesinde kullanılmıştır. Bu uygulama sayesinde de gerek geminin üzerindeki rüzgar etkisinin gerekse de dümen-pervane-başiter-akıntı gibi gemi üzerinde çeşitli etkilere sebep olan parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi

gerekliliği ortadan kalkmıştır. Ağ eğitilirken elde edilen veri seti ile tüm bu parametrelerin gemi üzerindeki etkisi direkt olarak deneysel veri olarak elde edilip ağ eğitilmiştir ve rüzgar etkisi modele daha doğru bir şekilde aktarılmıştır. Ayrıca gemi tipi olarak bu konudaki çalışmalarda ilk kez konteyner gemisi seçilmiş olup, küçük gemilere/teknelere nazaran rüzgarın gemi üzerindeki etkisinin daha yoğun olması sebebiyle modelin oluşturulması ve test aşaması için daha etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Manevra esnasında gemi üzerine etkileyen en önemli dış kuvvetlerden ikisini rüzgar ve akıntı oluşturmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda akıntı sabit kabul edilmiş olup ağın eğitimi esnasında göz ardı edilmiştir. Böylelikle rüzgarın gemi üzerindeki etkisini ön plana çıkarmak ve ağın eğitimi aşamasında daha başarılı bir şekilde bu etkiyi modele yansıtılmmn olmuştur. Literatürdeki çalışmalarda en büyük eksiklik dış bozucu etmen olarak rüzgarın gemi manevrası esnasındaki etkilerinin ağ modelinin eğitimi için oluşturulan veri setine yeterli ve doğru bir şekilde yansıtılmaması ve bunun sonucunda uygulama aşamasında, rüzgarlı şartlarda eğitilmiş ağın düzgün çalışmaması olduğu görülmüştür. Matematiksel modele bağlı olarak rüzgarın etkisinin ağa gösterilmesi yerine gerçek manevralar aracılığıyla bu etki direkt olarak eğitim veri setine dahil edilebilmiştir.

Yanaşma manevraları liman girişinde aynı başlangıç pozisyonu ve aynı başlangıç hızı koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Tüm manevralar aynı konumdan aynı hızlarla başlamış olup gemi kaptanının o manevra için izlediği rota-hıza göre manevra gerçekleştirilip tamamlanmıştır. Liman içi hız sınırları ve hareket alanları/rotalar yönetmeliklerle belirlendiğinden dolayı (MPA, 2003) sabit başlangıç konumu ve sabit başlangıç hız kabulleri, yapay sinir ağlarının öğrenme yöntemleri/çıkarım yapma yetenekleri göz önünde bulundurulduğunda doğru bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Bu noktada farklı başlangıç koşulları da yönetmeliklerle belirlenen hız/rota aralıklarında olacağından dolayı, gerçekleştirilen manevralardaki başlangıç koşulları/başlangıç hız şartları ile farklı başlangıç koşulları/başlangıç hızları arasındaki fark sinir ağı modelinin öğrenme performansı üzerinde olumsuz bir etki etmemekte ve eğitilen ağ manevraları belirlenen hata miktarı altında gerçekleştirebilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmaların devamı olarak farklı gemi tipi (konteyner gemisi) ile tam donanımlı köprü üstü simülatöründe dış bozucu etmen olarak rüzgarlı havada gerçekleştirilen gerçek manevralarla eğitilen ağın farklı şartlardaki testi gerçekleştirilmiş olup ağın ürettiği sonuçlar benzer şartlar altında gemi kaptanı tarafından yapılan manevralarla karşılaştırılmıştır. Yapılan alışmalar sonucunda geminin kumandası için

kullanılan pervane, dümen, başiter ve römorkörün ağ modeli ve gemi kaptanı tarafından kullanımları karşılaştırılmıştır.

Pervane kullanımı konusunda gemi kaptanı ve ağ modeli benzer karakteristiklerde kullanım gerçekleştirmiştir ve gerçek verilerle ağ modelinin ürettiği veriler üzerinden yapılan regresyon analizinde 0,96615 şeklinde yüksek bir benzerlik oranı elde edilmiştir. Dümen kullanımı konusunda ise bu oran 0,99097 olarak hesaplanmıştır. Manevra esnasındaki dümen kullanım karakteristikleri incelendiğinde ağ modeli ile gemi kaptanının özellikle manevranın son 10 dakikalık sürecinde farklı davrandığı görülmektedir. Bu bölümde gemi kaptanı geminin kontrolünü başiter yardımı ile sağlarken ağ modeli dümen ve römorkör aracılığıyla yönlendirmeleri gerçekleştirmiştir. Ağ modeli, gemi kaptanının aksine manevra tamamlanana kadar başiter kullanımı gerçekleştirmemiş olup bunun yerine daha yoğun olarak römorkör kullanmıştır.

Her manevra kendine ait karakteristiklere sahiptir. Aynı gemi kaptanı aynı şartlar altında dahi farklı şekilde manevrayı başarıyla tamamlayabilir. Bu noktada manevranın başarılı sayılabilmesi için istenilen/planlanan rıhtıma emniyetli bir şekilde yanaşabilmek gerekmektedir. Bu noktada geminin zamana bağlı pozisyonu incelendiğinde de rota olarak gemi kaptanı ile benzer rotayı izlediği ve sorunsuz bir şekilde rotasında kalıp manevrayı tamamladığı görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar ve bu çalışmalarla elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Son dönemlerde otomatikleştirilmiş gemi yanaşma manevralarının gerçekleştirilmesi için yürütülen çalışmalarda üzerine yoğunlaşılacak yapay sinir ağları yöntemi bu çalışmada da model oluşturulma aşamasında tercih edilmiştir. İleri beslemeli, tek gizli katmanlı çok katmanlı algılayıcı modeli, eğitilecek ağ modeli olarak tercih edilmiştir.
2. Ağın eğitimi için gerekli veri setini oluşturmak amacıyla bir gemi kaptanı tarafından aynı gemi tipiyle aynı limanda farklı meteorolojik şartlar altında gemi yanaşma manevraları tam donanımlı köprü üstü simülatöründe gerçekleştirilmiş olup bu manevralar sonucunda elde edilen veriler, ağın eğitimi amacıyla kullanılacak veri setleri olarak ayrılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı modeli olarak belirlenen ağ modelinde giriş ve çıkış katmanları dışında tek gizli katman ağın daha hızlı ve performanslı çalışması için tercih edilmiştir.
3. Ağ modeli için giriş katmanında geminin hızı, baş kayma hızı ve kıç kayma hızı, geminin konumu (x ve y koordinatları olarak), pruva açısı ve dış etmen olarak da rüzgar şartları olmak üzere 7 proses elemanı kullanılmıştır. Çıkış katmanında ise geminin kumanda edilebilecek pervane dönüş hızı, dümen açısı, başıter gücü ve römorkör gücü olmak üzere 4 proses elemanı seçilmiştir.
4. Ağ modelinin eğitiminde toplama fonksiyonu olarak genel toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu olarak diğer fonksiyonlara göre daha geniş bir aralıkta (-1,1 aralığında) verileri normalize etme imkanı tanıyan ve veri setinin daha iyi bir şekilde modele aktarılabilmesine olanak sağlayan ve diğer aktivasyon fonksiyonlarına göre hızlı ve kararlı sonuçlar üreten hiperbolik tanjant fonksiyonu tercih edilmiştir. Ağ modelindeki proses elemanları arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi yani ağın öğrenmesinin sağlanması ve iyileştirilmesi için levenberg-marquardt öğrenme algoritması kullanılmıştır.
5. Ağın eğitimi esnasında tüm veriler ağa 1000 kez gösterilecek şekilde programlanmış olup durdurma kriteri olarak hata oranının 0,01'den düşük olması

seçilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen veriler hata kareleri ortalaması ve regresyon analizinden geçirip sonuçların tutarlılığı gerçek veriler ve ağıın ürettiği çıktılar üzerinden değerlendirilmiştir.

6. Ağ modelinin eğitimi için rüzgarsız (0 knots), az rüzgarlı (10 knots) ve çok rüzgarlı (20 knots) durumlarında manevralar gerçekleştirilmiş ve elde edilen veri setine göre ağıın eğitimi gerçekleştirilmiştir. Eğitilen ve test edilen ağ daha sonra, hiç görmediği orta rüzgarlı (15 knots) meteorolojik koşul için test edilmiş olup test sonuçlarında elde edilen veriler gemi kaptanı tarafından gerçekleştirilen aynı şartlardaki köprü üstü simülatöründen elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.
7. Eğitim veri setini oluşturmak için gemi kaptanı tarafından tam donanımlı köprü üstü simülatöründe Singapur Limanı Keppel Terminali K14 numaralı rıhtıma farklı meteorolojik şartlar altında yanaşma manevralarını gerçekleştirilmiştir. Bu manevralarda elde edilen verilerin incelendiğinde liman girişinden yanaşma manevrasının tamamlanmasına kadar olan süreçte gemi 4 knots hız ve altında hareket ettiği görülmüştür. Bu noktada düşük hızlarda gerek geminin kontrol edilebilirliğinin zorlaşması gerekse de dümen etkinliğinin düşük hızlarda azalmasına bağlı olarak geminin pozisyonu ayarlanmasında yardımcı olarak başiter ve römorkörler kullanıldığı görülmüştür. Rüzgarsız, az rüzgarlı ve yüksek rüzgarlı durumlar karşısında geminin manevralarındaki hızı genel olarak benzer karakter göstermiş olup rüzgar etkileri başiter-römorkör kullanımı ile bertaraf edilmiştir.
8. Dış etmen olarak rüzgarın gemiye etkideği manevralarda gemi her üç meteorolojik durumda da rotasını korumuş ve birbirine yakın rotalarda manevrasını gerçekleştirmiştir. Bu noktada da rotanın korunması açısından rüzgarsız durumlarda sadece dümen ve kısa aralıklı başiter kullanımı yeterli gelirken çok rüzgarlı durumda yoğun başiter kullanımının olduğu görülmüştür.
9. Geminin pozisyonunu kontrol edebilmek için ayrıca römorkör de kullanılmaktadır. Genelde sadece son aşamada geminin kıçını rıhtıma doğru basmak için kullanılan römorkörler olası rota sapmalarında da kullanılabilir. Rüzgarsız ve çok rüzgarlı havalarda sadece son aşamada kullanılan römorkör, az rüzgarlı hava ayrıca beklenenden daha sık/yoğun kullanılmıştır. Buradan da yola çıkarak her manevranın kendine özgü olduğunu, şartların birbirleriyle doğrusal olarak değişmediğini söyleyebilmek mümkündür.

Rüzgarın artması sonucu illa ki başiter kullanımının artacağını beklemek doğru değildir. Benzer şekilde aynı koşullar altında dahi manevralar gerçekleştirirken aynı gemi kaptanı olmasına rağmen farklı geri dönüşler verilebilir. Bu noktada da kullanılan otomatikleştirilmiş kontrol sistemlerinin geleneksel algoritmalarla işte bu yüzden verimli ve güvenli olarak kullanılamayacağını, bu tür kendi içinde sürekli değişkenlik gösterebilecek durumlara kendini adapte edebilecek yapay zekaya sahip sistemlerin daha etkili olabileceğini söylemek mümkündür.

10. Eğitilen ağ modelinin daha öne hiç görmediği bir meteorolojik şart altında gerçekleştirdiği manevra sonucunun gemi kaptanının manevrasıyla karşılaştırıldığında genel olarak benzer karakteristiklerde hareket ettiği görülmüştür.
11. Manevra boyunca pervane kullanımına bağlı pervane dönüş hızının ve buna bağlı olarak gemi hızının neredeyse ağ sonuçlarıyla gemi kaptanının manevra sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür. Gerek eğriler karakteristik olarak benzerlik göstermiştir gerekse de devir sayıları birbirine oldukça yakın çıkmıştır.
12. Dümen açısının etkisi incelendiğinde ise özellikle 10. Dakikadan sonra ağın ürettiği sonuçlarla gemi kaptanının manevrasından elde edilen sonuçlarda sapmalar olduğu gözlenmiştir. İlk 10 dakikalık süreçte her iki manevra da karakteristik olarak birbirine benzemektedir. 10. dakikadan sonra geminin kontrol ve kumandası için gemi kaptanı dümen kullanmamış, geminin konum kontrolünü başiter ve römorkör yardımıyla sağlamıştır. Buna karşın ağ modeli pruva yönünü kontrol edebilmek için başiter yerine dümen açısı ve römorkör kullanımını tercih ettiği görülmüştür.
13. Römorkör kullanımı açısından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise ağın çıktıları ile gemi kaptanının manevralarından elde edilen çıktıların benzer eğrilere sahip olduğu görülmüştür. Römorkör kullanımında benzer sürelerde römorkör talebi olmasına rağmen römorkörün gemi üzerine uygulanması istenilen kuvvetlerde farklılıklar yer aldığı görülmüştür. Ağın ürettiği sonuçlarla gerçekleştirilen manevrada daha yüksek güçte römorkör kullanımı talep edildiği görülmüştür.
14. Geminin izlediği rota x ve y pozisyonları cinsinden zamana bağlı olarak incelendiğinde gemi kaptanın zaman izlediği rota ile eğitilmiş ağın tahmin ettiği rota benzer karakteristikler gösterdiği görülmüştür. Gemi kaptanının dümen-

başiter-römorkör kullanımı tercihine karşın ağın sadece dümen-römorkör kullanımıyla gemiyi rotasında tutmaya çalışmasına bağlı olarak ufak sapmaların grafiklerde görülmesine rağmen genel rota izi ve manevra karakteristikleri incelendiğinde eğitilmiş ağın gemi kaptanı ile benzer bir rota izlediği ve manevrayı doğru bir şekilde gerçeklediği görülmüştür.

Yapılan tez çalışması kapsamında özellikle literatürdeki çalışmalarda modele tam olarak aktarılamayan rüzgar etkisi matematiksel model kullanmak yerine gerçek manevra yapılması ile elde edilen veri seti aracılığıyla eğitim modeline aktarılmış olup gerçekleşmesi yapılmıştır. Hem rüzgar etkisinin doğrudan modele aktarılabilmesi hem de daha kolay kontrol edilebilen/daha hızlı tepkiler verebilecek küçük tekneler yerine konteyner gemisi gibi rüzgar etkisinin daha yoğun hissedilebileceği bir gemi tercih edilmesi ile bu alanda literatürde yapılmış olan çalışmalara katkı olarak bu tez kapsamında sunulmuştur.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda yapay sinir ağı yöntemiyle gemi yanaşma manevralarının gerçekleşmesi yapılmıştır. Kaptan tarafından yapılan manevralarda elde edilen verilerle eğitilip test edilen bir sinir ağına daha sonra farklı koşullar altında bir uygulama yaptırılmış olup bu uygulamanın sonuçları da kaptan tarafından gerçekleştirilen manevra sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalara yönelik şu önerilerde bulunmak mümkündür.

1. Yanaşma manevralarının yapay sinir ağları ile gerçekleşmesi konusunda farklı gemi tipleriyle çalışmalar yapılabilir.
2. Farklı yanaşma manevraları için performans testleri gerçekleştirilebilir.
3. Anlık veri takibi ile birlikte gerçek zamanlı kumanda ve kontrol gerçekleştirilerek manevraların tamamen otomatikleştirilmesini sağlayacak yöntemler geliştirilebilir.
4. Çeşitli donanımlar/sensörler ve görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yapılacak manevranın daha emniyetli olarak gerçekleştirilmesini sağlayacak donanım ve/veya yazılımlar geliştirilebilir.

6. KAYNAKÇA

- AGCS, 2018. Allianz Global Corporate and Specialty: Safety and Shipping Review 2018.
- Ahmed, Y. A. ve Hasegawa, K., Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems 2012, Sofia, Bulgaria, Automatic Ship Berthing Using Artificial Neural Network Based on Virtual Window Concept in Wind Condition: 359-364.
- Ahmed, Y. A. ve Hasegawa, K., 2013. Automatic ship berthing using artificial neural network trained by consistent teaching data using nonlinear programming method, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26, 10, 2287-2304.
- Ahmed, Y. A. ve Hasegawa, K., 2014. Artificial Neural Network Based Automatic Ship Berthing Combining PD Controlled Side Thrusters - A Combined Controller for Final approaching to Berth -, 2014 13th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (Icarcv), 1304-1309.
- Ahmed, Y. A. ve Hasegawa, K., 2015. Consistently Trained Artificial Neural Network for Automatic Ship Berthing Control, Transnav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 9, 3, 417-426.
- Ahmed, Y. A. ve Hasegawa, K., 2016. Fuzzy Reasoned Waypoint Controller for Automatic Ship Guidance, Ifac Papersonline, 49, 23, 604-609.
- Aksu, E., 2017. Gemi Manevra Performansının Sistem Temelli Yaklaşımla Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akten, N., <http://lojistikkulubu.ist/tasimacilikta-cagdas-motif-kapidan-kapiya-tasima/> Taşımacılıkta Çağdaş Motif: Kapıdan Kapiya Taşıma. Logistical Dergisi. 01/01/2019.
- Amerongen, J. ve Nauta Lemke, H. R., 1986. Recent Developments in Automatic Steering of Ships, Navigation, Journal of the Royal Institute of Navigation, 39, 349-362.
- Anderson, J. A., 1972. A Simple Neural Network Generating on Interactive Memory, Mathematical Biosciences, 14, 197-220.
- Aniker, A. T., 2008. Kaptanın Manevra Kılavuzu, Kaptan Yayıncılık, İstanbul.
- Balakrishnan, P. K. ve Sasi, S., 2016. Technological and Economic Advancement of Tug Boats, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 87-96.
- Basheer, I. A. ve Hajmeer, M., 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application, Journal of Microbiological Methods, 43, 1, 3-31.

- Berretta, D., Urbano, N., Formentin, S., Boniolo, I., De Filippi, P. ve Savaresi, S. M., 2013. Modeling, identification and control of a Boat Parking Assistance system, 2013 European Control Conference (Ecc), 3018-3023.
- Bose, N. K. ve Liang, P., 1995. *Neural Networks Fundamentals with Graphs, Algorithms, and Applications*, McGraw-Hill.
- Broomhead, D. S. ve Lowe, D., 1988. Radial Basis-Functions, Multi-Variable Functional Interpolation and Adaptive Networks, Royal Signals and Radar Establishment Memorandum, 4148.
- Bui, V. P., Kawai, H., Kim, Y. B. ve Lee, K. S., 2011. A Ship Berthing System Design with Four Tug Boats, Journal of Mechanical Science and Technology, 5, 1257-1264.
- Carlton, J., 2018. *Marine Propellers and Propulsion*, 4th Edition, Butterworth-Heinemann.
- Carpenter, G. A. ve Grossberg, S. A., 1987. ART2: Self-Organization of Stable Category Recognition Codes for Analog Input Patterns, Applied Optics, 26, 3, 4919-4930.
- Çavuşlu, M. A., Becerikli, Y. ve Karakuzu, C., 2012. Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi, TBV Journal of Computer Science and Engineering, 5, 1-7.
- Chakrabarty, A., <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/how-bow-thruster-is-used-for-maneuvering-a-ship/> Marine Insight How Bow Thruster is Used for Maneuvering a Ship? 8 Ocak 2019.
- Chopra, K., <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/mastering-ships-navigation-part-4/> Mastering Ship Navigation Part 4: Berthing the Ship Using Bow-Thruster. 12 Aralık 2018.
- CMI, 2017. Comité Maritime International: International working group position paper on unmanned ships and the international regulatory framework.
- Cui, X. Z. ve Shin, K. G., 1992. Application of Neural Networks to Temperature Control in Thermal Power-Plants, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 5, 6, 527-538.
- Dasgupta, S., <https://www.marineinsight.com/future-shipping/maersks-triple-e-vessels-the-worlds-largest-container-ships-might-change-the-face-of-shipping-industry/> Maersk's Triple-E Vessels: The World's Largest Container Ships Might Change the Face of Shipping Industry. 1 Ocak 2019.
- Diesel, M. B. W., 2004. *Propulsion Trend in Container Vessels*, Copenhagen B&W Publications, Denmark.
- DNV.GL, <https://www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/index.html> The ReVolt: A New Inspirational Ship Concept. 2 Şubat 2019.

- Dohnal, J. 2004. Using of Levenberg- Marquardt method in identification by neural networks, Student EEICT 2004, Brno 361-365.
- Ekin, N., 2011. Ultimate Size of The Containership, Yüksek Lisans Tezi, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul.
- Elmas, Ç., 2007. Yapay Zeka Uygulamaları: Yapay Sinir Ağı, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Eralp, F., 1998. Gemi Yardımcı Makineleri, İTÜ Basımevi, İstanbul.
- Erol, A., 1987. Gemi Kullanma, İstanbul.
- Es, H. A., 2013. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talep Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Evangelos, F., 2006. Ultra Large Container Ships, Yüksek Lisans Tezi, World Maritime University, Malmö.
- Farely, B. G. ve Clark, W. A., 1954. Simulation of Self-Organizing Systems by Digital Computers, IEEE Transactions of Professional Group of Information Theory, 4, 76-84.
- Fausett, L., 1994. Fundamentals of Neural Networks, 3, Prentice-Hall, New Jersey.
- FDOT, 2013. Implications of The Panama Canal Expansion on The Tampa Bay Region, Florida, USA.
- Feigenbaum, E. A., 1989. An Interview, Expert System, 6, 2, 112-115.
- Ferrari, S. ve Jensenius, M., 2008. A constrained optimization approach to preserving priorknowledge during incremental training, IEEE Transactions on Neural Networks, 19, 6, 996-1009.
- Formentin, S., Berretta, D., Urbano, N., Boniolo, I., De Filippi, P. ve Savaresi, S. M., 2013. A Parking Assistance System for Small-Scale Boats, Ieee-Asme Transactions on Mechatronics, 18, 6, 1844-1849.
- Fossey, J., 1998. Winds of Change, Containerisation International, 31, 2, 35-38.
- Freeman, J. A. ve Skapura, D. M., 1991. Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques, Addison-Wesley Publishing, Boston.
- Fuji, T. ve Ura, T., 1991. Neural-network-based Adaptive Control Systems for AUVs, Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence, 4, 309-318.

- Fujii, H. ve Tsuda, T., 1961. Experimental Researches on Rudder Performance 2, Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, 109, 109-110.
- Fujiwara, T., Ueno, M. ve Nimura, T., 1998. Estimation of Wind Forces and Moment Acting on Ships, Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, 183, 77-90.
- Fukushima, K., 1980. Neocognition: A Self-Organizing Neural Network Model for A Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position, Biological Cybernetics, 36, 193-202.
- Fukushima, K., 1986. A Neural Network Model for Selective Attention in Visual Pattern Recognition, Biological Cybernetics, 55, 5-15.
- Göktepe, A. B., Açar, E. ve Lav, A. H., 2005. Esnek Üst Yapılarda Mekanik Özelliklerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Geri Hesaplanması, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 4, 2, 31-42.
- Gordon, J. R. M., Lee, P. ve Lucas Jr, H. C., 2005. A resource-based view of competitive advantage at the Port of Singapore, Journal of Strategic Information Systems, 14, 69-86.
- Graupe, D., 1997. Advanced Series in Circuits and Systems - Vol 3: Principles Of Artificial Neural Networks, World Scientific Publishing, USA.
- Grossberg, S. A., 1973. Contour Enhancement, Short Term Memory, and Consultancies in Reverberating Neural Networks, Studies in Applied Mathematics, 52, 3, 213-257.
- GTPE, 2018. Guide to Port Entry 2017-2018 Edition, Shipping Guides.
- Hamzaçebi, C., 2011. Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı - MATLAB ve NeuroSolutions Uygulamalı, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Hasegawa, K. ve Kitera, K., 1993. Automatic Berthing Control Systems Using Network and Knowledge-base Journal of Kansai Society of Naval Architects of Japan, 220, 135-143.
- Haykin, S., 1994. Neural Network, A Comprehensive Foundation, Macmillian College Publishing Company, New York.
- Haykin, S., 2005. Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 23, 2, 201-220.
- Hebb, D. O., 1949. The Organization of Behaviour: A Neurophysiological Theory, 1st Edition, Wiley, New York.
- Hopfield, J. J., 1988. Artificial Neural Networks, IEEE Circuits and Devices Magazine, 4, 2, 3-10.

- Im, N. ve Hasegawa, K., 2001. A Study on Automatic Ship Berthing Using Parallel Neural Controller, Journal of Kansai Society of Naval Architects of Japan, 237, 127-132.
- Im, N. ve Hasegawa, K., 2002. Automatic ship berthing using parallel neural controller, Control Applications in Marine Systems 2001 (Cams 2001), 51-57.
- Im, N., Lee, S. K. ve Hyung, D. B., 2007. An Application of ANN to Automatic Ship Berthing Using Selective Controller, Transnav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 1, 101-105.
- IMO, 2002a. Explanatory Notes to the Standards for Ship Manoeuvrability: MSC/Circ.1053.
- IMO, 2002b. Standards for Ship Manoeuvrability: Resolution MSC.137 (76).
- Inoue, K., 2014. Theory and Practice of Ship Handling, İTÜ Vakfı, İstanbul.
- James, W., 1890. The Principles of Psychology, 1st Edition, Henry Holt and Company, New York.
- Kang, L., Meng, Q. ve Liu, Q., 2018. Fundamental diagram of ship traffic in the Singapore Strait, Ocean Engineering, 147, 340-354.
- Kasaplı, F., 2007. Gemi Dümen Kontrol Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kato, K., Sigeta, S., Kobayashi, T., Murayama, Y., Kobayashi, H., Endo, M., Sakaguchi, Y. ve Ichihara, S., 1996. A Study on Seafarers' Workload II: Autonomic Nervous Activity Evaluated by Heart Rate Variability on Maneuvering, Journal of Japan Institute of Navigation, 96, 167-173.
- Kaushik, M., <https://www.marineinsight.com/tech/bow-thrusters-construction-and-working/> Marine Insight Bow Thrusters: Contruction and Working. 1 Ocak 2019.
- Kaya, İ., Oktay, S. ve Engin, O., 2005. Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1-2, 21, 92-107.
- Khosravi, Z. M. H., Barghinia, S. ve Ansarimehr, P. 2006. New momentum adjustment technique for Levenberg-Marquardt neural network used in short term load forecasting, Proc. of 21st International Power System Conference, Iran.
- Kılıç, K., 2007. Yapay Sinir Ağı Tasarımı: Eğitim Sürecinin Optimizasyonu ve Gıda Mühendisliği Alanında Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kızrak, A., <https://medium.com/@ayyucekizrak/derin-ogrenme-icin-aktivasyon-fonksiyonlarının-karşılaştırılması-cee17fd1d9cd> Derin Öğrenme için Aktivasyon Fonksiyonlarının Karşılaştırılması. 6 Şubat 2019.

- Kohonen, T., 1982. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps, Biological Cybernetics, 43, 1, 59-69.
- Kongsberg, <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2017/bourbon-joins-automated-ships-ltd-and-kongsberg-to-deliver-groundbreaking/> Bourbon joins Automated Ships Ltd. and Kongsberg to deliver ground-breaking autonomous offshore support vessel prototype. 30 Ocak 2019.
- Korkmaz, M. E., 2011. Yapay Sinir Ağları ve Ranque-Hilsch Vorteks Tü�ünde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kose, K., 1982. On a new mathematical model of maneuvering motions of a ship and its applications, International Shipbuilding Progress, 29, 205-220.
- Lenat, D. B. ve Feigenbaum, E. A., Proceedings Of The Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence 1987, On The Thresholds Of Knowledge: 1173-1182.
- Lim, C. C. ve Forsythe, W., 1983. Autopilot for Ship Control Part 1: Theoretical Design, IEE Proceedings Part D, 130, 281-287.
- Liptak, B. G., 1995. Instrument Engineers' Handbook: Expert Systems - Neural Networks, CRC Press.
- Liu, J., Quadvlieg, F. ve Hekkenberg, R., 2016. Impacts of the rudder profile on manoeuvring performance of ships, Ocean Engineering, 124, 226-240.
- Luger, G. F. ve Stubblefield, W. A., 1989. Artificial Intelligence and The Design of Expert Systems, 1st Edition, Benjamin-Cummings Publishing, California.
- Luger, G. F. ve Stubblefield, W. A., 1993. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problems, 2nd Edition, Benjamin-Cummings Publishing, California.
- Maier, H. R. ve Dandy, G. C., 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modelling issues and applications, Environmental Modelling & Software, 15, 101-124.
- Makouizad, M., 2013. Römorkörlerde Stabilite Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C. ve McGee, V. E., 1983. Forecasting: Methods and Applications, 2nd Edition, Wiley, New York.
- McCulloch, W. S. ve Pitts, W. A., 1943. A Logical Calculus Of The Ideas Immanent In Nervous Activity, Bulletin of Mathematics and Biophysics, 5, 115-133.

- McGeorge, H. D., 1995. Marine Auxiliary Machinery, 7th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- MEB, 2011. Gemi Dizel Motorları 2, T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- MEB, 2015. Pervaneli Gemide Kuvvet Kullanma, T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- MEB, 2017. Demir ve Halatla Manevra, T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Mehrota, K., Mohan, C. K. ve Ranka, S., 1997. Elements of Artificial Neural Networks, USA.
- Meng, Q., Zhang, Y. ve Xu, M., 2017. Viability of transarctic shipping routes: a literature review from the navigational and commercial perspectives., Maritime Policy & Management, 44, 1, 16-41.
- Mervin, C. 2006. Stepping up the pace in Container Terminal efficiencies supported by intermodal investment planing in supply chains, 4th Intermodal Africa Conference.
- MI, <https://youtu.be/HTr9C1D7L60> Marine Insight Bow Thruster on Ship - Construction & Operation Of Ship Thrusters Explained. 3 Ocak 2019.
- Minsky, M. L. ve Papert, S. A., 1969. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry, MIT Press, Cambridge.
- Mizuno, N., Kuroda, M., Okazaki, T. ve Ohtsu, K., 2007. Minimum time ship maneuvering method using neural network and nonlinear model predictive compensator, Control Engineering Practice, 15, 6, 757-765.
- Molland, A. F., 2008. The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Contruction and Operation, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Molland, A. F. ve Turnock, S. R., 2007. Marine Rudders and Control Surfaces: Principles, Data, Design and Applications, 1st Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- MPA, <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home/port-of-singapore/circulars-and-notices/port-marine-circulars/detail/pc03-03> Recommended Routes and Speed Limits For Regional Ferries. 10 Şubat 2019.
- MPA, 2014. MPA Annual Report 2014, Singapore.
- MPA, 2019. Singapore R&D Roadmap 2030: Maritime Transformation, Singapore.
- MSB, 1995. Maritime Technology and Information (Navigation and Communication), Japanese Ministry of Transportation, Tokyo.

- Murayama, Y., Kato, K., Endo, M., Kobayashi, H. ve Shigeta, S., 1995. A Study on Seafarers' Workload I: The Correlation Between Casualties and Biorhythms, Journal of Japan Institute of Navigation, 93, 125-130.
- Murdoch, E., Clarke, C., Dand, I. W. ve Glover, B., 2004. A Master's Guide to Berthing, Charles Taylor Consulting, London.
- Nas, S., 2010. Konteyner Gemileri için İstatistiksel Bilgiler, www.nasmaritime.com, İzmir.
- Natarajan, N. ve Ganapathy, C., 1995. Analysis of Mornings of A Berthed Ship, Marine Structures, 8, 481-499.
- Nguyen, P. H. ve Jung, Y. C., 2007. Automatic Berthing Control of Ship Using Adaptive Neural Networks, Journal of Navigation and Port Research, 31, 7, 563-568.
- Nguyen, V. S., Do, V. C. ve Im, N. K., 2018. Development of Automatic Ship Berthing System Using Artificial Neural Network and Distance Measurement System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 18, 1, 41-49.
- Ogawa, A. ve Kasai, H., 1978. On the mathematical model of manoeuvring motion of ships, International Shipbuilding Progress, 25, 292, 306-319.
- OlympicPropeller, <https://www.olympicpropeller.com/custom-propellers/> 10 Ocak 2019.
- OSC, 1998. Mediterranean Containerization-Growth Prospects to 2010, UK.
- Özdemir, Y. H., Bayraktar, S., Yılmaz, T. ve Güner, M. 2008. Determining Optimum Geometry for A Bow Thruster Propeller, Royal Institute of Naval Architects 8th Symposium on High Speed Marine Vehicle (HSMV 2008), Italy.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları, 2. Baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk, E., 2007. Konteynerize Yük Taşımacılığı ve Marmara Bölgesi Projeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Padideh, R., Khoshnam, S. ve Abbas, C., 2016. Output feedback look-ahead position control of electrically driven fast surface vessels, Automatika, 57, 4, 968-981.
- Peng, P., Yang, Y., Lua, F., Cheng, S., Mouf, N. ve Yangf, R., 2018. Modelling the competitiveness of the ports along the Maritime Silk T Road with big data, Transportation Research Part A, 118, 852-867.
- Qiang, Z., Guibing, Z., Xin, H. ve Renming, Y., 2019. Adaptive neural network auto-berthing control of marine ships, Ocean Engineering, 177, 40-48.
- Qu, X. ve Meng, Q., 2012. The economic importance of the Straits of Malacca and Singapore: an extreme-scenario analysis, Transportation Research Part E, 48, 1, 258-265.

- RCDP, 1985. Prediction of Manoeuvrability of A Ship, Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan Manoeuvring and Control Section.
- Rødseth, Ø. J. 2017. From concept to reality: unmanned merchant ship research in Norway, 2017 IEEE Underwater Technology, Busan 1-10.
- Rolls-Royce, <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases.aspx> Rolls-Royce joins forces with Google Cloud to help make autonomous ships a reality. 20 Ocak 2019.
- Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, Psychoanalytic Review, 65, 386-408.
- Rumelhart, D. E. ve McClelland, J. L., 1988. Computational Models of Cognition and Perception, Parallel Distributed Processing: Explorations in The Microstructure of Cognition - Foundations, MIT Press, Cambridge.
- Russel, S. ve Norvig, P., 2003. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Englewood Cliffs.
- Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye, Kayseri.
- Sarıöz, K., 2010. Denizaltı Hareket Denklemleri Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi Deniz Teknolojisi Bölümü, İstanbul.
- Sharda, H., <https://www.marineinsight.com/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/> Different Types of Marine Propulsion Systems Used in the Shipping World. 7 Ocak 2019.
- Sin, T. M., Peng Ang, H. P., Buurman, J., Lee, A. C., Leong, Y. L., Ooia, S. K., Steinberg, P. ve Teoa, S. L., 2016. The urban marine environment of Singapore, Regional Studien in Marine Science, 8, 331-339.
- Singh, A. K., <https://lshipdesign.blogspot.com/2018/04/types-of-propellers.html> Types of Propellers. 14 Ocak 2018.
- Sırdaş, S., Ően, Z. ve Sönmez, İ., 2001. III. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, Sınıflandırma için Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı, İzmir.
- SNAME, 1950. Nomenclature for Treating the Motion of a Submerged Body Through a Fluid, 1-5, Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.
- Soh, J., 2019. Singapore's 2018 Maritime Performance, Singapore.
- Specht, D. F., 1988. Probabilistic Neural Networks for Classification, Mapping, or Associative Memory, IEEE Conference on Neural Networks, 1, 525-532.

- Specht, D. F., 1991. A General Regression Neural Network, IEEE Transactions on Neural Networks, 2, 6, 568-576.
- Stopford, M., 2009. Maritime Economics, 3rd Edition, Routledge, New York.
- Tiwari, V., <https://cultofsea.com/ship-handling/basic-propeller-types/> Basic Propeller Types. 04.11.2018.
- TOTE, <https://gcaptain.com/isla-bella-worlds-first-lng-powered-containership-launched-at-nassco/> 12 Ocak 2019.
- Turban, E. ve Aronson, J. E., 2001. Decision Support Systems and Intelligence Systems, Prentice-Hall International Inc., USA.
- Ueno, M., 1999. Use of GPS for A Berthing Guidance System, Doktora Tezi, Universite Laval, Quebec.
- UNCTAD, 2016. Review of Maritime Transport, New York.
- UNCTAD, 2018. Review of Maritime Transport 2018, New York.
- URL-1, https://www.porttechnology.org/news/tugboats_mega_ships_and_the_container_port-Damen-Shipyards-01-Ocak-2019/
- UTİKAD, 2000. Deniz Taşımacılığı Sektör Raporu, İstanbul, Türkiye.
- Wang, L., Zhu, Y., Ducruet, C., Bunel, M. ve Lau, Y., 2018. From hierarchy to networking: the evolution of the “twenty-first-century maritime silk road” container shipping system, Transport Reviews, 38, 6, 1-20.
- Widrow, B. ve Hoff, M. E. 1960. Adaptive Switching Circuits, 1960 IRE WESCON Convention Record Part 4, New York 96-104.
- Wilamowski, B. M. ve Chen, Y., 1999. Efficient algorithm for training neural Networks with one hidden layer, Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks, 3, 1725-1728.
- Wilamowski, B. M. ve Yu, H., 2010. Improved computation for Levenberg–Marquardt training, IEEE Transactions on Neural Networks, 21, 6, 930-937.
- Williams, A., <https://www.straitstimes.com/business/economy/singapore-is-worlds-top-maritime-capital-again> The Straits Times Singapore is world’s top maritime capital - again. 14 Aralık 2018.

- Wingrove, M., https://www.marinemec.com/news/view,more-to-autonomous-technology-than-just-unmanned-ships_51235.htm Marine Electronics and Communications More to autonomous technology than just unmanned ships. 14 Ocak 2019.
- Winston, P. H., 1992. Artificial Intelligence, 3rd Edition, Pearson, New York.
- Xu, G. ve Hasegawa, K., 2012. Automatic Berthing Using Artificial Neural Network on Teaching Data Generated by Optimal Steering, Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 14, 295-298.
- Yamato, H., Proceedings of the Ninth Ship Control Systems Symposium 1990, Bethesda, USA, Automatic Berthing by Neural Controller, 3: 183-201.
- Yamazaki, Y., 1997. Report on Marine Education and Simulators in Europe and America, Bulletin of The Japan Institute of Navigation, 131, 26-36.
- Yang, K. U., Hur, J. G., Choi, M. S., Yeo, D. J. ve Byun, J. H., 2017. Study on Ship Automatic Berthing System with Mooring Lines, China Ocean Engineering, 31, 1, 19-29.
- Yang, X., Yin, Y. ve Lian, J.-J., 2019. Numerical study on the hydrodynamic performance of the semi-spade rudder and propeller, Advances in Mechanical Engineering, 11, 1, 1-18.
- Yasukawa, H. ve Yoshimura, Y., 2015. Introduction of MMG Standart Method for Ship Maneuvering Predictions, Journal of Marine Science and Technology, 20, 37-52.
- Yazıcı, A. C., Ögüş, E., Canan, S., Ankaralı, H. ve Akkuş, Z., 2007. Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış, Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences, 27, 1, 65-71.
- Yıldırım, U., 2011. Konteyner Gemilerinin Karaya Oturma Kazalarında İnsan Faktörü Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, H., 2012. Vardiya Zabitlerinin Yorgunluk ve Uykusuzluk Hallerinin EEG ve Köprüüstü Simülatör Yardımı İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, T., 2008. Naval Architecture Handbook, Chamber of Turkish Naval Architects and Marine Engineers, İstanbul.
- Yoon, H., 2009. Phase-Averaged Stereo-PIV Flow Field and Force/Moment(Motion Measurements for Surface Combatant in PMM Maneuvers, Doktora Tezi, University of Iowa, Iowa.

- Yurtoğlu, H., 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Zhai, Y. J. ve Yu, D. L., 2009. Neural network model-based automotive engine air/fuel ratio control and robustness evaluation, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 22, 2, 171-180.
- Zhang, G., Patuwo, B. E. ve Hu, M. Y., 1998. Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art, International Journal of Forecasting, 14, 35-62.
- Zhang, L., Meng, Q. ve Fwa, T. F., 2017. Big AIS data based spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.
- Zhang, L., Wang, H. ve Meng, Q., 2015. Big data based estimation for ship safety distance distribution in port waters, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2479, 16-24.
- Zhang, Q., Zhang, X. ve Nam-kyun, I., 2017. Ship nonlinear-feedback course keeping algorithm based on MMG model driven by bipolar sigmoid function for berthing, Int. J. Naval Architecture Ocean Eng., 9, 5, 525-536.
- Zhang, X., 2012. Concise Robust Control for Ships, Science Press, Beijing.
- Zorba, Y., 2007. Gemi Manevrası, Dokuz Eylül Üniversitesi Güverte Bölümü, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Murat Eray KORKMAZ, 1983 yılında Trabzon'da doğdu. Orta öğrenimini Yunus Emre Anadolu Lisesi, lise öğrenimini ise Trabzon Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2008 yılında KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında Yapay Sinir Ağları ile ilgili hazırladığı tezle Makina Yüksek Mühendisi unvanını aldı ve aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 2009-2017 yılları arasında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 1 adet SCI indeksli makalesi ve 2 adet yurt dışı bildirisi bulunan Murat Eray KORKMAZ İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.