

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAR SU YOLLARINDA EL KUMANDASI İLE SEYİR YAPAN  
GEMİLERİN KONUMUNUN YAPAY SİNİRSEL AĞLAR  
KULLANILARAK ÖNGÖRÜLMESİ**

**DOKTORA TEZİ  
Yük. Müh.Uğur ŞİMŞİR**

**Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Programı : KONSTRÜKSİYON VE İMALAT**

**ŞUBAT 2007**

**DAR SU YOLLARINDA EL KUMANDASI İLE SEYİR YAPAN  
GEMİLERİN KONUMUNUN YAPAY SİNİRSEL AĞLAR  
KULLANILARAK ÖNGÖRÜLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**  
**Yük. Müh.Uğur ŞİMŞİR**  
**(503982014)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Ekim 2006**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Şubat 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Şeniz ERTUĞRUL (İ.T.Ü)**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Talha DİNİBÜTÜN (D.Ü.)**  
**Prof.Dr. Abdülkerim KAR (M.Ü.)**  
**Prof.Dr. İbrahim EKSİN (İ.T.Ü.)**  
**Doç.Dr. Ata MUĞAN (İ.T.Ü.)**

**ŞUBAT 2007**

## ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince bana rehber olan, değerli yardım ve desteklerini esirgemeyerek çalışmanın sonuçlanmasını sağlayan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Şeniz ERTUĞRUL' a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin gelişiminde olumlu yorum ve önerileriyle beni yönlendiren başta tez danışmanım olmak üzere diğer tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. İbrahim EKSİN ve Sayın Doç. Dr. Ata MUĞAN ile Sn. Prof. Dr. Ahmet KUZUCU' ya, tez çalışmasında elde edilen yöntemin gerçek uygulama ile denenmesinde yardımcı olan Gemi Trafik Hizmetleri Merkezi Genel Müdürü Sayın Tuncay ÇEHRELİ' ye ve bana doktora eğitimi imkanını veren Deniz Kuvvetleri Komutanlığındaki değerli komutanlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca, beni teşvik eden ve hep yanımda olan anne ve babama, tez çalışmalarım süresince gösterdikleri sabır ve destekle bana güç veren eşim Pınar ve kızım Beril'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2007

Uğur ŞİMŞİR

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xviii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Elle Kontrol ve Yapay Sinirsel Ağlar ile İlgili Kaynakların İncelenmesi	1
1.1.1. Dinamik Sistemlerin Elle Kontrolü ve İnsan-Makine Etkileşimi ile ilgili Kaynaklar	1
1.1.2. Yapay Sinirsel Ağlar ile ilgili Kaynaklar	4
1.1.3. Çalışma ile ilgili Diğer Kaynaklar	7
1.2. İstanbul Boğazında Uyarı ve Kılavuz Sisteminin Önemi	7
1.3. Genel Bilgiler	10
1.4. Çalışmanın Amacı	11
1.5. Yöntem	11
<b>2. SEYİRİN TANIMLANMASI</b>	<b>13</b>
2.1. Gemi Manevrasına Ait Sistemin Tanımı	13
2.2. Gemi Hareket Denklemleri	14
2.3. Seyir Halindeki Geminin Dinamiği	15
<b>3. İNSAN MAKİNA SİSTEMLERİ VE ELLE KONTROL MODELİ</b>	<b>18</b>
3.1. İnsan Makine Sistemleri	18
3.2. Elle Kontrol	19
3.3. Elle Kontrol Modeli	19
3.4. Kontrol Sisteminde İnsan Operatörün Modellenmesi	21
3.4.1. Sürekli Kapalı Çevrim Servomekanizma Modeli	21
3.4.2. Elle Kontrol Sistemlerinde Değişkenlerin Sınıflandırılması	23
3.5. İstanbul Boğazının El Kumandası ile Geçilmesi	24
<b>4.YAPAY SİNİRSEL AĞLAR</b>	<b>27</b>

4.1. Yapay Sinirsel Ağların Tanımı	27
4.2. Yapay Sinirsel Ağların Kullanım Amacı ve Alanları	27
4.3. Basit Yapay Nöron Yapısı	28
4.4 Tek Katmanlı Yapay Sinirsel Ağ Yapısı	29
4.5. Çok Katmanlı ve İleri Beslemeli Yapay Sinirsel Ağlar	31
4.6. Geriye Yayınım (Backpropagation) Yöntemi	33
4.7. Levenberg- Marquardt Algoritması	38
4.7.1. Levenberg – Marquardt Algoritmasının Tercih Nedeni	40

## **5. İSTANBUL BOĞAZI GEÇİŞİ İLE İLGİLİ PLANLAMA FAKTÖRLERİ**

<b>VE TANIMLAMALAR</b>	<b>45</b>
5.1. Tanımlamalar	45
5.2. Trafik Ayrım Düzenleri	46
5.3. Planlama Faktörleri	46
5.4. Boğaz Geçiş Yapan Gemiler İçin Genel Kurallar	47
5.5. Boğazlardan Geçişte Alınacak Önlemler	48
5.6. Geçiş Sırasında Kaza ve Arıza	49
5.7. İstanbul Boğazı Seyrinde Bozucular	49
5.7.1. Akıntı	49
5.7.2. Görüş	52
5.8. Boğazda Seyir Güvenliğini Etkileyen Yapısal Özellikler	53
5.8.1. İstanbul Boğazının Coğrafi yapısı	53
5.8.1.1. İstanbul Boğazı'nın Jeomorfolojik Yapısı ve Topografyası	53
5.8.1.2. İstanbul Boğazı Derinlikleri	53
5.8.1.3. İstanbul Boğazı'ndaki Adalar	54
5.8.1.4. İstanbul Boğazı'nda Banklar	54
5.8.2. Türk Boğazlarında Seyir Güvenliğini Etkileyen Diğer Faktörler	55
5.9. İstanbul Boğazı'nda Seyir Güvenliğini Olumsuz Yönde Etkileyen	
Doğal Koşullar	55
5.9.1 İstanbul Boğazı'nın Coğrafi Yapısının Seyre Etkisi	55
5.9.2 İstanbul Boğazı'nda Akıntının Seyre Etkisi	57
5.9.3 Meteorolojik Olayların Seyre Etkisi	58
5.9.4 İstanbul Boğazı'nda Seyir Güvenliğini Olumsuz Yönde Etkileyen	
Diğer Koşullar	58

5.9.5 Yerel Trafiğin Etkisi	59
5.9.6 Seyir Yardımcılarının Etkisi	59
5.9.7 İstanbul Boğazı'nda Seyir Yapan Gemilerin Teknik Yetersizlikleri	59
5.9.8 Trafiğin Yapısı	59
5.10 İstanbul Boğazında Mevcut Durum	60
5.11 Kılavuzluk Hizmetleri	61
5.12. İstanbul Boğazında Gemi Trafik Hizmetleri (GTH)	63
5.12.1. GTH'nin Gerekliliği	64
5.12.2. GTH'nin Yapısı ve Faydaları	66
5.12.3. GTH Sisteminin Boğazlar Bölgesindeki Deniz Trafiğine Katkısı	67
5.12.4. GTH'nin Görev ve Sorumlulukları	68
5.12.5. GTH Sisteminde Verilen Hizmetler	69
5.12.5.1. Bilgi Hizmeti	69
5.12.5.2. Seyir Yardımı Hizmeti	69
5.12.5.3. Trafik Organizasyon Hizmeti	70
<b>6. SEYİRİN MODELLENMESİ VE SONUÇLAR</b>	<b>71</b>
6.1 Problemin Tanımı	71
6.2 Veri Toplama ve Hazırlama	71
6.3 Seyirin Yapay Sınır Ağı ile Modellenmesi ve Benzetimi	72
6.4 GTH Merkezinde Gerçek Zamanlı İzleme ve 3 Dakika Sonraki Konumun Öngörülmesi	75
<b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	<b>78</b>
7.1 Sonuçlar	78
7.2 Öneriler	83
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>85</b>
<b>EKLER</b>	<b>92</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>113</b>

## KISALTMALAR

<b>YSA</b>	: Yapay Sinirsel Ağ
<b>EYSA</b>	: Eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağ
<b>VTS</b>	: Vessel Traffic Services
<b>GTH</b>	: Gemi Trafik Hizmetleri
<b>TBGTH</b>	: Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri
<b>COLREG</b>	: Collision Regulations
<b>TAD</b>	: Trafik Ayrım Düzeni
<b>IALA</b>	: Inter. Assoc. of Marine Aids to Navig. and Lighthouse Othorities
<b>GTYS</b>	: Gemi Trafik Yönetim Bilgi Sistemi
<b>IMO</b>	: International Maritime Organisation
<b>İDO</b>	: İstanbul Deniz Otobüsleri
<b>TDİ</b>	: Türkiye Denizcilik İşletmeleri

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b> :Farklı Gemiler için Model Parametreleri.....	16
<b>Tablo 3.1</b> :Bazı Sistem ve Araçlara ait Matematik Modeller.....	23
<b>Tablo 4.1</b> :Geriye Yayınım Algoritmalarının Karşılaştırılması.....	44
<b>Tablo 5.1</b> :Marmara'dan Kardeniz'e Geçiş Rota ve Rota Değişmeleri.....	56
<b>Tablo 5.2</b> :2002 Yılında Geçiş Yapan Gemilerin Boylarına Göre Dağılımı .....	62
<b>Tablo 5.3</b> :2002 Yılında Geçiş Yapan Gemilerin Kılavuz Alma Oranları..	63



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	:Seyir Prosesinin Elemanları ..... 12
Şekil 2.1	:Gemi Hareket Denklemlerinde Kullanılan Değişkenler..... 14
Şekil 3.1	:İnsan Operatör Denetleyicinin Elle Kontrol Modeli..... 20
Şekil 3.2	:Temel Elle Kontrol Sistemi..... 22
Şekil 3.3	:İstanbul Boğazında Çengelköy-Kandilli Arasında İzlenen Yörünge..... 25
Şekil 3.4	:İstanbul Boğazında Anadolu Hisarı–Kanlıca Bölgesinde İzlenen Yörünge..... 25
Şekil 3.5	:İstanbul Boğazında Yeniköy-Selvi Burnu Dönüşünde İzlenen Yörünge..... 26
Şekil 4.1	:Basit Yapay Nöron Yapısı..... 28
Şekil 4.2	:Aktivasyon Fonksiyonları..... 29
Şekil 4.3	:S Nöronlu Katman’a Ait Ağ Mimarisi..... 30
Şekil 4.4	:S Nöronlu Katmana Ait Ağ Mimarisi..... 31
Şekil 4.5	:İleri Beslemeli Çok Katmanlı Yapay Sinirsel Ağ..... 32
Şekil 4.6	:Üç Katmanlı Ağ Mimarisi..... 33
Şekil 4.7	:Temel Eğim Düşümü Eğitim Grafiği..... 41
Şekil 4.8	:Momentumlu Eğim Düşümü Eğitim Grafiği..... 41
Şekil 4.9	:Adaptif Öğrenme Nispeti Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.10	:Esnek Geriyeayınım Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.11	:Fletcher-Reeves CG Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.12	:Polak-Ribiere CG Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.13	:Powell-Beale CG Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.14	:Scaled CG Eğitim Grafiği..... 42
Şekil 4.15	:Bfgs Quasi-Newton Eğitim Grafiği..... 43
Şekil 4.16	:One Step Secant Eğitim Grafiği..... 43
Şekil 4.17	:Levenberg-Marquardt Eğitim Grafiği..... 43
Şekil 5.1	:İstanbul Boğazı Dönüş Noktaları..... 57
Şekil 6.1	:Gemiye Ait Verilerle Eğitilen YSA Eğitim Modeli -1..... 73
Şekil 6.2	:Gemiye Ait Verilerle Eğitilen YSA Eğitim Modeli -2..... 74
Şekil 6.3	:Konum Öngörüsünde Kullanılan Eğitilmiş YSA Modeli..... 76
Şekil 7.1	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (44.Dakika) Öngörüsü ..... 79
Şekil 7.2	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (36.Dakika) Öngörüsü ..... 79
Şekil 7.3	:ACHILLEAS Tankerinin x Ekseni Hata Grafiği..... 81
Şekil 7.4	:ACHILLEAS Tankerinin y Ekseni Hata Grafiği..... 81
Şekil 7.5	:ACHILLEAS Tankerinin Mesafe Hata Grafiği..... 81
Şekil 7.6	:ACHILLEAS Tankerinin Rota Hata Grafiği..... 82

<b>Şekil A.1</b>	:ACHILLEAS Tankerinin Güney – Kuzey Yönünde İzlediği Yörünge.....	92
<b>Şekil A.2</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü...	93
<b>Şekil A.3</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü...	93
<b>Şekil A.4</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü...	94
<b>Şekil A.5</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü..	94
<b>Şekil A.6</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü..	95
<b>Şekil A.7</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü .	95
<b>Şekil A.8</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü.....	96
<b>Şekil A.9</b>	:ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü.....	96
<b>Şekil B.1</b>	:CHALLENGER Tankerinin Güney – Kuzey Yönünde İzlediği Yörünge.....	97
<b>Şekil B.2</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Kandilli Bölgesi Öngörüsü.....	98
<b>Şekil B.3</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Anadolu Hisarı Bölgesi Öngörüsü.....	98
<b>Şekil B.4</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü.....	99
<b>Şekil B.5</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü.....	99
<b>Şekil B.6</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü.....	100
<b>Şekil B.7</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü.....	100
<b>Şekil B.8</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü.....	101
<b>Şekil B.9</b>	:CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu (Düz Rota) Öngörüsü.....	101
<b>Şekil B.10</b>	:CHALLENGER Tankerinin x Eksenli Hata Grafiği.....	102
<b>Şekil B.11</b>	:CHALLENGER Tankerinin y Eksenli Hata Grafiği.....	102
<b>Şekil B.12</b>	:CHALLENGER Tankerinin Mesafe Hata Grafiği.....	102
<b>Şekil B.13</b>	:CHALLENGER Tankerinin Rota Hata Grafiği.....	103
<b>Şekil C.1</b>	:FIRKATEYN’in Güney – Kuzey Yönünde İzlediği Yörünge.....	104
<b>Şekil C.2</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Anadolu Hisarı Bölgesi Öngörüsü....	105
<b>Şekil C.3</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü .....	105
<b>Şekil C.4</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Kanlıca Bölgesi Öngörüsü .....	106
<b>Şekil C.5</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü .....	106
<b>Şekil C.6</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Yeniköy Bölgesi Öngörüsü .....	107
<b>Şekil C.7</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü .....	107
<b>Şekil C.8</b>	:FIRKATEYN’in EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Öngörüsü .....	108
<b>Şekil C.9</b>	:FIRKATEYN’in x Eksenli Hata Grafiği.....	108
<b>Şekil C.10</b>	:FIRKATEYN’in y Eksenli Hata Grafiği.....	109
<b>Şekil C.11</b>	:FIRKATEYN’in Mesafe Hata Grafiği.....	109
<b>Şekil C.12</b>	:FIRKATEYN’in Rota Hata Grafiği.....	109
<b>Şekil D.1</b>	:İstanbul Boğazını Güney’den Kuzey’e Geçen 5 Adet Geminin Yörüngesi.....	110
<b>Şekil D.2</b>	:İstanbul Boğazını Kuzey’den Güney’e Geçen 3 Adet Geminin Yörüngesi.....	111

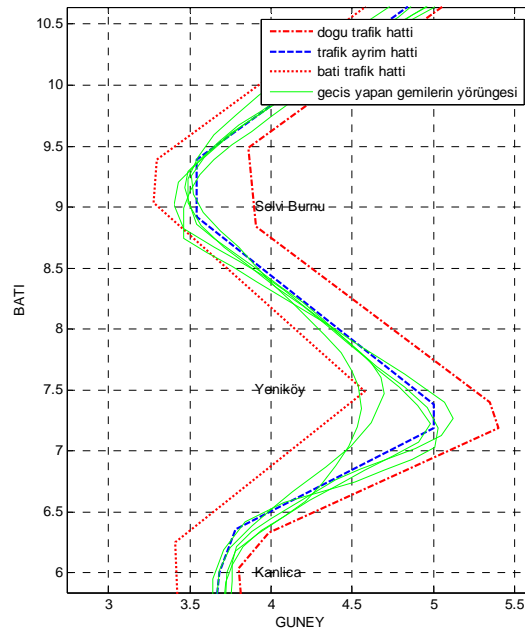
## SEMBOL LİSTESİ

$\delta$	: Lokal eğim
$\psi$	: Rota
$u$	: Sancak-iskele kaçma hızı
$\delta_d$	: Dümen açısı
$\hat{x}_g, \hat{y}_g$	: Öngörülen konuma ait koordinatlar
$d$	: Nöron cevabı
$w$	: Nöronlar arası ağırlık değeri
$\eta$	: Öğrenme derecesi
$A$	: Dümen yüzey alanı
$a_g$	: Gemi model parametresi
$b_g$	: Gemi model parametresi
$b$	: Yanlılık değeri
$D$	: Deplasman
$E$	: Değer fonksiyonu
$e$	: Hata
$f$	: Aktivasyon fonksiyonu
$F$	: Performans indexi
$H_s$	: Ağ eşitliği
$J$	: Jacobien matrisi
$K$	: Kazanç
$l$	: Gemi boyu
$\emptyset$	: Yanal hareket açısı
$r$	: Dönüşe ait açısal hız
$u$	: Gemi hızı
$V$	: Vektörel hız
$w_d$	: Bozucu
$x$	: Nöron giriş değeri
$x_g, y_g$	: Gemi konumuna ait koordinatları
$y$	: Nöron çıkış değeri
$y$	: Sistem çıkışı
$Y_H, Y_C$	: Fourier dönüşümü uygulanmış zaman fonksiyonları
$\tau_N$	: Nöro – motor faz gecikmesi

# DAR SU YOLLARINDA EL KUMANDASI İLE SEYİR YAPAN GEMİLERİN KONUMUNUN YAPAY SİNİRSEL AĞLAR KULLANILARAK ÖNGÖRÜLMESİ

## ÖZET

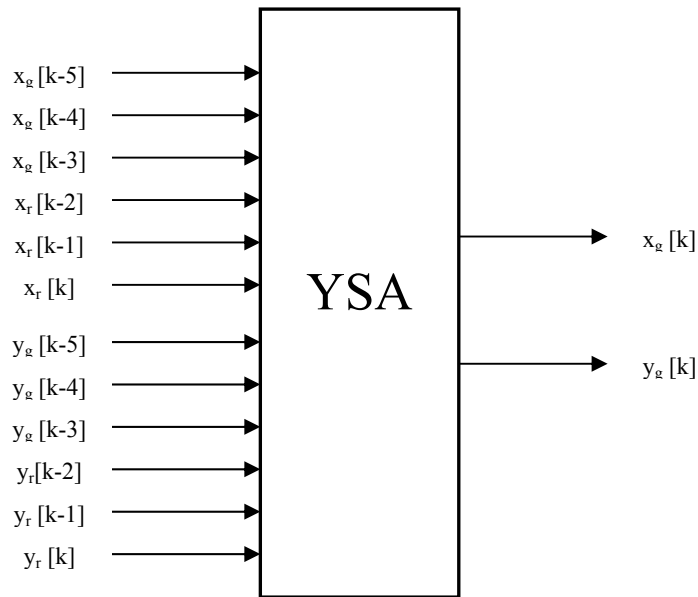
Çok gelişmiş seyir cihazlarına rağmen gemilerin dar su yollarından geçişlerine yönelik problemler, geçiş sırasında maruz kalınan bozucu etkenler ve coğrafi yapı nedeniyle sorun olmaya devam etmektedir. Tez çalışmasında, İstanbul Boğazı model alınarak, gemilerin dar sularından geçiş problemlerine yönelik erken uyarı sistemi ve kılavuz olarak hizmet edecek bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir. Temel amaç, elle kumanda edilen gemiye ait verilerden faydalanarak Yapay Sinirsel Ağların (YSA) eğitilmesi ve gelecek konumu hakkında öngörü yapmaktır. Yöntemin, uyarı sistemi olarak Gemi Trafik Hizmetleri (GTH) Merkezinde geçişleri izleyen operatörlere, kılavuz olarak da geçiş yapan gemilerin personeline hizmet etmesi amaçlanmıştır. Çalışmada çeşitli gemilerden toplanan veriler kullanılmış, İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri merkezinde denemeler yapılmış ve yöntemin özellikle kaza riskinin yüksek olduğu dönüş bölgelerinde istenen hassasiyette öngörü yapabildiği ortaya konmuştur. GTH Merkezinde operatör tarafından izlenen monitörlerde sadece gemilere ait düz kerterizler görülebilmektedir. Özellikle dönüş bölgelerinde gemi personelinin ihmal yada hatası nedeniyle oluşabilecek riskin GTH personeli tarafından zamanında tespiti çok önemlidir. İstanbul Boğazı'nda, son 60 yılda 400'den fazla kaza kaydedildiği tespit edilmiştir. İstatistiklere göre deniz kazalarının yüzde 80'i insan hatalarından kaynaklanmaktadır [86]. İstanbul Boğazında en fazla ihlalin yapıldığı bölgelerden biri olan Selvi burnu ve Yeniköy bölgesinde geçiş yapan gemilerin yörüngeleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Selvi Burnu ve Yeniköy Bölgesinde Yapılan İhlaller – Kuzey Yönünde Geçiş

Erken uyarı ve kılavuz olarak görev yapacak yöntem ile, geminin dar su yollarından geçiş problemine örnek olarak seçilen İstanbul Boğazına girdiği andan itibaren 1 dakika örnekleme periyodunda alınan enlem ve boylam verileri kullanılarak eğitilen Yapay Sinirsel Ağları ile,  $\hat{x}(t+1)$ ,  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+1)$ ,  $\hat{y}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  konumlarının öngörülmesi sağlanmıştır. Yapay Sinirsel Ağların eğitilmesi için kullanılacak modelin belirlenmesi amacıyla daha önce İstanbul Boğazından Marmara ve Karadeniz yönüne geçiş yapan 4 adet geminin enlem ve boylam (x,y) , rota ( $\psi$ ), sürat (u) ve zaman (t) bilgileri toplanmıştır. Bu bilgiler 1 dakika örnekleme periyodunda ve gemi üzerindeki GPS'ten faydalanılarak alınmıştır ve bu veriler aynı zamanda hız bilgisini de içermektedir. İki dönüş noktası arasında referans hat üzerindeki seyir rotası sabit olmasına rağmen , bozucuların etkisine maruz kalan geminin rotası değişse de gemi trafik sınırları içerisinde kalabilir. Geminin  $x[k-1]$ ,  $y[k-1]$  noktasını  $x[k]$ ,  $y[k]$  noktasına birleştiren vektörün yönü geminin rotasını vermektedir. Bu nedenle YSA eğitilirken tercih edilen modelde sadece koordinat verileri dikkate alınmıştır. Bu konuyla ilgili detaylar sonuçlar bölümünde anlatılmıştır.

Gerçekte gemi hareketi ve manevrası yüksek atalet ve yavaş cevaba sahip olduğu için örnekleme periyodu 1 dakika seçilmiştir. İstanbul boğazı geçişi için izin verilen hız teorik olarak 10 knots olmasına rağmen trafiğin uygun olduğu özellikle tek yönlü geçişlerde 15 knotsa kadar izin verilebilmektedir. Bu hız ile yapılan seyir sonunda düz bir kerterizde gemi 1 dakikada yaklaşık 420 metre yer değiştirmiş olacaktır. 3 dakika sonunda yer değiştirme 1260 metredir ve bu mesafede önceden öngörü yapılması hedeflenmiştir. GTH merkezi operatörleri ile yapılan çalışmada uyarının en az 2 dakika önce bildirilmesi gerektiği öğrenilmiştir. Bu amaçla insan tarafından kumanda edilen geminin o anki seyir şartlarında elde edilen verilerinden faydalanarak geminin 1,2, ve 3 dakika sonraki yeri öngörülmüştür. Elde edilen veriler ile 2 farklı model kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapay Sinirsel Ağının eğitiminde kullanılan Model-1'e ait giriş çıkış verileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Kurulan Model yapıları;  $x_g$ ,  $y_g$  gemi koordinatları ve  $x_r$ ,  $y_r$  referans koordinatlar olmak üzere;



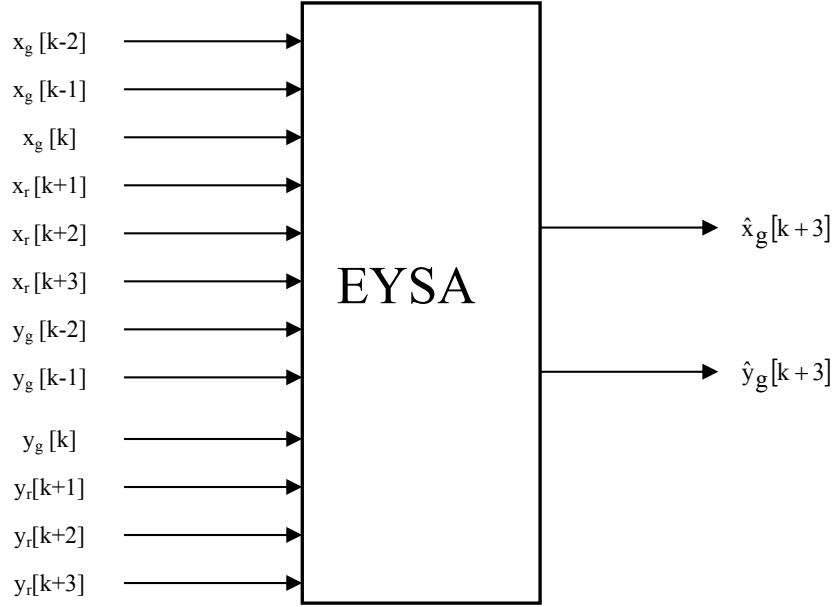
**Şekil 2:** Gemiye Ait Verilerle Eğitilen YSA Eğitim Modeli -1

- Model-1:  
 $x_g[k-5], x_g[k-4], x_g[k-3], x_r[k-2], x_r[k-1], x_r[k],$   
 $y_g[k-5], y_g[k-4], y_g[k-3], y_r[k-2], y_r[k-1], y_r[k]$  giriş vektörleri ve  
 $x_g[k]$  ve  $y_g[k]$  çıkış vektörleri ile eğitilmiş ve  
Eğitilen Yapay Sinirsel Ağı kullanılarak,  
 $x_g[k-2], x_g[k-1], x_g[k], x_r[k+1], x_r[k+2], x_r[k+3],$   
 $y_g[k-2], y_g[k-1], y_g[k], y_r[k+1], y_r[k+2], y_r[k+3]$  giriş vektörleri ile geminin  
3 dakika sonraki yerine ait  $\hat{x}_g[k+3], \hat{y}_g[k+3]$  koordinatları öngörülmüştür.
- Model-2:  
 $x_g[k-5], x_g[k-4], x_g[k-3], x_r[k-2], x_r[k-1], x_r[k],$   
 $y_g[k-5], y_g[k-4], y_g[k-3], y_r[k-2], y_r[k-1], y_r[k],$   
 $v_g[k-5], v_g[k-4], v_g[k-3], v_r[k-2], v_r[k-1], v_r[k]$  giriş vektörleri ve,  
 $x_g[k]$  ve  $y_g[k]$  çıkış vektörleri ile eğitilmiş ve  
Eğitilen Yapay Sinirsel Ağı Kullanılarak,  
 $x_g[k-2], x_g[k-1], x_g[k], x_r[k+1], x_r[k+2], x_r[k+3],$   
 $y_g[k-2], y_g[k-1], y_g[k], y_r[k+1], y_r[k+2], y_r[k+3],$   
 $v_g[k-2], v_g[k-1], v_g[k], v_r[k+1], v_r[k+2], v_r[k+3]$  giriş vektörleri ile geminin  
3 dakika sonraki yerine ait  $\hat{x}_g[k+3], \hat{y}_g[k+3]$  koordinatları öngörülmüştür.

Bu modeller ile yapılan deneylerde görülmüştür ki 1 dakika ara ile alınan x,y koordinat verileri eğitim için yeterli olmuş, Model-1 gemi seyir dinamiğini çok iyi bir performans ile öğrenebilmiştir. Model-1 'in performansının Model-2'ye göre daha iyi olduğu gözlenmiş ve ağın eğitiminde Model-1'in kullanılmasına karar verilmiştir. Yapay Sinirsel Ağı mimarisinde ise, her iki modelde de tek saklı katman ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. En iyi performansı veren saklı katman ve bu katmadaki nöron sayılarının bulunabilmesi için Model-1 kullanılarak benzetimler yapılmıştır. Bu modellerde daha önce elde edilen 4 adet gemiye ait gerçek veriler kullanılmıştır. Özet olarak ağın eğitimi ve eğitilmiş ağ ile öngörü işlemi 4 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- a) Eğitim için gerekli verilerin toplanması
- b) Ağ yapısı ve modellerin oluşturulması
- c) Ağın eğitimi
- d) Yeni girişlerle ağa benzetim uygulanması ve 3 adım sonraya ait öngörünün yapılması

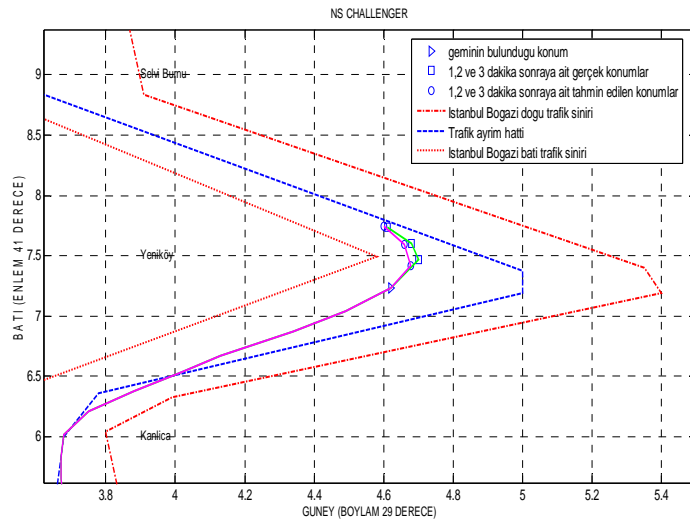
Ağın gerçek zamanlı eğitimi ve konum öngörüsü için hazırlanan yöntemde daha önce bahsedildiği gibi , Model-1'in kullanılmasına karar verilmiştir. Model-1'de öngörü amacıyla kullanılan ve Eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağ girişi olarak kullanılan veriler Şekil 3'de gösterilmiştir. Gerçek zamanlı konum öngörüsü İstanbul'da bulunan GTH sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doktora tezi ile amaçlanan erken uyarı ve kılavuzluk hizmetinin gerçekleştirilebildiği herhangi bir sistemin Türkiye yada diğer ülkelerdeki GTH sistemlerinde bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu görev, GTH merkezlerinde bulunan tecrübeli ve sertifikalı operatörlerce yapılmaktadır.



**Şekil 3.** Konum Öngörüsünde Kullanılan Eğitilmiş YSA Modeli-1

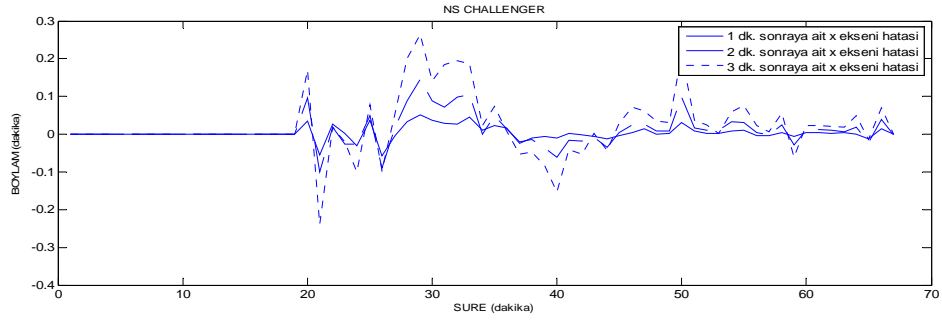
Gerçek zamanlı konum öngörüsü amacıyla, GTH merkezinde çeşitli gemilere ait geçişler incelenmiş, ve önerilen yöntemin uygulaması yapılmıştır. 244 metre uzunluğunda (NS Challenger) ve 170 metre uzunluğunda (Achilleas) tankerleri GTH merkezinden izlenerek 1 dakika örnekleme periyodunda konum bilgileri alınarak veri dosyasına yazdırılmıştır.

Model-1'in uygulandığı Yapay Sinirsel Ağı kullanılarak geminin 1,2 ve 3 dakika sonraki yeri öngörülmüş ve özellikle Kandilli, Yeniköy ve Selvi Buru dönüşleri incelenmiştir. Sonuçlar GTH operatörleri ile değerlendirilmiş ve minimum 2 dakika ve üzeri öngörünün kendileri için çok faydalı olacağı bildirilmiş, elde edilen sonuçlar tatmin edici bulunmuştur. Gemi hareketlerinin izlendiği operatör panellerinde geminin rotası üzerinde düz kerterizi gösteren referans doğrusunun bulunduğu, fakat bunun özellikle dönüşlerde her hangi bir fikir veremeyeceği görülmüştür. NS Challenger tankerinin Yeniköy bölgesi dönüşünde konumunun öngörüsü Şekil 4'de gösterilmiştir.

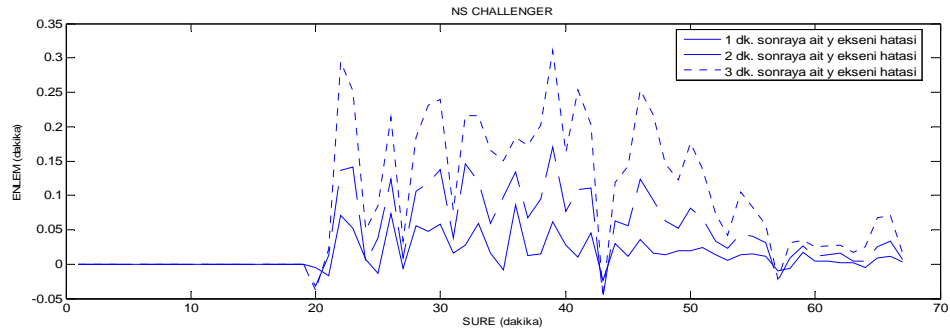


**Şekil 4.** NS Challenger Tankerinin EYSA ile Yeniköy bölgesi (36. dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

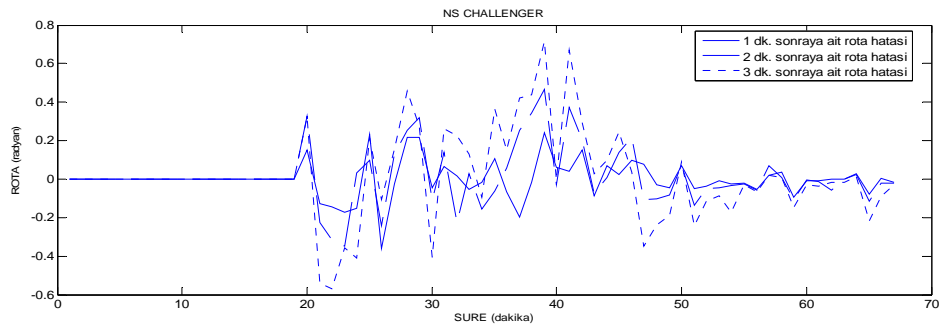
Geçiş boyunca  $\hat{x}_g(k+3)$ ,  $\hat{y}_g(k+3)$  anına ait öngörülen konumlar ile, gemilerin gerçek  $x_g(t+3)$ ,  $y_g(t+3)$  konumları arasındaki farklara bakılarak hata analizi yapılmış, NS Challenger tankerine ait boylam (x eksen), enlem (y eksen) ve rota hataları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Bahse konu tankerlerin geçiş boyunca izledikleri yörüngeler ve eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağlarıyla öngörülen 3 dakika sonra bulunacakları yerleri ile karşılaştırma yapabilmek için geçiş tamamlandıktan sonra gerçekten buldukları yerin gösterilmesi ile elde edilen grafikler Sonuçlar bölümünde ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 5.** NS Challenger Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait x Eksenindeki Hata Grafiği



**Şekil 6.** NS Challenger Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait y Eksenindeki Hata Grafiği



**Şekil 7.** NS Challenger Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Rota Hata Grafiği

Boğaz kazalarının, gemilerin kendilerine ait trafik ayırım düzeni sınırları dışına çıkmaları nedeniyle meydana geldiği bilindiğinden, bu sayede ihlalin önceden tespiti ve tehlike riskini ortadan kaldıracak uyarı sisteminin tez çalışmasında kullanılan yöntemle geliştirilmesi mümkündür.



# PREDICTION OF MANUALLY CONTROLLED VESSELS' POSITION NAVIGATING IN NARROW WATERWAYS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

## SUMMARY

Despite modern navigation devices, there are still some problems for navigating of vessels in narrow waterways because of geographical structures and various disturbances. In this study, a guidance and a warning method have been developed for navigation in narrow waterways. The Istanbul Strait has been specifically studied as a model. The basis of this study is to predict the future coordinates of a manually controlled vessel using Artificial Neural Networks (ANN). The method could be utilized as a warning system by Vessel Traffic Services (VTS) operators and as a guidance system by vessel crew. In this study, data collected from vessels which navigated manually in the strait and some experiments have been realized in Istanbul VTS centre and it has been observed that the method satisfied the goal in especially turning points of the strait. VTS operators can watch only straight bearing of vessels on VTS panels but especially for turning regions, they have to notice any possible risk on time which may result with a disaster because of negligence of the vessel crew. Over 400 accidents have occurred in the Strait in last 60 years. The statistics show that 80% of accidents are the result of human operator faults [86]. Selvi is one of the turning regions which most violations occur in Istanbul and courses of some vessels are shown in Figure 1.

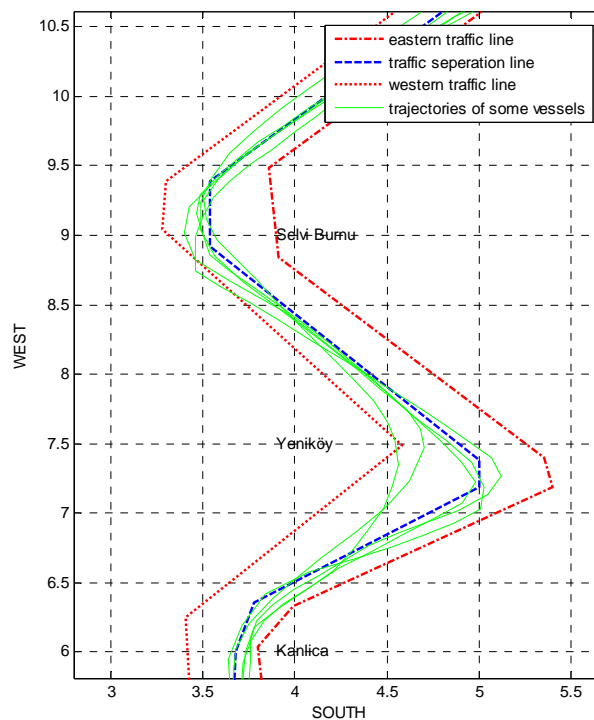
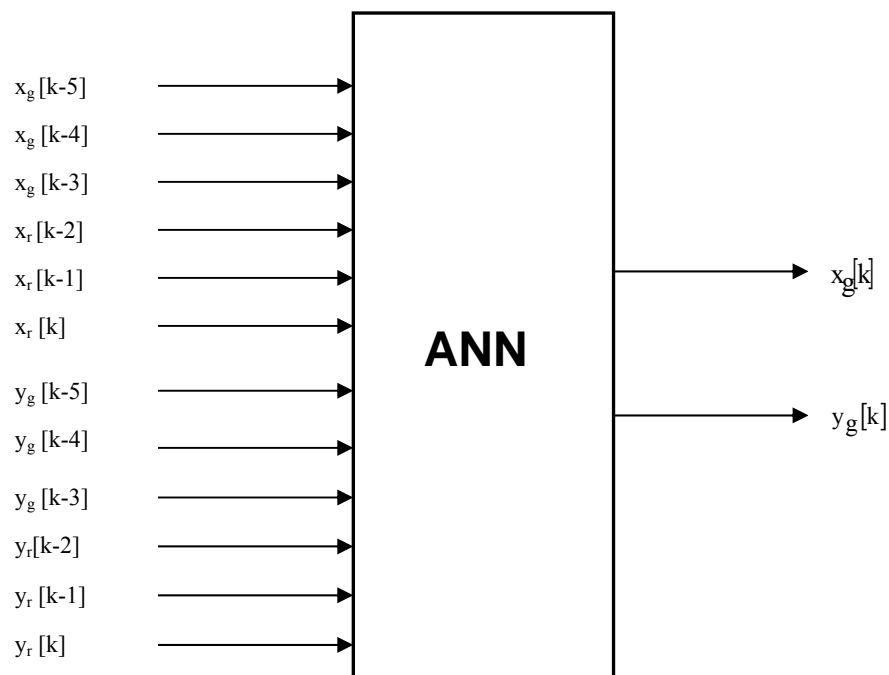


Figure 1. Violations on Selvi Region – Passing to North

Latitude and longitude (x,y), course ( $\psi$ ), speed (u) and time ( t ) data have been collected from GPS of 4 vessels in 1 minute sampling period to train Artificial Neural Networks. Then the trained ANN has been used to predict  $\hat{x}(t+1)$ ,  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+1)$ ,  $\hat{y}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  positions. Data from vessels, navigated to south and north, have been used to determine model structures. Although the course is stable on the reference line between two turning points, vessels can change its course if it is between traffic separation lines. The direction of vector, from  $x[k-1]$ ,  $y[k-1]$  to  $x[k]$ ,  $y[k]$ , gives the course of the vessel. These data includes speed data because they were recorded in 1 minute sampling period. So, only position data considered to decide model structure and used for training of Neural Networks.

In practice, since the vessel has high inertia and slow maneuver response, sampling period is selected 1 minute as mentioned before. Although the permitted speed is theoretically 10 knots for navigation in the Strait, if the traffic is convenient especially in one way navigation, permitted speed can be up to maximum of 15 knots. So, the vessel will move forward approximately 420 meters in 1 minute on a straight course. Displacement will be 1260 meter in 3 minutes. When the maneuver performance of vessels which have length of 120 meters or longer and geographical structure of Strait are considered, 3-minute-ahead prediction will be sufficient to reduce any risk. VTS operators have stated that warning should be made before 2 minutes minimum. In this respect, 1,2 and 3 minutes ahead positions are predicted by utilizing past data of vessel navigated by human operator. The following ANN Models were trained and analysed for the best performance. Input and output parameters of Model-1 used for training are shown in Figure 2. Model structures are described below;



**Figure 2.** ANN Structure of Model-1

- Model-1:  
 $x_g[k-5], x_g[k-4], x_g[k-3], x_r[k-2], x_r[k-1], x_r[k],$   
 $y_g[k-5], y_g[k-4], y_g[k-3], y_r[k-2], y_r[k-1], y_r[k]$  input vectors and  
 $x_g[k]$  and  $y_g[k]$  output vectors have been used for training,

with trained artificial neural network ;

3-step-ahead-position  $\hat{x}_g[k+3], \hat{y}_g[k+3]$  have been predicted by using  
 $x_g[k-2], x_g[k-1], x_g[k], x_r[k+1], x_r[k+2], x_r[k+3],$   
 $y_g[k-2], y_g[k-1], y_g[k], y_r[k+1], y_r[k+2], y_r[k+3]$  input vectors,

where  $x_g, y_g$  are vessel coordinates,  $x_r, y_r$  are reference course coordinates.

- Model-2:  
 $x_g[k-5], x_g[k-4], x_g[k-3], x_r[k-2], x_r[k-1], x_r[k],$   
 $y_g[k-5], y_g[k-4], y_g[k-3], y_r[k-2], y_r[k-1], y_r[k],$   
 $v_g[k-5], v_g[k-4], v_g[k-3], v_r[k-2], v_r[k-1], v_r[k]$  input vectors and,  
 $x_g[k]$  ve  $y_g[k]$  output vectors have been used for training,

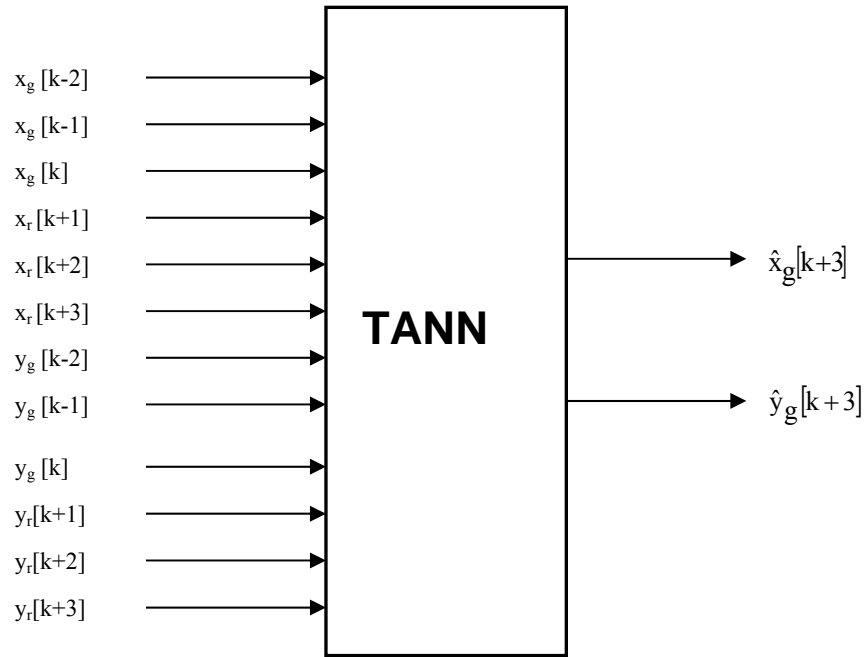
with trained artificial neural network ;

three step ahead position  $\hat{x}_g[k+3], \hat{y}_g[k+3]$  have been predicted by using  
 $x_g[k-2], x_g[k-1], x_g[k], x_r[k+1], x_r[k+2], x_r[k+3],$   
 $y_g[k-2], y_g[k-1], y_g[k], y_r[k+1], y_r[k+2], y_r[k+3],$   
 $v_g[k-2], v_g[k-1], v_g[k], v_r[k+1], v_r[k+2], v_r[k+3]$  input vectors.

By using the models set up for prediction it has been observed that, x,y data which were collected with 1 minute sampling period, are sufficient for training. Model-1 can learn the dynamics of the vessel navigation very well and has better performance than Model-2. Eventually, Model-1 has been used for training of neural networks. In this neural network architecture, one hidden layer with sigmoid activation function has been used. The number of hidden neurons and hidden layers have been found by training with Model-1 and using collected data to obtain the best performance. Training and prediction processes are realised at 4 steps as explained below;

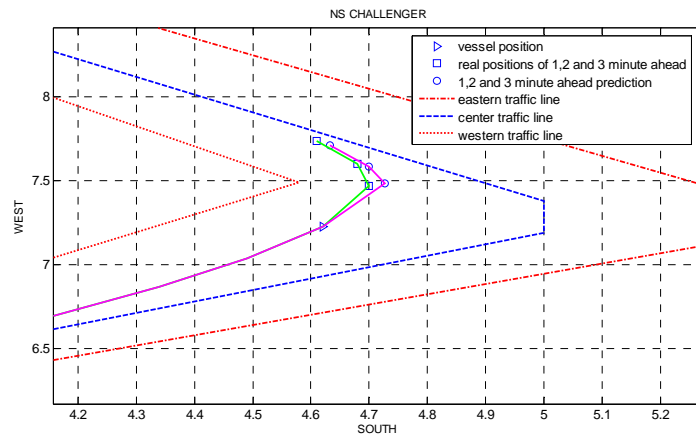
- a) Collecting data for training
- b) Forming of neural network architecture and models
- c) Training of neural network
- d) Testing the trained neural network with new data for 3 step ahead prediction
- e)

As mentioned before, Model-1 was preferred to use for on-line training of neural network and prediction in this method. After training was completed, input-output vectors have been modified for prediction step for Model-1, as shown in Figure 3. On-line prediction has been realized at the VTS center in Istanbul. During trials in VTS center, it has been confirmed that, there is no early warning and guidance system as intended in this thesis, either in Turkey or in another country to use along with VTS systems. Warning mission is currently realised by certificated and experienced operators.



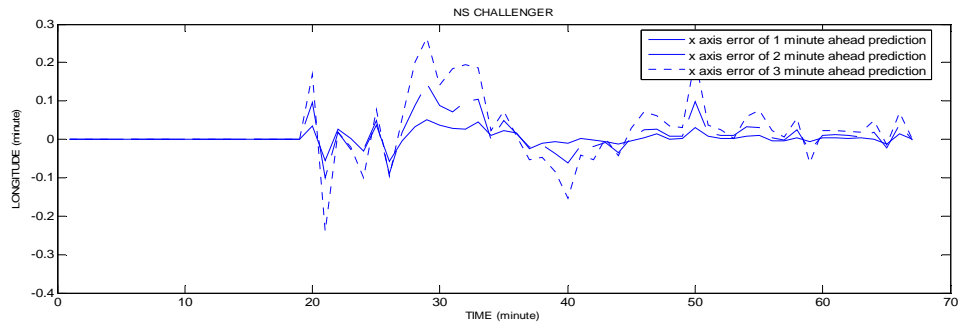
**Figure 3.** Prediction Step with Trained ANN Model-1

For on-line prediction purpose, courses of different vessels on the Istanbul strait have been observed by using VTS system. Position data of two tankers, namely 244 m (NS Challenger) and 170 m (Achilleas) were collected from VTS system in 1 minute sampling period. Artificial Neural Network was retrained after receiving new data and predicted 1,2 and 3 minutes ahead of vessel and especially Kandilli, Yenikoy and Selvi Burnu regions were observed. The prediction results evaluated together with VTS operators. They found the prediction performance satisfactory and stated that they need minimum of 2 minutes to prevent a probable risk. A Straight bearing line can be shown on the VTS operator panels and it represents vessels' course but it is not useful especially on the turning regions. Our method has particularly been developed for prediction of turning course and the prediction performance was found to be succesful on the turning regions. Position predictions of NS Challenger on Yeniköy region is shown in Figure 4.

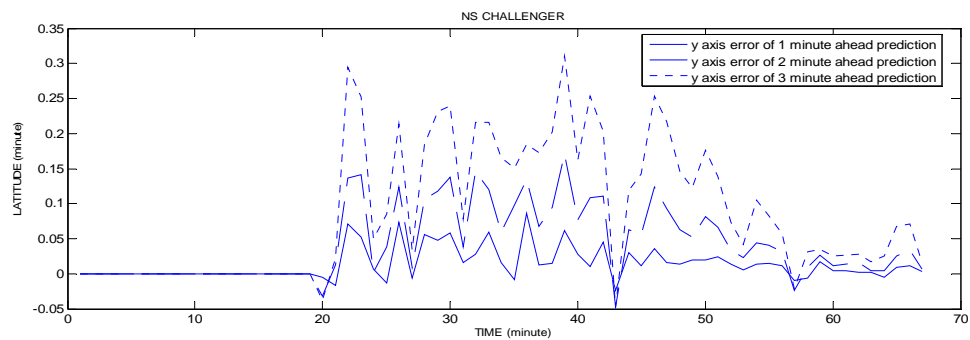


**Figure 4.** Three Minute Ahead Prediction with EYSA and Real Positions of NS Challenger on Yenikoy region (36. minute )

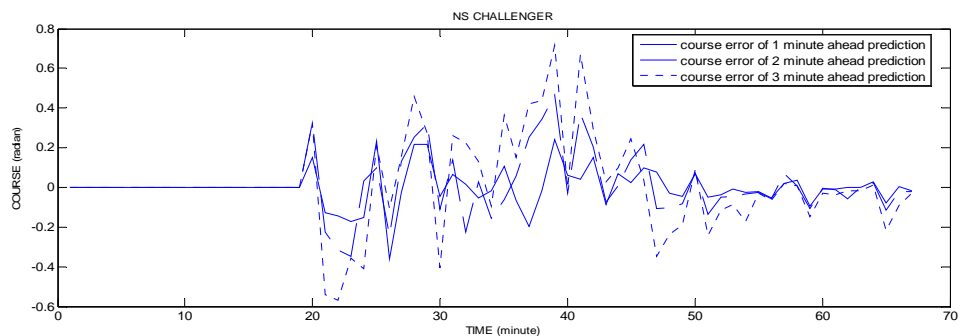
Error analysis has been made for seeing differences between predicted position  $\hat{x}_g(k+3)$ ,  $\hat{y}_g(k+3)$  and real position  $x_g(t+3)$ ,  $y_g(t+3)$  of the vessel. x axis, y axis and course error analysis of NC Challenger are shown in Figure 5, Figure 6 ve Figure 7. The courses of above specified tankers, 3-minute-ahead-prediction and their real positions are shown in figures and the details are given in the following chapters.



**Figure 5.** Error Analysis Between Predicted and Real Position of NS Challenger on x axis



**Figure 6.** Error Analysis Between Prediction and Real Position of NS Challenger on y axis



**Figure 7.** Error Analysis Between Prediction and Real Course of NS Challenger

The proposed neural network prediction scheme can be used for early warning and guidance system before any dangerous situations occurs for vessel crew and VTS operators.

## **1.GİRİŞ**

### **1.1 Elle Kontrol ve Yapay Sinirsel Ağlar ile İlgili Kaynakların İncelenmesi**

Doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi ve denetimi doğrusal olanlara göre daha zor ve karmaşıktır. Ayrıca sistemin modellenmesi bozucuların karakterinin çok iyi bilinmesine bağlıdır. Bilim adamları uzun yıllardır doğrusal olmayan sistemler hakkında araştırmalar yapmışlar ve matematik modele ihtiyaç duymadan bozucuların da dahil olduğu sistem dinamiğini Yapay Sinirsel Ağlara öğretmeyi başarmışlardır. Tez çalışmasına başlamadan önce dinamik sistemlerin elle kontrolü, İnsan – Makine etkileşimi ve Yapay Sinirsel Ağlar ile ilgili literatür taraması yapılmış olup incelenen kaynaklar hakkında özet bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

#### **1.1.1 Dinamik Sistemlerin Elle Kontrolü ve İnsan-Makine Etkileşimi ile ilgili Kaynaklar**

Dinamik sistemlerin elle kontrolü hakkında modern araştırmalar ilk defa James ve diğ.(1947), Tustin (1947) ile Wiener (1950) tarafından başlatılmıştır [1-3]. 1965 yılına kadar yapılan çalışmalarda tek değişkenli ve zamanla değişmeyen doğrusal sistemlerde denetleyici olarak bulunan insan operatörün karakteristiği anlamaya çalışılmıştır.

Elkind (1956), McRuer ve Krendel (1957) ile McRuer ve diğ. (1965) tarafından yapılan çalışmalar ile elde edilen sanki-doğrusal modelin basit fakat önemli problemler için insan davranışının tahmini konusunda yetenekleri ortaya konmuştur [4-6].

Karmaşık elle kontrol sistemlerinin analizi ile ilgili çalışmalar 1960 lı yıllarda başlamıştır. Bu yıllarda genellikle çok değişkenli sistemlerde insan için model geliştirme problemi üzerinde yoğunlaşmış ve ilk yaklaşım klasik çok çevrimli kontrol teorisi hakkında McRuer, Ashkenas ve Pass (1964) ile Stapelford, McRuer ve Magdeleno (1966) tarafından geliştirilmiştir [7-8].

İkinci yaklaşım ise 1968 yılında geliştirilmiş, modern kontrol ve optimizasyon teorisi ile durum-uzay tekniklerini kullanarak insan-operatör denetleyicinin karmaşık insan-makine sistemlerindeki davranışının analizi yapılmıştır [9-11].

Kleinman(1969), Kleinman ve diğ.(1970) ve Baron ve diğ.(1970) optimal kontrol ve öngörü teorisi üzerine elle kontrol problemlerini kapsayan çalışmalar yapmışlardır. Çok değişkenli insan operatör kontrol modelini tek-kontrol durumu için sadeleştirilmişler ve Kalman filtreli insan davranışı optimal teorik kontrol modelini geliştirmişlerdir[ 12-14].

Kleinman ve Perkins (1974) ise yaptıkları çalışmada bir uçaksavarın yakalama çevriminde öngören modelin optimal kontrol ile insan operatör bileşiminden oluşan sistemin cevabını incelemişler ve çeşitli insan operatör limitleri, zaman gecikmesi, rastgelelik, keyfi stokastik giriş bozucularının sistem dinamiğinin performansı üzerindeki etkilerini açıklamışlardır [15].

Weir ve McRuer (1970), bir otomobilin yanal kontrolünü anlamaya yönelik elle kontrol teorisi ve veri sağlama konusunda inceleme yapmış çevresel etkiler ile denetleyici olan insan operatörün dinamik cevap karakteristiği aracın hareket denklemleri ile birlikte modellenmiştir [16].

Papenhuijzen ve Stassen (1989) yaptıkları çalışmada bir geminin seyir prosesinde serdümen (insan operatör) 'in aldığı rolün ne derece önemli olduğu vurgulanmış ve doğrusal optimal kontrol'un uygulamasını içeren bir algoritma sunulmuştur. Kullanılan teknikle serdümen davranışına ait model geliştirilmiştir[17].

Gingrich ve diğ.(1992), proses endüstrisinde insan operatörün bilgisinin öğretileceği ve uzman olarak kullanılacak Yapay Sinirsel Ağların operatörün yerini alacağı metodun geliştirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır [18].

Caciabue(1996), İnsan – Makine etkileşimi ile elde edilen kontrol çevriminde insan operatörün rolü ve insan – makine etkileşimi ile ortaya çıkan kontrol çevriminin analizi ve tasarımının kusursuz olması için ihtiyaç duyulan yaklaşımları açıklamıştır [19].

Hızal(1997), İnsan – Makine etkileşimi ile çalışan gerçek zamanlı bir bilgisayar deneyi kullanarak, sistemin derecesi, eğitim ve görüntü etkileri ile değişen sonuçlar hakkında açıklamalar yapmıştır [20].

Ertuğrul ve Hızal (2005) insan-makine etkileşimi bilgisayar deneyi temeline dayanan çalışmalarında, 1. ve 2. dereceden sistemi kontrol etmeye çalışan insan operatör hareketlerinden toplanan verileri akıllı sistemin eğitiminde kullanarak insan operatörün yerini alabilecek bir sinirsel-bulanık akıllı denetleyici tasarımı gerçekleştirmişlerdir [21].

McRuer (1980), insan dinamiği özelliklerini, farklı insan davranışlarına göre bazı teorik gelişmeler ile örneklerle açıklamıştır. Bir insan davranışı formunu zaman-optimal kontrol teorisi ile karakterize etmiş, bir diğer davranışı da izomorfik neden-sonuç modeli ve doğrusal kuadratik-gauss optimal kontrol modelinden faydalanarak açıklamıştır [22].

Bos ve diğ. (1995) doğrusal olmayan karmaşık dinamiğe sahip ve yavaş 3 boyutlu uzay manipulatorü'nün elle kontrolü ile ilgili yaptıkları çalışmada inişli çıkışlı konumlanma görevi için referans hatların 3 boyutlu algılama ile artırılmasının, görevin icrasının daha güvenli hale getirdiğini vurgulamışlardır [23].

Doman ve Anderson (2000) Optimal kontrol temelli insan operatör modellerinin formülasyonunun daha genel ve anlaşılır biçimde sunulmasını sağlamış, geliştirdikleri tekniğin sabit dereceli operatör modeline uygulayarak, insan operatörün önemli performans özelliklerini kaybetmeden karakteristiğinin korunmasını sağlamışlardır [24].

Birmingham (1954) ise sistem kısıtlamaları, performansının basit amplifikatöre benzer özellik göstermesine izin verdiği durumlarda insan operatör daha verimli çalıştığını anlatan bir makale yayınlamıştır [25].

Patrick ve diğ. (1988) kontrol sisteminde denetleyici olan insan operatörün eğitilmesi ve zamanla değişen davranışı, karar vericiliği ve performansı hakkında çalışmalar yapmışlardır [26].



Johansson ve diğ. (1998) ile M. Badson tarafından, insan-makine etkileşiminin interaktif olarak algılanmasını sağlayan yöntem ve deneyler hakkında çalışmalar yapılmıştır [27,28].

Hosman ve Stassen (1999) uçak hareket kontrolü esnasında pilotun algılaması ve onun kontrol davranışı üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını sağlayan bir çalışma yapmışlardır [29].

Chen ve Ulsoy (2001) sürüş simülatörü kullanarak sürücü modeli elde etmeye çalışmışlardır. Model derecesinin özellikle sürücünün yanal kontrolüne etki ettiğini tespit etmişlerdir [30].

Westrenen (1995) seyir halindeki gemi ile gemiye kumanda eden serdümeni diğer seyir faktörleri ile birlikte modellemiş, yaptığı çalışmada gemi manevrasının pruvanın konumuna göre zorluk derecesinin değişkenlik gösterdiğini vurgulamıştır [31].

Salski ve diğ.(1998) tarafından bulanık mantık teorisine dayanan seyir halindeki gemiye kumanda eden serdümen davranışına ait model hakkında çalışma yapılmıştır [32].

Kondratenko ve Sydorenko (2003) dar kanalda seyir yapan gemi kumandasındaki belirsizliğe karar verme otomasyonu hakkında çalışma yapmışlardır [33].

İnsan makine etkileşiminde insan davranışı, performansı ve model parametrelerini inceleyen çeşitli çalışmalar yapılmış [34-38], bu çalışmalardan çok daha önce ise çalışmaların temelini oluşturan Sheridan ve Farell (1974) tarafından İnsan makine etkileşimini konu alan bir kitap yayımlanmıştır [39].

### **1.1.2 Yapay Sinirsel Ağlar ile İlgili Kaynaklar**

Yapay Sinirsel Ağlar hakkında yapılan literatür araştırmasında, ilk Yapay Sinirsel Ağların benzetimlerinin yakın bir geçmişte gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, tarihesinin bilgisayarların gelişiminden önceye dayandığı tespit edilmiştir. Yapay Sinirsel Ağların lojik hesaplamasının tanımlandığı ilk modeli 1943 yılında McCulloch ve Pitts (1943) tarafından elde edilmiştir [40]. Modelde aktivasyon

fonksiyonu olarak eşik (Treshold) fonksiyonu kullanılmıştır. Bu çalışma, Sinirsel Ağlar çalışma alanının kaynağı olarak kabul edilir.

McCulloch ve Pitts'i Donald Hebb takip etmiştir. Donald Hebb (1949), yapay hücrelerden oluşan bir Yapay sinirsel Ağların değerlerini değiştiren bir öğrenme kuralı geliştirmiştir [41].

Farely ve Clark (1954) tarafından rassal ağlar (random networks) ile adaptif tepki üretme kavramı ortaya atılmıştır [42] ve bu kavram daha sonra Rosenblatt ve Caianiello (1961) tarafından geliştirilmiştir [43].

Tek katmanlı olan modele Frank Rosenblatt (1962) tarafından “algılayıcı” (perceptron) adı verilmiş ve Yapay Sinirsel ağlar konusunda önemli bir gelişmeye öncülük etmiştir. Bu model daha sonra geliştirilecek çok katmanlı algılayıcı modelinin temelini oluşturmaktadır [44].

Aynı tarihlerde Widrow ve Hoff (1960) yeni bir öğrenme algoritması geliştirmişler ve Rosenblatt tarafından geliştirilen algılayıcıya benzer yapı ve kabiliyetteki adaptif doğrusal sinirsel ağlarda (ADALINE) kullanmışlardır [45]. Widrow-Hoff öğrenme kuralı günümüzde hala kullanılmaktadır.

Minsky ve Papert (1969) tek katmanlı Yapay Sinirsel Ağlar modelini doğrusal sistemlerde başarıyla uygulamışlar ancak doğrusal olmayan problemlerin çözümünde karşılaşılan temel kısıtlamaları öne sürmeleri bu konuya ilginin azalmasına neden olmuştur [46].

Kohonen (1972) ve Anderson (1972) birbirinden bağımsız olarak hemen hemen aynı içeriğe sahip “çağrışimli bellek” konusunda çalışmalar yayınlamıştır [47-48]. Bu dönemde Grosberg [1976] de kendi kendine yapılanan ağlar konusuyla ilgili araştırmalar yapmıştır [49].

Özellikle kişisel bilgisayarların gelişmesine paralel olarak 1980 yıllarda Yapay Sinirsel Ağlar hakkında yapılan çalışmalarda da artış gözlenmektedir.

Hopfield(1982-1984) tarafından yapılan çalışmalar ile Yapay Sinirsel Ağların genelleştirilebileceğinin ve özellikle bilgisayar yardımıyla çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretebileceğini göstermesi [50,51] ve Rumelhart ve diğ. (1986)

geriye yayılım algoritmasını (Backpropagation) geliştirerek çok katmanlı ağlarda başarıyla uygulamaları tekrar konuya ilginin artmasını sağlamıştır [52].

Broomhead ve Lowe(1988) çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak Radyal tabanlı fonksiyonlar modelini geliştirmişlerdir [53].

Enab (1994-1996) zamana bağlı olmayan ve doğrusal olmayan sistemlerde insan operatör davranışını modelleyen çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında model yapısı olarak radyal temelli sinirsel ağlar kullanmış ve model parametrelerinin tahmini için en küçük kareler yönteminden faydalanmıştır. [54,55]

Kosko(1992) ile Ollera ve diğ. (1991), modele ihtiyaç duymayan uzman sistemlere ve tahmin ediciler ile ilgili model yapılarının anlatıldığı çalışmalar yapmışlardır [56,57]

Astrom ve diğ.(1979) Tanker için adaptif otoplot tasarımı, Astrom ve Witttenmark(1989) tarafından adaptif kontrol alanında yayın yapılmıştır [58,59].

Yapay Sinirsel Ağların anlaşılmasına yönelik tasarımı, bilgisayar deneyleri ve Matlab uygulamalarını anlatan çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır [60-72].

Sinirsel-Bulanık modelleme ve Bulanık kontrol yaklaşımlarıyla insan operatörün öğrenme kurallarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [73-75].

Jang ve Sun (1995), çalışmalarında Adaptif Ağ temelli Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) 'nin sahip olduğu avantajlar ile modelleme ve kontrol uygulamalarında tasarım yöntemlerini anlatmışlar ve karşılaşılan sorunlara değinerek tavsiyelerde bulunmuşlardır[76].

Nicolau ve diğ.(2004), seyir halindeki geminin dalga etkisi nedeniyle oluşan hareketinden dolayı rotasından sapmasının Yapay Sinirsel Ağlar ile öngörülmesine yönelik yöntemlerini sunmuşlardır [77].

Ebada, ve Maksoud, Yapay Sinirsel Ağlar ile gemi manevrasında dümen açısının ve gemi açılal hızının öngörülmesine yönelik çalışmalarını sunmuşlardır [78].

Yamamoto ve diğ., Yapay Sinirsel Ağlar ile araç karakteristiğini öğrenen ve rota tavsiyesinde bulunan bir sistem geliştirmişlerdir [79].

### **1.1.3 Çalışma ile ilgili Diğer Kaynaklar**

Gemi Trafik Hizmetleri (Vessel Traffic Services –VTS) ile güvenli seyir ile Linda ve Paul (1997) Kore’de bulunan Tsushima boğazında kullanımı ile ilgili analiz sunulmuştur. Buradaki analiz GTH sistemlerinin uygulaması ile ilgilidir. [80-81].

Sindel (1984) tarafından sistem mühendisliği yaklaşımı ile gemi çarpışmalarının önlenmesi konusunda Doktora Tezi çalışması yapılmıştır [82].

Boğazlarda Güvenli seyir ve seyir rehberi ile uluslar arası kurallar hakkında resmi ve kişisel yayınlar ile internet siteleri incelenmiştir [83-94] ve Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesince hazırlanan INT 3756-2921 İstanbul Boğaz Haritası üzerindeki bilgiler Tez çalışmasında kullanılmıştır [95].

## **1.2 İstanbul Boğazında Uyarı ve Kılavuz Sistemi’nin Önemi**

Seyir güvenliği ve deniz kirliliğinin önlenmesi yönetimi yirminci yüzyılın sonunda uluslararası denizcilik sektörünün en önemli konusu haline gelmiştir. Türkiye dünya deniz taşımacılığı sektörünün aktif bir üyesi olup, Boğazlar, Karadeniz ile Akdeniz’i birleştiren doğal bir kanal konumundadır. Türk Boğazları büyük hacimlerde tehlikeli kargo taşıyan gemilerin son derece kalabalık yerleşim merkezlerinin bulunduğu kıyılara çok yakın mesafelerden geçtiği su yollarından biridir. Panama Kanalından 4, Süveyş Kanalından ise 3 kat daha fazla trafiğe sahiptir [86].

İstanbul Boğazı keskin dönüşlere sahip ve 18 deniz mili (31 km) uzunluğundadır. En geniş noktası 1500 metre, en dar noktası ise (Kandilli) 700 metre genişliğindedir. Boğaz bölgesindeki kayalık dönüşler, boğaz geçişlerinde gemilerin 12 kez yön değiştirmesine neden olmaktadır. Bu değişimlerden bir bölümü 80 derece gibi oldukça keskin değerlere ulaşmaktadır (Yeniköy). Oşinografik olarak zaman zaman 6-8 knot’a (deniz mili / saat) kadar ulaşan bir akıntı rejimi hakimdir. Güçlü Güney rüzgarları, “orkoz” olarak adlandırılan güçlü bir ters akıntıya neden olmaktadır. Ters akıntı gemilerin manevra kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir.

Türk Boğazları’nda gerçekleşen gemi trafiği dikkate alındığında, 1938 de yıllık 4500 olan geçiş sayısının, 2005’de yaklaşık 55.000’e yükseldiği görülmektedir. Bu değer günlük ortalama 150 geçişe karşılık gelmektedir. Yıllık toplam geçişlerin

yüzde 10-15'ini tehlikeli yükler oluşturmakta olup bu günde ortalama 15-20 gemiye karşılık gelmektedir. Böylelikle boğazlardan yılda 60 milyon ton ham petrol ve petrol ürünü geçmektedir. Tehlikeli maddeler taşıyan gemilerin büyüklüğü ve tonajı yıllar içinde sürekli artış göstermekte olup, aralarında 200,000 tona ulaşan gemiler bulunmaktadır. Bölgenin seyir güvenliği açısından yüksek risk oluşturan coğrafi özelliklerine karşın, Boğazlardan geçiş yapmakta olan gemilerin yarısının kılavuz almadığı görülmektedir. Gemi trafiğinin yoğunluğu, hacmi ve özelliği ile gemi hacim ve tonajlarındaki artış ve taşınan tehlikeli yüklerin miktarındaki artış ekolojik, çevresel ve fiziksel açıdan tahmin bile edilemeyecek büyüklükte olup özellikle oluşabilecek deniz kazalarının meydana gelmesi yönündeki riski arttırmaktadır [86-90].

Boğaz ile ikiye ayrılmış olan İstanbul 10 milyondan fazla bir nüfusa sahip olup üç bin yıllık tarihi ve kültürel mirasa ev sahipliği yapmaktadır. Nüfusun ve tarihi eserlerin büyük çoğunluğu Boğaz kıyılarında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca her gün yaklaşık bir buçuk milyon kişi denizyolu ulaşımından yararlanmakta ve dolayısıyla denizde bulunmaktadır. Deniz trafiğinde görev alan deniz taşıtlarının, iki kıta arasındaki günlük toplam geçişleri 2000'e ulaşmaktadır. Yoğun deniz trafiği ve Türk Boğazları bölgesindeki olağanüstü zor seyir koşulları boğazlardan geçişlerdeki artışa paralel olarak artan sayıda kazalara neden olmaktadır [86].

İstanbul Boğazı'nda, son 60 yılda 400'ün üzerinde kaza kaydedildiği tespit edilmiştir. 1948'den 1982'ye kadar, sancaktan seyir düzeninin kurulmasından önce meydana gelen toplam 113 kazanın 87'si (%77) çatma şeklinde oluşmuştur. Toplam 269 geminin dahil olduğu 208 kazada çatmalar en büyük payı almış (%57), bunu karaya oturmalar izlemiştir (%22). Kazalara karışan gemilerin sadece % 15'inin kılavuz almış olmasına karşın, % 85'inden fazlasının kılavuz almamış olması İstanbul Boğazı'ndaki seyir hatalarının olumsuz etkilerini ispat etmektedir. Türk Boğazlarında seyir güvenliğinin sağlanması husus uluslararası denizcilik camiasının başlıca konuları arasında yer almaktadır.

Denizcilik uluslararası niteliği en güçlü sektörlerden biri olmakla beraber aynı zamanda en tehlikeli sektörlerden de biridir. Ölümle sonuçlanan ve/veya yoğun çevre kirliliğine yol açan kazalar tüm ülkeleri daha güvenli denizler ve temiz deniz çevresi

için uluslararası önlemler almaya zorlamıştır. İstatistikler göstermektedir ki deniz kazalarının yüzde 80'i insan hatasından kaynaklanmaktadır.

Öte yandan deniz taşımacılığında ve denizden kaynaklanan kirlilikler deniz çevresinin toplam kirliliği içinde yüzde 20 gibi bir oranı oluşturmaktadır. Kazalara ve kirliliğe yol açan insan hatalarının oranını azaltmak denizcilik sektöründe yer alan tüm ülkelerin en önemli amaçlarından biri olmuştur. Bu amaca ulaşabilmek için ülkelerin büyük çoğunluğunca kabul edilen uluslararası kurallar yürürlüğe konmuştur. Türk Boğazlarından zehirli, tehlikeli ve zararlı yüklerin (petrol, sıvılaştırılmış doğal gaz-LNG, sıvılaştırılmış petrol gazı - LPG, kimyevi maddeler, patlayıcı maddeler ve çevreye zararlı maddeler) büyük miktarlarda geçişi ile oluşan yoğun deniz trafiği, kazaların ana nedeninin oluşturmaktadır.

1994'de, Türk Boğazları için bir dizi kurallar yürürlüğe konmuştur. Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü'nün amacı Boğazlar bölgesinde mevcut trafik hacmini dikkate alarak can, mal, seyir ve çevre güvenliğini en üst derecede sağlamaktır. Tüzüğün devreye girmesi ile birlikte Türk yetkililer Boğazlar bölgesinde Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Kuralları "Convention on International Regulations for Preventing Collisions at Sea" (COLREG) çerçevesinde Trafik Ayrım düzeni'ni de belirlemişlerdir. İlerlemekte olan tüm gemiler seyir ve mal güvenliğini sağlayabilmek amacıyla Türk yetkililerin belirlediği seyir kuralları, uyarılar ve denetim taleplerine uygun hareket etmek durumundadırlar. Türk Boğazlarından geçecek olan tüm gemiler uluslararası konvansiyonlar ile bayrağına sahip oldukları ülkelerin kurallarına uymakla yükümlüdürler. Yabancı bayraklı gemilere güvenli seyir için kılavuz almaları önerilmektedir. Türkiye Kasım 1998'de Türk Boğazları Tüzüğü'nü yenilemiş ve güncellemiştir. Ancak, Trafik Ayrım Düzeni'ne ve 10 numaralı COLREG kuralının uygulanmasına ilişkin hükümler aynen muhafaza edilmektedir. 24 Mayıs 1994'de IMO (International Maritime Organization) Türkiye tarafından sunulan Trafik Ayrım Düzenini onaylamış ve uyarlayarak 24 Kasım 1994'den itibaren yürürlüğe konmasını kararlaştırmıştır [86].

Türk Boğazlarında güvenlik yönetimi, seyir güvenliği ve deniz çevresinin korunması için en yüksek düzeyde uygulanabilir standartların oluşturulmasına ilişkin tümüyle teknik bir konudur. Dikkate alınması gereken nokta, milyonlarca insanın ve UNESCO'nun üç bin yıllık tarihiyle "insanlığın ortak mirası " olarak nitelediği

İstanbul'un güvenliğidir [86]. İstanbul Boğazının güvenliğini sağlamak amacıyla, gemi trafiği, Gemi Trafik Hizmetleri (GTH) Merkezinden yönetilmektedir.

### 1.3 Genel Bilgiler

Klasik ve Akıllı kontrol metodlarındaki bütün gelişmelere rağmen, birçok uygulamanın karmaşık ve belirsiz olması nedeni ile hala insan operatörlerin yerine otomatik kontrol sistemli makineler kullanılamamaktadır. Araba kullanan bir sürücü, uçağa kumanda eden pilot, çeşitli tipte bozucuların etkisiyle dar kanaldan geçiş yapan bir gemi veya karmaşık bir prosesin elle kontrolü bu uygulamalara örnek gösterilebilir. Genellikle insan operatör görsel geri besleme bilgisinden faydalanarak makina ile etkileşim halindedir. Bu görsel bilgiye dayanarak operatör yapacağı eylemin tipine ve miktarına karar verir ve böylece kapalı çevrimi oluşturur.

Sürekli-gerçek-zamanlı proseslerde, çalışma ortamının fiziksel koşulları gibi birçok dış etkinin yanı sıra operatörün tecrübesi, prosesin dinamikleri hakkındaki bilgisi, bozuculara karşı cevap verme hızı kontrolün kalitesini önemli derecede etkiler. Bir başka problem operatöre güvenli çalışma ortamı sağlanması olabilir. Operatörün dikkatinin stres, yorgunluk, uykusuzluk vs. gibi sebeplerle zamanla azalması da kontrol kalitesinin belirli bir seviyede olmamasına yol açabilir. Acil durumlarda ise uygulanan kontrol tehlike yaratabilir, gecikmeler veya hatalı davranışlar felakete yol açabilir. Ayrıca operatörlerin eğitilmesi çok zaman alıcı veya pahalı olabilir [21]. Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı bir İnsan-Makina etkileşimli sistemde operatörün yerini almak veya ona yardımcı olmak üzere tecrübeli bir operatörden alınan bilgilerle eğitilecek bir kontrol sistemi çok faydalı olabilir [21] .

İnsan makine etkileşiminde, daha yüksek hızlara ulaşmak, daha yüksek hassasiyet ve daha kompleks dinamik davranışların kontrolünde insan operatörün tahmin etme, tekrarlama ve reaksiyon süresindeki gecikme performansları çok önemlidir ve bu özellikler farklı operatörlerin kabiliyetlerine göre de farklılık gösterir. Disiplinler arası bir konu olan insan operatörün modellenmesinde, mühendislik ilgi alanı tek başına makine değil, makine-insan etkileşimi ile oluşan sistemin davranışının tespit edilmesi ve karakterize edilmesidir. İnsan-makine sisteminde, insan adaptif - optimal karar veren bir operatördür ve denetleyici tasarımı için ideal bir model teşkil etmektedir [39].

#### 1.4 Çalışmanın Amacı

Çeşitli tip ve tonajda gemiler ile İstanbul Boğazı geçişlerinde bulunulmuş, geçişin özellikle 120 metre ve üzerindeki gemiler için hangi bölgelerde zor ve tehlikeli olduğu yerinde tespit edilmiştir. Gemilerin hemen hepsinde çok gelişmiş seyir cihazları bulunmasına rağmen, İstanbul Boğazı geçişinin el kumandası ile gerçekleştirilmesi zorunluluğu vardır. Gelişen Teknoloji ve artan nüfus ile teknolojik gelişmelere bağlı olarak boğaz trafiğinin ve boğazdan geçen gemilerin tonaj ve uzunluklarının da her geçen gün artması kaza riskinin de artmasına neden olmaktadır. Tezin amacı olası bir tehlikeyi, önceden haber vererek önlemek için erken uyarı sistemi olarak çalışacak bir yöntem geliştirmektir.

#### 1.5 Yöntem

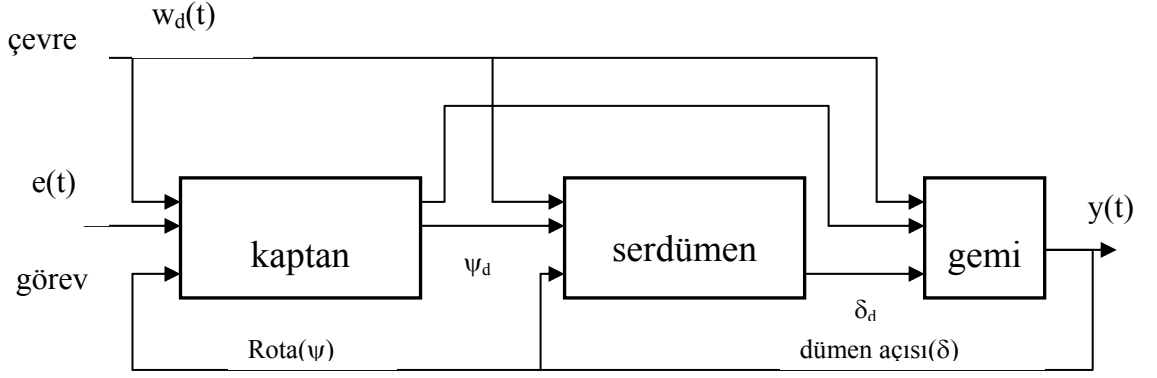
İstanbul Boğazından, kaptandan aldığı komutlar ile serdümen tarafından el kumandası ile geçiş yaptırılan çeşitli tipte gemilere ait enlem, boylam, rota ve sürat bilgileri 1 dakika örnekleme aralıklarıyla toplanmış ve kurulan Yapay Sinirsel Ağı modelini eğitmek amacıyla kullanılmıştır. Bu veriler ve referans koordinat bilgileri kullanılarak geminin 3 dakika sonraki yeri öngörülerek Gemi Trafik Hizmetleri (GTH) operatörlerine kaza riskine karşı uyarı ve gemi personeline kılavuz olarak hizmet edecek bir yöntem geliştirilmiştir.

El kumandası ile geçişte gerek gemiye kumanda eden serdümenin gerekse GTH merkezinde bulunan operatörlerin yapabileceği çok kısa zaman dilimi içerisindeki ihmalleri bile önemli kazalara sebep olabilir. Yöntem insan hatalarından kaynaklanabilecek riskleri azaltmaya yönelik olarak geliştirilmiştir.

Şekil 1.1. de gösterilen blok diyagramı seyir yöntemine ait ilgili elemanları göstermektedir. Geminin boğaz geçişi seyir görevinin icrası esnasında insan davranışının gemi emniyetini tayin etmesinde oynadığı rolün ne derece önemli olduğu bu diyagramdan görülebilmektedir. Kaptanın dönüş noktaları arasında sabit kalmasını istediği rota ( $\psi$ ) değerini sağlayabilmek için serdümen dümen açısını ( $\delta$ ) kontrol etmektedir.



Seyir sırasında geminin çevresel bozucu etkenlerin etkisinde kalması personelin çeşitli nedenlerden dolayı dikkatsizliği, dümen açısına kumada eden insan-makine sisteminin önemli parametreleridir [17].



**Şekil 1.1:** Seyir Prosesinin Elemanları

## **2. SEYİRİN TANIMLANMASI**

### **2.1 Gemi Manevrasına ait Sistemin Tanımı**

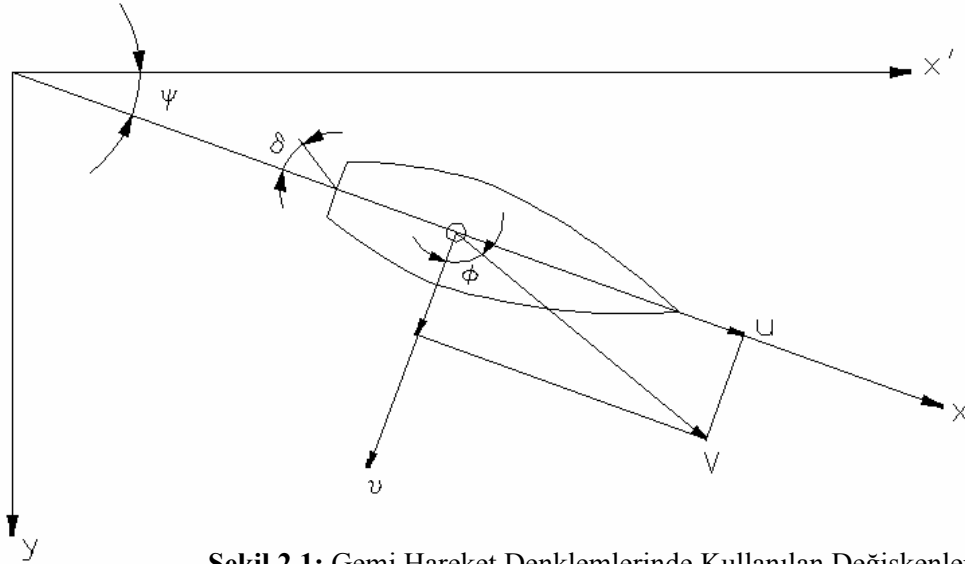
Gemi otopilot sistemleri, geri besleme temeline dayalı olarak verilen rota ve geminin mevcut rotası arasındaki farkın seyir sistemlerinden ölçülen hataya göre dümen hidrolik sistemi servo valfine kontrol ederek dümenin sancak-iskele hareketini sağlar. Bu tip bir regülatörün normal şartlarda başarılı olmasına rağmen, ağır hava şartlarında ve gemi hızının değiştiği durumlarda performansının zayıf olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi gemi dinamiğinin, geminin hızıyla ve bozucuların da hava şartları ile değişiklik göstermesidir [58,59].

Model alınan İstanbul Boğazı geçişi gibi seyirlerde bozucuların etkisiyle doğrusal olmayan bir davranış gösteren gemi hareketinin kontrolü ve dolayısıyla konumunun ve rotasının öngörülmesi oldukça güçtür. Bu nedenle geçiş yapan gemiye ait verilerden faydalanarak Yapay Sinirsel Ağlar eğitilmiş ve eğitilen Yapay Sinirsel Ağlar ile konumunun öngörülmesi hedeflenmiştir. İnsan operatör (serdümen) tarafından Kaptan'ın emirleriyle İstanbul Boğazı geçişi icra eden geminin konumunun öngörülmesinde kullanılacak Yapay Sinirsel Ağlara uygulanacak modelin belirlenebilmesi amacıyla yapılan benzetimlerde ihtiyaç duyulan veri, daha önce İstanbul Boğazı geçişi yapmış Fırkateyn, Hucumbot, Akaryakıt Gemisi (Tanker), Denizaltı ve Mayın gemilerinin GPS verileridir.

Benzetim sonucunda elde edilen model kullanılarak GTH merkezinden gerçek zamanlı olarak İstanbul Boğazı geçişi yapan gemiye ait veriler alınarak, geminin 1, 2 ve 3 dakika sonraki konumu öngörülmüştür.

## 2.2 Gemi Hareket Denklemleri

Gemi dinamiği, Newton denklemlerinin gemi hareketine uygulanmasıyla elde edilmektedir. Geminin hareketine ait model Şekil 2.1. de gösterilmiştir [59]. Burada “V” geminin toplam hızı, “u” ve “v”, hızın x ve y bileşenleri, “r” ise açısal hızdır.



Şekil 2.1: Gemi Hareket Denklemlerinde Kullanılan Değişkenler

Gemi dinamiğine ait parametrelerin bozucu etkenler nedeniyle nasıl değişiklik gösterdiğinin anlaşılması için gemi hareket denklemleri incelenmiştir. Bozucu etkenlerden dolayı aşağıdaki denklemde görülen parametreler doğrusal olmadığından gemi hareketi doğrusal bir davranış gösteremez. Ancak, çözümün  $u=u_0$ ,  $v=v_0$ ,  $r=r_0$  ve  $\delta=0$  olduğu durumda hareket denklemleri doğrusallaştırılabilir. İstanbul Boğazı için bu varsayım geçerli değildir. Normal durum değişkenleri, sancak yada iskele tarafa olan kaçma yada düşme hızı  $v$ , dönme oranı  $r$  ve rota  $\psi$  dir. Buna göre aşağıdaki denklemler elde edilir [58,59].

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= (u/l)a_{11}v + ua_{12}r + (u^2/l)b_1\delta \\ \frac{dr}{dt} &= (u/l^2)a_{21}v + (u/l)a_{22}r + (u^2/l^2)b_2\delta \\ \frac{d\psi}{dt} &= r \end{aligned} \quad (2.1)$$

Hareket denklemleri matris formunda aşağıdaki gibi de gösterilebilir;

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u}{l} a_{11} & u a_{12} & \frac{u^2}{l} b_1 \\ \frac{u}{l^2} a_{21} & \frac{u}{l} a_{22} & \frac{u^2}{l^2} b_2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \delta \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

### 2.3 Seyir Halindeki Geminin Dinamiği

Geminin dönüşü esnasında serdümen tarafından dümene kumanda edilir. Dümen gemiyi istenen rotaya yönlendirirken gemi “r” açısai hızı ile dönmektedir. V vektörü ile rota çizgisi arasındaki  $\phi$  açısına göre sancak - iskele kaçma hızı  $v = u \times \tan \phi$  şeklinde yazılarak diferansiyel denklem çözdürülürken “ $\phi$ ” = x1 durum değişkeni ve açısai hız “r” = x2 durum değişkeni olarak kabul edilmiştir.

Burada “u” geminin sabit ilerleme hızı ve “l” geminin uzunluğudur. Yukarıda verilen denklemlerdeki parametreler farklı gemi tipleri ve farklı çalışma şartları için ilginç bir biçimde sabit kalmaktadır. Bu parametrelerin aldığı değerler Tablo 2.1 de gösterilmektedir [59, Sayfa 357 ]. Yukarıdaki denklemler ile elde edilen Transfer Fonksiyonu ;

$$G(s) = \frac{K(1 + sT_3)}{s(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \quad (2.3)$$

$$K = K_0 u / l$$

$$T_i = T_{i0} l / u \quad i=1,2,3 \quad (2.4)$$

Bu denklemdeki  $K_0$  ve  $T_{i0}$  değerleri de Tablo 2.1. de verilmektedir.

(2.1) denkleminde verilen b yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$b = c \frac{u^2}{l^2} \frac{A l}{D} \quad (2.5)$$

Bu denklemde D ( $m^3$ ) deplasman , A ( $m^3$ ) dümen alanı ve c yaklaşık 0.5 değer alan bir parametredir. A parametresi geminin trimi, hızı ve deplasmanına (draftına) bağlı

olarak değişmektedir. Gemi rotası , rüzgar, dalga, akıntı gibi bozuculardan etkilenmektedir. Bu etkiler, ilave kuvvetler olarak tarif edilebilir. Uygun bir model sabit, periyodik ve değişken bileşenler içerir. Dalgalardan dolayı meydana gelen bozucular tipik olarak periyodiktir. Periyot, geminin hızına ve dalgalara karşı izafi dönmesine göre değişiklik gösterebilir.

Parametre değişimindeki etkiler denklem (2.1) ve (2.3) ile verilen modelden görülebilmektedir. Önce gemi hızındaki değişiklikler göz önüne alınırsa, denklem (2.4) ve (2.5)' den kazancın hızın karesiyle orantılı, zaman sabitinin de hız ile ters orantılı olduğu görülür. Hızın yarıya düşmesiyle kazanç 4 kat azalırken zaman sabiti iki kat artmaktadır. Kazanç aslında dümen kuvvetinin atalet momentine oranı ile tespit edilebilir. Böylece dümendeki izafi su hızı kazancın tespit edilmesini sağlar. Hız, dalga ve akıntılardan etkilenir.

Gemi dinamiği hidrodinamik kuvvetleri meydana getiren diğer faktörlerden de etkilenir. Bu nedenle (2.1) denklemindeki  $a_{ij}$  ve  $b_j$  parametreleri, geminin trim ve su çekimine bağlı olarak değişmektedir. Deneysel olarak elde edilmiş olan bu değerler Tablo 2.1 de farklı gemi tipleri için verilmiştir [59, Sayfa 357].

**Tablo 2.1:** Farklı Gemiler İçin Model Parametreleri

<b>Gemi</b>	<b>Kargo gemisi</b>	<b>Tanker (dolu)</b>	<b>Tanker(balast)</b>
<i>Uzunluk(m)</i>	161	350	350
$a_{11}$	-0.77	-0.45	-0.43
$a_{12}$	-0.34	-0.43	-0.45
$a_{21}$	-3.39	-4.1	-1.98
$a_{22}$	-1.63	-0.81	-1.15
$b_1$	0.17	0.10	0.14
$b_2$	-1.63	-0.81	-1.15
$K_0$	-3.86	0.83	5.88
$T_{10}$	5.66	-2.88	-16.91
$T_{20}$	0.38	0.38	0.45
$T_{30}$	0.89	1.07	1.43
$a_0$	0.19	-0.28	-0.06
$b_0$	-1.63	-0.81	-1.15

Dar su yollarında elle kumanda edilen gemilerin bozucuların etkisiyle gerçekleşen manevralarını incelemek amacıyla İstanbul Boğazından geçiş yapan çeşitli gemilere ait koordinat (enlem-boylam), rota ve hız verileri toplanmıştır. Elde edilen verilerden özellikle tanker gibi uzun ve yüksek tonajlı gemilerin keskin dönüşlerinde gecikmeler tespit edilmiştir. Serdümenin herhangi bir sebeple yapacağı hatanın İstanbul için çok tehlikeli sonuçlar doğurabileceği görülmüştür.

### 3. İNSAN-MAKİNA SİSTEMLERİ VE ELLE KONTROL MODELİ

#### 3.1. İnsan-Makine Sistemleri

İnsan-Makine Sistemlerinde insan operatör, adaptif, optimal, karar veren denetleyici olarak görev yapmaktadır. Elle kontrol teorisi, teknolojik tarafının yanı sıra, kontrol mühendisliği, fizyoloji, deneysel psikoloji konularını içeren disiplinler arası aktivitelerde, insan operatörün davranışlarının tanımlanmasında ve insanın psiko-fizyolojik yorumlarının kontrol mühendisliğinde kullanılan sistem çıkışlarının tespitinde rehber olmuştur [39].

En basit operasyonda bile operatörün karakteristik özelliklerinin yanı sıra, denetleyici olarak görev yapan insan operatörün biodinamiğinin etkilendiği çevresel değişkenler ve kullanılan ilaç, alkol veya yorgunluk gibi faktörler nedeniyle operatörün zayıflama derecesinin tespiti ve modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin bir çoğu matematiksel olarak modellenememektedir. İnsan operatör davranışının tüm bu faktörler ile nasıl etkilendiğinin anlaşılması için aşağıda verilen ana başlıklar altında incelenmesi ihtiyacı duyulmuştur.

- a) Duyu organlarının anatomisi ve fizyolojisi ile iskelet-kas sistemi
- b) Vücut hareketlerinin kinematik ve dinamiği
- c) Fiziksel çalışma performansı
- d) Çevresel stresler
- e) Duyusal ve algısal davranışlar
- f) Öğrenme ve eğitim
- g) Motivasyon

Bir insan-makine sisteminde, özellikle hıza bağlı toleransın düşük olması, daha karmaşık dinamik, diğer sistemlerle entegrasyon ve etkileşim gibi faktörler, operatörün tahmin edebilen, tekrarlayabilen ve zamanında reaksiyon veren bir denetleyici olmasını gerektirir [39].

### **3.2. Elle Kontrol**

Bir insan operatörün duyuları vasıtasıyla bir sistemi, değişkenlerin ideal durumları ve bu değişkenlerin çıkış durumları hakkında bilgi alması ile mekanik aygıtları kullanarak hatayı minimize etmeye çalışarak kontrol etmesine “Elle Kontrol” denmektedir.

Elle Kontrol teorisi karmaşık sistemleri kontrol etmek amacıyla geliştirildiyse de sürpriz davranışlar gösteren sistemlerde uygulanması söz konusu değildir. Birkaç serbestlik dereceli sistemlerin çalışmaları iyi tanımlanabildiği ve genellikle performanslarının ölçülebilir olduğu kabul edildiği için elle kontrol teorisinin uygulanması mümkündür [19,22,39].

### **3.3 Elle Kontrol Modeli**

Elle kontrol görevinde insan operatörün modellenmesinin iki sebebi vardır. Bunlardan biri pratik uygulama sağlamak, diğeri insan operatörün performansı hakkında genel sorulara bilimsel yaklaşım sağlamaktır.

Elle Kontrol Modelinde İnsan tarafından kullanılan makine'ya ait bileşenler üzerinden alınan bilgilerden tek başına tahmin yürütülemez ve “İnsan –Makine” performansı beraber değerlendirilir. Yüksek süratli bir hava aracı için, aracı tasarlayan mühendis aracın dinamiğinden faydalanarak eşzamanlı olarak çözebildiği İnsan operatör cevabına ait denklemleri yazamadığı sürece aracın elle kumandası ve kararlılığı hakkında tatmin edici kriterler sağlanamaz. İnsan yada makinenin ayrı ayrı performanslarının kaliteleri İnsan-Makine etkileşiminden doğan sisteme ait performansın kalitesinin tespit edilmesini sağlamaz. İnsan-Makine sisteminin davranışının tespit edilebilmesi için İnsan ve Makine uygun nicel terimlerle karakterize edilmelidir. Bu sebep araştırma için kullanışlı olabilir ancak performans özelliğini genelleştirmek için yeteli değildir.

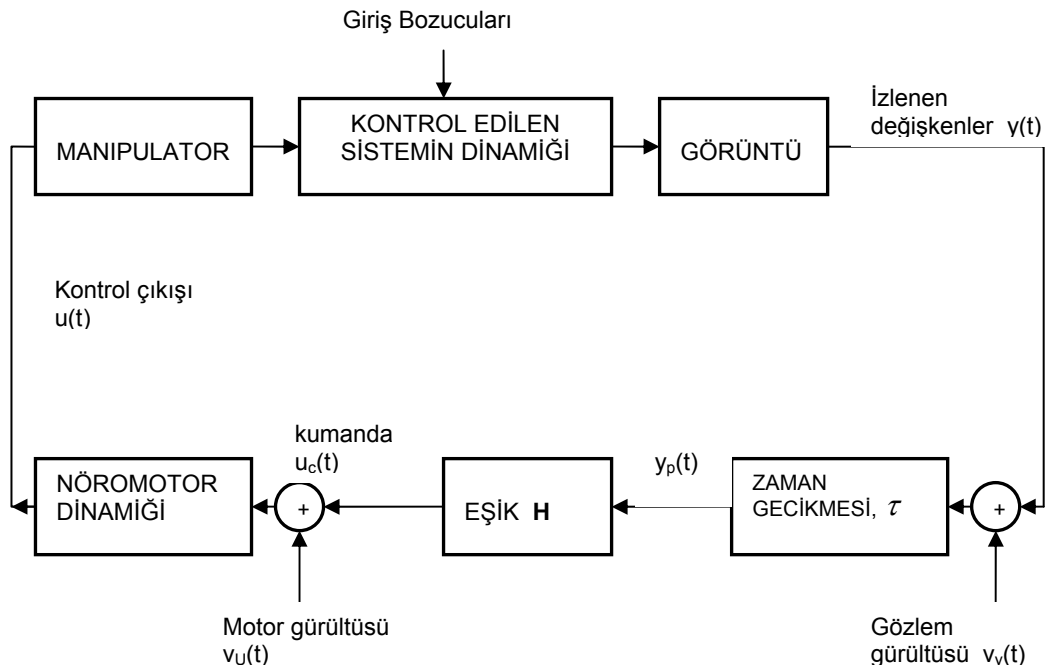
Kontrol sisteminde İnsan operatörün modellenmesinin ikinci sebebi ise insan organizmasının cevap karakteristiği ve karar verme, kurala bağlı olmayan algılama



yeteneği ile mükemmel mukayese yapmasını sağlama, iyi tanımlanması ve deneysel başarısı ile basit yaklaşım yapma yetkisinden dolayı insan operatörün kontrol görevidir. Kurulacak model geniş aralıkta olaylar modellenerek sistem davranışını tahmin edebilmek için bilimsel yaklaşım sağlamakla amaca uygun fayda sağlar. İlk olarak ortaya atılan model insan davranışını başarılı bir şekilde tahmin eden sanki – doğrusal modeldir. Kapalı çevrimli telafi edici izleme veya durum düzenleme görevlerinin analizinde çok kullanışlıdır ve insan davranışında hataların minimize edilmesinde çok başarılı olmuştur[13,14,22,24,39].

Kabul edilebilir bir matematik model insanın doğasından kaynaklanan çeşitli psikofiziksel sınırlamaları içermek zorundadır. Bu sınırlamalardan sinir sistemi ile ilgili olanlar zaman gecikmesi ve nöromotor faz gecikmesidir.

Şekil 3.1’de doğrusal bir modele ait insan operatör kontrolü blok diyagramı gösterilmiştir. İnsan operatörün kontrol karakteristiği 3 doğrusal operasyon ile temsil edilmiş olup bunlar zaman gecikmesi, eşik ve sinir-kas ve/veya harekete geçirici dinamiklerdir [13, Sayfa 359].



**Şekil 3.1:** İnsan Operatör Denetleyicinin Çok Değişkenli Tekil-Kontrol İzleme Görevine ait Elle Kontrol Modeli

Zaman gecikmesi görsel, nöromotor yada merkezi siniri sisteminden kaynaklanan gecikmelerdir. Algılama ile ilgili olan bu gecikmelerin toplamı  $\tau$  ile gösterilmiştir. Eşik değeri  $H_n(s)$  ise insan operatörün verilen görevi yerine getirecek kontrol stratejisini optimize eden davranışını ifade etmektedir [13].

$$H_n(s) = \frac{1}{(\tau_N s + 1)} \quad (3.1)$$

$\tau_N$  : Nöro – Motor Faz gecikmesi

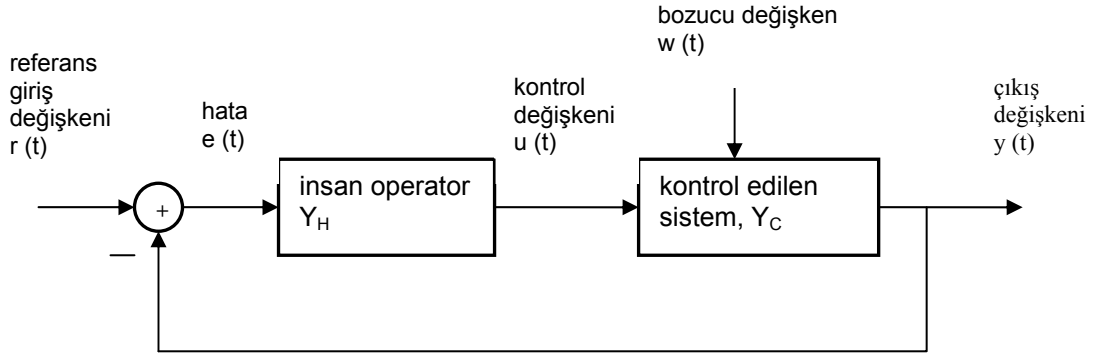
Şekil 3.1’de gösterilen modelde gözlem gürültüsü olarak isimlendirilen ve rastgele bozucu etki göndererek, insan cevap karakteristiğini etkileyen bozucu  $v_y(t)$ , görsel etkenlere bağlı ve rastgele hataya sebep olan  $y(t)$ ’ye eklenir ve insan bunların neden olduğu zaman gecikmesi ile sistemin çıkışı olarak  $y_p(t)$ ’yi algılayarak  $H$  eşiğini değerlendirerek  $u_c(t)$  kontrol sinyalini uygular. Motor gürültüsünün neden olduğu bozucu  $v_u(t)$  nedeniyle, insan operatörün kontrolü sonucu çıkış sinyali  $u(t)$  manipulatörü harekete geçirir [13].

$$y_p(t) = y(t - \tau) + v_y(t - \tau) \quad (3.2)$$

### 3.4 Kontrol Sisteminde İnsan Operatörün Modellenmesi

#### 3.4.1 Sürekli kapalı çevrim servomekanizma modeli

Elle kontrol görevini analiz etmek ve modellemek amacıyla kullanılacak en basit örnek, tek boyutlu sürekli izleme problemidir. Burada operatör kontrol edilen aracın çıkışını  $y(t)$  görüntülenen ideal yada referans bir girişe  $r(t)$  göre takip eder. Bu görevi başarmak için en basit mekanizma Şekil 3.2 deki gibi bir servomekanizma dır. Burada insan operatör hatayı (  $e(t) = r(t) - y(t)$  ) gözler ve kontrol edeceği araca mekanik kontrol mekanizmaları vasıtasıyla kumanda ederek istenen belli bir referans aralığında kalacak şekilde kontrol uygular. Kontrol değişkeni  $u(t)$ , İnsan operatör  $Y_H$  ve kontrol edilen arac  $Y_c$  olarak isimlendirilmiştir [39,Sayfa 177].



**Şekil 3.2:** Temel Elle Kontrol Sistemi

Fourier dönüşümü uygulanmış zaman fonksiyonları  $Y_H(j\omega)$  ve  $Y_C(j\omega)$  olarak gösterilecektir. İnsan operatör tarafından kumanda edilen bazı sistem ve araçlara ait matematik modelleri Tablo 3.1 de görülmektedir [39, Sayfa 178].

Kontrol prosesinde tahmin edilemeyen bir bozucu sinyali  $\omega(t)$  Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Böyle bir bozucu, çevrimin herhangi bir yerinde bulunabilir. Bu tür bozucu bir sinyalin şiddeti ve yeri genel olarak bilinmemektedir.  $u(t)$  ve  $y(t)$  denetleyici çıkışı ve ölçülen kontrol edilmiş prosese ait çıkışı göstermektedir.

Servomekanizma teorisi doğrusal olmayan karmaşık sistemlerde sadece matematik analiz uygulayarak sonuca gitmek çoğu zaman yeterli olamamıştır. Çok sayıda, giriş/çıkış verilerinden faydalanarak bilinmeyen prosese ait dinamiğin modellenmesi teşebbüslerine rastlanmaktadır. Prosese ait modelin tahmini yaklaşımına dayanan bu teşebbüslerde genellikle istatistiksel yada akıllı sistemler tercih edilmiştir [54,55] .

İstatistiksel yaklaşım, girişlere bağlı çıkış fonksiyonunun nasıl olacağını tahminini gerektirir. Yapay sinirsel ağlar ve bulanık sistemler gibi akıllı sistemler ise herhangi bir matematik modele ihtiyaç duymayan tahmin edici sistemler olarak kabul edilmektedirler [56].

**Tablo 3.1:** Bazı Sistem ve Araçlara ait Matematik Modeller

Araç kontrol durumu	Kontrol edilen eleman
- direksiyon vasıtasıyla küçük açılar ile otomobil yön kontrolü	$Y_c = \frac{K_c}{J\omega}$
- hava aracı irtifa dümeni ile alçalma ve yükselme	$\frac{d}{dt}y = K_c u$
- direksiyon vasıtasıyla küçük açılar ile otomobil konum kontrolü	$Y_c = \frac{K}{(J\omega)^2}$
- kontrol jetleri ile uzay aracı meyil kontrolü	$\frac{d^2}{dt^2}y = Ku$
- uçak kanat açısı kontrolü	$Y_c = \frac{K}{j\omega(J\omega + 1/T)}$ $\frac{d}{dt}\left[\frac{d}{dt} + \frac{1}{T}\right]y = Ku$
- pervane kanat açısı kontrolü	$Y_c = \frac{K}{J\omega - 1/T}$ $\left[\frac{d}{dt} - \frac{1}{T}\right]y = Ku$
- yüksek dinamik basınçta kararlı olmayan roket iticisi kontrolü	$Y_c = \frac{1}{j\omega(J\omega - 1/T)}$ $\frac{d}{dt}\left[\frac{d}{dt} - \frac{1}{T}\right]y = u$

### 3.4.2 Elle Kontrol Sistemlerinde Değişkenlerin Sınıflandırılması

İnsan performansı bir denetleyici olarak kişiden kişiye değişen ve kişiye özel birçok değişkene bağlıdır [39, Sayfa 179].

a) Bunların bir kısmı görev değişkenleri (task variables) olarak adlandırılır. Referans giriş sinyali ve bozucu giriş sinyali; kontrol edilen dinamik proses ; kullanıcıya monitör vasıtasıyla görüntülenen ne ve nasıl bilgileri ; ve kontrol prosesini gerçekleştirmek için kullanılan kontrol aygıtı veya manipulator .

b) İkinci sınıf değişkenler ise çevre değişkenleri (environmental variables) olarak adlandırılır. Bunlar ilave görevler olarak tanımlanan bazı faktörleri içerir. Titreşim, çevre aydınlatması, sıcaklık, oksijenin kısmi basıncı bunların bazılarıdır.

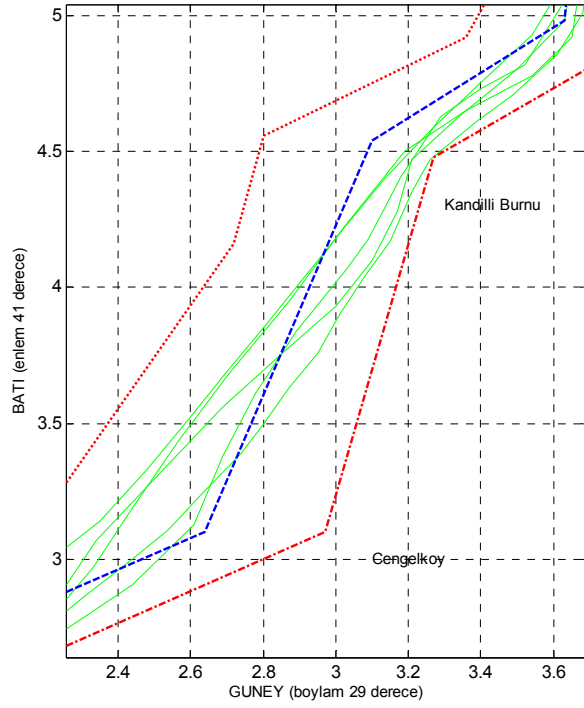
c) Üçüncü sınıf operator merkezli değişkenler (operator-centered variables)' i içermektedir. Bunlara ise operatörün aldığı eğitim, motivasyon, yetenek ve yorgunluk örnek olarak gösterilebilir.

### **3.5 İstanbul Boğazının El Kumandası ile Geçilmesi**

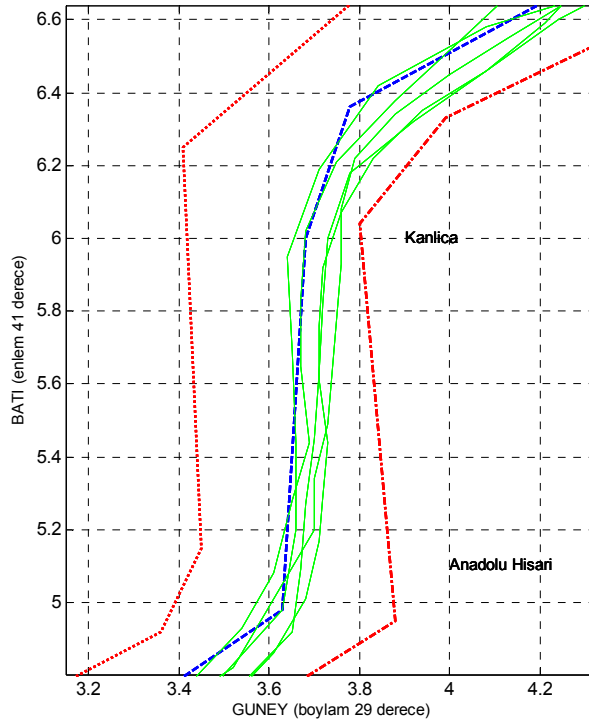
Eğitim için kullanılacak Yapay Sinirsel Ağların ihtiyacı olarak İstanbul boğazının el kumandası ile geçilmesi sırasında gerçek zamanlı koordinat bilgileri ve hızları ile boğazda bulunan 12 adet dönüş noktasındaki rota değişmelerine ihtiyaç vardır. Boğaz geçişinde gemilerin izledikleri yörüngeler hakkında fikir edinmek amacıyla, İstanbul boğazını Karadeniz'den Marmara Denizine ve Marmara Denizinden Karadeniz'e geçen 5 tip gemiye ait veriler elde edilmiştir. İstanbul boğazı Trafik hatları ile, 100 metreden uzun olan bu gemilerden 5 adedinin izlediği yörüngeler örnek olarak Şekil D.1 ve Şekil D.2' de gösterilmektedir.

Geçiş yapan gemilerin yörüngelerine bakıldığında Çengelköy, Kandilli Burnu, Yeniköy Burnu ve Selvi Burnu bölgelerindeki geçişlerde trafik hatlarının dışına çıkıldığı tespit edilmiştir. Bu bölgelerde dönüş açılarının 45 dereceye yakın yada fazla olması nedeniyle seyir şartları zorlaşmaktadır. Bunun yanı sıra, geçiş yapan gemi kaptanı ve serdümeninin kurallara uymaması da tehlike riskinin artmasına neden olmaktadır.

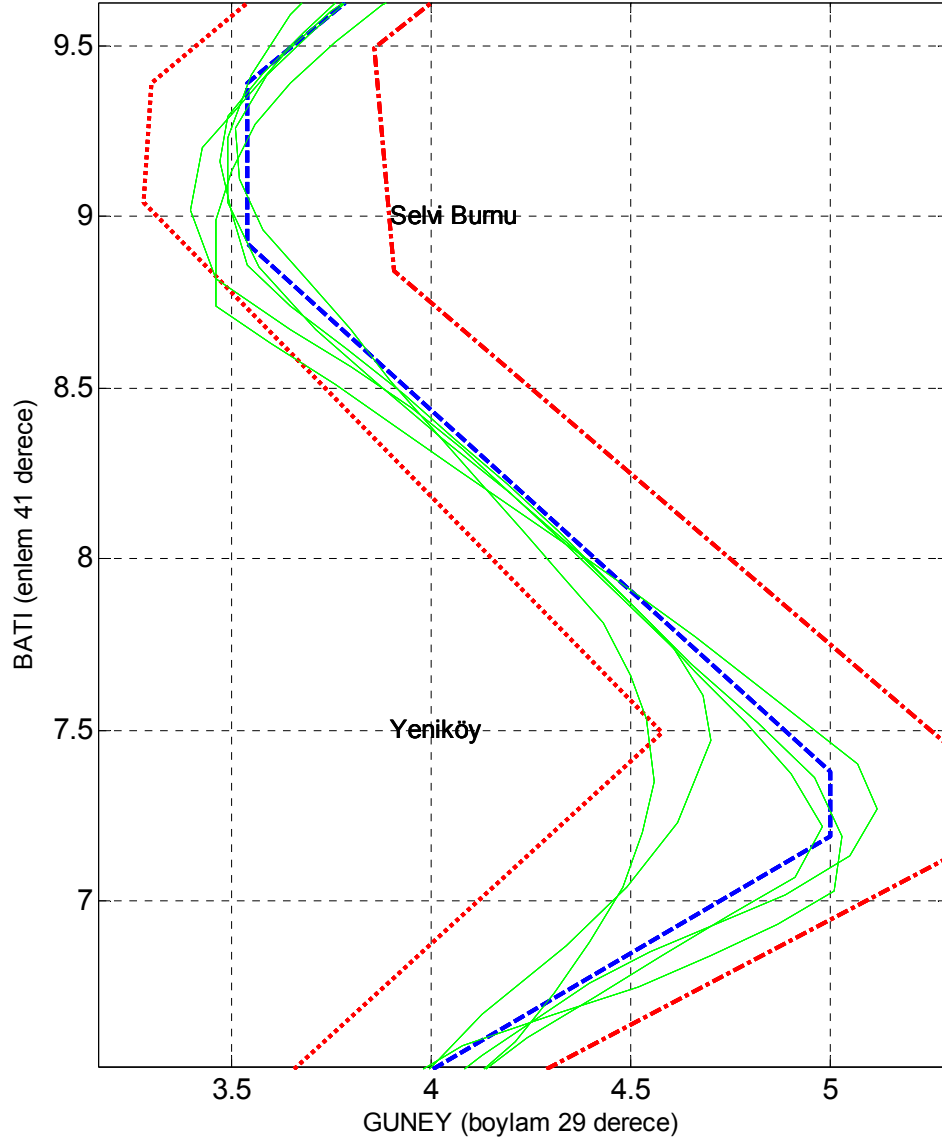
Farklı tarih ve saatlerde İstanbul boğazından Marmara ve Karadeniz yönüne geçen gemilerin izledikleri yörüngeyi Çengelköy-Kandilli Burnu geçişi, Yeniköy bölgesi ile Selvi Burnu geçişlerin de manevra gücünü ve trafik ihlali nedeniyle benzer şekilde olduğu Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5'de görülmektedir.



**Şekil 3.3:** İstanbul Boğazından Karadeniz Yönüne Geçiş Yapan Gemilerin Çengelköy Kandilli Burnu Arasında İzledikleri Yörünge



**Şekil 3.4:** İstanbul Boğazından Karadeniz Yönüne Geçiş Yapan Gemilerin Anadolu Hisarı – Kanlıca Bölgesinde İzledikleri Yörünge



**Şekil 3.5:** İstanbul Boğazından Karadeniz Yönüne Geçiş Yapan Gemilerin Yeniköy -Selvi Burnu Dönüş Noktasında İzledikleri Yörünge

Özellikle Selvi Burnu dönüşünde gemilerin orta hattı tamamen ihlal ederek Marmara yönüne geçiş yapacak gemiler için ayrılmış patikayı kullanmış oldukları gözlenmiştir. Geçişin gece ve sis şartlarında olabileceği düşünüldüğünde insan hatalarından kaynaklanabilecek tehlikelerin ve dolayısıyla kaza riskinin artacağı bu verilerden bir kez daha görülmektedir.

## **4. YAPAY SİNİRSEL AĞLAR**

### **4.1 Yapay Sinirsel Ağların Tanımı**

Yapay Sinirsel Ağlar insan beyninin biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş, birbirine paralel bağlı basit sayısal işlemcilerden oluşan ağlardır. Yapay Sinirsel Ağlarda da biyolojik sistemde olduğu gibi öğrenebilmek için, sinirler yada literatürde sık kullanılan diğer adıyla nöronlar arasında var olan ağırlıkların hesaplanması gerekir. Yapay Sinirsel Ağları, modellerinin üstün öğrenme ve tahmin etme yetenekleri nedeniyle, bir problemde kurallar üretmek, örnekleme verilerini kullanarak genelleştirmek ve tahminler yapmak, verilere bakarak sistemin karakteristiğini öğrenmek gibi yöntemler olarak kullanılabilir [61,62,68].

### **4.2 Yapay Sinirsel Ağların Kullanım Amacı ve Alanları**

Yapay Sinirsel Ağlar karmaşık ve belirsiz verilerden anlam çıkarma kabiliyetlerinin yanı sıra çok karmaşık sistemler için model elde etmek ve sistemin eğilimi hakkında sonuç çıkarmak için de kullanılabilir. Eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağlar herhangi bir sistem için uzman olarak kabul edilebilir. Yapay Sinirsel Ağların diğer avantajları şunlardır ;

- a) Adaptif Öğrenme : Önceki deneyimlere dayanan veya verilerle eğitilerek öğrenebilme kabiliyeti
- b) Kendi Kendine Organizasyon : Yapay Sinirsel Ağlar öğrenme süresi boyunca aldığı bilgileri temsil eden yapıyı yada kendi organizasyonunu yaratabilir.
- c) Hata Toleransı : Bir ağ kısmi olarak hasar görse de performansının azalmasına rağmen YSA çalışmaya devam eder..

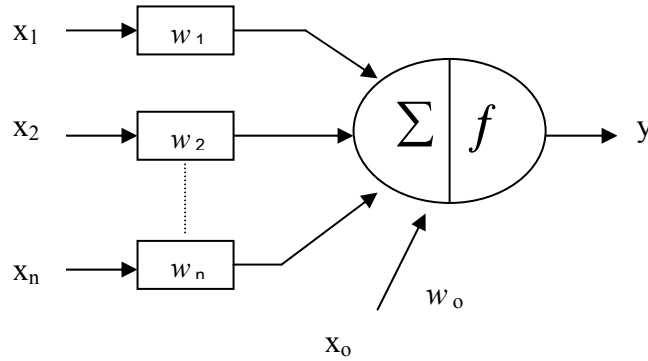
Özellikle 1990 yılından sonra teknoloji alanında yayılmaya başlayan Yapay Sinirsel Ağlar, havacılık sektöründe otopilot ve benzetim uygulamalarında, otomotiv



sektöründe otomatik kılavuz sistemlerinde, imalatta proses kontrol, ürün tasarım ve analizi, görsel kalite kontrol sistemleri, kaynak kalitesi analizi ve ürün kalitesi tahmininde, tıp alanında protez tasarımı, bazı hastalıkların analiz ve optimizasyonunda, robotik alanında yörünge takibi, manipulator kontrolünde, bankacılık ve finans sektöründe mali analiz ve kur tahminlerinde, savunma alanında silah sistemlerinin izleme ve yakalama, sonar, radar ve görüntü sinyal işleme konularında, elektronik sektöründe kod sırası tahmini, yonga hata analizi, ses sentezi gibi konularda tercih edilmekte ve başarıyla uygulanmaktadır.

### 4.3 Basit Yapay Nöron Yapısı

Nöronlar sinir ağlarını oluşturan tek başına ele alındıklarında çok basit işleve sahip işlemcilerdir. Bir nöron yapısı içerisinde üç ana bölüm bulunur. Bunlar sırasıyla sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon fonksiyonudur. Diğer nöronlardan ya da harici kaynaklardan girişler alır. Her bir giriş sinyali bir “ $w$ ” ağırlık değerine sahiptir ve bu değer sinaptik öğrenme için uyarlanmaktadır. Giriş değerleri ağırlıklı toplamına  $f$  aktivasyon fonksiyonları uygulanarak hesaplanmaktadır. Şekil 4.1 den görüldüğü gibi, nöron girdileri sinaptik bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam nöronun aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir.

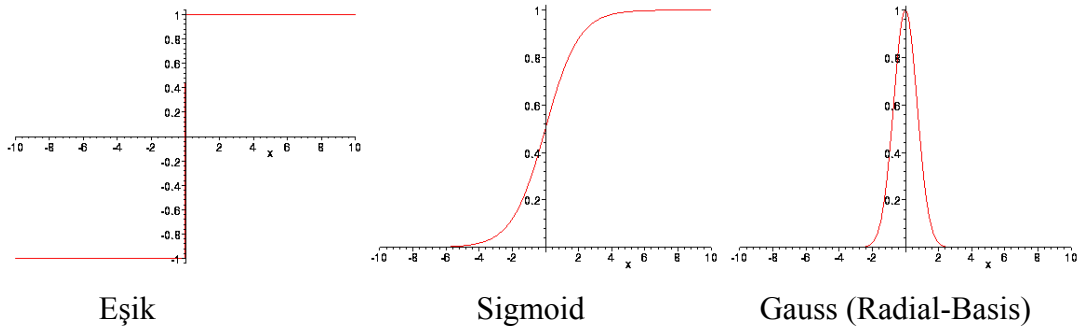


Şekil 4.1: Basit Yapay Nöron Yapısı

$$y = x_0 w_0 + x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n = \sum x_i w_i \quad (4.1)$$

Bu denklemde  $x$  girişleri,  $w$  ağırlıkları  $y$  ağırlıklı toplamı ifade etmektedir.

Aktivasyon fonksiyonu nöron davranışını belirleyen önemli bir faktördür. Biyolojik nöronlarda  $y$  ile gösterilen toplam belirli bir değeri aştığında nöron kısa süreli bir darbe göndermektedir. Bu davranışa benzer bir davranışın yapay nöronlarla da elde edilebilmesi için kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının bazıları Şekil 4.2 de gösterilmiş ve matematiksel ifadeleri ise 4.2, 4.3 ve 4.4 denklemlerinde verilmiştir.



**Şekil 4.2:** Aktivasyon Fonksiyonları

$$\text{Eşik Fonksiyonuna için : } f(y) = 0 \quad y \leq 0 \quad \text{ve} \quad f(y) = 1 \quad y \geq 0 \quad (4.2)$$

$$\text{Sigmoid Fonksiyon için : } f(y) = 1 / (1 + e^{-y}) \quad (4.3)$$

$$\text{Gauss Fonksiyonu için : } f(y) = e^{-ay^2} \quad (4.4)$$

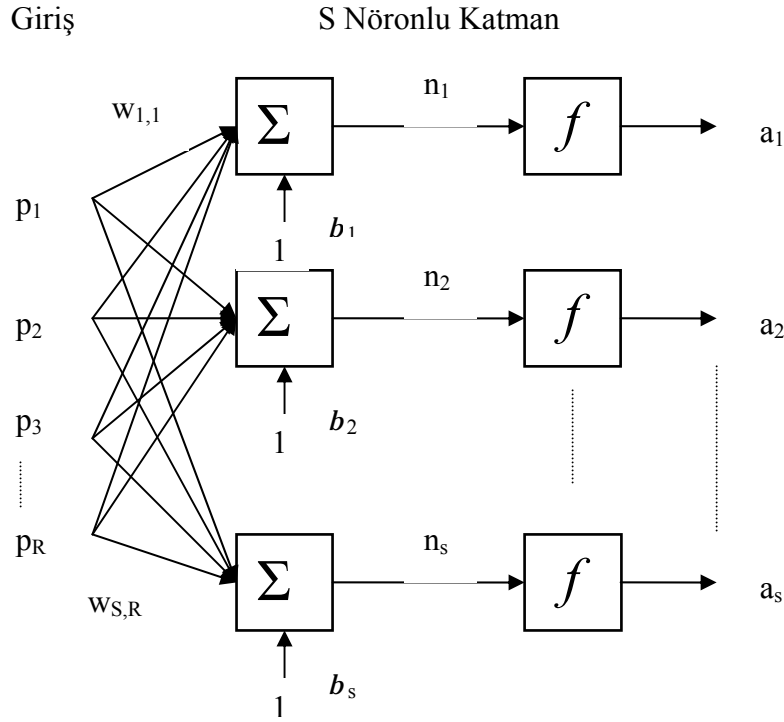
Uygulamalarda nöron cevabının girdilerin ikili karar mekanizması fonksiyonu olmasını gerektiren durumlarda (4.2), sürekli bir fonksiyon olmasını gerektiren durumlarda (4.3) ve (4.4) fonksiyonları tercih edilmektedir [53,68].

#### 4.4 Tek Katmanlı Yapay Sinirsel Ağ Yapısı

Genellikle bir çok girişe karşılık tek nöron kullanılması yeterli olmamaktadır. 5-10 nöron kullanılmasına ihtiyaç duyulur ve bunların paralel çalıştığı yapıya “katman” adı verilir [63].

Şekil 4.3' te  $s$  adet nörondan oluşan bir katman yapısı görülmektedir.

Her bir giriş her bir nörona bağlanmıştır ve ağırlık matrisinin  $s$  adet satırı olacaktır [63,Sayfa 2-9].



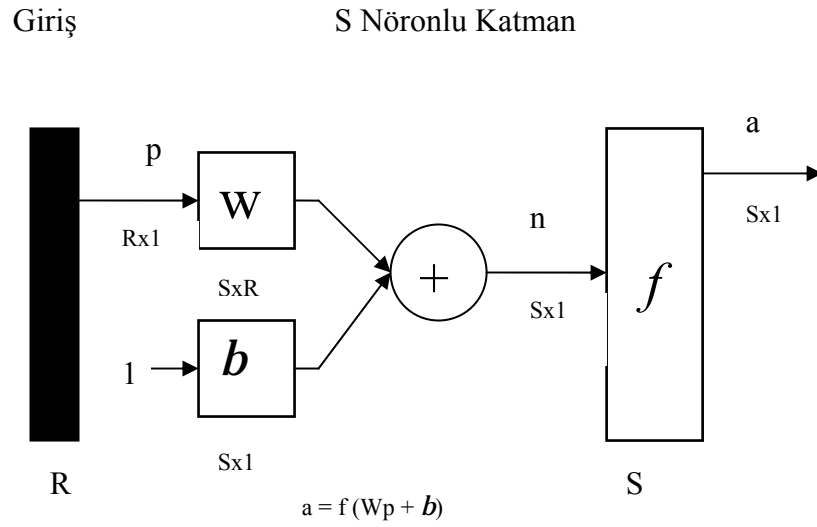
Şekil 4.3: S Nöronlu Katman'a Ait Ağ Mimarisi

Katman, ağırlık matrisi, toplayıcılar, yanlılık vektörü, transfer fonksiyonu ve çıkış vektörünü içermektedir. Giriş vektörü de ayrı bir katman olarak değerlendirilebilir. Giriş vektörünün her bir  $p$  elemanı ağırlık matrisi  $w$  ile her bir nörona bağlanmaktadır. Her nöronun bir yanlılık, bir toplayıcı, transfer fonksiyonu ve çıkışı vardır. Genellikle giriş vektörünün boyutu ile nöron sayısı birbirinden farklıdır. Nöronların transfer fonksiyonlarının da aynı olma zorunluluğu yoktur.

Giriş vektörü elemanları ağırlık matrisi  $w$  üzerinden geçerek girerler.  $w$  ağırlık matrisi ;

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \Lambda & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \Lambda & w_{2,R} \\ M & M & & M \\ w_{S,1} & w_{S,2} & \Lambda & w_{S,R} \end{bmatrix}$$

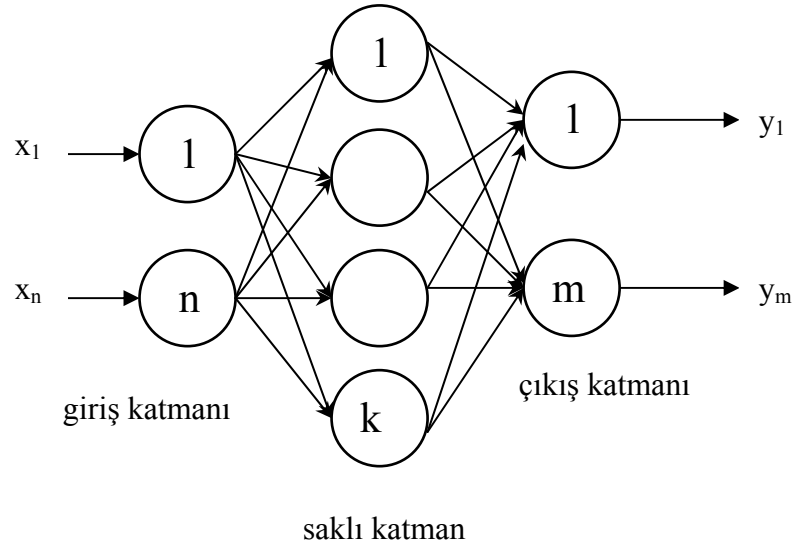
şeklinde gösterilir. Daha önce bahsedildiği gibi,  $W$  matrisinin satır sayısı nöron sayısını, sütun sayısı ise giriş vektörünün boyutunu gösterir. Buradan anlaşılacağı gibi  $w_{3,2}$  2. giriş elemanından 3. nörona bağlanan ağırlıktır.  $S$  nörona ve  $R$  girişe sahip tek katmanlı ağ Şekil 4.4 de gösterildiği gibi çizilebilir [63, Sayfa 2-10].



**Şekil 4.4:** S Nöronlu Katmana Ait Ağ Mimarisi

#### 4.5 Çok Katmanlı ve İleri Beslemeli Yapay Sinirsel Ağlar

İleri beslemeli nöron ağı yapıları basit nöron modeli ile oluşturulan katmanların ardışık biçimde bir araya gelmesi ile öğrenme yeteneği kazanan yapılar haline gelmektedir. Şekil 4.5 te üç katmanlı bir Yapay Sinirsel Ağ modeli örneği görülmektedir. Katmanlara yerleştirilmiş nöronlar bir önceki katmanda bulunan nöronlara bağlı girişlere sahiptir fakat sahip olduğu katmandan bir nöronla bağlantısı yoktur. Katmanlar, giriş katmanları ara katmanlar ve çıkış katmanları olarak dizilirler. Giriş katmanının görevi giriş vektörünü ara katmana iletmektir ve doğrusal olmayan bir davranışa sahip değildir dolayısıyla giriş katmanındaki her bir nöronun çıkışında, bağlı olduğu giriş değeri görülmektedir.



**Şekil 4.5:** İleri Beslemeli Çok Katmanlı Yapay Sinirsel Ağ

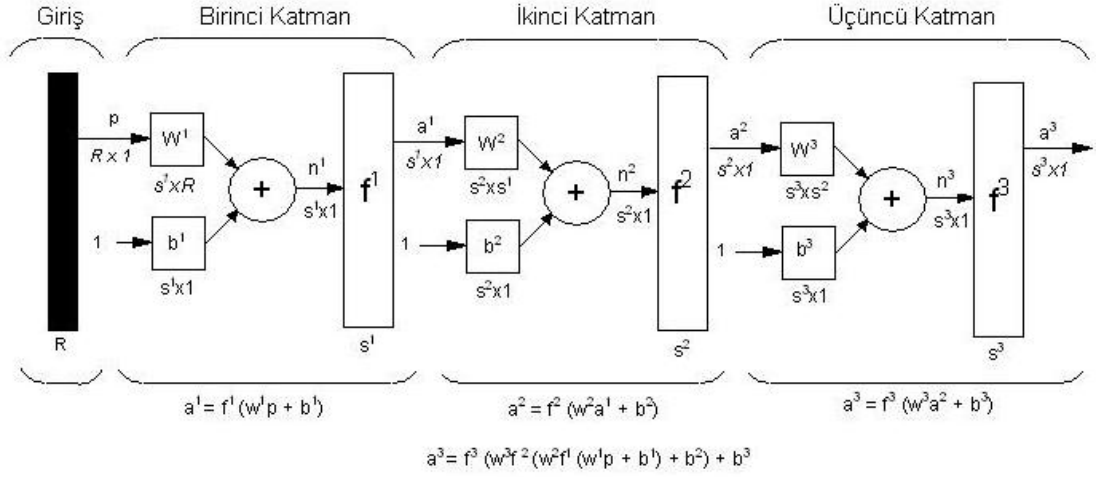
Her bir nöronun bir girişi ve bir çıkışı vardır ancak bu çıkış bir sonraki katmandaki bütün nöronlara iletilir. Giriş ve çıkış katmanları arasında bulunan ara katmanlar dışarıdan harici giriş ve çıkışa sahip olmadığından saklı katman olarak adlandırılırlar.

Burada giriş ve saklı katmanlardaki her bir nöronun birden fazla çıkış olduğu için bu nöronların çıkışına ait toplamın aktivasyon fonksiyonundan geçirilmiş denklemi aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$y_i = f(\text{net}_i) = \sum_j w_{ij} y_{ij} \quad (4.5)$$

Saklı katman, doğrusal olmayan davranışları nedeniyle Yapay Sinirsel Ağın genel davranışına ait doğrusal olmayan yapısının kaynağını teşkil etmektedir. Bir Yapay Sinirsel Ağında birden fazla katman ve her katmanda birden fazla nöron olabilir.

Her katman'ın kendi **W** ağırlık matrisi, **b** yanlılık vektörü, **n** net giriş vektörü ve **a** çıkış vektörü vardır. Şekil 4.6'da bu katmanlar arasındaki bağıntıyı anlamak amacıyla kurulan 3 katmanlı bir ağın gösterimi yer almaktadır [63, Sayfa 2-12]. Çok katmanlı ağ tek katmanlı ağa göre çok daha iyi sonuç vermektedir. Genellikle pratikte 2 yada 3 katmanlı ağ tercih edilir, dört yada daha fazla katmanlı ağ mimarisine nadiren ihtiyaç duyulmaktadır.



**Şekil 4.6:** Üç Katmanlı Ağ Mimarisi

#### 4.6 Geriye Yayınım ( Backpropagation ) Yöntemi

Hata geriye yayılım algoritması çok katmanlı Yapay Sinirsel Ağların gözetici eğitimi için en önemli algoritmadır. Geriye yayılım algoritması ağa ait ağırlık, yanlılık parametreleri gibi değerlere bağımlı ve arzu edilen ya da gerçek ağ çıkışının tespit edilmiş değerlerine sahip uygun hata fonksiyonunun seçimi temeline dayanır. Daha basit bir ifadeyle, öğrenme esnasında ağa ait ağırlık ve yanlılık değerlerinin güncellenmesi olarak açıklanabilir.

Geriye yayılım, sinirsel ağlar ile tamamen bağlı yapıdadır. Bu da her bir nöronun devamı olan katmandaki her bir çıkışa yada eğer nöron birinci katmanda ise her bir harici girişe bağlı olduğu anlamına gelir.

Verilen bir giriş katmanı vektörü  $y^{(p)}$  için, saklı katmanda bulunan her bir j. nöronun net girişi

$$x_j^{(p)} = \sum_k w_{jk} y_k^{(p)} \text{ olarak ifade edilir} \quad (4.6)$$

burada  $w_{jk}$  j.saklı katman nöronu ile k. girişe ait nöron arasındaki ağırlığı ifade etmektedir.

Aynı nöronun ürettiği çıkış ise

$$y_j^{(p)} = f(x_j^{(p)}) = f\left(\sum_k w_{jk} y_k^{(p)}\right) \quad (4.7)$$

Her bir çıkış nöronunun bir sonraki nörona  $i$ . girişi ise

$$x_j^{(p)} = \sum_j w_{ij} y_j^{(p)} = \sum_j w_{ij} f\left(\sum_k w_{jk} y_k^{(p)}\right) \quad (4.8)$$

olarak bulunur

burada  $w_{ij}$   $i$ . çıkış nöronu ile  $j$ . Saklı katman arasındaki ağırlığı vermektedir.

Sonuç olarak çıkış değeri aşağıdaki şekilde yazılır

$$y_j^{(p)} = f(x_j^{(p)}) = f\left(\sum_j w_{ij} y_j^{(p)}\right) = f\left(\sum_j w_{ij} f\left(\sum_k w_{jk} y_k^{(p)}\right)\right) \quad (4.9)$$

Geri Yayınım Algoritması iki farklı biçimde uygulanabilir “gerçek-zamanlı” mod ve “küme” modu. Gerçek-zamanlı mod’da hata fonksiyonu, giriş katmanındaki her bir nöronun tanıtımından sonra hesaplanır ve hata sinyali ağ üzerinden geri yayılarak ağırlıklar modifiye edildikten sonra bir sonraki katmana gönderilir. Bu hata fonksiyonu genellikle tüm ağdaki çıkışların istenen ve gerçek değerleri arasındaki farkın aldığı en küçük değerdir. Bu şekilde bulunan yeni ağırlıklar sabitlenir ve yeni model ağa tanıtılır ve bulunan tüm modeller ağa tanıtılana kadar bu işlem devam eder. Tüm modellerin tanıtımı genellikle “iterasyon” (epoch) olarak adlandırılır ve hatanın kabul edilebilir derecede küçük değer alabilmesi için çok yüksek iterasyon sayısına ihtiyaç duyulur.

Küme modunda ise hata sinyali her bir giriş modelinde tekrar hesaplanır fakat ağırlıklar sadece tüm giriş değerleri tanıtıldığında hesaplanmaktadır. Hata fonksiyonu ise her bir modelin hatalarının toplamı olarak hesaplanmakta ve bir sonraki iterasyondan önce ağırlıklar modifiye edilmektedir.

Böylece küme modunda hata yada değer fonksiyonu her  $i$ . nöronun ve her  $p$ . Katmanın çıkışı için en küçük değeri alacak şekilde aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
E &= \frac{1}{2} \sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)})^2 \\
&= \frac{1}{2} \sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - f(\sum_j w_{ij} f(\sum_k w_{jk} y_k^{(p)})))^2
\end{aligned} \tag{4.10}$$

“E” tüm ağırlıkların diferansiye edilebilir fonksiyonu olarak ifade edildiğinden eğim düşümü (gradient descent) metodu uygulanabilmektedir. Burada belirli bir giriş değeri için istenen nöron cevabı  $d$ , bu girdi için nöronun üretmiş olduğu cevap  $y$  ile gösterilmektedir.

Saklı katmandan çıkış katmanına olan bağlantılar için eğim düşümü kuralı aşağıdaki şekilde yazılabilir ;

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \tag{4.11}$$

Burada “ $\eta$ ” öğrenme derecesi (learning rate) olarak bulunan bir katsayıdır ve geri yayılım algoritmasının öğrenme derecesi olarak adlandırılır.

Zincir kuralı kullanılarak ;

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial E}{\partial y_i^{(p)}} \frac{\partial y_i^{(p)}}{\partial w_{ij}} \\
\frac{\partial y_i^{(p)}}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial y_i^{(p)}}{\partial x_i^{(p)}} \frac{\partial x_i^{(p)}}{\partial w_{ij}}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

buradan aşağıdaki denklemler elde edilir

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial E}{\partial y_i^{(p)}} \frac{\partial y_i^{(p)}}{\partial x_i^{(p)}} \frac{\partial x_i^{(p)}}{\partial w_{ij}} \\
&= -\sum_p (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) y_j^{(p)}
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Böylece ;



$$\Delta w_{ij} = \eta \sum_p (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) y_j^{(p)} = \eta \sum_p \delta_i^{(p)} y_j^{(p)} \quad (4.14)$$

elde edilir. Lokal eğim  $\delta$  ;

$$\delta_i^{(p)} = (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) \quad (4.15)$$

Giriş katmanından saklı katmana olan bağlantılar için eğim düşümü kuralı uygulanırsa ;

$$\Delta w_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} \quad (4.16)$$

Zincir kuralını uygulayarak  $w_{jk}$  'ya göre türev almaya devam edersek ;

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} &= \frac{\partial E}{\partial y_j^{(p)}} \frac{\partial y_j^{(p)}}{\partial w_{jk}} \\ \frac{\partial y_j^{(p)}}{\partial w_{jk}} &= \frac{\partial y_j^{(p)}}{\partial x_j^{(p)}} \frac{\partial x_j^{(p)}}{\partial w_{jk}} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} &= \frac{\partial E}{\partial y_j^{(p)}} \frac{\partial y_j^{(p)}}{\partial x_j^{(p)}} \frac{\partial x_j^{(p)}}{\partial w_{jk}} \\ &= \frac{\partial E}{\partial y_j^{(p)}} f'(x_j^{(p)}) y_k^{(p)} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$\frac{\partial E}{\partial y_j^{(p)}}$  için aşağıdaki şekilde zincir kuralı uygulanarak benzer işlemler yapılırsa ;

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial y_j^{(p)}} &= -\sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) \frac{\partial (f(x_i^{(p)}))}{\partial y_j^{(p)}} \\ &= -\sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) \frac{\partial (f(x_i^{(p)}))}{\partial x_i^{(p)}} \frac{\partial x_i^{(p)}}{\partial y_j^{(p)}} \\ &= -\sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) w_{ij} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Böylece;

$$\frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = -\sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) w_{ij} f'(x_j^{(p)}) y_k^{(p)} \quad (4.20)$$

tespit edilir. Buradan da ;

$$\begin{aligned} \Delta w_{jk} &= \eta \sum_p \sum_i (d_i^{(p)} - y_i^{(p)}) f'(x_i^{(p)}) w_{ij} f'(x_j^{(p)}) y_k^{(p)} \\ &= \eta \sum_p \sum_i \delta_i^{(p)} w_{ij} f'(x_j^{(p)}) y_k^{(p)} \\ &= \eta \sum_p \delta_j^{(p)} y_k^{(p)} \end{aligned} \quad (4.21)$$

ile

$$\delta_j^{(p)} = f'(x_j^{(p)}) \sum_i \delta_i^{(p)} w_{ij} \quad (4.22)$$

ifadelerini verir.

(4.13) ve (4.20) denklemlerinden görülebilmektedir ki eğer aktivasyon fonksiyonu diferansiyeli alınabilir bir fonksiyon değilse eğim düşümü metodu ile değer fonksiyonunun (E) ağırlık ( $w$ ) 'a göre kısmi türevini alarak hesaplanması imkansızdır. Bu nedenle geri yayılım yönteminde aktivasyon fonksiyonunun türevi alınabilir bir fonksiyon olması çok önemlidir. Sigmoid fonksiyon'un türevinin alınması çok kolay olduğundan geri yayılım yönteminde kolayca uygulanabilmektedir. Geri yayılım modifikasyon kuralı daima aşağıdaki forma sahiptir ;

$$[(\Delta w_{lm})] = [(\eta)] \cdot [(\delta_l)] \cdot [(y_m)] \quad (4.23)$$

$\Delta w_{lm}$  : Ağırlık düzeltmesi

$\delta_l$  : lokal eğim

$y_m$  : nöron giriş sinyali

Ağırlıkların adaptasyonunu sağlamaya yarayan bu genel kural “genelleştirilmiş delta kuralı” olarak ta bilinmektedir.

Geri yayılım yolu ile eğitimin en önemli unsurlarından biri ağırlık başlangıç değerlerinin uygun seçilmesidir. Eğer uygun olmayan başlangıç değerleri seçilirse eğitim işlemi çok uzun sürebilir [4].

#### 4.7 Levenberg – Marquardt Algoritması

Levenberg – Marquardt algoritması, doğrusal olmayan fonksiyonların çözümünde en küçük kareler yöntemini kullanan ve hatanın minimize edilmesine dayanan Newton yöntemi'nin bir varyasyonudur. Sinirsel Ağların eğitiminde çok iyi performans verir ve kullanıma çok uygundur. Bu çalışma kapsamında da bir çok algoritma ile ağırlık eğitimi gözlenmiş ve en iyi performansın alındığı Levenberg – Marquardt Algoritması tercih edilmiştir.

Levenberg - Marquardt algoritmasında  $F(x)$  performans indeks'ini anlayabilmek için önce Newton yöntemini açıklamak gerekir. Yapay Sinirsel Ağlarda ağırlık ve yanlılık (bias) değerlerinin optimum değerlerini bulabilmek için performans indeksi olarak tanımlanan  $F(x)$  fonksiyonu için, Newton yöntemi uygulayarak fonksiyonu en küçük yapan  $x$  değerinin bulunması hedeflenmektedir.  $F(x)$  fonksiyonu için Taylor serisi ;

$$F(x_{k+1}) = F(x_k + \Delta x_k) = F(x_k) + g_k^T \Delta x_k \quad (4.24)$$

olarak bilinmektedir. Newton yönteminin temeli ikinci dereceden Taylor serisine dayanmaktadır.  $F(x)$  için 2. dereceden Taylor serisi ;

$$F(x_{k+1}) = F(x_k + \Delta x_k) = F(x_k) + g_k^T \Delta x_k + \frac{1}{2} \Delta x_k^T A_k \Delta x_k \quad (4.25)$$

Burada;

$$g_k + A_k \Delta x_k = 0 \text{ ve } \Delta x_k = -A_k^{-1} g_k \text{ şeklinde yazılırsa} \quad (4.26)$$

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_k \text{ eşitliği}$$

$$x_{k+1} = x_k - A_k^{-1} g_k \quad (4.27)$$

olarak yazılabilir .

$$\text{Burada } A_k = \nabla^2 F(x) \Big|_{x=x_k} \text{ ve } g_k = \nabla F(x) \Big|_{x=x_k} \text{ olup ;} \quad (4.28)$$

$F(x)$  en küçük kareler toplamı fonksiyonu olarak farz edilirse ;

$$F(x) = \sum_{i=1}^N v_i^2(x) = v^T(x) v(x) \quad (4.29)$$

denklemini için düşün'ün j. elemanı ;

$$[\nabla F(x)]_j = \frac{\partial F(x)}{\partial x_j} = 2 \sum_{i=1}^N v_i(x) \frac{\partial v_i(x)}{\partial x_j} \quad (4.30)$$

olarak ifade edilebilir ve düşün matris formuna dönüştürülebilir ;

$$\nabla F(x) = 2J^T(x) v(x) \quad (4.31)$$

ifadesi matris ("Jacobian") formunda aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_2} & \Lambda & \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_2} & \Lambda & \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_2} & \Lambda & \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

Bundan sonra "Hessian" matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilir ;

$$[\nabla^2 F(x)]_{k,j} = \frac{\partial^2 F(x)}{\partial x_k \partial x_j} = 2 \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\partial v_i(x)}{\partial x_k} \frac{\partial v_i(x)}{\partial x_j} + v_i(x) \frac{\partial^2 v_i(x)}{\partial x_k \partial x_j} \right\} \quad (4.33)$$

Hessian matrisi aşağıdaki şekilde matris formunda yazılabilir ;

burada ;

$$S(x) = \sum_{i=1}^N v_i^2(x) \nabla^2 v_i(x) \quad (4.34)$$

olup, bu ifadenin çok küçük olduğu farz edilerek Hessian matrisi için aşağıdaki yaklaşım yapılabilir.

$$\nabla^2 F(x) = 2 J^T(x) J(x) \quad (4.35)$$

Eğer, denklem (4.35) ve denklem (4.31) denklem (4.27) da yerlerine konursa “Gauss-Newton” yöntemi elde edilir ;

$$x_{k+1} = x_k - [2J^T(x_k) J(x_k)]^{-1} 2J^T(x_k) v(x_k) \quad (4.36)$$

$$x_{k+1} = x_k - [J^T(x_k) J(x_k)]^{-1} J^T(x_k) v(x_k)$$

Hessian matrisine aşağıda belirtilen yaklaşım uygulanması ise Levenberg – Marquardt algoritmasının elde edilmesini sağlamıştır ;

$$G = H + \mu I \quad (4.37)$$

Levenberg – Marquardt algoritması ;

$$x_{k+1} = x_k - [J^T(x_k) J(x_k) + \mu_k I]^{-1} J^T(x_k) v(x_k) \quad (4.38)$$

veya ;

$$\Delta x_k = [J^T(x_k) J(x_k) + \mu_k I]^{-1} J^T(x_k) v(x_k) \quad (4.39)$$

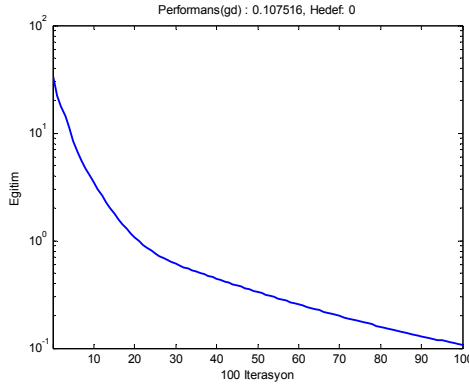
olarak gösterilebilir [63].

#### 4.7.1 Levenberg – Marquardt Algoritmasının Tercih Nedeni

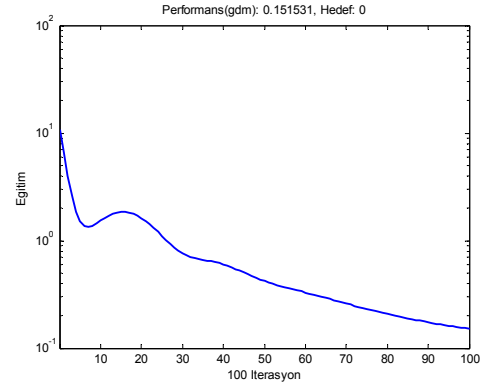
Performans fonksiyonu (indeksi) ‘nun değerinin hızla düşmesini ve eğim düşümü ile hatanın küçülmesi sayesinde ağırlık ve yanlılık değerlerini güncellenmesini sağlayan geriye yayılım algoritmalarından en sık kullanılan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- a) Temel Eğim Düşümü,
- b) Momentumlu Eğim Düşümü,
- c) Değişken Öğrenme Oranı,
- ç) Esnek Geriyeyayınım,
- d) Fletcher – Powell Conjugate Gradient,
- e) Polak – Ribiere Conjugate Gradient,
- f) Powell – Beale Conjugate Gradient,
- g) Scaled Conjugate Gradient,
- h) BFGS Quasi – Newton,
- ı) One Step Secant,
- j) Levenberg – Marquardt,

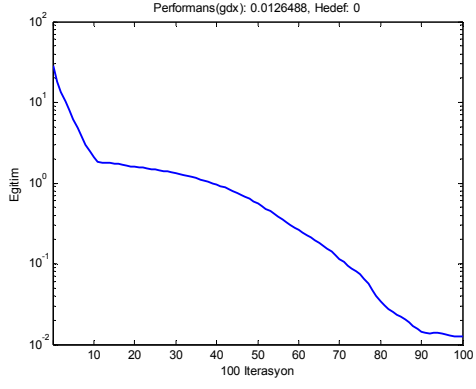
Tez çalışması kapsamında ağırların eğitimi için en iyi performansı veren Levenberg – Marquardt algoritmasının tercih edilme nedeni daha kısa sürede eğitilmesi ve eğitim performansının daha iyi oluşudur. Bu nedenle daha hassas öngörü yapabilme yeteneğine sahiptir. Çeşitli yöntemler ile Yeniköy bölgesi dönüşüne yönelik öngörü çalışmasından elde edilen eğitim grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



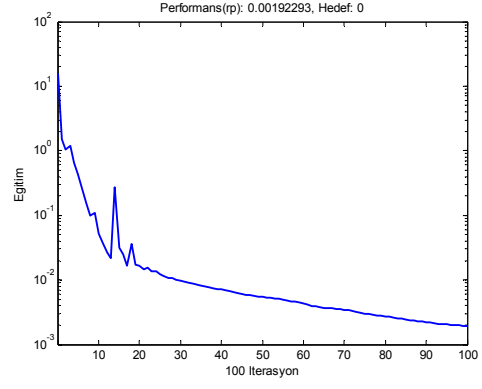
**Şekil 4.7:** “Temel Eğim Düşümü” Eğitim Grafiği



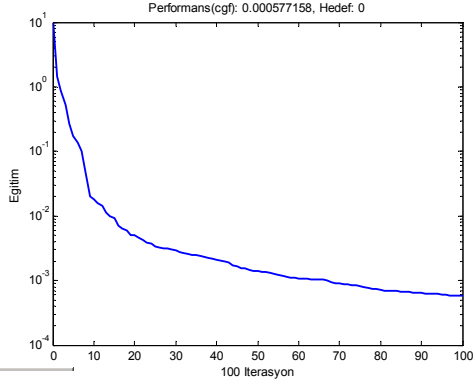
**Şekil 4.8:** “Momentumlu Eğim Düşümü” Eğitim Grafiği



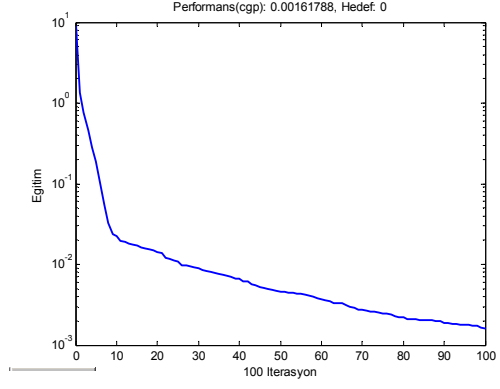
**Şekil 4.9:** “Değişken Öğrenme Oranı” Eğitim Grafiği



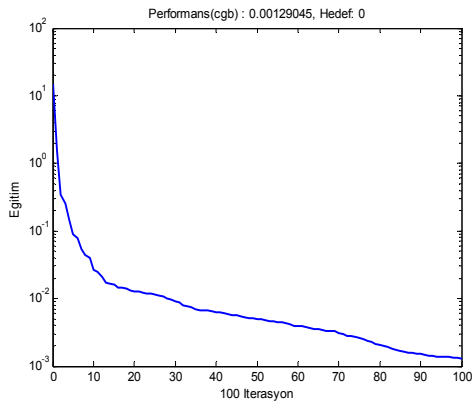
**Şekil 4.10:** “Esnek Geriyeayınım” Eğitim Grafiği



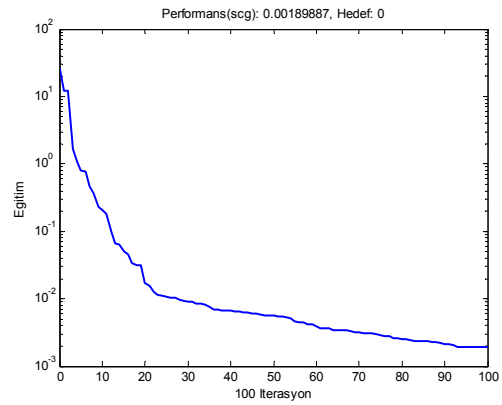
**Şekil 4.11:** “Fletcher-Reeves CG” Eğitim Grafiği



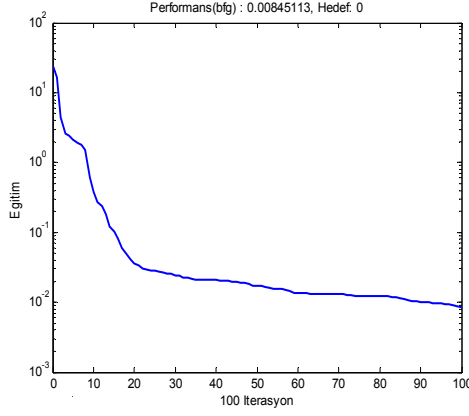
**Şekil 4.12:** “Polak-Ribiere CG” Eğitim Grafiği



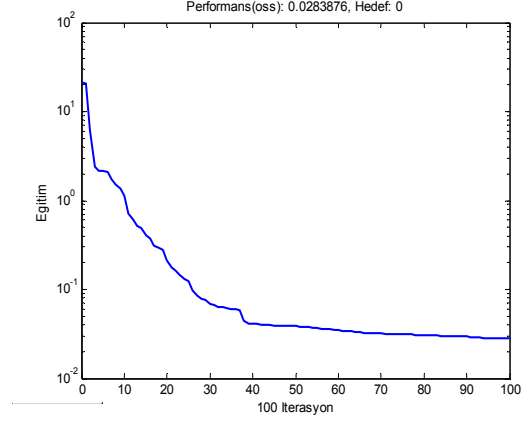
**Şekil 4.13:** “Powell-Beale CG” Eğitim Grafiği



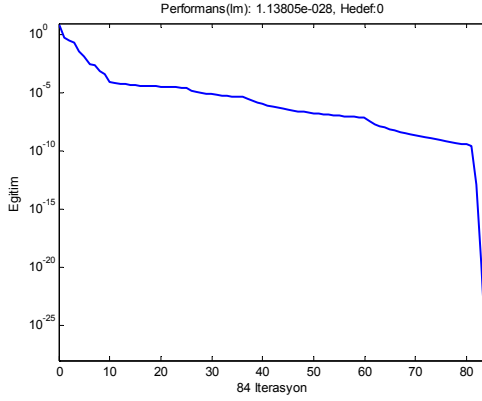
**Şekil 4.14:** “Scaled CG” Eğitim Grafiği



**Şekil 4.15:** “BFGS Quasi-Newton”  
Eğitim Grafiği



**Şekil 4.16:** “One Step Secant”  
Eğitim Grafiği



**Şekil 4.17:** “Levenberg-Marquardt”  
Eğitim Grafiği

Grafiklerden görüldüğü gibi en iyi performansı veren Levenberg-Marquardt algoritması 84 İterasyonda hedefe yakınsamıştır. Hedef “0” olarak verilmiş olup, 100 iterasyon için kullanılan yöntemlerin yakınsamaya yönelik performans değerleri Tablo 4.1.’de gösterilmiştir. Levenberg-Marquardt algoritması ile karşılaştırma yapılabilmesi için yakınsama 100 iterasyonla sınırlandırılmıştır. Eğitilen ağ modeline ait saklı katmanda 18 nöron kullanılmıştır.



**Tablo 4.1:** Geriye Yayınım Algoritmalarının Karşılaştırılması

Yöntem	İterasyon	Hedef	Yakınsama değeri
Basic Gradient Descent,	100	0	0,107516
Gradient Descent with Momentum	100	0	0,151531
Adaptive learning rate	100	0	0,012648
Resillient Backpropagation	100	0	0,001922
Fletcher – Powell Conjugate Gradient	100	0	0,000577
Polak – Ribiere Conjugate Gradient	100	0	0,001617
Powell – Beale Conjugate Gradient	100	0	0,001290
Scaled Conjugate Gradient	100	0	0,001889
BFGS Quasi – Newton	100	0	0,008451
One Step Secant	100	0	0,028387
Levenberg – Marquardt	84	0	$1,13805 \times 10^{-28}$

Çok kısa zaman diliminde yapılması amaçlanan gemi konumunun öngörüsüne yönelik uygulama için Yapay Sinirsel Ağların eğitiminde Levenberg-Marquardt algoritması diğer algoritmalara göre çok üstün performans sergilemiştir.

## 5. İSTANBUL BOĞAZI GEÇİŞİ İLE İLGİLİ PLANLAMA FAKTÖRLERİ VE TANIMLAMALAR

### 5.1 Tanımlamalar

- a) Türk Boğazları :İstanbul Boğazı, Çanakkale boğazı ve Marmara denizinden geçen gemilerin geçiş alanı ile bu alanı çevreleyen kıyı şerididir
- b) İstanbul Boğazı Kuzey Girişi : Anadolu Fenerini, Türkeli Fenerine birleştiren çizgidir.
- c) İstanbul Boğazı Güney Girişi : Ahırkapı Fenerini, Kadıköy İnciburnu mendirek Fenerine birleştiren çizgidir.
- d) Büyük Gemi : Tam boyu 200 metre ve daha büyük olan gemidir.
- e) Derin Su Çekimli Gemi : En fazla su çekimi 15 metre ve daha büyük olan gemidir.
- f) Boğaz Seyir Hızı : Boğazdan normal geçiş hızı karaya göre saatte 10 deniz milidir.
- g) TAD : Trafik ayırım düzeninin kısaltmasıdır.
- h) Toplam Yedek Boyu : Yedek çeken römorkörün başı ile yedeklerin kıçı arasındaki, yada iten römorkörün kıçı ile itilenin başı arasındaki, tam yolla çalışma sırasındaki uzunluktur.
- D) Trafik Şeridi içinde Seyretme Güçlüğü Olan Gemi : Tam boyu 150 metre ve daha fazla olan yada su çekimi (deplasmanı) 10 metre ve daha fazla olan gemiler ile teknik durumları bakımından Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğünde öngörülen trafik şeridi içerisinde seyretme güçlüğü olan gemilerdir.
- i) TÜBRAP : Türk boğazlarında uygulanacak Seyir Planı – I, Seyir Planı – II, Mevkii Raporu ve Çağırma Noktası raporunu ihtiva eden rapor sistemidir.

## 5.2 Trafik Ayrım Düzenleri

Türk Boğazlarında uygulanacak Trafik Ayrım Düzenlerinin sınırları : Kuzeyde ;

41°16' N, 28°55' E

41°21' N, 28°55' E

41°21' N, 29°16' E

41°14' N, 29°16' E

noktalarını birleştiren alanın Kuzey sınırı;

Güney Batıda ;

40°05' N, 26°11' E

40°02' N, 25°55' E

39°50' N, 25°53' E

39°44' N, 25°55' E

39°44' N, 26°09' E

noktalarını birleştiren alanın Güneybatı sınırı arasında kalan bölgedir.

Denizde Çatışmayı Önleme Sözleşmesinin (COLREG 71) 10. kuralı ile Gemi Rotalandırma Dokümanı (Ship's Routeing)'e göre düzenlenen ve IMO (Uluslar arası Denizcilik Örgütü) tarafından kabul edilen trafik ayırım düzenleri tesis edilmiştir. Türk Boğazları'nı içeren "Trafik Ayrım Düzenleri" skeç haritaları 9001 no'lu planlama haritasındadır [84].

## 5.3 Planlama Faktörleri

Gemilerin Türk Boğazlarından geçebilmesi için donatıcı yada işleticisi tarafından seferin planlanması aşamasında, idareye gemi ve yükü hakkında bilgi/rapor verilmesi gereklidir. Bu bilgilerin istenmesindeki amaç gemilerin güvenli geçişlerinin sağlanmasına yönelik olup,

- a) Çift yönlü trafiğin geçici olarak durdurulması ve tek yönlü trafiğin düzenlenmesi
- b) Geçiş sırasında İstanbul boğazında kaza, yangın ve arıza ihtimaline karşı denizde ve sahilde görev yapan birimlerin hem hazırlanması hem de mevkilendirilmesi içindir. Bu amaçla;

(i) Boyları 150-200 metre ve/veya su çekimleri 10-15 metre arasında olan gemilerin SP-1 raporunu Türk Boğazları'na girmeden en az 24 saat önce, Boyları 200-300 metre ve/veya su çekimleri 15 metreden daha fazla olan gemilerin SP-1 raporunu Türk boğazlarına girmeden en az 48 saat önce Trafik Kontrol merkezine bildirmeleri gerekir.

(ii) Boyları 300 metre ve daha fazla olan gemilerin donatanı yada işleticisi tarafından, seferlerin planlanması aşamasında idareye, gemi nitelikleri ve yükü hakkında bilgi verilecektir. Trafik Hizmetleri Merkezi ve gerektiğinde İdare, gemiler hakkındaki bu bilgilere dayanarak, gemilerin boyutları ve manevra yeteneği de dahil bütün özelliklerini, Türk boğazlarının morfolojik ve fiziksel yapısını, mevsim şartlarını, can, mal ve çevre güvenliğiyle deniz trafiğinin durumunu göz önünde bulundurarak, Türk boğazlarından güvenli bir geçişi sağlamak için gerekli olan şartları ve varsa tavsiyelerini ilgili geminin donatanına, işletenine yada kaptanına bildirir; bahse konu gemilerden geçiş için gerekli şartları taşıyanların en az 72 saat önce SP-1 raporunu vermeleri gerekmektedir.

(iii) Trafik Kontrol Merkezi, (i) ve (ii) bentlerinde belirtilen gemiler ile tehlikeli yük taşıyan gemilerin güvenli geçiş yapmasını sağlamak üzere önlem alır, gerekli gördüğü durumlarda belli bir bölgede trafik şeritleri içinde seyretme kuralını askıya alabilir.

(iv) Tehlikeli yük taşıyan; (i) ve (ii) bentlerinde belirtilen niteliklere haiz bir gemi; İstanbul Boğazı'na Kuzeyden girdiğinde Boğaziçi Köprüsü'nü, Güneyden girdiğinde Hamsi Burnu – Fil Burnu hattını geçene kadar aynı nitelikte başka bir gemi Boğazdan içeri alınmaz.

#### **5.4 Boğaz Geçişi Yapan Gemiler İçin Genel Kurallar**

1. Bütün gemiler trafik düzeninin gereklerini göz önünde bulundurarak seyir yapacaklardır. (Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü Kural 10)
2. Türk Boğazlarından uğraksız geçiş yapmak yada Boğazlardan Marmara bölgesindeki bir limana gitmek üzere bölgeye girecek olan gemilerin (TÜBRAP) rapor sistemi gereği istenen raporu vermeleri gerekmektedir.

3. Türk Boğazlarında seyreden gemiler bölgedeki Trafik Hizmetleri Merkezinin yayınlarını sürekli olarak izlemeli ve anılan merkezlerden yapılacak uyarılara uymalıdır.
4. Boğazlardan bir gemi, bir başka gemi tarafından yedeklenerek geçirilemez. Yedekleme işlemi; römorkör/römorkörler veya o işe uygun olarak donatılmış römorkör özelliği taşıyan gemiler tarafından yapılarak geçiş sağlanabilir.
5. Toplam yedek boyu 150 metre ve daha fazla olan gemilerin ve yedeğinin rotalarını koruyabilmeleri için önlem alınmalıdır.
6. Yedekte çekilen gemide pervane çalıştırılmalı ve dümen tutulmalıdır.
7. Gemilerin boğazdan geçiş hızı saatte 10 deniz milidir. Ancak Trafik Hizmetleri Merkezine bilgi vererek çatma ve çatışmayı önleme ve çevreye zarar verici dalgalar yaratmamaya özen göstermek şartıyla bu hız aşılabılır.
8. Derin su çekimli gemilerin Boğaz geçişlerinde, manevralarının kısıtlı olduğu dikkate alınarak, bu gemilere yeterli manevra ve seyir alanı bırakılacaktır. (Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü Kuralı 3h ve Kural28). Boğazda seyreden diğer gemilerin, trafik ayırım düzeninin kesişme ve kavşak noktalarında, bu düzen içinde seyreden derin su çekimli gemilerin yolundan çıkmaları gerekir.

Görüldüğü gibi uyulması gereken bir çok kural vardır. Bu da insanların yapacağı hata ihtimalini arttırmaktadır. Bu çalışmanın amacı ilave tedbirler alarak bu hataların minimize edilmesine dayanmaktadır.

### **5.5 Boğazlardan Geçişte Alınacak Önlemler**

1. Gemi Kaptanları Boğazdan geçinceye kadar köprüstü, harita kamarası ve kırlangıçlara, görevlilerden başkasının girmesini önleyecek ve görevlilerin kumanda etme, çevreyi izleme ve gözlemlerini zorlaştırmayacak gerekli önlemleri alacaktır. İstanbul Boğazında seyreden gemilerde, ana makine kontrol istasyonu, makine dairesinde veya dışında da olsa ana makinenin başında yetkili personel bulunacaktır. İstanbul Boğazında seyreden gemilerde, dümen elle tutulacak ve dümen tutmak için otomatik pilot aygıtı kullanılmayacaktır. Yedek dümen donanımı her an kullanılmaya hazır olacak ve başında personel bulunacaktır.
2. Boğaz geçişi yapan gemiler zorunlu olmadıkça önlerinde seyreden gemiyi geçmeyecektir. Aynı istikamette geçiş yapan gemiler, aralarında en az sekiz gomina

(1600 yarda ) mesafe bırakacaklardır. Trafik Hizmetleri Merkezi gemi tipini göz önüne alarak bu mesafeyi arttırabilir.

## **5.6 Geçiş sırasında Kaza ve Arıza**

Boğazdan geçerken kaza, arıza zorunlu demirleme gibi bir nedenle geçişi kesintiye uğrayan gemiler, Trafik Hizmetleri Merkezine beklemeden bilgi vereceklerdir. İlgili Trafik Merkezince kendilerinin ve çevrenin güvenliği sağlandıktan sonra kılavuz olarak, geçişin tamamlanması için öngörülenleri yerine getirecektir. Boğazda seyreden gemiler uygun trafik şeridinde genel trafik akımı yönünde ilerleyecekler ve mümkün olduğu kadar trafik hattından açık bulunacaktır. (Denizde çatışmayı Önleme Tüzüğü Kural 10b.i ve 10b.ii) [84].

## **5.7 İstanbul Boğazı Seyrinde Bozucu etkenler**

### **5.7.1 Akıntı**

Boğaz geçişi yapan gemilerin hareketleri incelendiğinde elle kontrol sistemi olarak değerlendirilen serdümen vasıtası ile kontrol edilen dönüş noktaları arasında sabit rota ve sabit hız ile hareket ettiği varsayılan gemi hareketine akıntı bozucu olarak etki yapan en önemli faktördür. Bu nedenle Boğazda bulunan 12 adet dönüş noktası incelenirken akıntı durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. İstanbul Boğazında akıntı durumu aşağıda anlatıldığı detaylar ile verilmektedir.

İstanbul boğazında üst akıntı şiddeti saatte 4 deniz mili'nin üzerine çıktığında yada Lodos nedeniyle orkoz akıntıları oluştuğunda, manevra hızı saatte 10 deniz mili ve daha aşağı olan tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler Boğaz'a girmeyecek ve akıntı şiddetinin saatte 4 deniz mili'nin altına düşmesini veya orkoz akıntılarının ortadan kalkmasını bekleyeceklerdir.

Türk Boğazları olarak adlandırılan bölgede birbirlerine ters yönde ilerleyen altlı üstlü iki akıntı sisteminin olduğu görülür. Karadeniz'in az tuzlu suları üstten Marmara ve buradan Çanakkale yoluyla Ege'ye çıkar, Marmara'nın daha tuzlu suları alttan Karadeniz'e akar. Karadeniz ile Marmara arasında Karadeniz daha yüksek olmak üzere 25 cm.lik düzey farkı vardır.

Bu akıntı sisteminde meteorolojik ve bölgesel değişmelere ve bilhassa rüzgar durumuna bağlı olarak, yüzey akıntısı ile dip akıntısı arasındaki ayırım yüzeyinin derinliği değişir. Yüzey suları, Karadeniz'den İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı yolunu takip ederek, Ege Denizi'ne doğru akarken; dip suları, tam ters yönde Karadeniz'e doğru ilerler.

İstanbul Boğazı'nın yüzey akıntısının ana yönü, Kuzeyden Güneye olduğuna göre, normal meteorolojik koşullarda, yüzey sularının, Boğaz'ın Kuzey ağzından itibaren nasıl bir yol izledikleri aşağıda anlatılmıştır.

Ana akıntı, Boğaz'ın Kuzey Ağzı'nda Garipçe Burnu'nda 0,5-1 mil süratle Boğaz'ın batı sahiline vurur ve bu nokta ile karşı sahildeki Poyraz Burnu arasında Boğaz'ın bütün genişliğini kaplar. Fil Burnu ile Rumeli kavağı arasında akıntının ekseni, Kuzeybatı sahiline doğru yaklaşır ve aynı zamanda biraz da hızlanarak 1 mil'in üzerine çıkar. Daha sonra 1,5-2 mil hızla Güneybatıya yönelerek Kavak Burnu'na çarpar.

Acartabya civarından, Selviburnu'na kadar, akıntının ekseni, doğu kıyısına daha yakın ve hızı 1-1,5 mil arasındadır. Ana akıntının batı sınırı Mesar Burnu'nda Kuzeybatı tarafına çarpar. Büyükdere Koyu'na girmeden, Kireçburnu'na doğru yönelerek, Umurbankları üzerinden Güneydoğuya doğru devam eder.

Selvi Burnu ile Tarabya arasında iki sahil arasına yayılan akıntının hızı bu mevkide 1-1,5 mil arasındadır. Buradan biraz daha Güneye doğru ilerledikçe Anadolu sahilinden yaklaşarak Yeniköy Burnu civarında sahile çarpar. Daha sonra, İstinye Koyu'nun Güneyinde, Anadolu Hisarı yakınında 2-3 mil sürate ulaşarak ve tekrar tüm boğaz genişliği boyunca ilerleyerek, Kandilli Burnu'nun doğu sahiline çarpar. Bu akıntı daha sonra, Avrupa kıyılarına sokulmadan, genellikle Anadolu kıyılarına yakın olarak ve biraz daha hızlanarak, 3-4 mil süratle Akıntı Burnu'na kadar devam eder. Akıntı Burnu'nda, Rumeli sahiline çarpar. Bu bölge, yani Defterdar ile Çengelköy arası, akıntının Boğaz'ın merkezinde ve en büyük hızla aktığı bölgedir. Özellikle, Beylerbeyi Sarayı önlerinde akıntının sürati 4-5 mil'e kadar çıkar. Buradan, Üsküdar Sahili'ni yalayarak, Sarayburnu'na doğru akar. Bu bölgedeki ana akıntının hızı, Vaniköy'den Kızkulesi'ne kadar 3-4 mil civarındadır. Kızkulesi'nin Güneyinde ise biraz yavaşlayarak 2-3 mile düşer. Bunun sebebi, ana akıntının

Sarayburnu'na çarparak hızının kesilmesi, bir kısım suların Haliç'e ve Tophane'ye doğru kıvrılarak anafolar oluşturmasıdır.

Meteorolojik şartların değişmesi, özellikle rüzgarın yönü ve şiddeti akıntıyı önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgar yıldız ve poyrazdan kuvvetli eserse, İstanbul Boğazı'ndaki yüzey akıntısı da 2-3 misli artarak normal koşullarda en fazla 3-4 mil olduğu yerlerde 7-8 mile kadar çıkabilmektedir. Diğer taraftan, rüzgarın lodostan kuvvetli esmesi halinde akıntı, bazen durabilmekte, bazen de Boğaz ters yönde Karadeniz yönüne akabilmektedir. Bu duruma "orkoz" adı verilir. Orkozlar oluştuğunda Boğaz'ın Güney ağzında üst akıntı ile alt akıntı arasındaki seviye yukarı doğru yükselir. Üst akıntının derinliği azalır, dip akıntısının derinliği artar ve derin su çekimli gemileri etkilemeye başlar.

Boğaz'da bir de ana akıntıya karşı duran koyların veya burunların kıvrımlarına giren suların sahilin kıvrımlarını takip ederek ters yönde kıyıdan ilerlemesi ile oluşan "anafolar" veya diğer tabiriyle "aynalar" vardır. Anafoların şiddeti de ana akıntının günlük şiddet değişimine paralel olarak değişir. Örneğin, Galata ile Defterdar Burnu arasındaki ters akıntı, öğleden sonra daha kuvvetli akarken, akşam geç vakitlerde hızı azalır. Ortaköy'ün Güneybatı sahili yakınında ters akıntının hızı ortalama 0.5 mil'in üzerindedir. Ters akıntı Defterdar Burnu ile Akıntı Burnu arasında zaman zaman sahile yakın yerlerde kuvvetlenir. Akıntı Burnu'nun Güneyinde doğuya dönerek ana akıntıya karışır. Akıntının yönü ve kuvveti hava şartlarındaki değişmeler ve bilhassa rüzgar ile doğrudan ilgilidir ve bunlara bağlı olarak büyük değişimlere uğrayabilir. Kible ve lodos rüzgarlarında normal şekline nazaran, anafor akıntısının eni 1 gominadan biraz fazla olmak üzere daralır. Güney yönlü rüzgarlar çok kuvvetli olduğunda, Boğazdaki ana akıntı da tüm Boğazı kaplayarak Kuzeye yönelir.

Üsküdar'ın Kuzey koyundaki ters akıntı, dar bir şerit olarak Kuzeydoğu yönünde akar. Bu akıntı lodos rüzgarlarında Boğaz'ın ortalarına kadar ilerler. Beylerbeyi'nin Kuzeydoğusundaki koyda, Anadoluhisarı'nda, Vaniköy'deki küçük koyda, Bebek Koyu'nda ve İstinye Koyu'nun dış kısmında kısa birer ters akıntı sirkülasyonu vardır.

Büyükdere Koyunda, 0,5 mil hızında bir ters akıntı, sahili takip ederek poyraz yönünde Mesar Burnu'na kadar çıkar. Bununla birlikte, Mesar Burnu'nun Kuzeydoğu tarafında bir başka girdap oluşur ve Tellitabya Burnu'na kadar uzanır. Büyük



Liman'da, Garipçe Burnu ile Rumeli Burnu arasındaki koylarda da Kuzey yönlü küçük ters akıntılar vardır.

İncir Limanı ve Beykoz Limanı'nın da içinde bulunduğu büyük koyda ve Selvi Burnu'nun Güneydoğusuna doğru olan koyda, büyük bir anafor vardır. Bu büyük anafor, koyun geniş kısımlarında kıyıdan açığa doğru 4 gomina kadar uzanır. Akıntının hızı 0,5 milden fazla olup, İncir Limanı'ndan itibaren sahil boyunca sürer. Güneyden çok sert rüzgar eserek deniz seviyesini yükselttikten sonra aniden kesilip, yerini Kuzeyden gelen sert rüzgara bırakırsa, Beykoz ve İncir Limanı'nda çok kuvvetli anafor meydana getirir.

Fil Burnu'nun ayırdığı iki küçük anafor vardır. Birisi Keçilik Koyu'nda, diğeri Poyraz Burnu'nun Güney tarafındaki koydadır. Ayrıca Umuryeri Limanı'nda Güneye doğru bir anafor bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak, Umurbanklarının doğusuna doğru, Çalılık Tepe'ye yakın ve Selvi Burnu'na doğru akan bir ters akıntı vardır [83-94].

### **5.7.2 Görüş**

Boğaz geçişi sırasında görüş insan operatörün performansına etki eden bir diğer faktördür. İstanbul Boğazında görüş uzaklığının azalmasıyla ilgili durumlar, gemilere ve ilgililere idare'ce duyurulur. Boğazlar'ın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı 2 deniz mili ve altına düştüğünde Boğazlardan geçen gemiler, radarlarını sürekli ve iyi resim verecek biçimde açık tutmak zorundadır. İki radarı bulunan gemilerde, bir radar kılavuz kaptanın kullanımına verilmelidir. Boğazın herhangi bir bölgesinde görüş 1 deniz mili ve altına düştüğünde deniz trafiği uygun görülen tek yöne açık tutulmakta ve karşı yöne kapatılmaktadır. Bu sırada, tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler boğaza giremeyeceklerdir. Görüş 0.5 deniz mili ve altına düştüğünde ise boğaz trafiğe kapatılır.

Yağışlar da Boğaz'da seyri etkileyebilmektedir. Örneğin, yoğun kar yağışında görüş azalacağından seyir güvenliği olumsuz etkilenmektedir. Sis, en çok Mart ayında görülür. Yaz aylarında ise seyrekir. En iyi görüş, Kasım, Aralık ve Ocak aylarında akşam saatlerinde, diğer aylarda ise öğle saatlerinde olmaktadır.

Kandilli Rasathanesi denizden 114 metre yüksekte olduğu için bazen alçak seviyede oluşan sislerin kayıt dışı kalma ihtimali vardır.

Denizde çatışmayı önleme tüzüğü kural 10 a göre boğaz geçişi yapan tüm gemiler trafik ayırım düzeninin gereklerine uymak zorundadır. Seyir cihazı arızası, görüş'ün 2 deniz mili ve altına düşmesi, bozucu olarak sisteme giren boğazdaki akıntı şiddetinin 4 deniz mili /saat in üzerine çıkması yada yine bozucu olarak lodos nedeniyle orkoz akıntılarının oluşması durumunda boğaz geçişi yapan gemilerin mevkilerindeki değişmelerde expert sistem serdümenine yardımcı olacaktır. Boğazın serdümen marifetiyle geçilme zorunluluğu, daha önceki boğaz kazaları ve boğazda kaza riskinin çok fazla olması doktora tezi olarak bu konuyu seçmeme etken olmuştur.

## **5.8. Boğazda Seyir Güvenliğini Etkileyen Yapısal Özellikler**

### **5.8.1 İstanbul Boğazı'nın Coğrafi Yapısı**

#### **5.8.1.1 İstanbul Boğazı'nın Jeomorfolojik Yapısı ve Topografyası**

Boğazın temel fiziki karakteristiği, dünyanın en dar suyollarından biri olmasıdır. Orta hattından ölçüldüğünde ortalama uzunluğu 17 deniz milidir. Kıyılarıdaki uzunluk, Anadolu tarafında 19 deniz mili, Trakya tarafında ise daha kıvrımlı yapısından dolayı 30 deniz mili kadardır. En geniş yerleri Kuzeyde, Anadolu Feneri ile Türkeli Feneri arasında 3600 metre, Güneyde, Ahırkapı Feneri ile İnciburnu Feneri arasında 3220 metredir. Boğazın en dar yeri ise Anadoluhisarı ile Rumelihisarı arasında olup, 698 metredir. Buna göre genişlik, Boğazın her iki girişinde orta kısımlardan daha fazladır.

#### **5.8.1.2 İstanbul Boğazı Derinlikleri**

İstanbul Boğazı'nın derinliği ana kanal boyunca 30 metre ile 110 metre arasında değişmektedir. En derin yer olan 110 metrelik derinlik, Kandilli açıklığındadır. Boğazda derinlikler genellikle, 30-60 metre arasında değişmektedir. Bunun yanında, 30 metrenin altında olan bazı mevkiiler de vardır.

### **5.8.1.3 İstanbul Boğazı'ndaki Adalar**

İstanbul Boğazı'nın Güney girişine yakın bölgede Salacak Mevkiinin 250 metre kadar açığında bir ada olan Kızkulesi vardır. Adanın etrafı kaya ve bankla çevrilidir, bank adanın doğusundaki sahile bir sığılık ile bağlantılıdır.

Kuzeye doğru ikinci ada Defterdar Burnu'nun 880 metre Kuzeyinde bulunan Kuruçeşme Feneridir. Kuruçeşme Mevkiinin açığında ise Kuruçeşme Bankları ve bunların üzerinde Kuruçeşme Adası bulunur. Bankların üzerindeki su derinliği 10 metreden azdır, uzunluğu 400 metre, genişliği 120 metredir.

Diğer bir ada, Bebek Koyu'nun merkezinde bulunan ve üzerinde Bebek Feneri'nin bulunduğu adadır. Bebek Bankı'nın ortalama uzunluğu 450 metre, genişliği ise 120 metredir. Bankın üzerindeki su derinliği 10 metre ile 2.7 metre arasında değişir. Adanın kıyıdan olan mesafesi 165 metredir. Rumelikavağı açığında, yaklaşık 180 metre uzunluğu ve 120 metre genişliği olan Dikilikaya Bankları'nın üzerinde Dikilikaya adası bulunur.

### **5.8.1.4 İstanbul Boğazı'nda Banklar**

Boğaz'da Kuruçeşme, Dimi, Bebek ve Dikilikaya Banklarından başka, üzerlerinde ada veya adacık şeklinde yapıların bulunması sebebiyle "adalar" başlığı altında yer verilen ve özellikle büyük gemiler için tehlike oluşturan başka banklar da bulunmaktadır.

Sarayburnu Banklarının, üzerindeki su derinliği 1-10 metre arasında değişmektedir. Ortaköy Bankı, Ortaköy Burnu'nun 80 metre açığına kadar uzanır. Yeniköy Bankı, diğer adıyla Koybaşı Sığılığı, İstinye Burnu ile Yeniköy Burnu boyunca uzanır. Yeniköy Burnu'ndan sonra Kuzeybatıya doğru 350 metre kadar devam eder. Kıyıdan uzaklığı 100-250 metre arasında değişmektedir. Büyükliman Bankı, Karataş Burnu'ndan Garipçe Burnu'na doğru yay şeklinde kıvrılarak uzanır. Kıyıdan 250 metre mesafede bankın üstündeki su derinliği 3-5 metre arasında değişir.

Anadolu yakası kıyılarında Güneyden Kuzeye doğru ilk bank, Kızkulesi Bankı'dır. Daha yukarıda Göksu ya da Anadoluhisarı Bankı bulunur. Macar Bankı, Macar Burnu'nun Kuzeydoğusuna doğru 400 metre mesafede, 270 metre uzunluk ve 120 metre genişlikte, üzerindeki su derinliği yaklaşık 3.7-1.5 metre olan bir banktır.

Bunların yanısıra, Poyrazköy'ün 700 metre açığına kadar uzanan Poyraz Bankı, İncirköy'ün 480 metre açığına kadar uzanan İncirköy Bankı, Paşabahçe'nin 190 metre açığına kadar uzanan Paşabahçe Bankı, Baltalimanı deresinin yaklaşık 140 metre açığına kadar uzanan Baltalimanı Bankı ve Mezar Burnu'nun yaklaşık 120 metre açığına kadar uzanan Sarıyer Bankı bulunmaktadır.

### **5.8.2 Türk Boğazlarında Seyir Güvenliğini Etkileyen Diğer Faktörler**

Deniz ve boğazlarda seyir güvenliğini etkileyen çok çeşitli faktörler vardır. Bugüne kadar meydana gelmiş olan deniz kazaları incelendiğinde, kazaların büyük ölçüde aşağıda sıralanmış aynı faktörlerden kaynaklandığı görülmektedir.

a) İnsan hataları : Gemiye kumanda eden kişilerin bilgisizlik, dikkatsizlik, yeteneksizlik gibi sebeplerle yaptığı hatalar olduğu gibi, gemi dışındaki seyirle ilgili hizmet personelinin hataları da olabilir.

b) Doğal etkenler : Fırtına, sis, kuvvetli akıntı gibi etkenler

c) Teknik arızalar : Makine arızası, seyir cihazları arızası veya dümen arızası gibi gemiden kaynaklanan arızalar olabileceği gibi, çevredeki seyir yardımcılarındaki arızalar da olabilir.

## **5.9 İstanbul Boğazı'nda Seyir Güvenliğini Olumsuz Yönde Etkileyen Doğal Koşullar**

İstanbul Boğazı, kanal genişliği bakımından dünyanın en dar doğal suyollarından biridir. Ancak, asıl önemlisi, Boğazlarda, sonraki bölüm başlıklarında da belirtilecek olan olumsuz faktörlerden birkaçının bir arada olmasıdır. Bu olumsuzluklar Boğaz'ı, kendisinden daha dar olan kanal ve doğal suyollarından daha tehlikeli hale getirmektedir.

### **5.9.1 İstanbul Boğazı'nın Coğrafi Yapısının Seyre Etkisi**

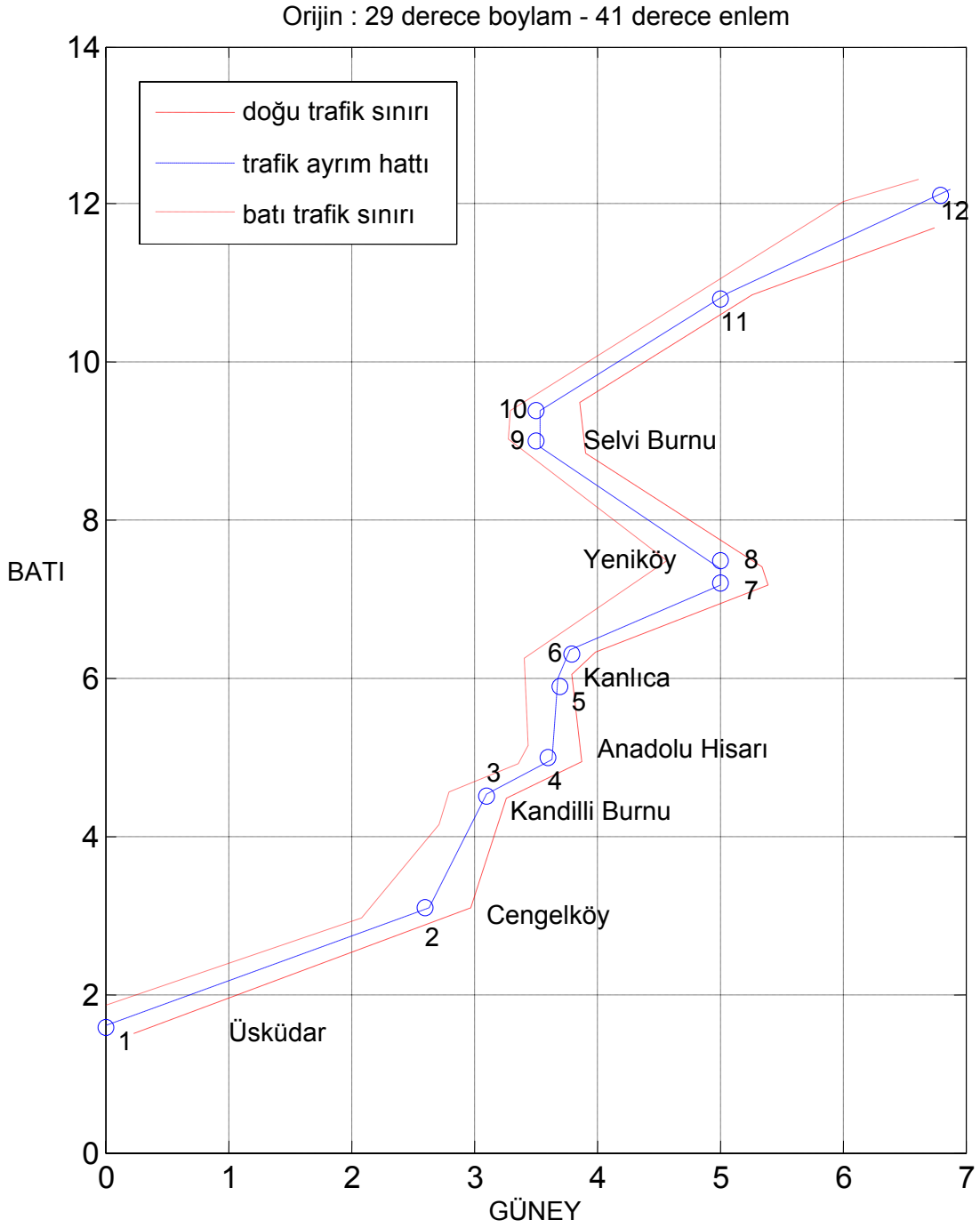
İstanbul Boğazı'nda Kuzey-Güney doğrultusunda ya da tersi yönde seyir yapan bir gemi, en az 12 kez rota değiştirmek zorundadır. Bu dönüşlerden, özellikle, 45° nin üzerinde rota değişikliği gerektiren “Kandilli Burnu” ile “Yeniköy Burnu”, gemilerin dönüş sırasında arka taraflarını görmelerini engellemektedir.

İstanbul Boğazında Marmara'dan Karadeniz'e doğru olan geçişte dönüş noktaları arasındaki rotalar Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.1:** Marmara'dan Karadeniz'e Geçiş Rota ve Rota Değişimleri

<b>Dönüş Noktaları</b>	<b>Rota</b>	<b>Rotadaki Değişim</b>
1 nolu giriş noktası ile 2 nolu dönüş noktası arası rota	51	
2 nolu dönüş noktası ile 3 nolu dönüş noktası arası rota	12	39 (iskele)
3 nolu dönüş noktası ile 4 nolu dönüş noktası arası rota	58	46 (sancak)
4 nolu dönüş noktası ile 5 nolu dönüş noktası arası rota	359 (-1)	40 (iskele)
5 nolu dönüş noktası ile 6 nolu dönüş noktası arası rota	14	15 (sancak)
6 nolu dönüş noktası ile 7 nolu dönüş noktası arası rota	47	33 (sancak)
7 nolu dönüş noktası ile 8 nolu dönüş noktası arası rota	358 (-2)	49 (iskele)
8 nolu dönüş noktası ile 9 nolu dönüş noktası arası rota	325 (-35)	33 (iskele)
9 nolu dönüş noktası ile 10 nolu dönüş noktası arası rota	359 (-1)	34 (sancak)
10 nolu dönüş noktası ile 11 nolu dönüş noktası arası rota	39	40 (sancak)
11 nolu dönüş noktası ile 12 nolu dönüş noktası arası rota	45	6 (sancak)

Ayrıca, özellikle boylu gemilerin baş ve kıçlarının akıntıdan aynı anda farklı yönde etkilenmeleri, bu gemilerin savrulmalarına yol açmaktadır. Özellikle Kandilli'de boylu gemiler için bir başka sorun da yan yana geçiş durumunda yeterli alan bulunmamasıdır. Yukarıdaki tabloda bahsedilen dönüş noktaları bölgeleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.1 : İstanbul Boğazı Dönüş Noktaları**

### 5.9.2 İstanbul Boğazı'nda Akıntının Seyre Etkisi

İstanbul Boğazı'nda üst akıntılar, orkoz ve kuvvetli rüzgarın oluşturduğu akıntılar hariç, genel olarak Kuzeyden Güneye doğrudur.

Kuzeyden gelen gemi Marmara'ya çıkana kadar arkadan gelen akıntının etkisi altında kalır. Dönüş noktalarında ise kıvrımların keskinliğine bağlı olarak geminin başı ve

kıçı aynı anda farklı kuvvet ve yöndeki akıntının etkisi altında kalacaktır. Akıntı ile geminin aynı yönde olması durumunda geminin hızı artacağı için karaya oturma veya karşı şeride geçerek gelen bir gemi ile çatışma tehlikesi daha fazladır. Ayrıca kıçtan veya kıç omuzluktan gelen akıntının etkisi altında kalan gemiler burunları dönerken daha hızlı giderek ve daha fazla dümen açısı ile dönerek akıntıyı yenmeye çalışırlar. Bu manevra ile ister istemez trafiğin karşı şeridine savrulurlar.

Boğazlar'da meydana gelen kazalar incelendiğinde çoğunlukla Karadeniz'den Marmara'ya gelen gemilerin kazaya uğradıkları görülür. Bu olaylarda akıntının etkisi oldukça fazladır. Güneye doğru inen gemilerin Kuzeye çıkan gemilerden daha sıklıkla kaza yapmaları akıntının etkisini ortaya koymaktadır.

### **5.9.3 Meteorolojik Olayların Seyre Etkisi**

İstanbul Boğazı'nda meteorolojik olaylardaki değişimler seyir güvenliğini iki şekilde etkilemektedir ;

- a) yağış ve özellikle sis nedeniyle görüşün azalması. Rüzgar kuvvetinin artması ile rüzgarın doğrudan gemiler üzerindeki etkisi.
- b) kuvvetli rüzgarın, akıntının yönünü ve hızını değiştirmesi.

boğaz'da meydana gelmiş deniz kazalarının kayıtları incelendiğinde, birçok kazanın sis, kar veya yağmur nedeniyle görüş uzaklığının yarım mil ve altına düştüğü zamanlarda meydana geldiği görülmektedir.

### **5.9.4 İstanbul Boğazı'nda Seyir Güvenliğini Olumsuz Yönde Etkileyen Diğer Koşullar**

İstanbul Boğazı'nın coğrafi yapısının yanı sıra, asma köprüler ve enerji nakil hatları gibi bazı yapılar da Boğazlarda seyri etkilemektedirler.

İstanbul Boğazı'nda, "Boğaz Köprüsü" ve "Fatih Sultan Mehmet Köprüsü" olmak üzere iki asma köprü bulunmaktadır. Enerji nakil hatlarının bir tanesi Bebek-Kandilli arasında, diğeri Rumelikavağı- Anadolukavağı arasındadır. Bu hatlar vasıtasıyla Boğaz'ın iki yakası arasında yüksek gerilim iletimi yapılmaktadır. Enerji nakil

hatları, gemilerin radarlarında, tam pruvada bir başka gemi varmış gibi "yalancı eko" oluşmasına neden olabilirler.

İki kıyı arasında yolcu taşımacılığı yapan yolcu motorları, Boğaz'dan emniyetle geçebilecek bilgi ve beceriye sahip olmamalarına karşın, kılavuzluğun zorunlu olmamasını nedeniyle, gerek kendi istekleriyle, gerek şirketin baskısıyla kılavuz almadan geçen gemiler, eksik donanımlı, arızalı yada çok eski oldukları halde Boğaz'dan geçiş yapan gemiler de İstanbul Boğazı'nda seyir güvenliğini olumsuz etkilemektedirler.

### **5.9.5 Yerel Trafiğin Etkisi**

Bölgesel deniz trafiği içerisinde seyir güvenliği bakımından en çok dikkate değer olanları, İstanbul'un iki yakası arasında günlük yolcu taşınması yapan feribotlar (şehir hatları gemileri, yolcu motorları) ile özellikle yaz aylarında sayıları artan amatör tekneler, yatlar ve kotralardır.

### **5.9.6 Seyir Yardımcılarının Etkisi**

İstanbul Boğazı'nda çevresel seyir yardımcıları bakımından, seyir ile ilgili bilgi aktarımının geliştirilmesine gerek bulunmaktadır. Bu kapsamda, fenerler gibi, klasik seyir yardımcılarının durumunun gözden geçirilmesi, istikamet fenerleri yerleştirilmesi, mevcut fenerlerin güçlerinin artırılarak Boğazın giriş ve çıkışlarında tesis edilmesi yararlı olabilecektir.

### **5.9.7 İstanbul Boğazı'nda Seyir Yapan Gemilerin Teknik Yetersizlikleri**

İstanbul Boğazı'nın karşı karşıya olduğu tehlikelerden biri de, eksik donanımlı yaşlı gemilerin geçişleridir. İstanbul Boğazı'nda bugüne kadar meydana gelen kazaların bir kısmı makine, dümen veya diğer bir donanımda ortaya çıkan arızalar nedeniyle olmuştur.

### **5.9.8 Trafiğin Yapısı**

İlk kez 01/07/1994 tarihinde yürürlüğe giren, bilahare gözden geçirilerek 6 Kasım 1998 tarihinde yeniden yayınlanan Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü ile getirilen Rapor Sistemi ve Trafik Ayrım Şeritleri seyir emniyetini önemli ölçüde



arttırmıştır. Ancak, Türk Boğazlarında, özellikle büyük ve petrol dahil tehlikeli madde taşıyan gemi geçişlerinde seyir güvenliğinin ilave önlemlerle geliştirilmesi önem taşımaktadır.

### **5.10 İstanbul Boğazında Mevcut Durum**

#### **a) İstanbul Boğazı'nda Yerel Trafik Yoğunluğu**

İstanbul Boğazı'nda seyir güvenliğini olumsuz yönde etkileyen önemli faktörlerden bir diğeri de karşıdan karşıya geçiş yapan gemilerin oluşturduğu şehir içi yerel trafiğin yoğunluğudur. İstanbul Boğazı'nda iki kıyı arasında karşılıklı sefer yapan Şehir Hatları Taşımacılığı, Deniz Otobüsleri, Özel Yolcu Motorları, Balıkçı Tekneleri, Gezinti ve Spor Tekneleri ile Askeri Gemiler yoğunluğa neden olmaktadır.

#### **b) Şehir Hatları Taşımacılığı**

İstanbul Boğazı'nda iki kıyı arasında yapılan taşımacılık, Türkiye Denizcilik İşletmeleri Şehir Hatları İşletmesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Şehir Hatları İşletmesi yaklaşık 100 gemilik filo ile Boğaz kıyısında 17, diğer yerlerdekiyle beraber toplam 49 iskelede hizmet vermektedir. Şehir hatlarına ait gemilerin Boğaz'da karşıdan karşıya yaptıkları sefer sayısı günlük 800'ün üzerindedir.

#### **c) Deniz Otobüsleri ile Yapılan Taşımacılık**

İstanbul Boğazı'nda gemilerin karşıdan karşıya geçiş yaptığı bir diğer hat İstanbul Deniz Otobüsleri'nin (İDO) hattıdır. Bu hat özellikle Karaköy-Eminönü-Kadıköy arasındaki bölgede uluslararası sefer yapan gemilerle karışarak trafiği yoğunlaştırır. Günlük olarak yapılan seferlere göre, Trafik Ayrım Düzeni içinden geçen gemilerin sefer sayısı 125'dir. Deniz Otobüsleri 25-30 deniz mili hız ile Boğazlar bölgesinde en hızlı seyir yapan gemilerdir. Seferler sabah 06.00 ile akşam 21.00 arasında yapılmakta olup yoğunluk gündüz vakitlerindedir.

#### **d) Gezi Amaçlı ve Yolcu Taşıyan Motorlu Gemiler**

İstanbul Boğazı'nda taşımacılık, S.S. Gezi ve Motorlu Taşıyıcılar Kooperatifi'ne ait tekneler tarafından yapılmaktadır. Bu kooperatif toplam 60 civarında tekne ile Üsküdar-Eminönü-Karaköy, Kadıköy-Haydarpaşa-Eminönü ve yaz mevsiminde Eminönü-Adalar, Karaköy-Adalar hatlarında çalışmaktadırlar. Ayrıca Bebek ile Anadolu Hisarı arasında çalışan 4-5 adet dolmuş motoru daha vardır.

#### **5.11 Kılavuzluk Hizmetleri**

**a)** Türk boğazlarındaki kılavuzluk hizmetleri özelleştirme kapsamındaki TDİ'ye bağlı Boğazlar ve Marmara Kılavuzluk Hizmeti Müdürlüğü bünyesindeki Kılavuz Kaptanlarla verilmektedir. Kılavuz Kaptanlar Boğazlar'da seyir güvenliği bakımından önemli görev ifa etmektedirler.

İstanbul Boğazında biri Tellitabya, diğeri Harem'de olmak üzere iki pilot istasyonu bulunmaktadır. Bunlardan Harem pilot istasyonunun, gerek liman girişine hakimiyet, gerekse kılavuz indirme/bindirme yerine olan mevki, mesafelerde avantaj sağlamak amacıyla Kadıköy İnci burnu mevkiine nakledilmesi planlanmaktadır.

İstanbul Boğazı Kuzey girişinde ise Tellitabya pilot istasyonunun mevki, kılavuz alma yerine göre çok Güneyde ve Boğazın içerisindedir. Gerek zaman, gerekse İstanbul Boğazı Kuzey girişinin hakim Kuzey rüzgarlarının oluşturduğu olumsuz deniz durumu dikkate alındığında, pilot istasyonundan kılavuz alma yerine intikalde güçlükler yaşanabilmektedir. Bu nedenle pilot istasyonu mevkiinin Çalı Burnu-Fil burnu hattının altına alınması gerekli görülmektedir.

Pilot motorları her istasyonda 2 adet bulunacak şekilde serviste tutulmaktadır. Bunlar 9-10 mil sürat yapan küçük motorlar olup, kılavuz alma, indirme yerlerine intikalde, gerek zamandan tasarruf edilmesi, gerekse denize uygunluklarının geliştirilmesi amacıyla, orta vadede daha süratli ve denize dayanıklı teknelerle değiştirilmelerinde yarar görülmektedir.

Türk Boğazlarından uğraksız geçen gemilerin kılavuz kaptan alma oranları giderek artış göstermekle birlikte henüz düşük boyuttadır.

b) İstanbul Boğazından 2005 yılında geçiş yapan 54.794 gemiden, 24.494 adedi (%45'i) kılavuz kaptan almıştır. Bu duruma göre, ayda ortalama 2.041 gemi, günde ortalama 68 gemi kılavuz kaptan almıştır. Bahse konu gemi geçişlerinin % 18' i, 150 metrenin üzerindeki kritik ve 200 metrenin üzerindeki büyük gemi statüsündeki gemilerdir.

2002 yılında geçiş yapan gemilerin boylarına göre dağılımı Tablo 5.2'de gösterilmiştir [90].

**Tablo 5.2:** 2002 Yılında Geçiş Yapan Gemilerin Boylarına Göre Dağılımı

Gemi Boyu (L)(metre)	Tehlikeli yük taşıyan	Diğer	Toplam
L > 300	1	0	1
250 < L < 300	642	153	795
200 < L < 250	1430	787	2217
150 < L < 200	1993	4550	6543
100 < L < 150	1566	16144	17710
L < 100	1795	18222	20017
<b>TOPLAM</b>	<b>7427</b>	<b>39856</b>	<b>47283</b>

Aynı dönemde geçiş yapan tehlikeli yük (ham petrol, petrol türevi, LPG, kimyasal ürün) taşıyan gemilerin (tankerlerin) Kılavuz Kaptan alma yüzdeleri, gemilerin boyları büyüdükçe artmaktadır. Boyları 150-200 metre arasındaki gemilerin yüzde 90'ı , 200-250 metre arasındaki gemilerin ise, yüzde 97'si kılavuz kaptan almıştır. Bu durum, Boğaz'da seyir güvenliği açısından nispeten olumlu bir husus olarak değerlendirilmektedir.

2002 yılında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin tiplerine göre Kılavuz Kaptan alma oranları Tablo 5.3'de gösterilmiştir [90].

**Tablo 5.3:** 2002 Yılında Geçiş Yapan Gemilerin Kılavuz Alma Oranları

Gemi Tipi	Toplam geçen	Kılavuz alan	%
Yolcu Gemisi(MPR)	1591	1514	95
Likit Petrol Gazı (LPG)	545	466	86
Dökme Yük	4026	3114	77
Dondurulmuş Gıda (REEFER)	420	318	76
Konteyner Gemisi	1654	1178	71
Ham Petrol Tankeri	6022	4183	69
RO-RO	294	179	61
Kimyasal Tankerler	860	289	34
Kuru Yük	30805	8290	27
Diğer	1066	374	35
<b>TOPLAM</b>	<b>47283</b>	<b>19905</b>	<b>42</b>

### 5.12 İstanbul Boğazında Gemi Trafik Hizmetleri (GTH)

Türk Boğazları'nda güvenli gemi geçişini sağlamak amacıyla hazırlanan ve Dünya Denizcilik literatüründe “Vessel Traffic Services (VTS) “ olarak bilinen Gemi Trafik Hizmetleri (GTH) projesinin, Türk Boğazları için kullanımına 1 Ocak 2004 tarihinde başlanmıştır. GTH sisteminde faydalanmak üzere, İstanbul Boğazında 8, Çanakkale boğazında 5 istasyon mevcuttur ve GTH ile bu istasyonlardan çok sayıda gemi/araç izlenebilmektedir. Geçiş yapan gemilerin kendi trafik ayırım düzeni içerisinde seyir yapmasının sağlanması ve olası bir çatışma ve kazayı önlemek amacıyla uyarılması, GTH merkezinde bulunan ve uzak yol kaptanlığı yapmış sertifikalı operatörler tarafından gerçekleştirilmektedir. GTH Personeli uluslararası IALA ( International Association of Marine aids to Navigation and Lighthouse Othorities ) adlı kuruluş tarafından sertifikalandırıldıktan sonra görev yapabilmektedirler. GTH'nin IALA'daki tanımı : “GTH, yetenekli uzmanlarca, güvenli ve hızlı seyir sağlamayı ve çevreyi korumayı sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir ” olarak ifade edilmektedir [85] . GTH in amacı özellikle dar ve yoğun su kanallarında, geçiş yapan geminin monitör üzerinden aktif olarak izlenmesini sağlamak ve gemiye seyir tavsiyeleri vermektir. GTH sistemi , gemi çatışma ve çarpışmalarını önlemek, su kanalı içinde ve limana yaklaşırken gemiye yardımcı olacak geniş çaplı teknik

kabiliyetlerle donatılmıştır. Özellikle görüşün azaldığı durumlarda GTH in önemi daha iyi anlaşılmaktadır. [88]

200 m den uzun gemiler trafik ayırım düzeni içinde, ilave emniyet tedbirleri almadan kendilerine tahsisli trafik ayırım şeridi içinde seyretme imkanına sahip değildir. Son zamanlarda,boğazlardan emniyetli geçişten bahsedildiğinde ilk akla gelen , gemilerin kılavuz kaptan alarak geçişleri olmaktadır. Bu eksik bir yaklaşımdır. Kılavuz kaptanın emniyetli seyir sağlanmasındaki rolü asla küçümsenmemelidir ancak, kılavuz kaptanın kazaları bire bir önlemeye yeterli olmadığı açıktır. Kılavuz kaptan ilave emniyet tedbirlerini içeren bir paket içinde değerlendirilmelidir.

Dünyada birçok dar su yolunda GTH sistemi kullanılmaktadır. Arjantin, Avustralya, Benin, Bermuda, Canada, Çin, Hong Kong, Taywan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Japonya, Hollanda, Norveç, Polanya, Rusya, Singapur, İsveç, Türkiye, Ukrayna, İngiltere, Amerika B.D. gelişmiş GTH sistemi kullanan ülkelerden bazılarıdır. Dünyada genelinde bulunan GTH Merkezi sayısı toplamının yaklaşık 120 civarında olduğu bilinmektedir ve her geçen gün sayıları artmaktadır. GTH merkezi en fazla bulunan ülke Almanya olarak gözlenmektedir. Türkiyede ise İstanbul ve Çanakkale boğazlarında olmak üzere iki GTH merkezi bulunmaktadır [91].

### **5.12.1 GTH' nin gerekliliği**

İstanbul ve Çanakkale Boğazı ile Marmara Denizi'nden oluşan ve Türk Boğazları olarak tanımlanan bölge, yoğun bir ulusal ve uluslar arası deniz trafiği nedeniyle can, mal ve çevre güvenliği bakımından büyük risklerle karşı karşıya bulunmaktadır. [88,89]

Söz konusu bölgede deniz trafiğinin düzenlenmesi, seyir güvenliğinin sağlanması ve dolayısı ile can, mal ve çevre emniyetinin korunması amacı ile 1980'li yılların sonunda başlatılan çalışmalar tamamlanarak hazırlanan “Boğazlar ve Marmara Deniz Trafik Düzeni Hakkındaki Tüzük” 01.07.1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. (Bu tüzük 1998 yılında birtakım değişiklikler yapılarak uygulamaya yeniden konulmuştur.) Tüzükle boğazlarımızda uygulamaya konulan yeni düzenin en önemli tarafı; imzalandığı 1936 yılından bu yana uygulanan Montreux sözleşmesinin

ruhuna aykırı olmamasıdır. Söz konusu tüzükle beraber her iki boğazda deniz trafik kontrol istasyonları kurulmuş, alınan diğer teknik önlemlerle birlikte trafiğin günden güne yoğunlaşarak risk faktörünü de artırdığı boğazlarımızdaki gemi kazalarında neden ve sonuç itibarıyla önemli ölçüde azalmalar olduğu görülmüştür. Türkiye için hayati öneme haiz bu bölge, devamlı bir artış gösteren ve özellikle tehlikeli yük taşıyan gemi trafiğinden kaynaklanan büyük bir risk altındadır. Bölgede GTH devreye girmeden önce varolan seyir imkanları ;

- a) Trafik ayırma düzeni (TAD)
- b) Deniz fenerleri
- c) Işıklı şamandıralar
- d) Kılavuzluk hizmeti
- e) Denizcilik yayınları, hava durumu ikazları
- f) Gemi rapor sistemi ve durum raporlarından

ibaret olup, mevcut sistem genelde ses haberleşmesine dayanmaktaydı. Sistem elle ve verimsiz olup, gemilere tavsiyelerde bulunmakta, TAD ve seyir kurallarını uygulama imkanından yoksundu. Diğer bir ifadeyle, hali hazırda bu bölgede, söz konusu kritik gemi trafiğini kontrol edebilecek ve yönetebilecek yeterli bir imkan yoktu. Bu bakımdan bu bölgede, deniz trafik düzenine ilişkin ulusal tüzüğümüz ve Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) kural ve kararları çerçevesinde, gelişen teknoloji ürünlerinden istifade ile gemi seyir güvenliğini sağlayacak, gemi trafik verimini artıracak ve çevreyi koruyacak bir geçiş sisteminin acilen tesisine ve hizmete verilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Artan tanker ve gemi trafiği, Montrö sözleşmesi ile (IMO) kural ve kararları “Gemi Trafik Hizmetleri (GTH)’ nin teminini uluslararası açıdan da zorunlu kılmıştır.

Gemi Trafik hizmetlerini gerekli düzeyde sağlayabilecek modern bir “Gemi Trafik Yönetim ve Bilgi Sistemi”nin (GTYS) tesisini gerektiren faktörler ;

- a) Yüksek trafik yoğunluğu,
- b) Tehlikeli yük taşımacılığı,
- c) Artan gemi boyları,
- d) Karmaşık trafik yapısı,
- e) Güç hava,deniz, akıntı ve iklim şartları,
- f) Hassas çevre koşulları,
- g) Mahalli tehlikeler,
- h) Gemi trafiğini etkileyen diğer denizcilik faaliyetleri,
- i) Artış gösteren deniz kazaları,
- i) Komşu sularda mevcut veya planlanmış gemi trafik hizmetleri ve komşu ülkelerle işbirliği ihtiyacı,
- j) Gemilerin ilerlemesini kısıtlayan dar su geçitleri, liman konfigürasyonu, köprüler ve benzeri unsurların bulunuşu,
- k) Bölgedeki liman ve terminallerdeki gelişmelerden kaynaklanan halihazır veya gelecekte öngörülen trafik düzeni değişiklikleridir.

Boğazlar bölgesi yukarıda belirtilen hususların yaklaşık %90'nını içermesi nedeniyle, modern bir GTH tesisinin en zorunlu olduğu bölgelerden biridir. Bu olumsuz etkenlerden dolayı Boğazlar bölgesinde meydana gelen ciddi kazalar seyir güvenliğini ve çevreyi tehdit etmekte, can ve mal kaybına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. İstanbul ve Çanakkale Boğazları ve her iki boğazın giriş çıkışları içinde tesis edilmiş ve edilecek "Trafik ayırım düzenleri (TAD)" içerisinde seyir emniyetini ve verimini artırmak, can, mal ve çevreyi korumak üzere "Gemi Trafik yönetim ve Bilgi Sistemi(GTYBS)" teşkil edilmiştir.

### **5.12.2 GTH'nin yapısı ve faydaları**

Türk Boğazlarındaki her türlü gemi hareketi, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki Gemi Trafik Hizmetleri Merkezlerinden izlenebilmekte, gerektiğinde kontrol ve yönlendirme yapılabilmektedir. Sistem her geminin hareketini bağımsız olarak izlediği gibi gemilerin birbirlerine göre hareketlerine de duyarlıdır. Yakın geçiş, yakın takip, çarpışma, karaya oturma riski operatörler tarafından algılanarak gerekli uyarı yapılabilmekte, tüm bu aktiviteler kayıt altına alınabilmektedir. Türk Boğazları

Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü hükümleri tamamen uygulanabilmektedir. Ancak halihazırda, Ülkemizde ve dünyada kullanılan GTH (VTS) Sistemlerinde, geminin birkaç dakika sonra bulunacağı yeri öngörerek erken uyarı yapan bir sistem bulunmamakta ve uyarı daha önce bahsedilen sertifikalı operatörler tarafından yapılmaktadır. Doktora tezinin konusu olan ve olası bir kazayı önceden haber verecek olan erken uyarı sisteminin GTH yetkilileri ve operatörlerince faydalı olacağı, İstanbul İstinye’da bulunan GTH merkezinde yapılan deneyler sonucunda ifade edilmiştir.

Aşağıda sıralanan GTH Sisteminin boğazlar bölgesindeki deniz trafiğine katkısı incelendiğinde geçiş yapan geminin yerinin önceden bilinmesinin sağlayacağı faydalar da daha iyi anlaşılabilir. Gemi personelinin ihmal yada hatasından kaynaklanabilecek kaza riski, GTH operatörleri tarafından gemi personeline bildirilmesi ile önlenmektedir. Ancak buradan anlaşılacağı gibi, kaza riski köprüstü ve GTH personelinin ihmali ve hatası ile artacaktır. Gemi personeli ile her ne kadar sertifikalı ve işinin en iyileri olsalar da GTH operatörünün ihmali ve hataları yani insandan kaynaklanabilecek hataların minimuma indirilmesi Doktora tezinin ana amacıdır.

### **5.12.3. GTH Sisteminin Boğazlar Bölgesindeki Deniz Trafikine Katkısı**

- a) Boğazlarda güvenli bir gemi trafiğini düzenli olarak sağlamak,
- b) Gemi seyir emniyetini, gemi kaptanının sorumluluğunu esas alarak, etkin bir şekilde sağlamak,
- c) Gemilere acil durumlarda gerekli ikaz ve tavsiyelerde bulunmak,
- d) Sorumluluk sahasındaki gemi trafiğinin “Trafik görüntüsünü” tesis ve idame etmek ve bu bilgileri talep eden gemilere aktarmak, bu amaçla kullanılacak seyir bilgilerini hassasiyetle ölçmek ve kayıtları tutmak,
- e) Gemi trafiği ile ilgili tüm ses, veri, ve görüntülerin kaydını yapmak, gerektiğinde yeniden göstermek,
- f) Boğazlarda gemi trafiği ile ilgili olarak ulusal ve uluslararası mevzuatın getirdiği kural ve usullerin uygulanmasını sağlamak,
- g) Çarpma, karaya oturma gibi deniz kazalarını ve bundan doğacak riskleri asgariye indirmek,



- h)** Kaza vukuunda kazadan doğabilecek olaylara etkin bir şekilde ve süratle müdahale etmek, can ve mal güvenliği, deniz kirlenmesi ve diğer ekonomik kayıpları asgariye indirmek ve trafiğin en kısa zamanda güvenle devamını sağlamak,
- ı)** Geçiş yapan gemilerle ilgili ulusal kuruluşların ihtiyacı olan kayıt ve bilgileri bu kuruluşlara aktarmak,
- i)** Boğazlardaki gemi trafiği ile bunu etkileyebilecek bilgileri, isteyen gemi, kuruluş ve limanlara aktarmak,
- j)** Kaza riskini asgariye indirmek için, gemi kaptanlarının seyir ile ilgili kararlarına yardımcı olabilecek gerekli bilgileri zamanında temin etmek,
- k)** Gemi ile “ Boğazlar Trafik Kontrol Merkezleri” arasındaki sesli muhabereyi asgaride tutmak veya mümkünse tamamen ortadan kaldırmak ( sessiz GTH ),
- l)** Sistemin muhabere olanaklarının, Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın görevlerini yapmakta kullanılabileceği yapıda olmasını sağlamak,
- m)** Boğazlardaki gemi trafiğini her türlü çevre şartında, gece ve gündüz devamlı olarak yüksek bir hassasiyet ile izlemek ve desteklemek,
- n)** Gemilerde özel cihaz ihtiyaçlarını asgariye indirmek, gemilerin mevcut cihaz, imkan ve kabiliyetleri dışında kalan hizmetleri sağlayabilmek, olarak sıralanabilir.

#### **5.12.4 GTH'nin Görev ve Sorumlulukları**

- a)** Türk Boğazlarındaki deniz trafiğini her türlü çevre şartlarında, gece ve gündüz devamlı olarak yüksek bir hassasiyet ile izlemek,
- b)** Servis ve sorumluluk alanındaki deniz trafiğinin emniyetini sağlamak, arttırmak,
- c)** Gemi seyir emniyetini, gemi kaptanının sorumluluğunu esas alarak, etkin bir şekilde sağlamak, arttırmak,
- d)** Sorumluluk sahasındaki deniz trafiğinin “trafik görüntüsünü” tesis ve idame etmek ve bu bilgileri gerekli durumlarda gemilere aktarmak, bu amaçla kullanılacak seyir bilgilerini hassasiyetle ölçmek ve kayıtları tutmak,
- e)** Deniz trafiği ile ilgili tüm ses, veri, ve görüntülerin kaydını yapmak, gerektiğinde yeniden göstermek,
- f)** Türk Boğazlarında deniz trafiği ile ilgili olarak ulusal ve uluslararası mevzuatların uygulanmasını sağlamak,

- g) Kaza vukuunda, etkin bir şekilde ve süratle müdahale edilmesini sağlamak, can ve mal güvenliği, deniz kirlenmesi ve diğer ekonomik kayıpları asgariye indirmek ve trafiğin en kısa zamanda güvenle devamını sağlamak,
- h) Geçiş yapan gemilerle ve bölgeyle ilgili kayıt ve bilgileri yönetmelikler çerçevesinde ilgili kurum ve kuruluşlara aktarmak,
- ı) Kaza riskini asgariye indirmek için, gemi kaptanlarının seyir ile ilgili kararlarına yardımcı olabilecek gerekli bilgileri zamanında temin etmek, acil durumlarda gerekli uyarı, tavsiye ve talimatları vermektir.

### **5.12.5 GTH Sisteminde Verilen Hizmetler**

TBGTH alanındaki deniz trafiği radar, AIS, kapalı devre televizyon kameraları, ENC, VHF cihazları (RT, DSC, DF) kullanılarak izlenir. TBGTH ayrıca, katılımcı gemileri ilgilendiren seyir yardımcılarının bilgilerini, seyre etki edecek tehlikeleri ve olası gemi hareketlerini değişik kaynaklardan elde eder. Verilen hizmet 3 alt başlık altında toplanabilir ;

#### **5.12.5.1 Bilgi Hizmeti**

- a) Deniz Trafiği bilgisi
- b) Gemilerin diğer gemilere göre mevki bilgisi
- c) Bilgi verilen gemiye göre diğer gemilerin mevkileri, rota ve yere göre hız bilgisi
- d) Diğer gemilerin olası hareketlerinin bilgisi
- e) Denizcilere uyarılar
- f) Hidro-Meteorolojik bilgi
- g) Seyir yardımcılarının durumu hakkında rapor edilen bilgiler
- h) TBGTH tarafından gerekli görülen diğer bilgiler

#### **5.12.5.2 Seyir Yardımı Hizmeti**

Seyir yardımı hizmeti zor seyir ve meteoroloji koşullarında, geçiş sırasında arıza veya bir eksiklik söz konusu olduğu durumlarda, gemi kaptanı tarafından talep edildiğinde veya TBGTH operatörü tarafından gerekli görüldüğünde verilecektir.

TBGTH operatörü gemilere aşağıdaki bilgileri sağlayarak gemi kaptanının, gemisinin seyir emniyetiyle ilgili kararını oluşturmaya katkıda bulunabilir:

- a) TAD içinde gemilerin emniyetli seyir yapabilmelerini sağlamak için pozisyon bilgisinin aktarılması
- b) Çevresindeki diğer gemilerle ilgili bilgi verilmesi
- c) Oluşabilecek tehlikeli durumlarla ilgili uyarılar

Seyirle ilgili yardımın başlangıcı ve sonu (tarih/saat), gemi ve TBGTH tarafından açık bir şekilde mutabakatla kayıt altına alınmalıdır.

### **5.12.5.3 Trafik Organizasyon Hizmeti**

- a) Geminin Seyir Planı, İstanbul ve Çanakkale Boğazı'na giriş izni, tarihi ve zamanı,
- b) Geminin seyir planındaki olası bir değişiklik,
- c) Boğazlara giriş yapmadan önce gemilere Trafik Yönetim Planıyla ilgili gerekli operasyonel bilgiler,
- d) Boğazlardaki tüm gemilere Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü'ne göre operasyonel bilgiler,
- e) SP1/SP2 raporları TBGTH nin vereceği trafik düzenleme hizmetinin ana kaynağıdır. Bu raporların zamanında ve doğru olarak verilmesi deniz trafik organizasyonunun verimliliğini arttıracaktır.

## 6. SEYİRİN MODELLENMESİ

### 6.1 Problemin Tanımı

İstanbul Boğazından Marmara ve Karadeniz yönlerine geçiş yapmakta olan gemilerin özellikle dönüş noktalarında yapmak zorunda oldukları manevralar nedeniyle daha önceki bölümlerde anlatılan nedenlerden dolayı meydana gelebilecek kaza risklerini en aza indirmek için erken uyarı ve kılavuz olarak görev yapacak sistem geliştirilmesinin amaçlandığı söylenmişti. Bunun yapılabilmesi için geminin, dar sulardan geçiş problemine örnek olarak seçilen İstanbul boğazına girdiği andan itibaren 1 dakika örnekleme zamanı ile alınan enlem ve boylam verileri kullanılarak eğitilen Yapay Sinirsel Ağlar ile her t anında, geminin  $\hat{x}(t+1)$ ,  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+1)$ ,  $\hat{y}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  konumunun öngörülmesi sağlanmıştır.

### 6.2 Veri Toplanması ve Hazırlanması

Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi için kurulacak modelin belirlenmesi için öncelikle daha önce İstanbul Boğazından Marmara ve Karadeniz yönüne geçiş yapan 3 adedi eş gemi olmak üzere 4 adet geminin enlem ve boylam (x,y) , rota ( $\psi$ ), sürat (u) ve zaman (t) bilgileri toplanmıştır. Bu bilgiler 1 dakika örnekleme zamanı ile ve gemi üzerindeki GPS'ten faydalanılarak alınmıştır. İstanbul Boğazında, batı-doğu eksenini (enlem) “x” ve Güney-Kuzey eksenini (boylam) “y” olarak tanımlanmıştır. Boğaz girişinde orijini Boylam  $29^0$  - Enlem  $41^0$  seçilmiştir. Bu nedenle toplanan verilerde  $29^0$  ve  $41^0$  kullanılmasına gerek kalmadığından dakika ve saniye değerleri koordinat bilgisi olarak alınmıştır. İki dönüş noktası arasında referans hat üzerindeki seyir rotası sabit olmasına rağmen gemi, trafik sınırları içerisinde kaldığı sürece rotasında değişimler yapabilir. Geminin  $x[k-1]$ ,  $y[k-1]$  noktasını  $x[k]$ ,  $y[k]$  noktasına birleştiren vektörün yönü geminin rotasını vermektedir. 1 dakika örnekleme periyodunda alınan bu veriler aynı zamanda hız bilgisini de içermektedir. Bu nedenle ağ eğitilirken tercih edilen modelde sadece x,y koordinat verileri dikkate alınmış ve

geminin 3 dakika sonraki yeri öngörülmüştür. Bu konuyla ilgili detaylar aşağıda anlatılmıştır.

### 6.3 Seyirin Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi ve Benzetimi

Pratikte gemi hareketi ve manevrası yüksek atalet ve yavaş cevaba sahip olduğu için daha önce bahsedildiği gibi örnekleme periyodu 1 dakika seçilmiştir. İstanbul boğazı geçişi için izin verilen hız teorik olarak 10 knots olmasına rağmen trafiğin uygun olduğu özellikle tek yönlü geçişlerde 15 knotsa kadar izin verilebilmektedir. 1 dakika seyir sonunda düz bir kerterizde gemi yaklaşık 420 metre yer değiştirmiş olacaktır. İncelenen 120 metre ve daha uzun gemilerin manevra performansı ve İstanbul boğazının coğrafi durumu dikkate alındığında geminin kaza riskinin en aza indirilmesi amacıyla 3 dakika sonra bulunacağı koordinatların öngörülmesinin yeterli olacağı değerlendirilmiştir.

Bu amaçla insan tarafından kumada edilen geminin o anki seyir şartlarındaki  $x[k-5]$ ,  $x[k-4]$ ,  $x[k-3]$ ,  $x[k-2]$ ,  $x[k-1]$ ,  $x[k]$ ,  $y[k-5]$ ,  $y[k-4]$ ,  $y[k-3]$ ,  $y[k-2]$ ,  $y[k-1]$ ,  $y[k]$  koordinat ve  $v[k-5]$ ,  $v[k-4]$ ,  $v[k-3]$ ,  $v[k-2]$ ,  $v[k-1]$ ,  $v[k]$  hız verileri vasıtasıyla 2 ayrı model kurularak Yapay Sinirsel Ağlar eğitilmiş ve gemi seyir karakteristiği öğretilmiştir. Öngörü için ise  $x[k-2]$ ,  $x[k-1]$ ,  $x[k]$ ,  $y[k-2]$ ,  $y[k-1]$ ,  $y[k]$ ,  $v[k-2]$ ,  $v[k-1]$ ,  $v[k]$  ile trafik ayırım düzeninde sınırlar ile merkez hat arasında kalan alanın tam ortasından geçen doğru üzerindeki referans koordinatlar  $x_r[k+1]$ ,  $x_r[k+2]$ ,  $x_r[k+3]$ ,  $y_r[k+1]$ ,  $y_r[k+2]$ ,  $y_r[k+3]$  ve geminin o ana kadar olan ortalama hızı  $v$  verilerinden faydalanarak geminin 1, 2, ve 3 dakika sonraki yeri öngörülmüştür. Yukarıda belirtilen veriler ile 2 farklı model yapısı oluşturularak deneyler yapılmıştır. Yapay Sinirsel Ağların eğitiminde kullanılan modellerin giriş çıkış verileri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Kurulan Model yapıları;

- Model 1:

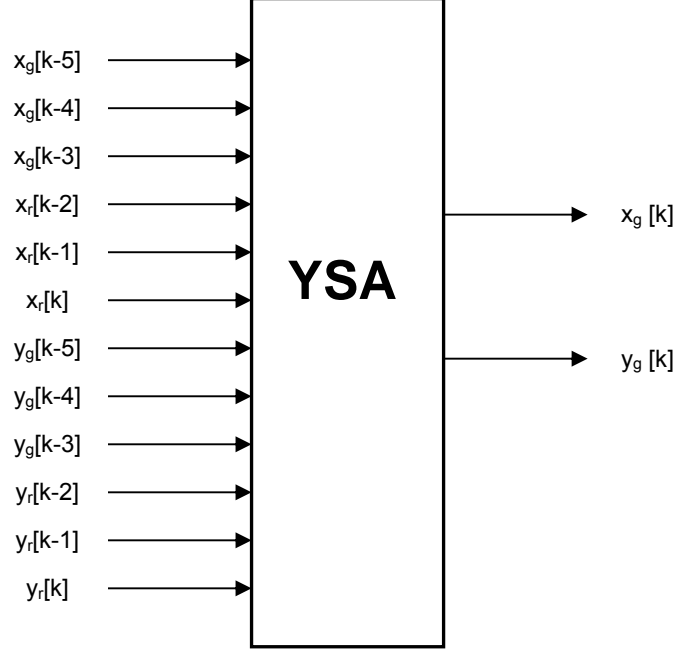
$x_g[k-5]$ ,  $x_g[k-4]$ ,  $x_g[k-3]$ ,  $x_r[k-2]$ ,  $x_r[k-1]$ ,  $x_r[k]$ ,

$y_g[k-5]$ ,  $y_g[k-4]$ ,  $y_g[k-3]$ ,  $y_r[k-2]$ ,  $y_r[k-1]$ ,  $y_r[k]$  giriş vektörleri ve

$x_g[k]$  ve  $y_g[k]$  çıkış vektörleri ile eğitilmiş ve

Eğitilen Yapay Sinirsel Ağı kullanılarak,

$x_g [k-2], x_g [k-1], x_g [k], x_r [k+1], x_r [k+2], x_r [k+3], y_g [k-2], y_g [k-1], y_g [k], y_r [k+1], y_r [k+2], y_r [k+3]$  giriş vektörleri ile geminin  $\hat{x}_g [k+3], \hat{y}_g [k+3]$  konumu öngörülmüştür.



**Şekil 6.1:** Gemiye ait Verilerle Eğitilen YSA Eğitim Modeli -1

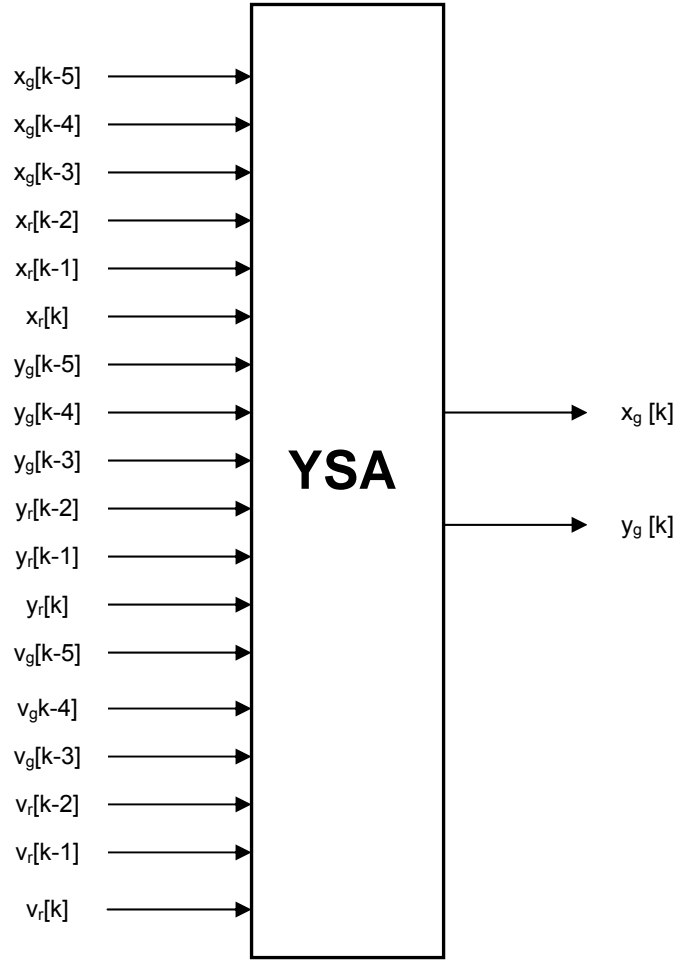
- Model 2:

$x_g [k-5], x_g [k-4], x_g [k-3], x_r [k-2], x_r [k-1], x_r [k], y_g [k-5], y_g [k-4], y_g [k-3], y_r [k-2], y_r [k-1], y_r [k], v_g [k-5], v_g [k-4], v_g [k-3], v_r [k-2], v_r [k-1], v_r [k]$  giriş vektörleri ve,  $x_g [k]$  ve  $y_g [k]$  çıkış vektörleri ile eğitilmiş ve

Eğitilen Yapay Sinirsel Ağı Kullanılarak,

$x_g [k-2], x_g [k-1], x_g [k], x_r [k+1], x_r [k+2], x_r [k+3], y_g [k-2], y_g [k-1], y_g [k], y_r [k+1], y_r [k+2], y_r [k+3], v_g [k-2], v_g [k-1], v_g [k], v_r [k+1], v_r [k+2], v_r [k+3]$  giriş vektörleri ile geminin  $\hat{x}_g [k+3], \hat{y}_g [k+3]$  konumu öngörülmüştür.

Bu modeller ile yapılan deneylerde görülmüştür ki 1 dakika ara ile alınan  $x, y$  koordinat verileri ile referans koordinatları eğitim için yeterli olmuş, 1. model gemiye ait dinamiği çok iyi bir performans ile öğrenebilmiştir. Ağ'ın eğitimi için kurulan ve hız verileri de kullanılan 2. modelin performansının 1. modele göre daha düşük olması nedeniyle, 1. modelin kullanılmasına karar verilmiştir. 1. modelde kullanılan veriler hakkında detaylı açıklama ileride anlatılmıştır.



**Şekil 6.2:** Gemiye ait Verilerle Eğitilen YSA Eğitim Modeli -2

İlgili modellere ait elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir. Bu grafiklerden hız verisi kullanılmadığında daha iyi performans gözlenmektedir. Bu nedenle, koordinat bilgileri mevcut olduğundan ve hızın bu bilgilere bağlı olması nedeniyle hız verisi kullanılmadan Yapay Sinirsel Ağların eğitimi uygun görülmektedir.

Yapay Sinirsel Ağların mimarisinde ise, her iki modelde de tek saklı katman ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. En iyi performansı veren saklı katman ve bu katmadaki nöron sayılarının bulunabilmesi için 1. model kullanılarak benzetimler yapılmıştır. Bu modellerde daha önce elde edilen 4 adet gemiye ait gerçek veriler kullanılmıştır.

Özet olarak ağın eğitimi ve öngörülen çıkışın alınması işlemi 4 aşamada gerçekleştirilmiştir;

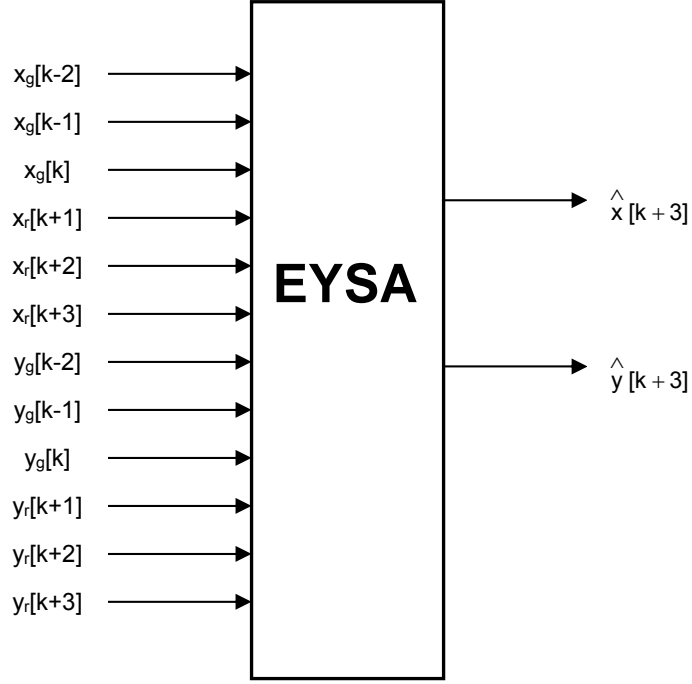
- a) Eğitim için gerekli verilerin toplanması
- b) Ağ yapısının ve modellerin yaratılması
- c) Ağın eğitimi
- d) Yeni girişlerle ağın test edilmesi

#### **6.4 GTH Merkezinde Gerçek Zamanlı İzleme ve 3 Adım Sonraya ait Konum Öngörüsü**

Gerçek zamanlı izleme ve konum öngörüsü için hazırlanan yöntemde daha önce bahsedildiği gibi , Model-1'in kullanılmasına karar verilmiştir. 1. Model ile eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağların giriş ve çıkış verileri Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Gerçek zamanlı konum öngörüsü yapabilmeyen iki seçeneği vardır. Birincisi, gemi ile boğaz geçişi yaparak, gemi seyir yardımcıları yada GPS'ten alınan bilgilerden faydalanmak, ikincisi ise İstanbul GTH Sisteminden faydalanmaktadır. Boğaz geçişinde tehlike riski, özellikle 120 m ve daha uzun ve tehlikeli yük taşıyan gemilerde daha fazla olduğu bilindiğinden, GTH sistemi kullanılarak izleme ve konum öngörüsünün daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Halihazırda doktora tezi ile amaçlanan erken uyarı ve kılavuzluk hizmetinin gerçekleştirilebildiği herhangi bir sistemin İstanbul yada diğer ülkelerdeki GTH sistemlerinde dahil olmadığı tespit edilmiştir. Bu görevin, GTH merkezlerinde bulunan tecrübeli ve sertifikalı operatörlerce yapıldığı daha önceki bölümlerde anlatılmıştı.





**Şekil 6.3:** Konum Öngörüsünde Kullanılan Eğitilmiş YSA Modeli

GTH merkezinde yapılan çalışmada, geçiş yapan gemilerin referans yörünge üzerinde seyir yapmadıkları gözlenmiştir. Rota ve konum öngörüsünde doğru netice alabilmek için referans veri dosyasının da dinamik olması gerekmektedir. Bu nedenle referans veri dosyasına ait  $x_r[k+1]$ ,  $x_r[k+2]$ ,  $x_r[k+3]$  ve  $y_r[k+1]$ ,  $y_r[k+2]$ ,  $y_r[k+3]$  vektörlerinin de geçiş yapan gemiye ait konum ve seyir süratine bağlı olarak 1 dakika örnekleme periyodunda güncellenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu işlem 3 adımda gerçekleştirilmiştir ;

1. Referans veri dosyasındaki x konum bilgilerinin güncellenmesi için ;

$\Delta = x_r[k] - x_g[k]$  farkına göre  $x_r$  referans verileri aşağıdaki şekilde güncellenir.

$$x_r[k+1] = x_r[k+1] - \Delta ;$$

$$x_r[k+2] = x_r[k+2] - \Delta ;$$

$$x_r[k+3] = x_r[k+3] - \Delta ;$$

(6.1)

2. Güneyden Kuzeye geçişte  $y_r$  her adımda artmakta, Kuzeyden Güneye geçişte ise  $y_r$  her adımda azalmaktadır. Bu nedenle Kuzeye geçişte  $y_r[k+1]$ ,  $y_g[k]$ 'den küçük, Güneye geçişte ise  $y_r[k+1]$ ,  $y_g[k]$ 'den büyük olamaz. Geminin 10 knots'tan daha süratli seyir yapması durumunda  $y_r[k+1]$  yerine  $y_r[k+2]$  ve sonraki veriler

kullanılarak referans verisi güncellenmektedir. Yukarıda bahsedilen Őart gerçekleŐmediđi sürece yerine kullanma işlemi tekrarlar. YSA ile öngörünün başarısı referans dosyasının çok iyi hazırlanması ile doğru orantılıdır. Geminin ivmelenmesi de dikkate alınarak hazırlanacak referans veri dosyası ile daha iyi performans gözlenebilir.

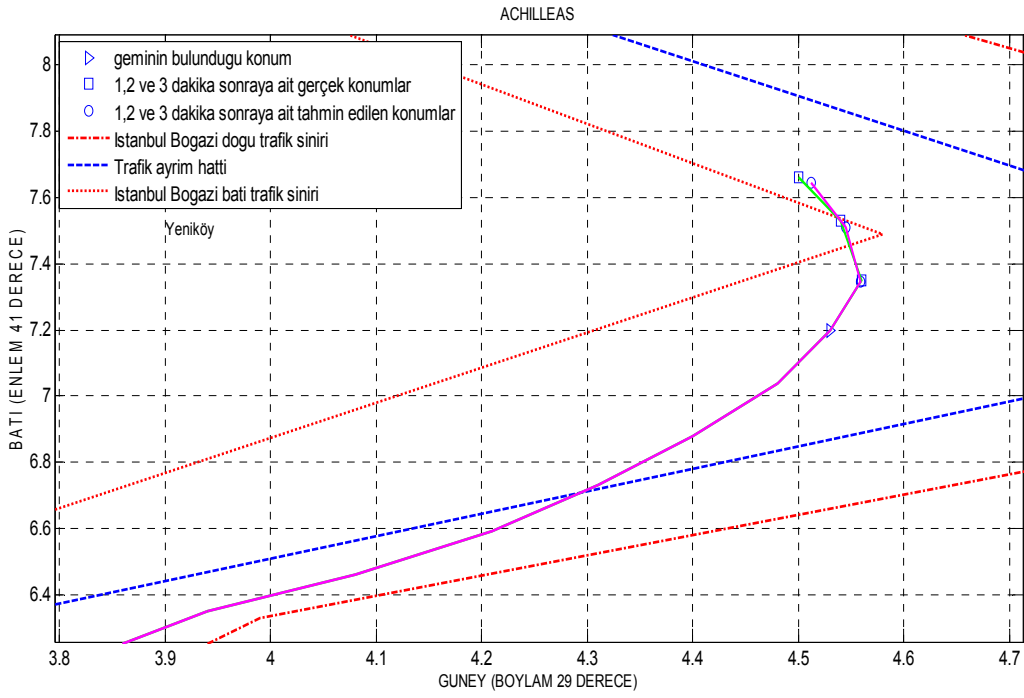
**3.** Her adımda Yapay Sinirsel Ağların eğitimi güncellendiğinden ağırlıklar ile yanlılık değerlerinin de güncellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle her adımda ağırlık değerleri saklanarak bir sonraki adımda başlangıç değerleri olarak verilmektedir.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

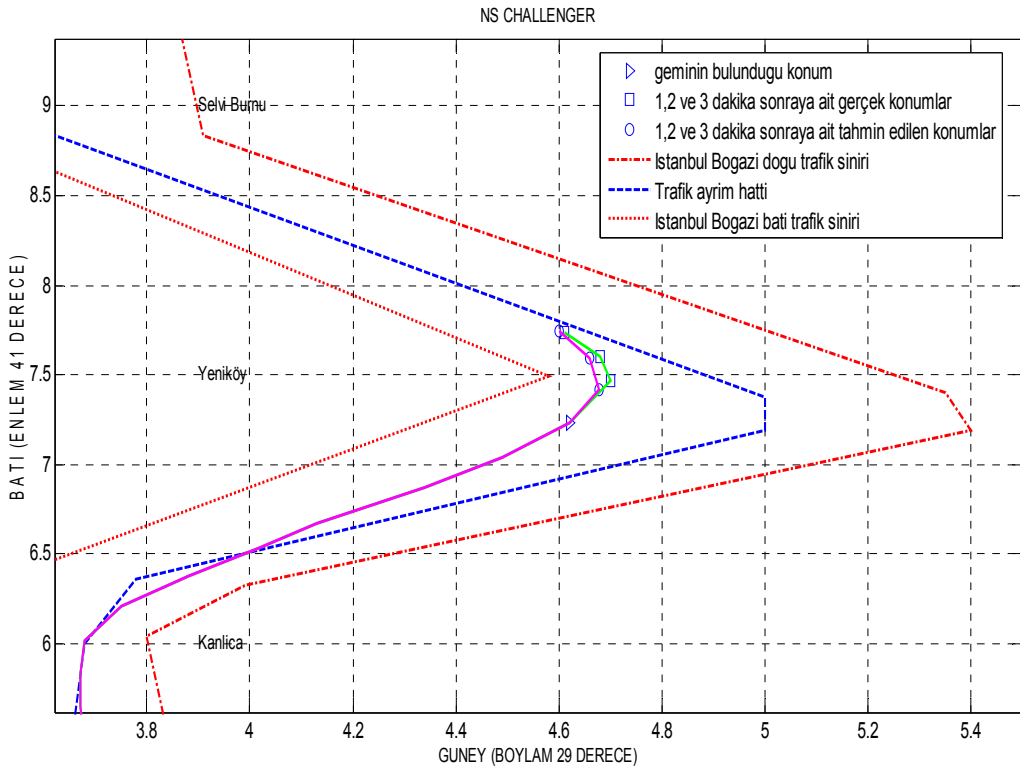
### 7.1 Sonuçlar

Geliştirilen yöntemin gerçek zamanlı uygulamasının yapılması amacıyla İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri (GTH) Merkezi imkanları kullanılarak Boğaz'ı Güney'den Kuzey'e geçen iki adet tanker incelenmiştir. Gerçek zamanlı Eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağlar (EYSA) kullanılarak tankerlerin konum öngörülerini yapılmış elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

İstanbul boğazına Güneyden (Marmara Denizinden ) giren ve Kuzey (Karadeniz) yönüne geçiş yapan NS CHALLENGER adlı 244 metre uzunluğunda, 42 metre genişliğinde 8 metre su çekimi olan, 105.824 dwt kapasiteli bir tanker ile Malta bandıralı ACHILLEAS adlı 170 metre uzunluğunda 26 metre genişliğinde, 29.990 dwt kapasiteli diğer bir tankerin GTH merkezinden izlenerek 1 dakika örnekleme zamanında konum bilgileri veri dosyasına yazdırılmıştır. Model 1'in uygulandığı Yapay Sinirsel Ağı, tankerlerin Üsküdar açıklarından (orijin : 29° boylam, 41° enlem) boğaz'a girmesiyle alınan veriler ile (7. veriden itibaren) eğitime başlanmıştır. Konum öngörüsü özellikle dönüş manevrası yapılan bölgelerde daha zor, düz rota üzerinde seyrederken daha kolay olmaktadır. Kuzey yönünde boğazda bulunan ilk dönüş noktası Çengelköy bölgesidir. Her iki tankerin de bu bölgede dönüş yapmaması, ağın dönüş'e yönelik eğitilmesini geciktirmiştir. Kandilli bölgesinde yapılan dönüş manevraları ile çizilen yörünge üzerinden alınan veriler ağın dönüş'e yönelik eğitiminin gerçekleşmesini sağlamış ve Kandilli dönüşüyle ağın eğitiminin tamamlandığı gözlenmiştir. ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy bölgesi (44. dakika) öngörüsü ve gerçek konumu Şekil 7.1, CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy bölgesi (36. dakika) öngörüsü ve gerçek konumu Şekil 7.2 de gösterilmiştir.



**Şekil 7.1 : ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (44. dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



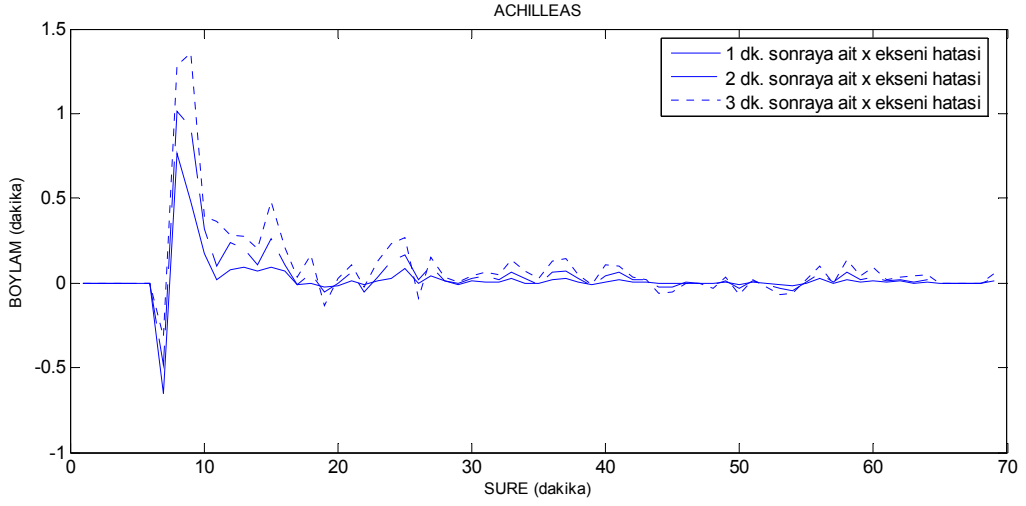
**Şekil 7.2 : CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (36. dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**

Tankerlerin konum öngörüsüne ait diğer grafikler sıralı olarak Şekil A.2 - A.9 ve Şekil B.2 - B.9'da verilmektedir. Bu grafiklerde karşılaştırma yapabilmek için Eğitilmiş Yapay Sinirsel Ağlarıyla öngörülen  $\hat{x}(t+1)$ ,  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+1)$ ,  $\hat{y}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  konumları ile geçiş tamamlandıktan sonra gerçekten buldukları konumlar  $x_g(t+1)$ ,  $x_g(t+2)$ ,  $x_g(t+3)$  ve  $y_g(t+1)$ ,  $y_g(t+2)$ ,  $y_g(t+3)$  gösterilmiştir. Şekillerde bölge isimlerinin yanında yazılı olan rakamlar, gemi boğaza girdikten sonra kaçınıcı dakikada alınan veriyle Yapay Sinirsel Ağların eğitildiği ve öngörünün yapıldığını göstermektedir.

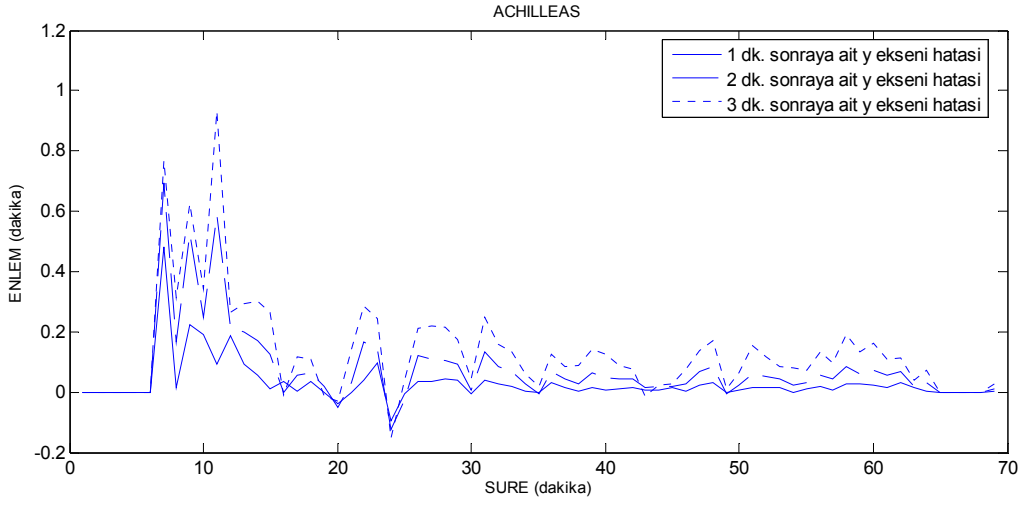
Konum öngörüsü GTH yetkilileri ile değerlendirilmiş ve özellikle dönüşlere yönelik öngörünün kendileri için çok önemli olduğunu belirterek sonucu tatmin edici bulmuşlardır. Bu tür bir öngörü sisteminin bulunmadığı merkezde en az iki dakikalık öngörünün olası riskleri azaltacağı belirtilmiştir. Gemi hareketlerinin izlendiği operatör panellerinde sadece geminin rotası üzerinde düz kerterizi gösteren referans doğrusunun bulunduğu ancak bunun özellikle dönüşlerde her hangi bir fikir veremeyeceği görülmüştür.

Kandilli bölgesi dönüşünden sonra konum öngörüsünün daha küçük hatalar ile gerçekleştiği görülmektedir. Anadolu Hisarı, Kanlıca ,Yeniköy ve Selvi Burnu dönüşleri incelendiğinde, gemi Kuzey'e doğru ilerledikçe EYSA'nın performansının da iyileştiği tespit edilmiştir.

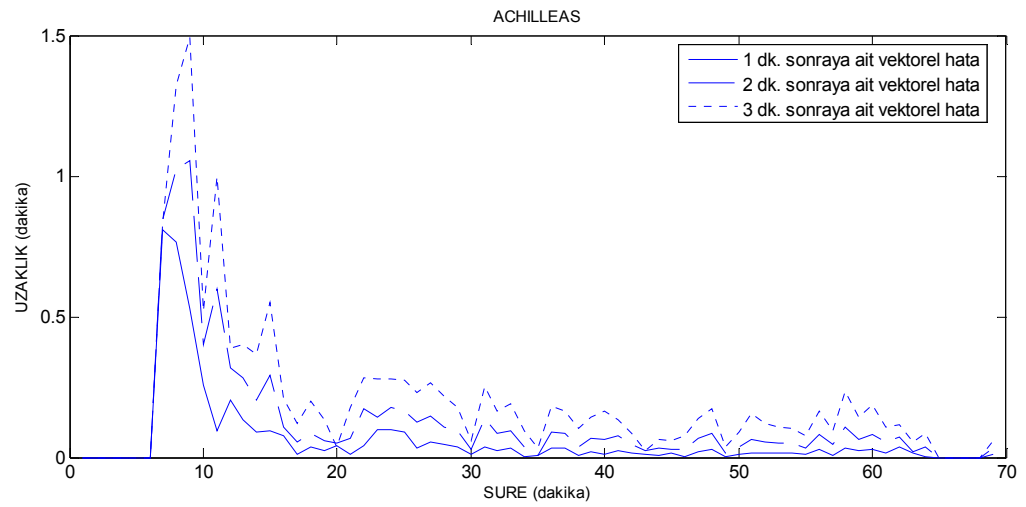
Geçiş boyunca öngörülen  $\hat{x}(t+1)$ ,  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+1)$ ,  $\hat{y}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  konumları ile geçiş tamamlandıktan sonra gerçekten buldukları konumlar  $x_g(t+1)$ ,  $x_g(t+2)$ ,  $x_g(t+3)$  ve  $y_g(t+1)$ ,  $y_g(t+2)$ ,  $y_g(t+3)$  arasındaki farklara bakılarak hata analizi yapılmıştır. Ayrıca, konum öngörüsü yapılırken her adımda dosyaya yazdırılan verilerle rota öngörüsü yapılarak sonuçları incelenmiştir. ACHILLEAS Tankerinin öngörülen ve gerçek konumuna ait Boylam (x eksen) hata grafiği Şekil 7.3, Enlem (y eksen) hata grafiği Şekil 7.4, Mesafe hata grafiği Şekil 7.5 ve Rota hata grafiği Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



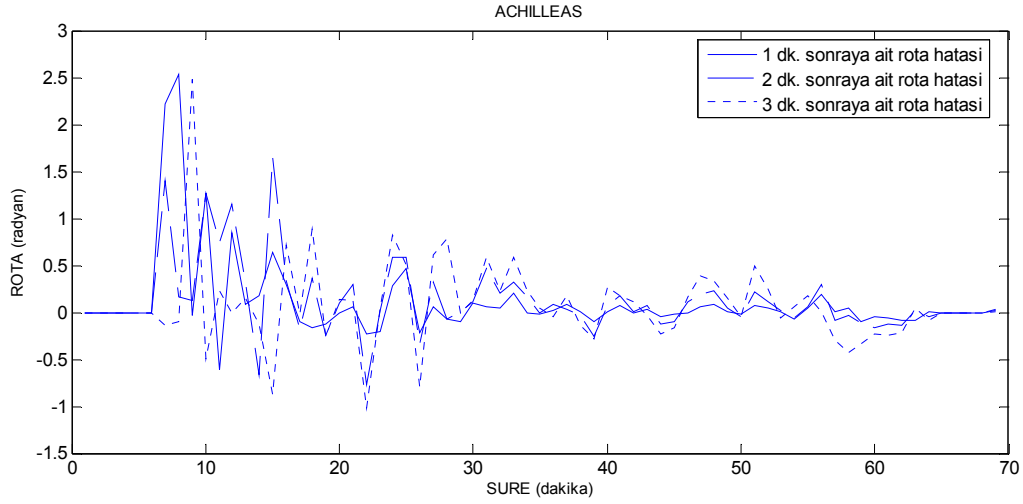
**Şekil 7.3 : ACHILLEAS Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait x Eksen Hata Grafiği**



**Şekil 7.4 : ACHILLEAS Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait y Eksen Hata Grafiği**



**Şekil 7.5 : ACHILLEAS Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Mesafe Hata Grafiği**



**Şekil 7.6 :** ACHILLEAS Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Rota Hata Grafiği

CHALLENGER tankerine ait hata grafikleri ise Şekil B.10 – B.13 ‘ de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüleceği gibi x eksenini ve y eksenindeki hatalar ayrı ayrı incelenmiş, hata vektörlerinin toplamı olan öngörülen konum ve gerçek konum arasındaki mesafe ve öngörülen rota ve gerçek rotalar arasındaki farklarda ayrıca incelenmiştir. Uygulamada kullanılan gemilerin dönüş manevralarını geç yapmış olmaları nedeniyle öngörünün yakın sonuç vermesi de gecikmiştir. Ancak, erken dakikalarda dönüşe yönelik manevraların yaptırılması GTH merkezi yetkisindedir. Gemi ilerledikçe artan veri sayısı ile ağırlıklı öngörü doğruluğunun da arttığı hata grafiklerinden ve konum grafiklerinden görülmektedir. Ayrıca  $\hat{x}(t+2)$ ,  $\hat{y}(t+2)$  öngörüsünde (15 knots hız ile alınan yol 840 metre ),  $\hat{x}(t+3)$ ,  $\hat{y}(t+3)$  öngörüsüne (15 knots hız ile alınan yol 1260 metre ) göre hata daha küçük olduğundan uyarının da buna göre yapılabileceği ortaya konmaktadır.

Bunlara ilave olarak, daha önce verileri elde edilmiş olan bir fırkateyne ait öngörü benzetimi ve gerçek konum karşılaştırması farklı yörüngede seyreden gemiye ait uygulama zenginliği açısından değerlendirilmiş, sonuçları Şekil C.1 – C.12’de verilmiştir.

Boğaz geçişlerinde trafik ihlallerinin daha çok x ekseninde olduğu Şekil A.1, Şekil B.1, Şekil C.1, Şekil D.1 ve Şekil D.2’den görülmektedir. Bu nedenle x ve y eksenindeki hataları ayrı ayrı incelenmiştir. Öngörü mesafesi azaldıkça doğal olarak

hatanın da azaldığı analiz sonuçlarından görülmektedir. Tüm şekillerde mesafe ölçüğü dakika olarak verilmiş olup, 1 dakika yaklaşık 1150 metredir.

Boğaz kazalarının, gemilerin kendilerine ait trafik ayırım düzeni sınırları dışına çıkmaları nedeniyle meydana geldiği bilinmektedir. Geliştirilen yöntem ile ihlalin önceden tespiti ve tehlike riskini ortadan kaldıracak uyarı sisteminin geliştirilmesi mümkündür. Sistem GTH merkezinde uyarı amaçlı kullanılabilmesi gibi, gemi personeline kılavuz yardımcı olarak da kullanılabilir. Sistemde bulunacak sesli ve ışıklı ikazlar ile gemi personeli ve GTH sistemi gözlemcilerini önceden uyarılabilecek bir erken uyarı sistemi olarak çalışacak ve olası bir tehlikeyi önceden haber vererek engelleyecektir. Daha önce geçiş yapan gemiler ve gerçek zamanlı uygulamada ele alınan tankerlerin izlediği yörüngeler incelendiğinde, ihlal ne kadar artarsa, yani referans hattın ne kadar uzaklaşırsa öngörünün de o kadar zorlaştığı görülmüştür. Bunun sebebi öngörü için referans verisi olarak referans hattı oluşturan koordinat bilgilerinin kullanılmasıdır. Önerilen sistem Boğaz'a giriş anından itibaren ihlale yani önceden belirlenen referans hattın uzaklaşma mesafesine duyarlı bir sistem olduğundan sistem tarafından yapılan uyarı ile gemilerin ikaz edilmesi ve ihlalin zamanında önlenmesiyle geminin sistemin performansını olumsuz etkileyecek kadar referans hattın uzaklaşmasını engelleyecektir.

## 7.2 Öneriler

Yapay Sinirsel Ağları eğitmek ve 3 dakika sonraya ait rota ve konum öngörüsü yapabilmek amacıyla üç farklı yöntem kullanılabilir. Birinci yöntem, geçiş yapan geminin veri dosyasının 1 dakika örnekleme periyodunda gerçek zamanlı güncellenmesi ve YSA'nın yeniden eğitilmesi ile her t anında 3 dakika sonraki konuma ait öngörünün yapılmasına ilişkin yöntemdir ve kısa vadede daha uygulanabilir olduğu için çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Ancak aşağıda belirtilen "ikinci" ve "üçüncü" yöntemler de farklı çalışmalar kapsamında incelenebilir.

İkinci yöntem ; Boğaz geçişini gerçekleştirmiş çok sayıda gemiye ait verilerle Yapay sinirsel ağların eğitilmesi ve eğitilmiş yapay sinirsel ağlar (EYSA) kullanarak geçiş yapan geminin konumunun öngörülmesidir. Yapay Sinir Ağı (EYSA) kütüphaneleri oluşturabilmek amacıyla, hava şartları, gemi deplasmanı gemi uzunluğu gibi bir çok



etkene bağlı kümeler oluşturularak bu kümelerdeki gemilerin geçiş verileriyle eğitim yapmak gerekliliği olup uzun zamana dayalı istatistiksel bilgiye ihtiyaç vardır. Ancak uzun vadede GTH merkezi tarafından bu amaçla veri toplanması ile gerçekleştirilebilecek bir yöntemdir.

nc yöntem; konum öngörüsü yapılacak gemilerin daha önceki geçişlerinde elde edilen verilerin saklanmasıyla veri kütüphanesi oluşturulması ve gemiye zel Yapay Sinirsel Ağların eğitilerek konum öngörüsü yapılmasıdır. Bu yöntemde de veri kütüphanesi oluşturulurken hava ve deniz şartları dikkate alınmalıdır. Gemilerin geçişlerinde sürekli değişiklik gösteren evre şartları nedeniyle bu yöntemin sakıncaları olsa da ikinci yönteme göre daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir. GTH merkezinde yapılan gerçek zamanlı konum öngörüsü deneyleri esnasında İstanbul Boğazı Geçişi yapan gemilerin %80-90'ının aynı gemiler olduğu öğrenilmiştir.

Ayrıca, algoritmanın farklı yönlere boğaz geçişi yapan gemilerin konum ngrleri ile “arpışma Öngörüsü” yapabilecek şekilde geliştirilmesi de mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] **James, H.M., Nichols, N.B., Phillips, R.S.**, 1947, Theory of Servomechanism , McGrawHill, New York, pp 360-368,
- [2] **Tustin, A.**, 1947, An Investigation Of The Operator's Response in Manual Control and its Implications For Controller Design, *J.Inst. Elec.Engrs.* 94
- [3] **Wiener, P.**, 1950, Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series, John Wiley, New york
- [4] **Elkind, J.I.**, 1956, Characteristics of Simple Manual Control Systems, *TR111, Mass. Inst. Tech. Lincoln Lab.*, Lexington, April
- [5] **MacRuer, D.T., Krendel, E.S.**, 1957, Dynamic Response of Human Operators. Wright Air Dev. Center WADC TR56-524, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, October
- [6] **McRuer, D.T., Graham, D., Krendel, E.S., Reisener, W.**, 1965, Human Pilot Dynamics in Vompensatory Systems, Theory, Models and Experiments with Controlled Element and Focusing Function Variations. AFFDL-TR-65-15, July
- [7] **McRuer, D.T., Ashkenas, I.L., Pass, H.R.**, 1964, Analysis of Multiloop Vehicular Control Systems, ASD-TDR-62-1014, March
- [8] **Stapelford, R.L., MacRuer, D.T, Magdaleno, R.**, 1966, Pilot Describing Function Measurement in a Multiloop Task, NASA CR-542, August
- [9] **McRuer, D.T., Hofman,L.G**, 1968, New Approaches to Human Pilot / Vehicle Dynamic Analysis. AFFDL-TR-67-150, February
- [10] **Elkind, J.I., Falb, P.F.**, 1968, An Optimal Control Method For Prediction Control Characteristics And Display Requirements of Manned-Vehicle systems. AFFDL-TR-67-187, April
- [11] **Baron, S., Kleinman, D.L.**, 1968, The Human as an Optimal Controller and Information Processor. *IEE Trans. Man-Machine Systems* 10, pp9-17, and NASA CR-1151, September
- [12] **Kleinman, D.L.**, 1969, Optimal Linear Control For Systems with Time Delay and Observation noise , *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.AC-14, No:4, pp.357-367, October

- [13] **Kleinman, D.L., Baron, S., Levison, W.H.**, 1970, An Optimal Control Model of Human Response Part I: Theory and Validation, *Automatica*, Vol.6, pp.357-369
- [14] **Baron, S., Kleinman, D.L., Levison, W.H.**, 1970, An Optimal Control Model of Human Response Part II: Prediction of Human Performance in a Complex Task, *Automatica*, Vol.6, pp.371-383
- [15] **Kleinman, D.L., Perkins, T.R.**, 1974, Modeling Human Performance in a Time-Varying Anti-Aircraft Tracking Loop , *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.AC-19, No:4, pp.297-306, August
- [16] **Weir, D.H., McRuer, D.T.**, 1970, Dynamics of Driver Vehicle Steering Control, *Automatica*, Vol.6, pp.87-98
- [17] **Papenhuijzen, R., Stassen, H.G.**, 1989, On the Modelling of Planning and Supervisory Behaviour of The Navigator, Delft University of Technology, IFAC Man-Machine Systems, pp:33-38
- [18] **Gingrich, C.G., Kuespert, D.R., McAvoy, T.J.**, 1992, Modeling human operators using neural networks, Chemical Engineering Department, University of Maryland, *ISA Transactions*, Volume 31, Issue 3 pp 81-90
- [19] **Cacciabue, P.C.**, 1996, Understanding and modelling man-machine interaction, Commission of the European Communities, Joint Research Center, Institute for Systems engineering and Informatics, Nuclear Engineering and design 165 pp 351-358
- [20] **Hizal, N.A.**, 1997, A Computer Experiment on Man-Machine Interaction”, *Int.J.of Mech.Eng.Education*, Vol.26, No.2, pp.133-139
- [21] **Ertugrul, S., Hizal, N.A.**, 2005, Neuor-Fuzzy Controller Design via Modeling Human Operator Actions, *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, Vol.16, pp.133-140
- [22] **McRuer, D.T.**, 1980, Human Dynamics in Man-Machine Systems, *Automatica*, Vol.16, pp.237-253.
- [23] **Boss, J.F.T., Stassen, H.G., Lunterern, A.V.**, 1995, Aiding The Operator in the Manual Control of A Space Manipulator, *Control Eng. Practice*, Pergamon, Vol.3 No.2 pp:223-230
- [24] **Doman, D.B., Anderson, M.R.**, 2000, Fixed-Order Optimal Control Model of Human Operator Response, *Automatica*, Vol.36, pp.409-418
- [25] **Birmingham, H.P.**, 1954, Disagn Philosophy for Man-Machine Control Systems. Proc. Inst. Radio Engineeres Vol.42, pp:1748-1758

- [26] **Patrick, J., Duncan, K.D.**, 1988, Training, Human Decision Making And Control, University of Wales
- [27] **Johansson, M., Gafvert, M., Astrom, K.J.**, 1998, Interactive Tools for Education in Automatic Control, *IEEE Control Systems*, June
- [28] **Bodson, M.**, 2003, Fun Control Experiments with Matlab and a Joystick, *Decision and Control, Proceedings. 42nd IEEE Conference*, Volume: 3, On page(s): 2508- 2513 Vol.3, December
- [29] **Hosman, R., Stassen, H.**, 1999, Pilot's perception in the control aircraft motions, *Control Engineering Practice* pp.71421-1428
- [30] **Chen, L.K., Ulsoy, A.G.**, 2001, Identification of a Driver Steering Model and Model Uncertainty From Driver Simulator Data, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol.123 pp:625-629, December
- [31] **Westrenen, F.V.**, 1995, Towards a Decision Making Model of River Pilots , Delft University of Technology
- [32] **Salski, A., Noback, H., Stassen, H.G.**, 1998, A Model of the Navigator's Behaviour Based on Fuzzy Set Theory, Delft University of technology, Netherland
- [33] **Kondratenko, Y., Sydorenko, S.**, 2003, Automation of Decision Making in Uncertainty : Navigation in Narrowness and Channels, Mykolaiv State Human Science University, Ukrainian State Maritime Technical University, *Third Triennial International Conference on Applied Otomatic Systems Ohrid*, Republic of Macedonia, Sept. 18-20
- [34] **Renski, A.**, 2001, Identification of Driver Model Parameters, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE* ,ISSN: 1080-3548 ,Volume 7, Issue 1,pp 79-90
- [35] **Hoc, J.M.**, 2000, From Human-Machine Interaction to Human-Machine Cooperation, *Ergonomics* ,ISSN: 0014-0139 ,Volume 43, Issue 7 ,pp 833-843, July
- [36] **Murray, S A., Caldwell, B S.**, 1996, Human Performance and Control of Multiple Systems, *Human Factors* ,ISSN: 0018-7208 ,Volume 38, Issue 2 ,Pages 323-329, June
- [37] **Takashima, M.**, 1980, Yoshizawa, S; Nagumo, J., Human Operator Dynamics in Manual Tracking Systems With Auditory Input, *Biological Cybernetics* ,ISSN: 0340-1200, Volume 37, Issue 3 .pp 159-166
- [38] **Sutton, R.**, 1990, Modelling Human Operators in Control System Design, Royal Naval Engineering College, Plymouth UK

- [39] **Sheridan, T.B., Ferrell, W.R.**, 1974, *Man-Machine Systems*, The MIT Press
- [40] **McCulloch, W.S., Pitts, W.A.**, 1943, A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematics and Biophysics*, 5, pp.115-133
- [41] **Hebb, D.O.**, 1949, *The Organization of Behaviour*, New York, Willey, introduction and Chapter 4 The First Stage of Perception , growth of the assembly, pp.60-78
- [42] **Farely, B.G., Clark, W.A.**, 1954, Simulation of Self-Organizing Systems by Digital Computers, *IEE Transactions of Professional Group of Information Theory*, PGIT,pp.76-84
- [43] **Caianiello, E.R.**, 1961, Outline Of A Theory Of Thought-Processes and Thinking mavnines, *Journal of Theoretical Biology*, 2, pp. 204-235
- [44] **Rosenblatt, F.**, 1962, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and The Theory of Brain Mechanisms*, Spartan Books
- [45] **Widrow, B., Hoff, M.E.**, 1960, Adaptive Switching Circuits, IRE WESCON Convention record, IRE Part 4, pp:96-104, New York
- [46] **Minsky, M., Papert, S.**, 1969, *Perceptrons, An Introduction to Computational Geometry*, MIT Press, Expanded edition
- [47] **Kohonen, T.**, 1972, Correlation Matrix Memories, *IEEE Transactions on Computers*, Vol.21 pp:353-359
- [48] **Anderson, J.E.**, 1972, A Simple Neural Network Generating an Interactive memory, *Mathematical Biosciences*, Vol.14,pp:197-220
- [49] **Grossberg, S.**, 1976, Adaptive Pattern Classification and Universal Recording: I. Parallel Development and Coding of Neural Feature Detectors, *Biological Cybernetics*, Vol.23,pp:121-134
- [50] **Hopfield, J.J.**, 1982, Neurons Networks and Physical Systems with Emergent collective Computational Abilities, *Proseedings of the National Acedemy of Sciences*, 79, pp.2554-2558
- [51] **Hopfield, J.J.**, 1984, Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those of Two State Neurons, *Proceeding National Academy Sciences*, 81, pp.3088-3092
- [52] **Rumelhart, D.E., Hinton, D.E., Williams, R.J.**, 1986, Learning Repesantation by Backpropagating Errors, *Nature* 323(9), pp.553-536

- [53] **Broomhead, D.S., Lowe, D.**, 1988, Radial Basis Functions, Multi-Variable Functional Interpolation and Adaptive Networks, *Royal Signals and radar Establishment Memorandum 4148*
- [54] **Enab, Y.M.**, 1994, Controller Design for an Unknown Process, Using Simulation of a Human Operator, *Eng. Application Artificial Intelligent, Pergamon*, Vol.8 No.3 pp:299-308
- [55] **Enab, Y.M.**, 1996, Intelligent Controller Design for The Ship Steering Problem, *IEE*, Vol 143, No.1
- [56] **Kosko, B.**, 1992, Neural Networks and Fuzzy Systems : A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. Prentice Hall, New York
- [57] **Ollera A., Garcia, C.A., Aracil, J.**, 1991, Design of Rule Based Expert Controllers. *ECC91 European Control Conference*, pp:578-583, Grenoble, France,
- [58] **Astrom, K.J., Thorell, N.E., Eriksson, J., Sten, L.**, 1979, Adaptive Autopilots for Tankers, *Automatica* 20 pp:241-254
- [59] **Astrom, K.J., Wittenmark, B.**, 1989, Adaptive Control ,Lund Institute of Technology
- [60] **Caudill, M., Butler, C.**, 1992, Understanding Neural Networks, Computer Explorations, MIT
- [61] **Stergiou C., Siganos D.**, 1996, Neural Networks- Imperial College
- [62] **Ampazis, N.**, 1997, Introduction to Neural Network, Demokritas National centre for Scientific Research
- [63] **Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.**, 1996, Neural Network Design, PWS Publishing Company
- [64] **Demuth, H.B., Beale, M.**, 1998, Neural Network Toolbox for use with MATLAB, User's Guide Version 3, The Math Works Inc.
- [65] **King, R.E.**, 1999, Computational Intelligence in Control Engineering, Marcel Dekker,Inc.
- [66] **Efe, Ö., Kaynak, O.**, 2000, Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi,
- [67] **Öztemel, E.**, 2003, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık
- [68] **Orr, G.B.**, 2005, Neural Networks, Willamette University

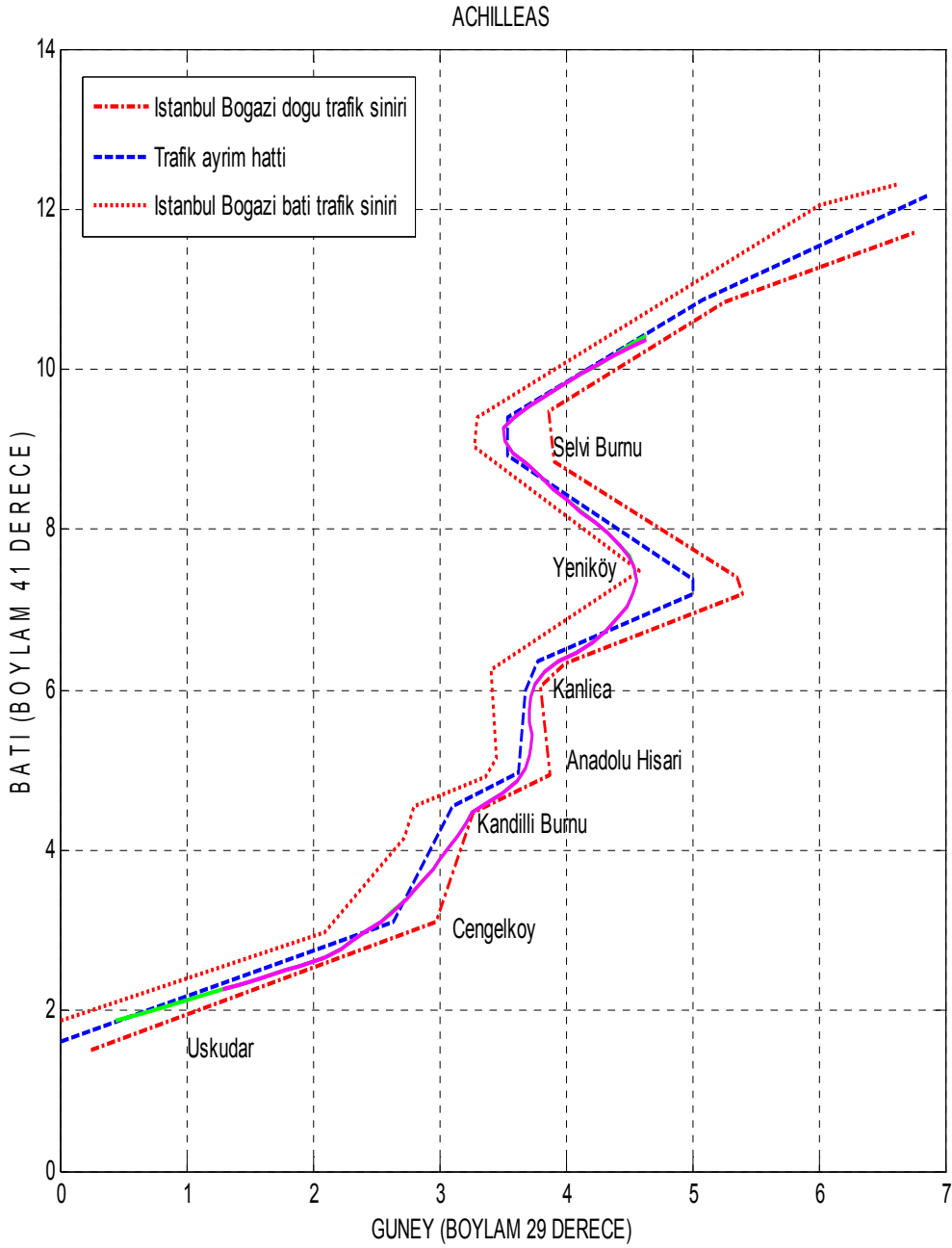
- [69] **Jang, J.R.**, 1993, ANFIS:Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Trans.Syst.,Man, Cybern.*, 23(3), 665-684
- [70] **Freeman, J., Skapura, D.**, 1991, Neural Networks, Addison-Wesley.
- [71] **Mead, C.**, 1989, Analog VLSI and Neural Systems, Addison-Wesley
- [72] **Wasserman, P.**, 1989, Neural Network Computing, Van Nostrand Reinhold, New York
- [73] **Jang, J.R., Sun, C.T.**, 1995, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, *Proc. of IEEE*, 83(3), 378-405
- [74] **Jang, J.R., Sun, C.T., Mizutani, E.**, Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, USA
- [75] **Zapato, G.O.A., Galvao, R.K.H., Yoneyema, T.**, 1999, Extracting Fuzzy Control Rules from Experimental Human operator, *IEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics- Part B: Cybernetics*, Vol.29, No:3,pp.398-406, June
- [76] **Jang, J.S.R., Sun, C.T.**, 1995, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, *Proceeding of the IEEE* , Vol.83, No:3, pp:378-387, March
- [77] **Nicolau, V., Aiordachioaie, D., Popa, R.**, 2004 ,Neural Network Prediction of the Wave Influence on the Yaw Motion of a Ship, Neural Networks Proceedings, *2004 IEEE International Joint Conference on Volume 4*, Issue , 25-29 , Page(s): 2801 - 2806 , July
- [78] **Ebada, A., Maksoud,M.A.**, 2006, Prediction of Ship Turning Manoeuvre Using Artificial Neural Networks, *COMPIT 2006, 5th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*, , Netherland , 8-11 May
- [79] **Yamamoto, T., Nakayama, S., Kitamura, R.**, 2002, In - Vehicle Route Recommendation System With Learning By Neural Networks, *Proceedings of Joint 1st International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 3rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, October 22-25, Tsukuba, Japan
- [80] **Linda, M., Paul, B.**, 1997 ,A Vessel Traffic System Analysis for the Korea / Tsushima Strait, ESENA, Energy-Related Marine Issues in the Regional Seas of Northeast Asia, Berkeley, California, December
- [81] **Jesper, W., Kim, R.**, 1999Vessel Traffic Systems For Safe Navigation And Improved Port Access, *12<sup>th</sup> International Harbour Congress*, Antwerpen, Belgium, September 12-16

- [82] **Sindel, D.**, 1984, Sistem Mühendisliği Yaklaşımı ile Gemi Çarpışmalarının Önlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [83] **T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Yayınları**, 2000, Türk Boğazları Seyir Güvenliği , İstanbul
- [84] **Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı**, 1999, İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı Seyir Rehberi, İstanbul
- [85] **IALA**, 2005, International Association of Marine aids to Navigation and Lighthouse Othorities, Guideline No: 45 On staffing levels at GTH Centers, Edition 1, December
- [86] **Cerit, G.**, 2000, Deniz Güvenlik Yönetimi ve Türk Boğazları, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Yüksekokulu, *Büyüteç altında Türk Boğazları Sempozyumu*, Mart
- [87] **http:// www.navcen.ucsg.gov**, 2006, UNITED STATES Cost Guard Navigation Center Web sitesi
- [88] **http:// www.denizcilik.gov.tr**, 2006, T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Web Sitesi
- [89] **http:// www.kegki.gov.tr**, 2006, Ulaştırma Bakanlığı Kıyı Emniyeti ve Gemi Kurtarma İşletmeleri Genel Müdürlüğü Web Sitesi
- [90] **http:// www.turkishmaritimepilots.org**, 2006, Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği Web Sitesi
- [91] **http:// www.worldvtsguide.org**, 2006, World Vessel Traffic Services Guide Web Sitesi
- [92] **http:// www.vts.org.tr**, 2006, Deniz Trafik Operatörleri Derneği Web sitesi
- [93] **http:// www.imo.org**, 2006, International Maritime Organization Web Sitesi
- [94] **http:// www.denizce.com**, 2006, Amatör Denizcilik Web Sitesi
- [95] **INT 3756-2921**, 1996, İstanbul Boğazı Haritası, Ölçek : 1:30,000, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi

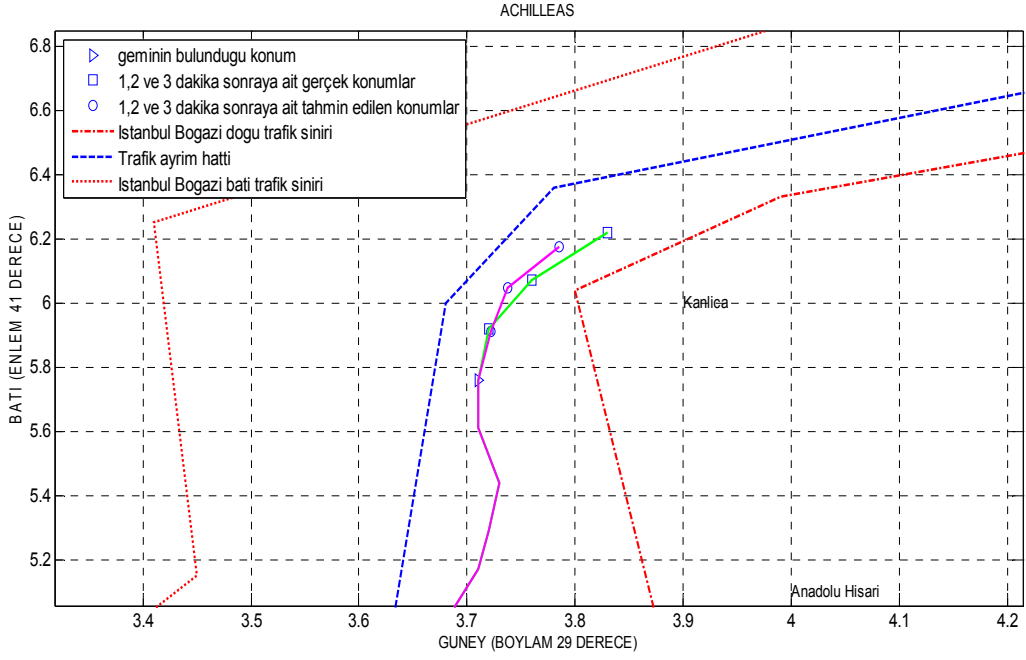


## EKLER

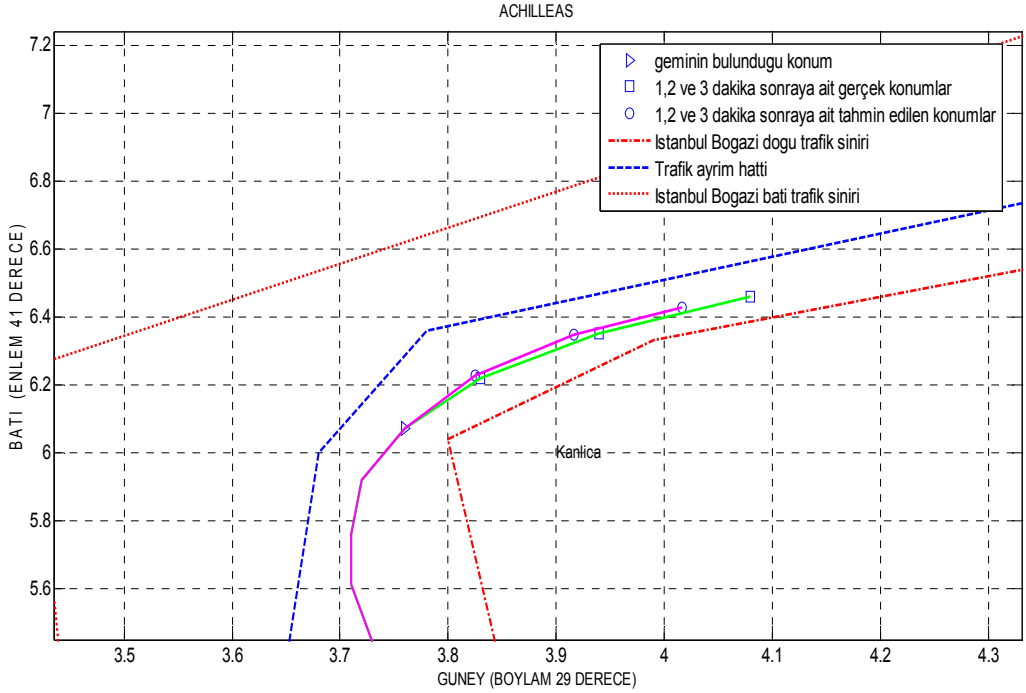
### EK-A : ACHILLEAS TANKERİNE AİT KONUM ÖNGÖRÜSÜ VE HATA GRAFİKLERİ



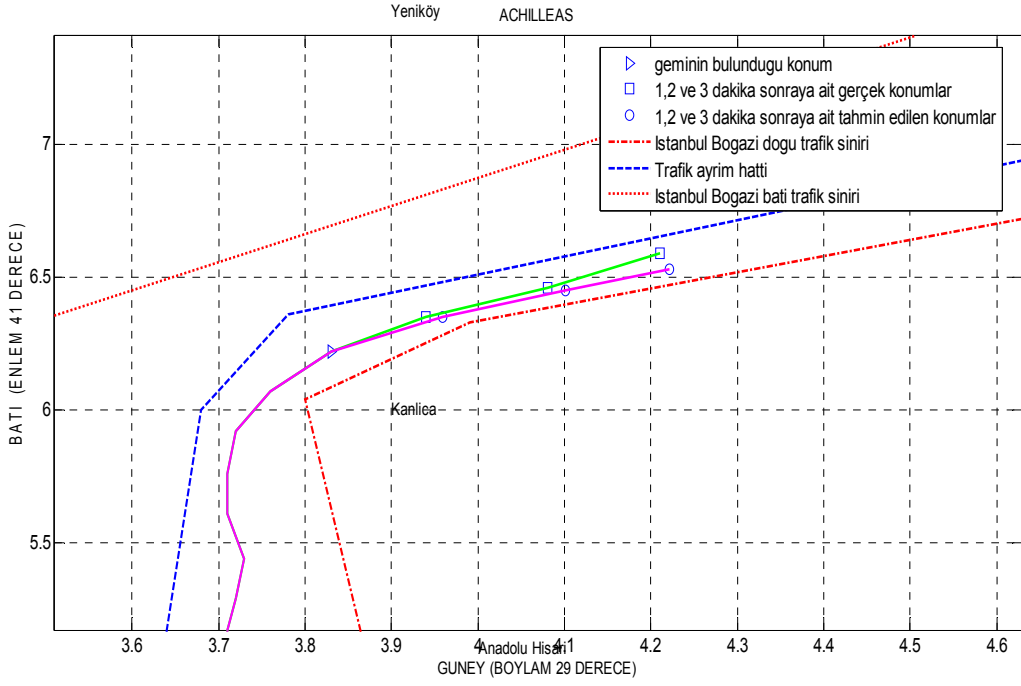
Şekil A.1 : ACHILLEAS Tankerinin Güney – Kuzey Yönünde İzlediği Yörünge



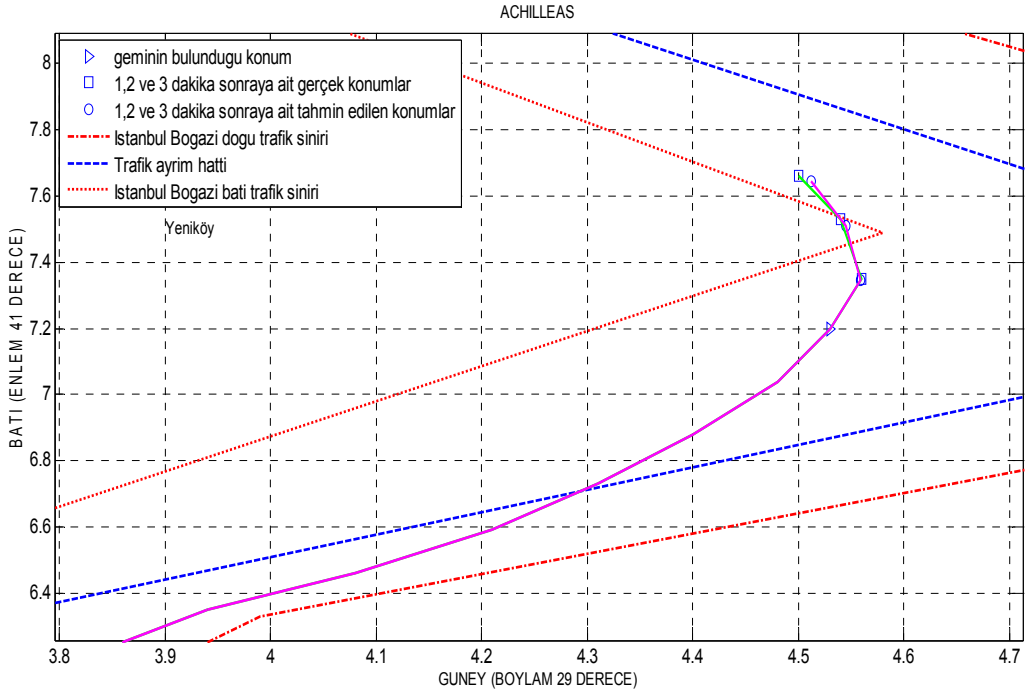
**Şekil A.2 : ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi (34. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



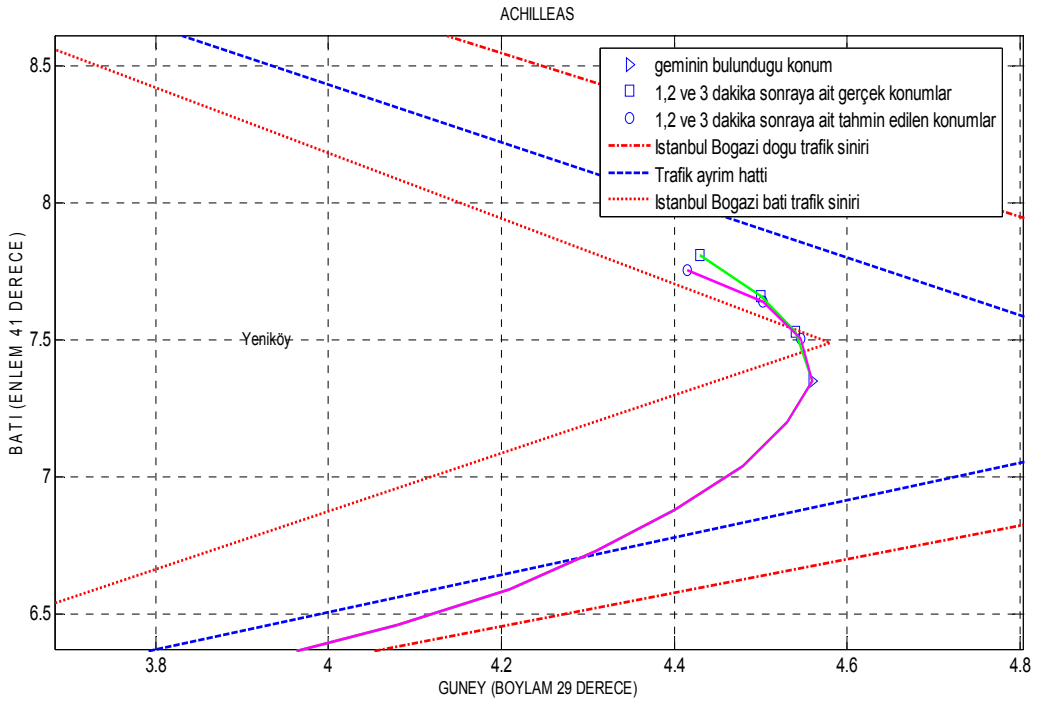
**Şekil A.3 : ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi (36. Dakika) öngörüsü Ve Gerçek Konumu**



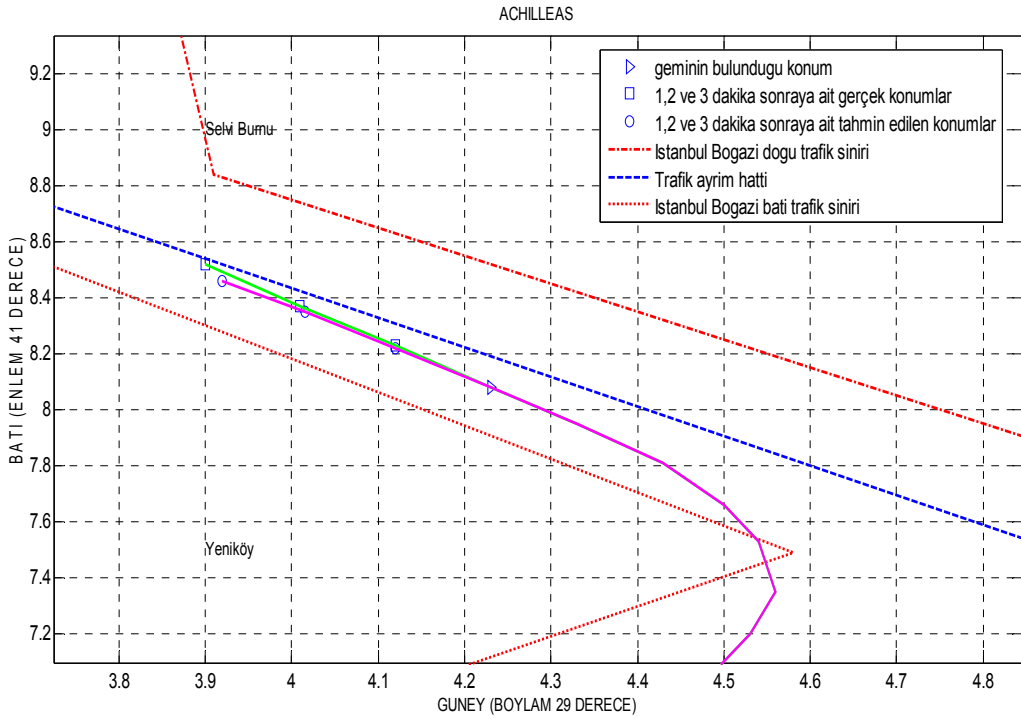
**Şekil A.4 : ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi (37. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



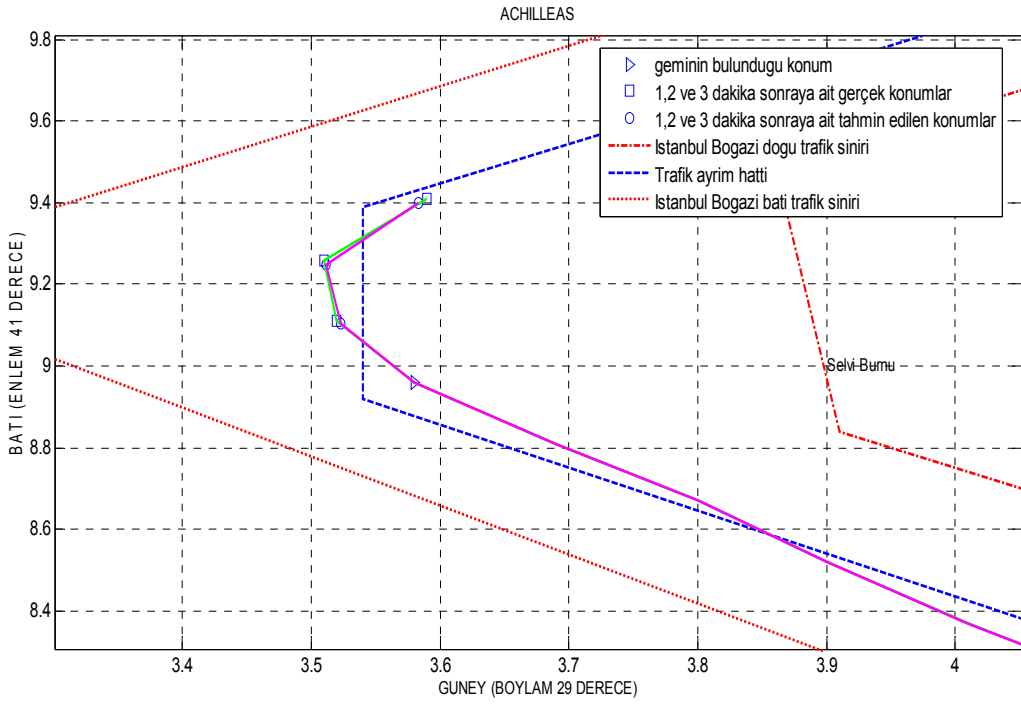
**Şekil A.5 : ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (44. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



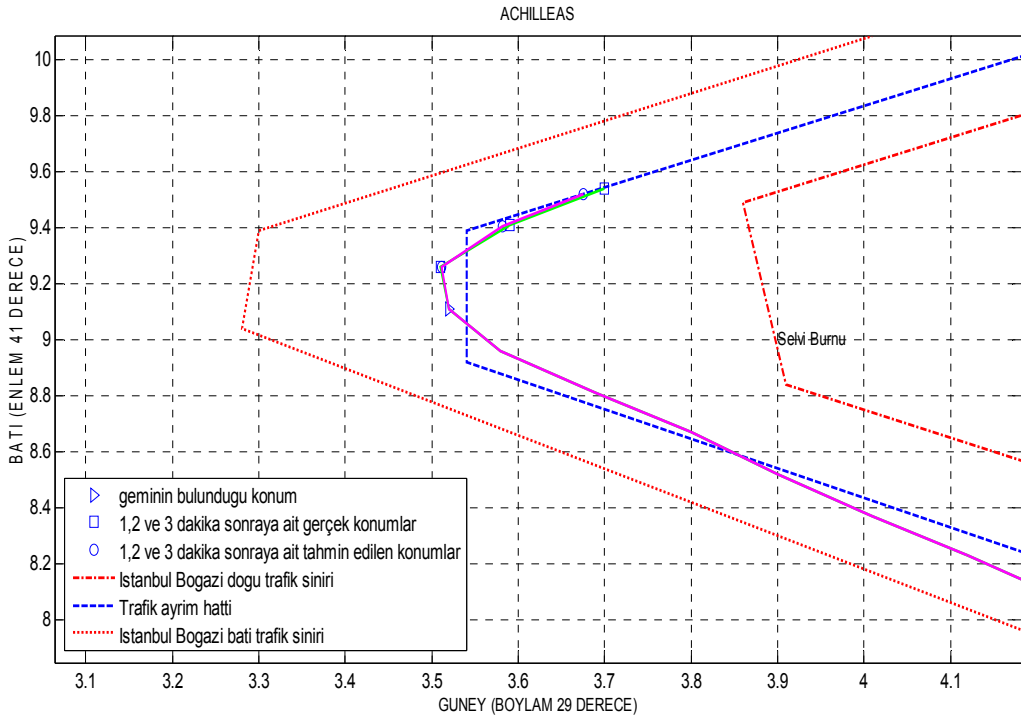
**Şekil A.6 :** ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (45. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



**Şekil A.7 :** ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (50. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

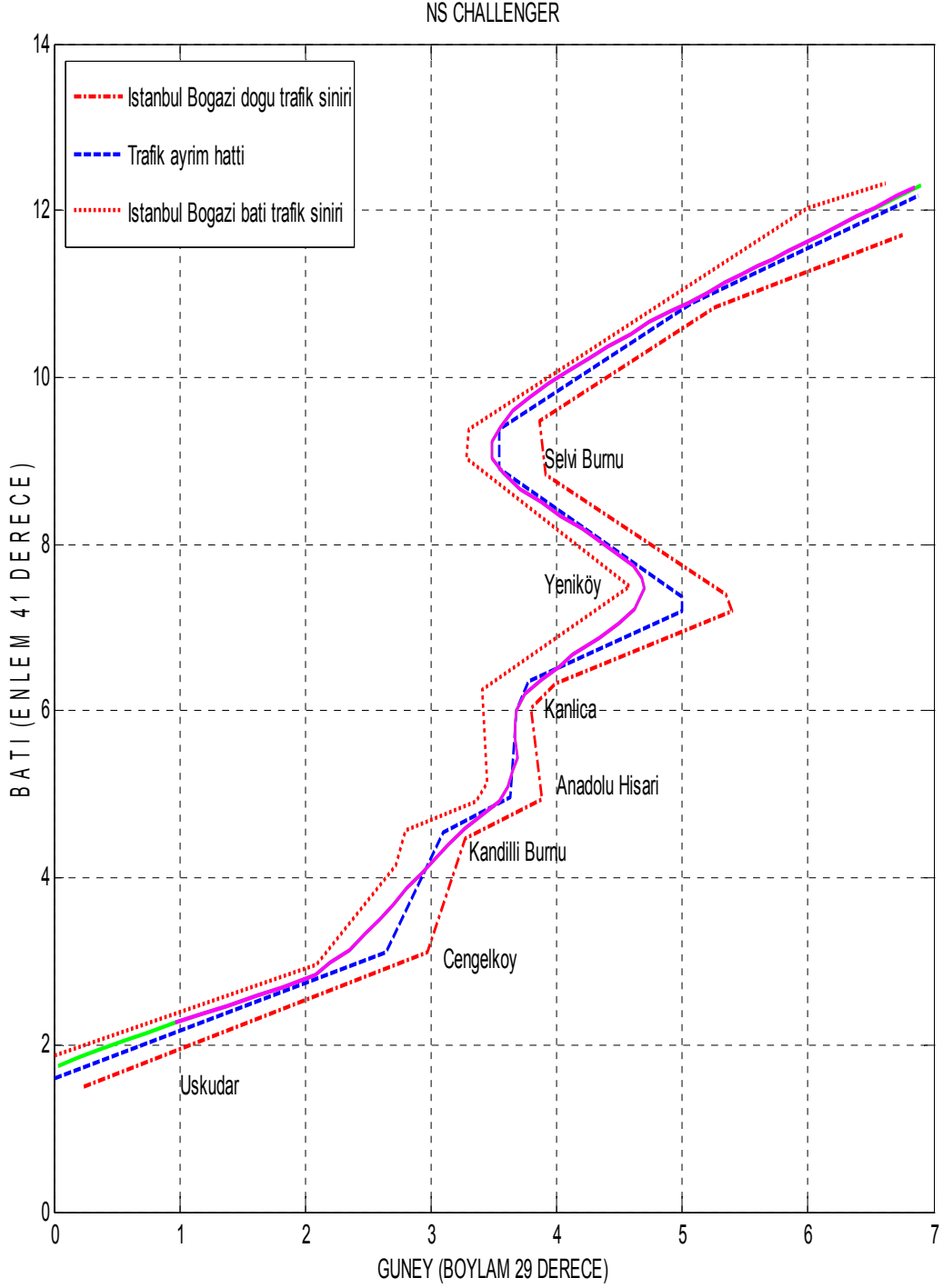


**Şekil A.8 :** ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (56. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

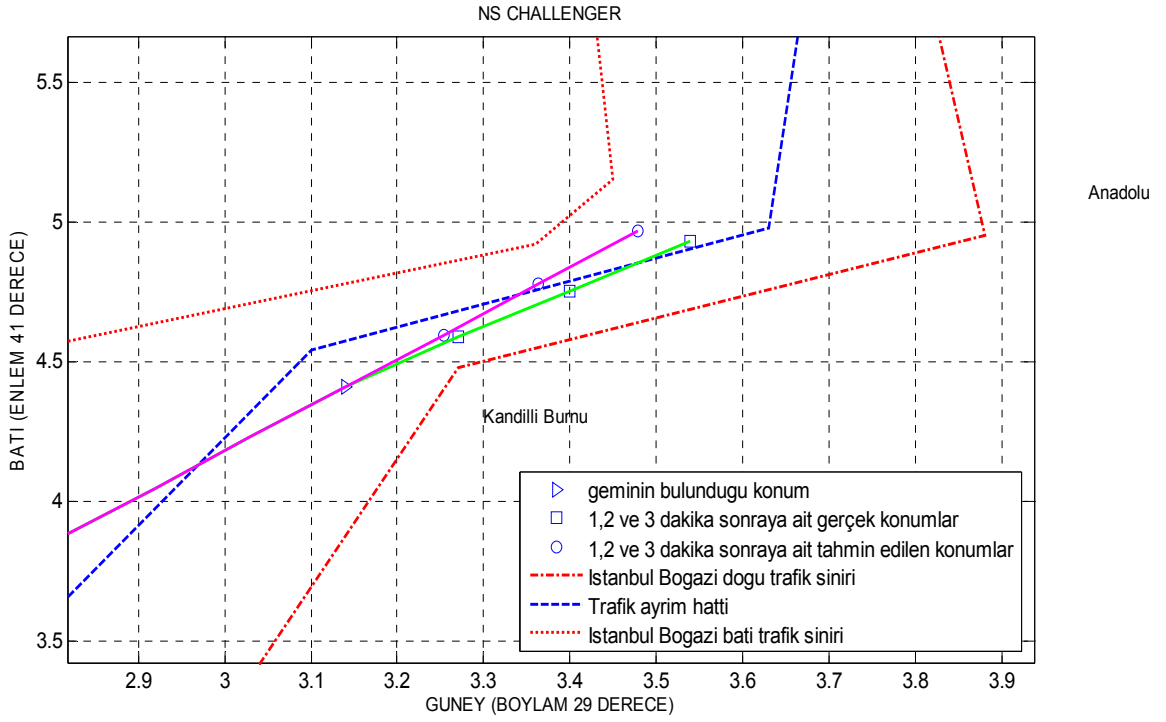


**Şekil A.9 :** ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (57. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

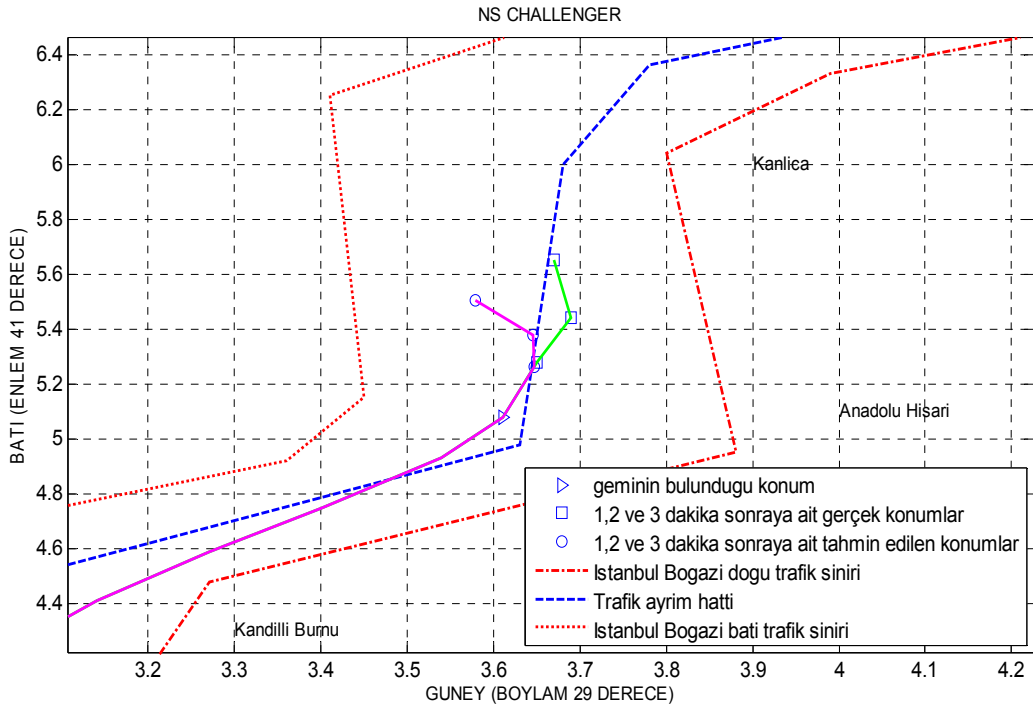
## EK-B : CHALLENGER TANKERİNE AİT KONUM ÖNGÖRÜSÜ VE HATA GRAFİKLERİ



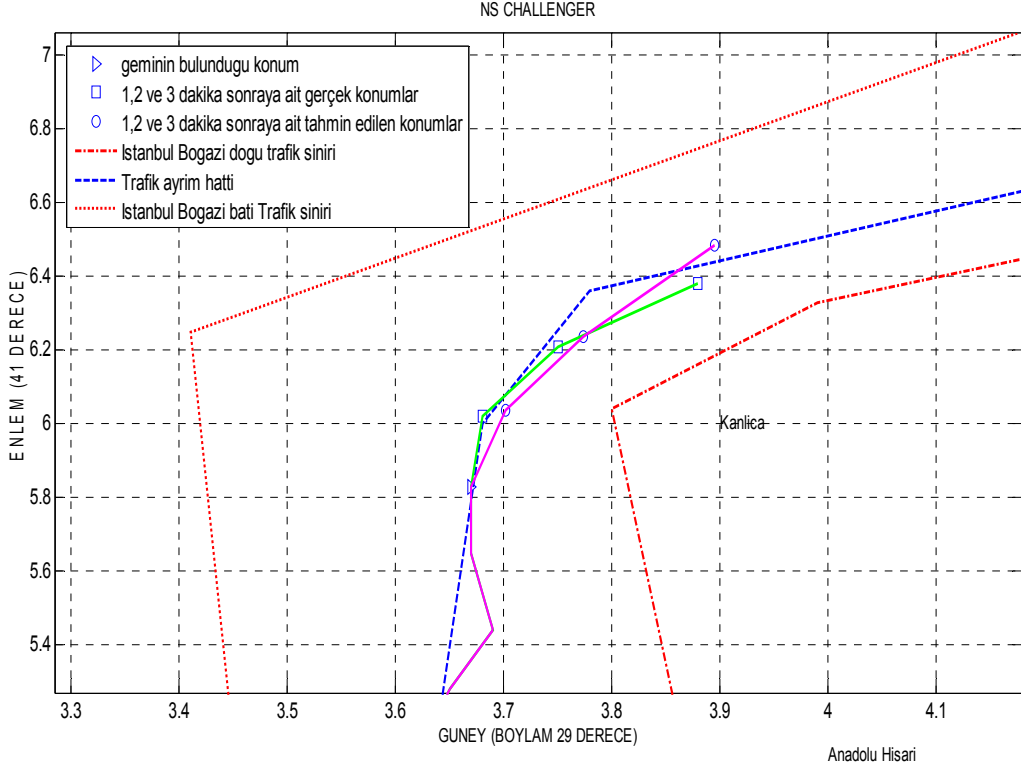
Şekil B.1 : CHALLENGER Tankerinin Güney – Kuzey Yönünde İzlediği



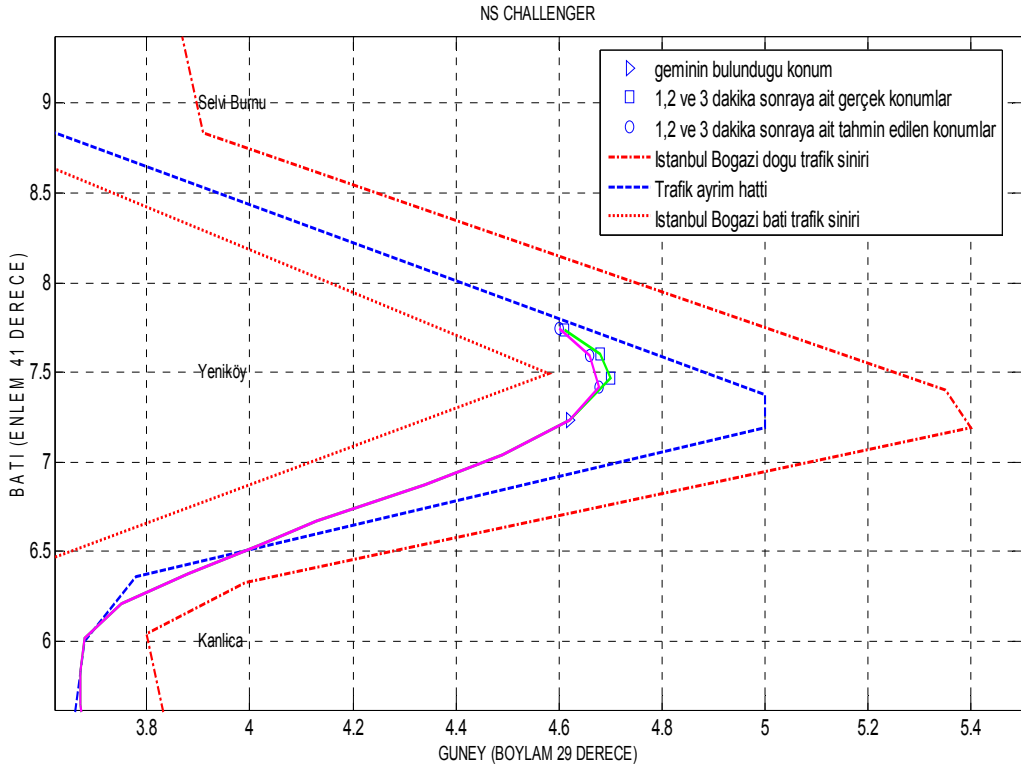
**Şekil B.2 :** Challenger Tankerinin Eysa ile Kandilli Bölgesi (20. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



**Şekil B.3 :** Challenger Tankerinin Eysa ile Anadolu Hisarı Bölgesi (24. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

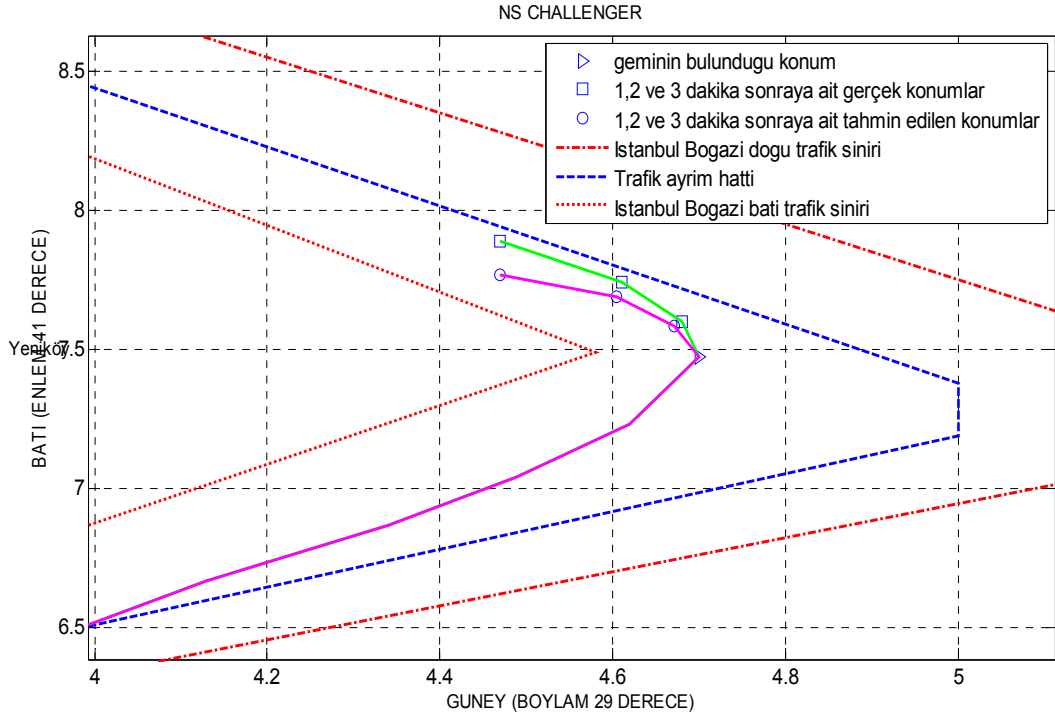


**Şekil B.4 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Kanlıca Bölgesi (28. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

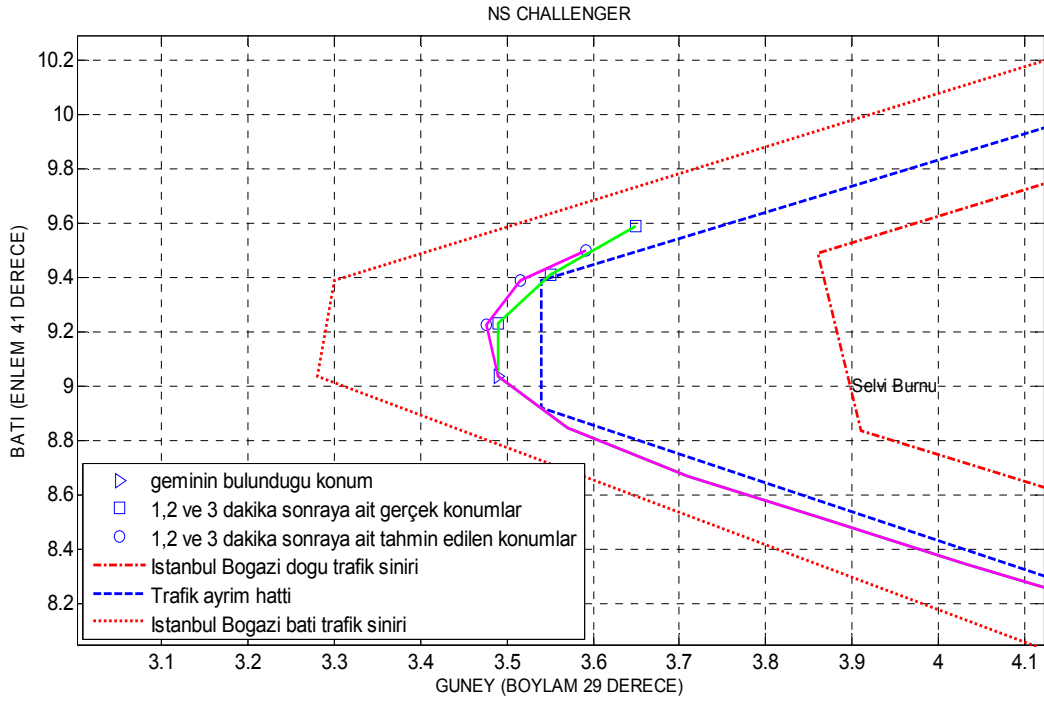


**Şekil B.5 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (36. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu

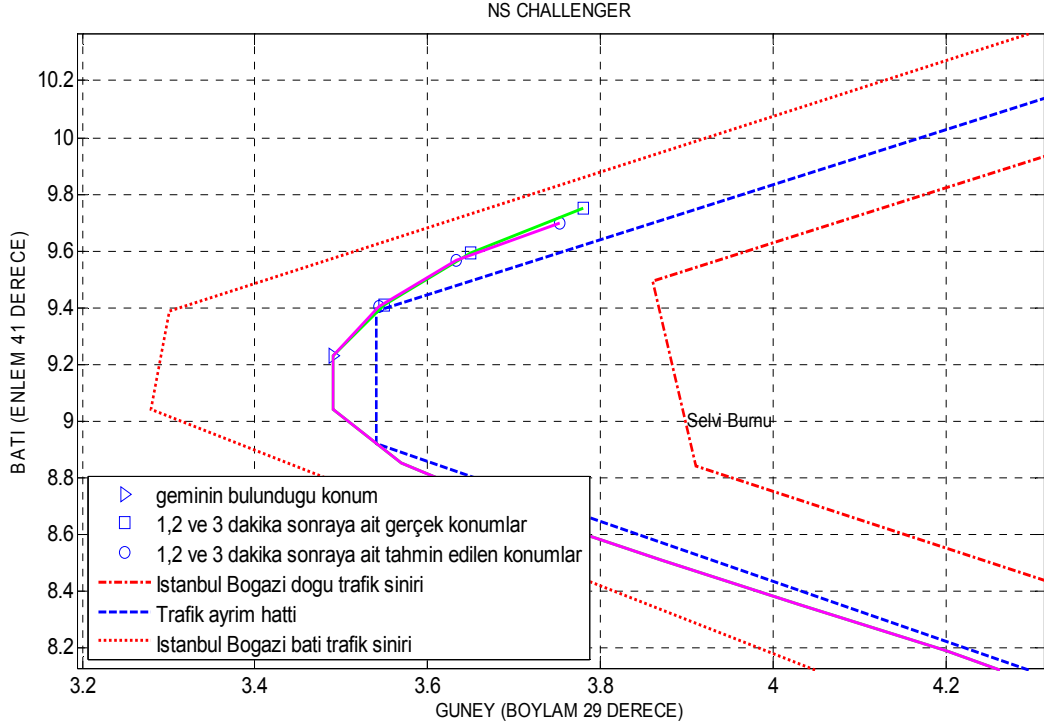




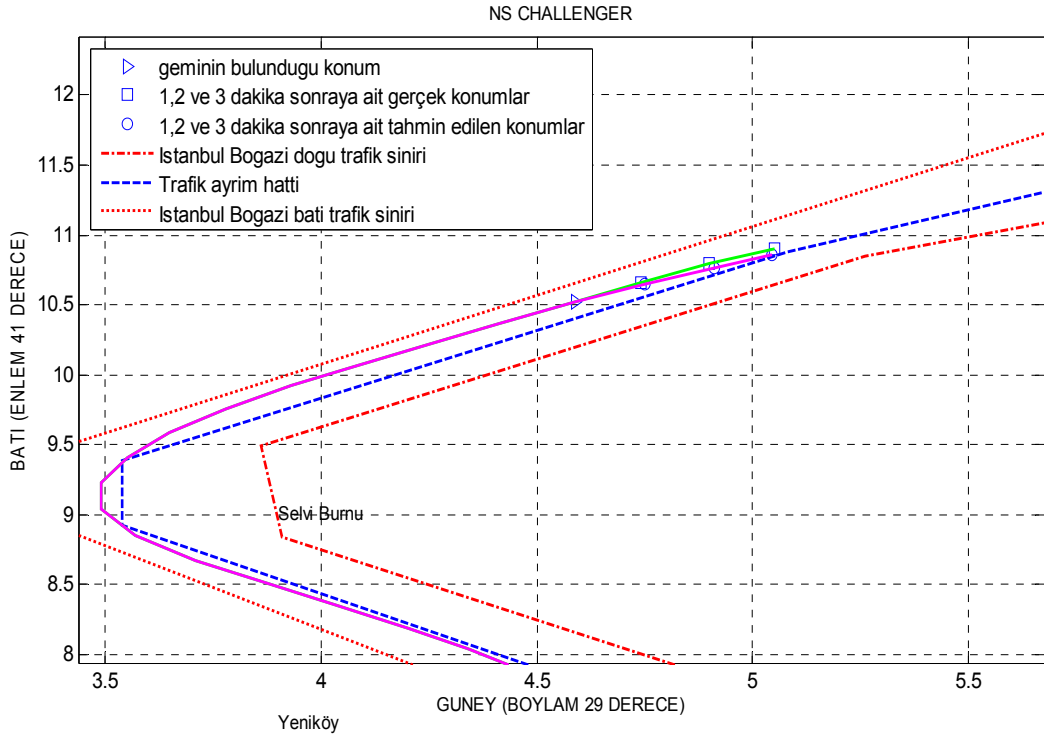
**Şekil B.6 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Yeniköy Bölgesi (37. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



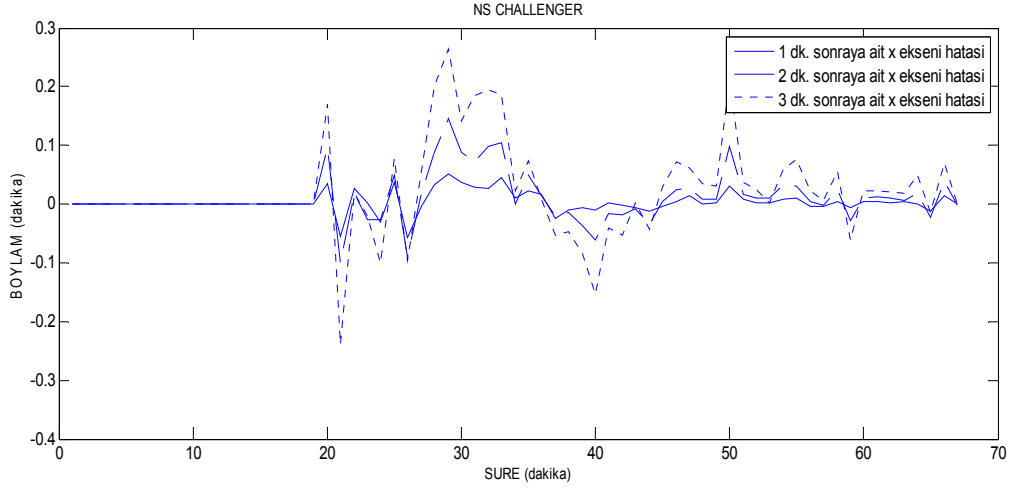
**Şekil B.7 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (47. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



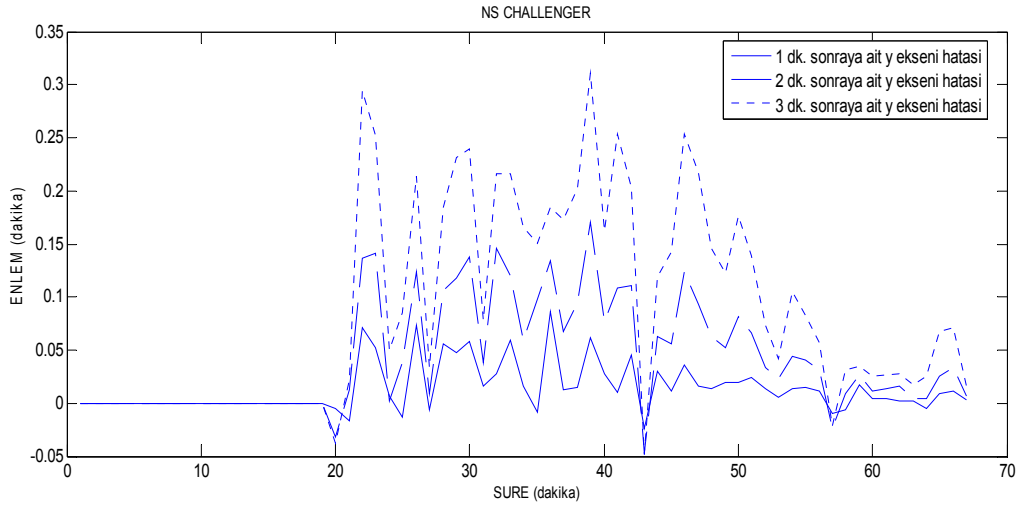
**Şekil B.8 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (48. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



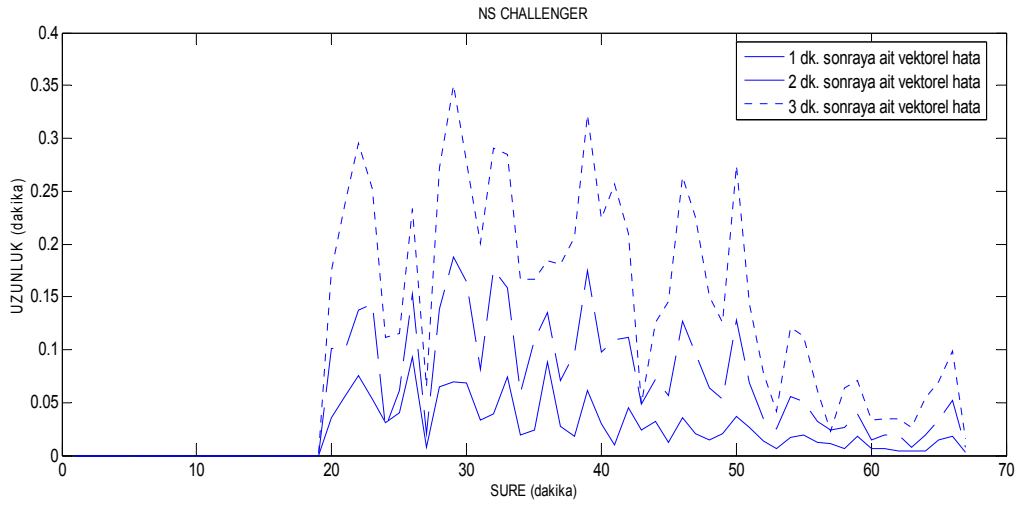
**Şekil B.9 :** CHALLENGER Tankerinin EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi Düz Rota (56. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu



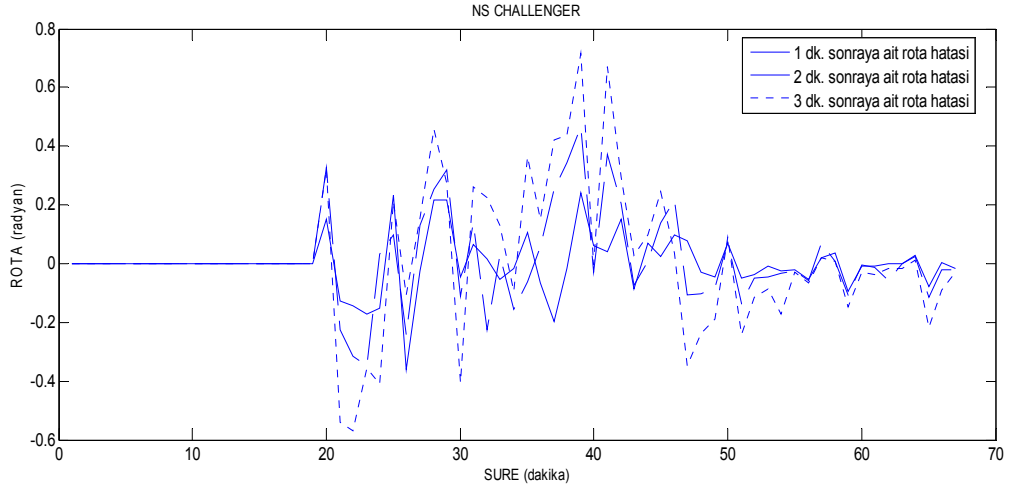
**Şekil B.10 : CHALLENGER Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait x Ekseni Hata Grafiği**



**Şekil B.11 : CHALLENGER Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait y Ekseni Hata Grafiği**

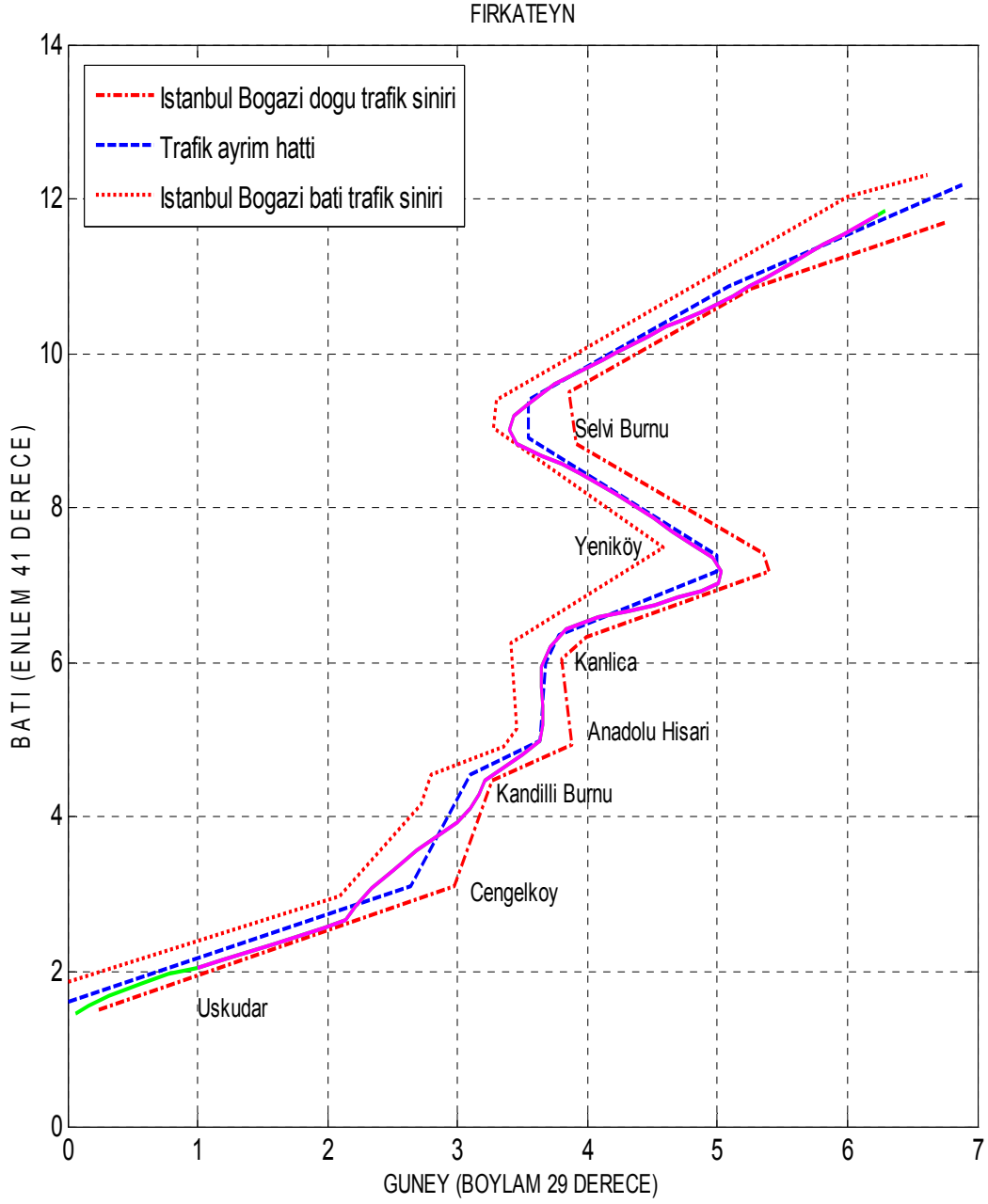


**Şekil B.12 : CHALLENGER Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Mesafe Hata Grafiği**

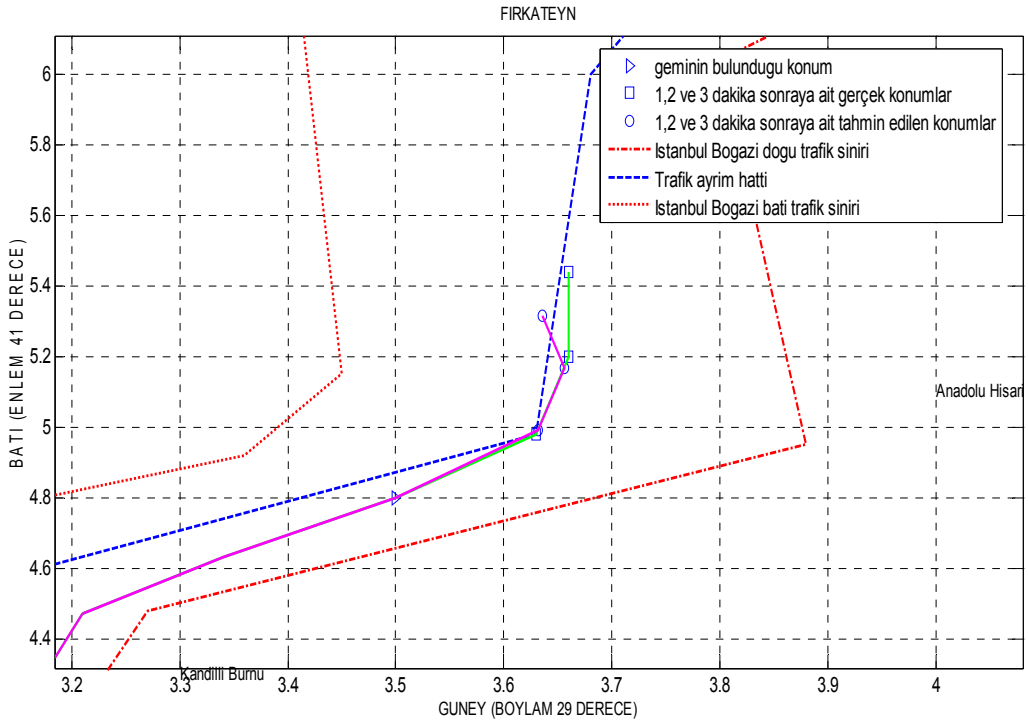


**Şekil B.13 : CHALLENGER Tankerinin Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Rota Hata Grafiği**

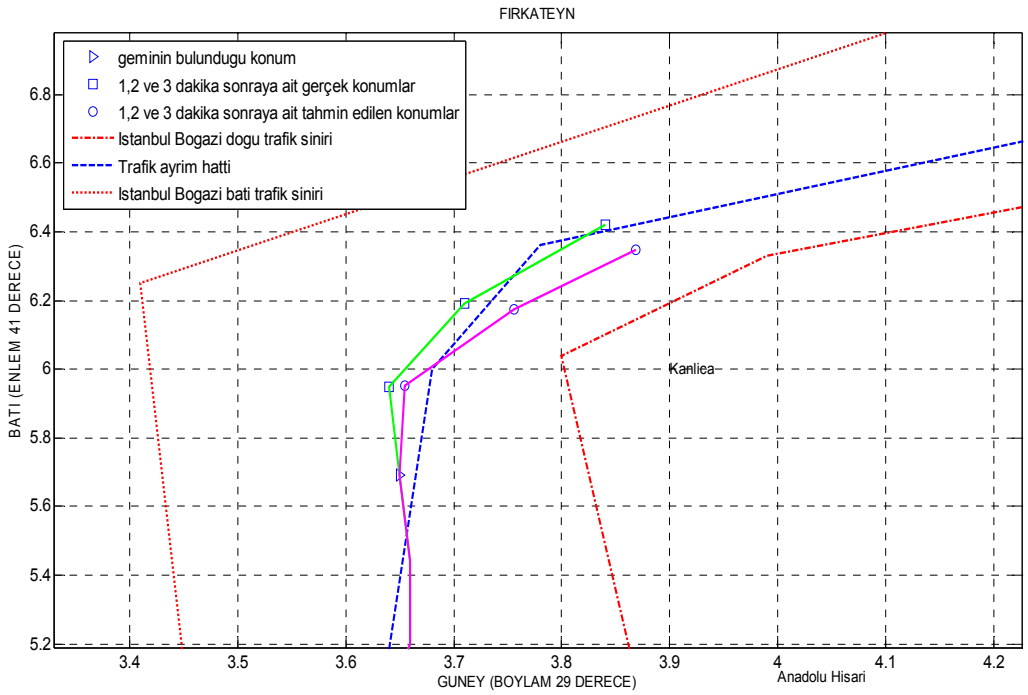
## EK-C : FIRKATEYNE AİT KONUM ÖNGÖRÜSÜ VE HATA GRAFİKLERİ



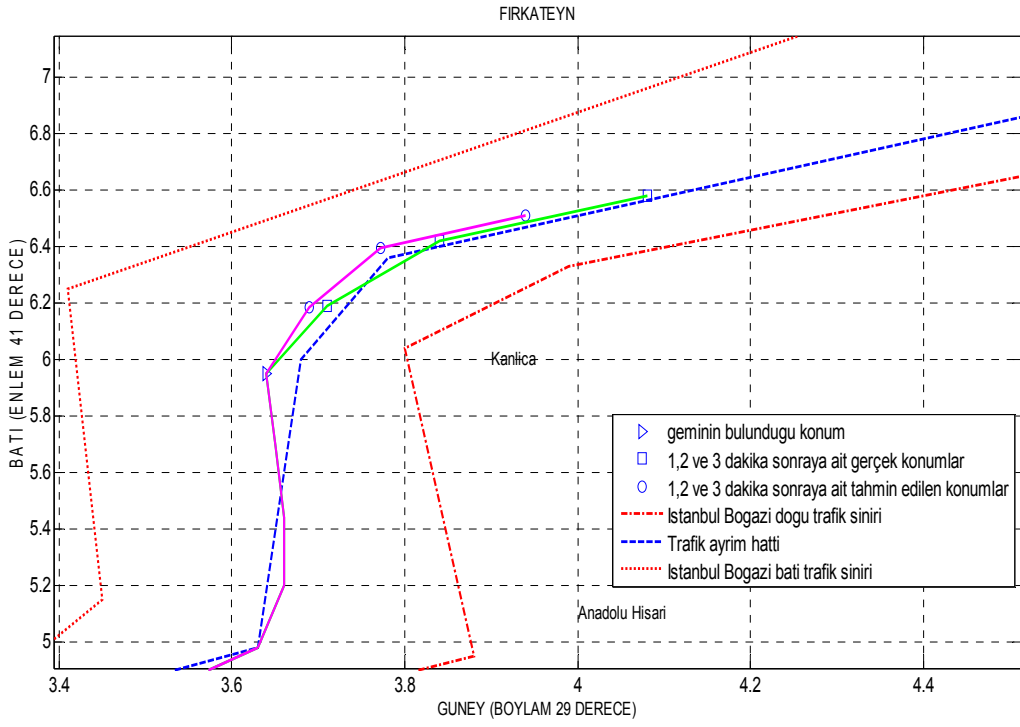
Şekil C.1 : FIRKATEYN'in Güney – Kuzey Yönünde İzlediği Yörünge



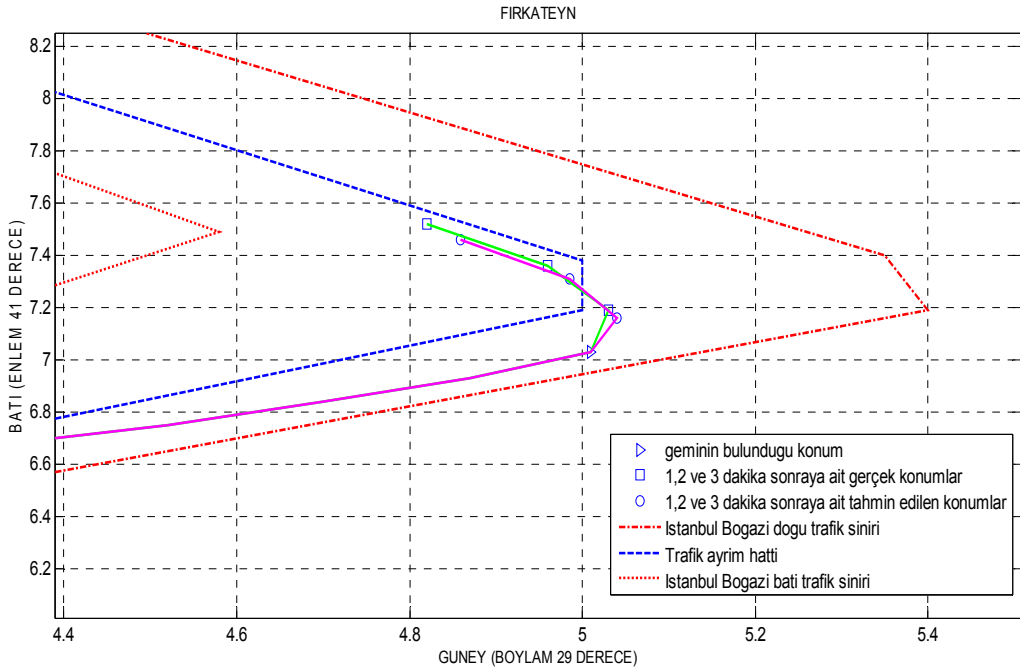
**Şekil C.2 : FIRKATEYN'in EYSA ile Anadolu Hisarı Bölgesi (23. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



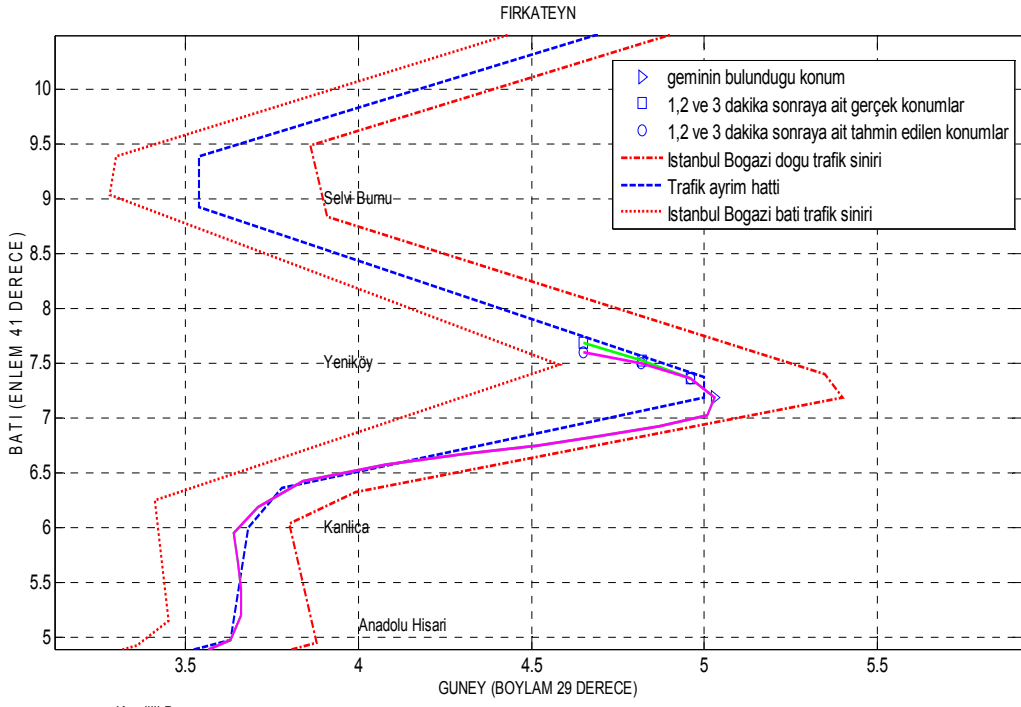
**Şekil C.3 : FIRKATEYN'in EYSA ile Kanlıca Bölgesi (27. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



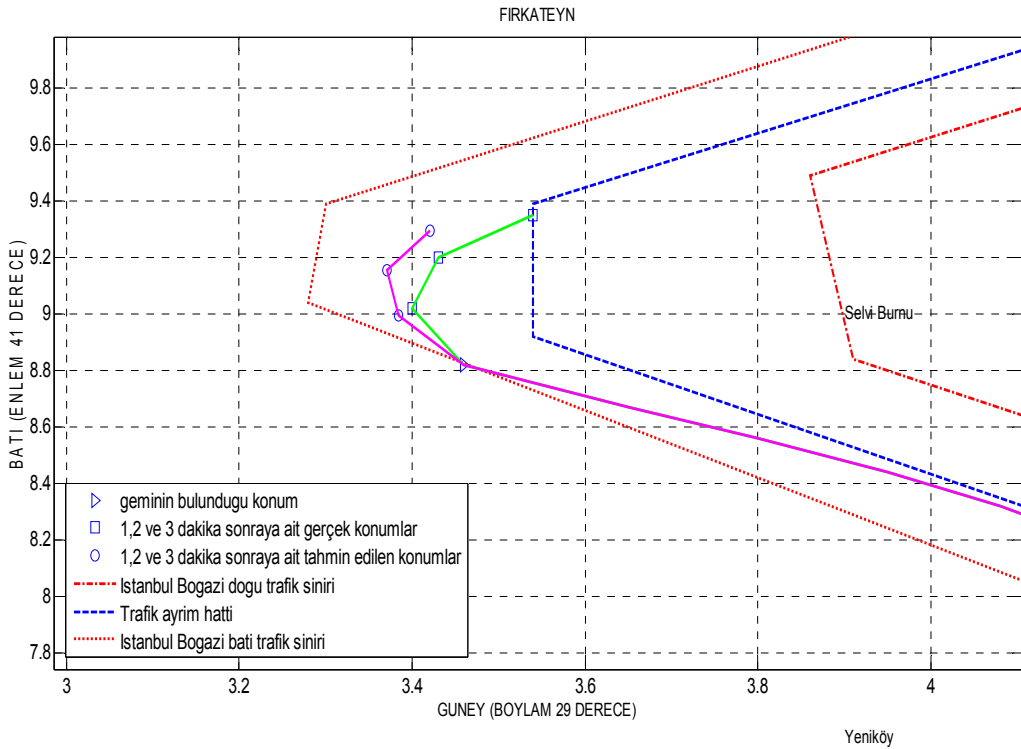
**Şekil C.4 : FIRKATEYN'in EYSA ile Kanlıca Bölgesi (28. Dakika)  
Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



**Şekil C.5 : FIRKATEYN'in EYSA ile Yeniköy Bölgesi (36. Dakika)  
Öngörüsü ve Gerçek Konumu**

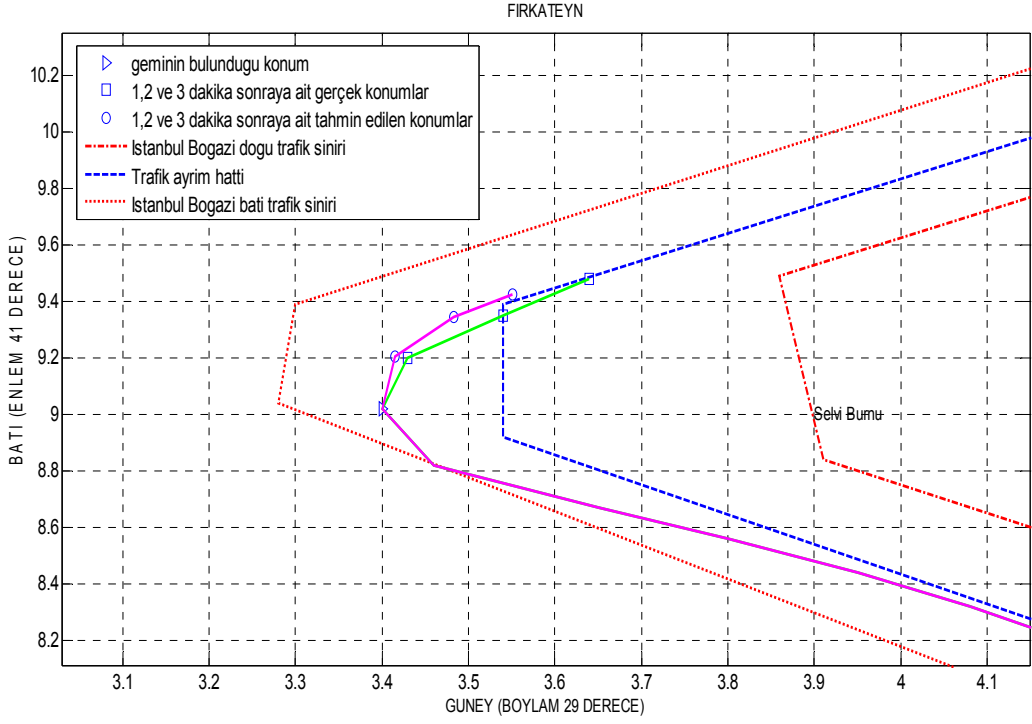


**Şekil C.6 : FIRKATEYN'in EYSA ile Yeniköy Bölgesi (37. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**

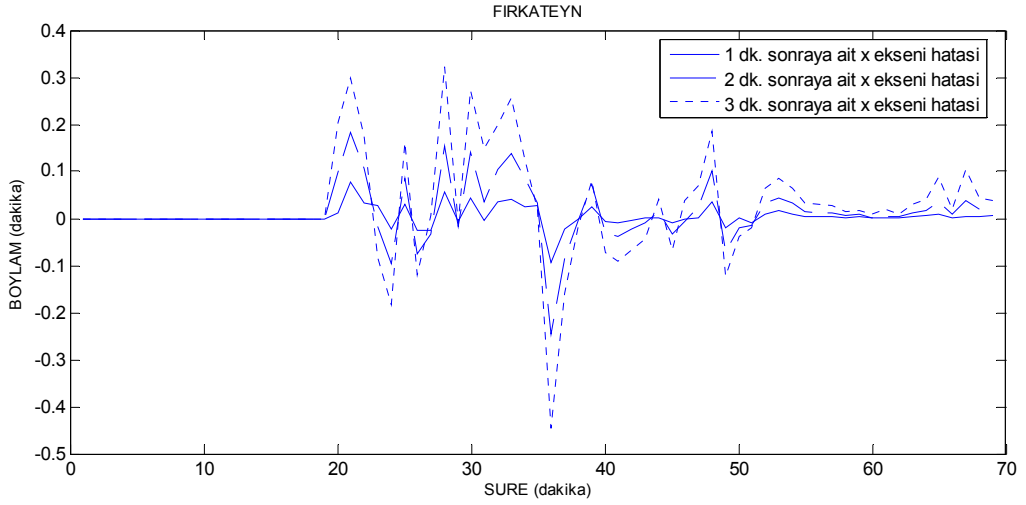


**Şekil C.7 : FIRKATEYN'in EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (48. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**

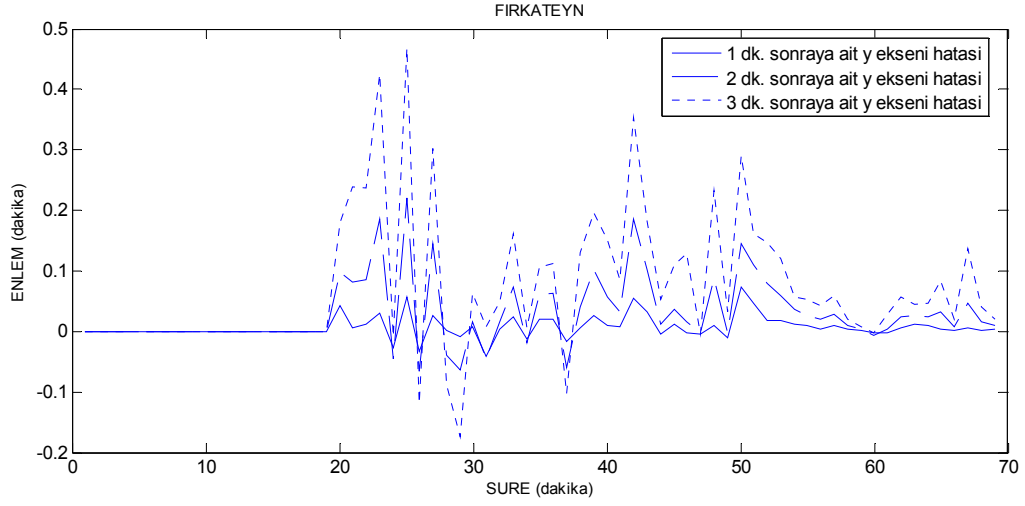




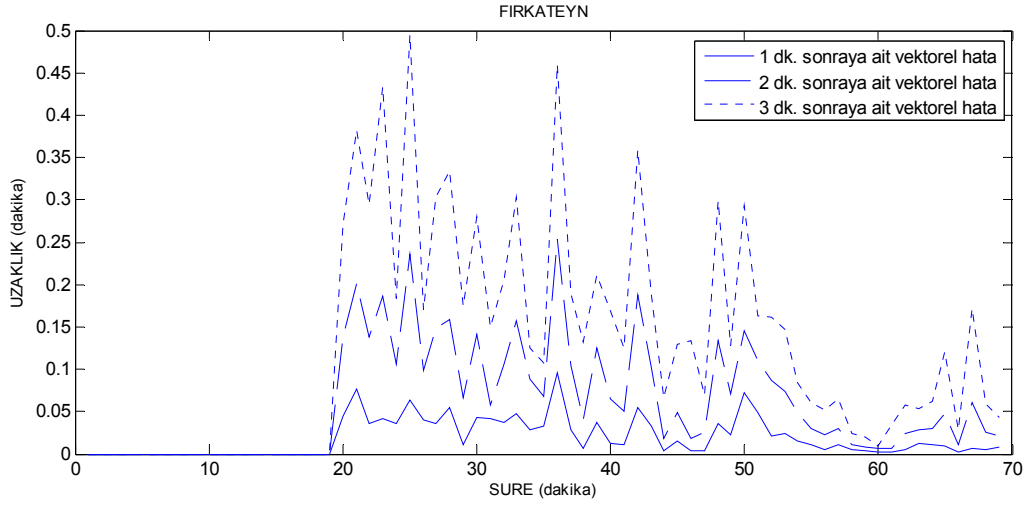
**Şekil C.8 : FIRKATEYN'in EYSA ile Selvi Burnu Bölgesi (49. Dakika) Öngörüsü ve Gerçek Konumu**



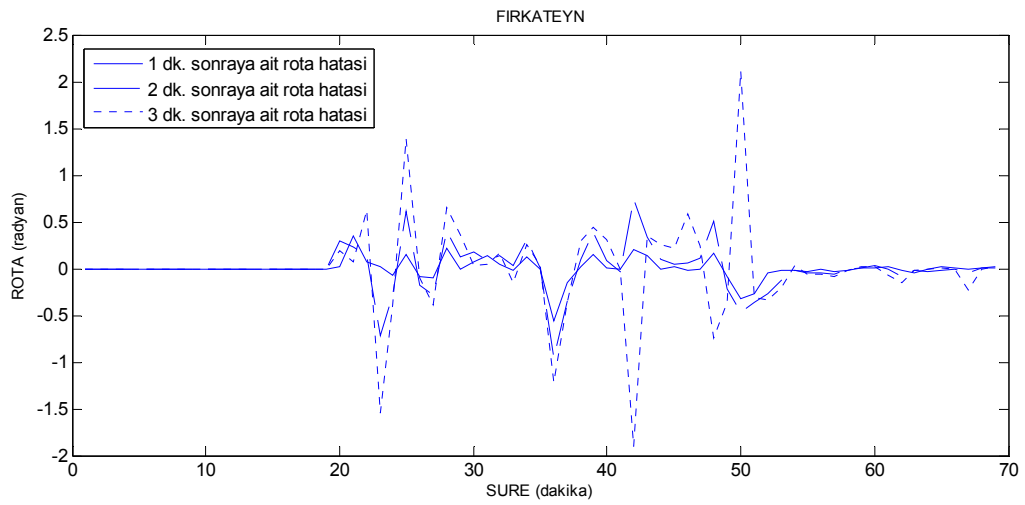
**Şekil C.9 : FIRKATEYN'in Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait x Ekseni Hata Grafiği**



**Şekil C.10 : FIRKATEYN'in Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait y Ekseni Hata Grafiği**

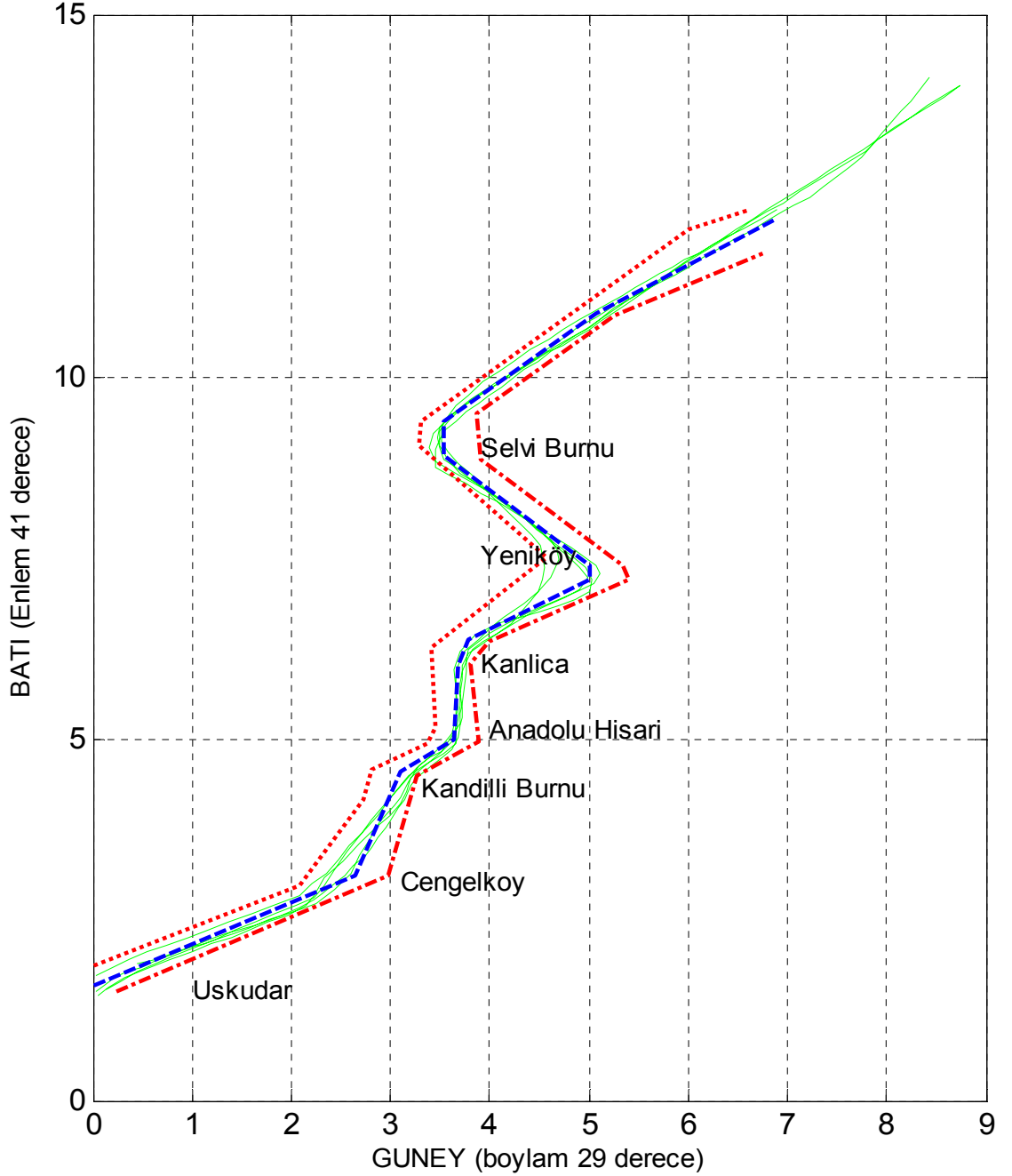


**Şekil C.11 : FIRKATEYN'in Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Mesafe Hata Grafiği**

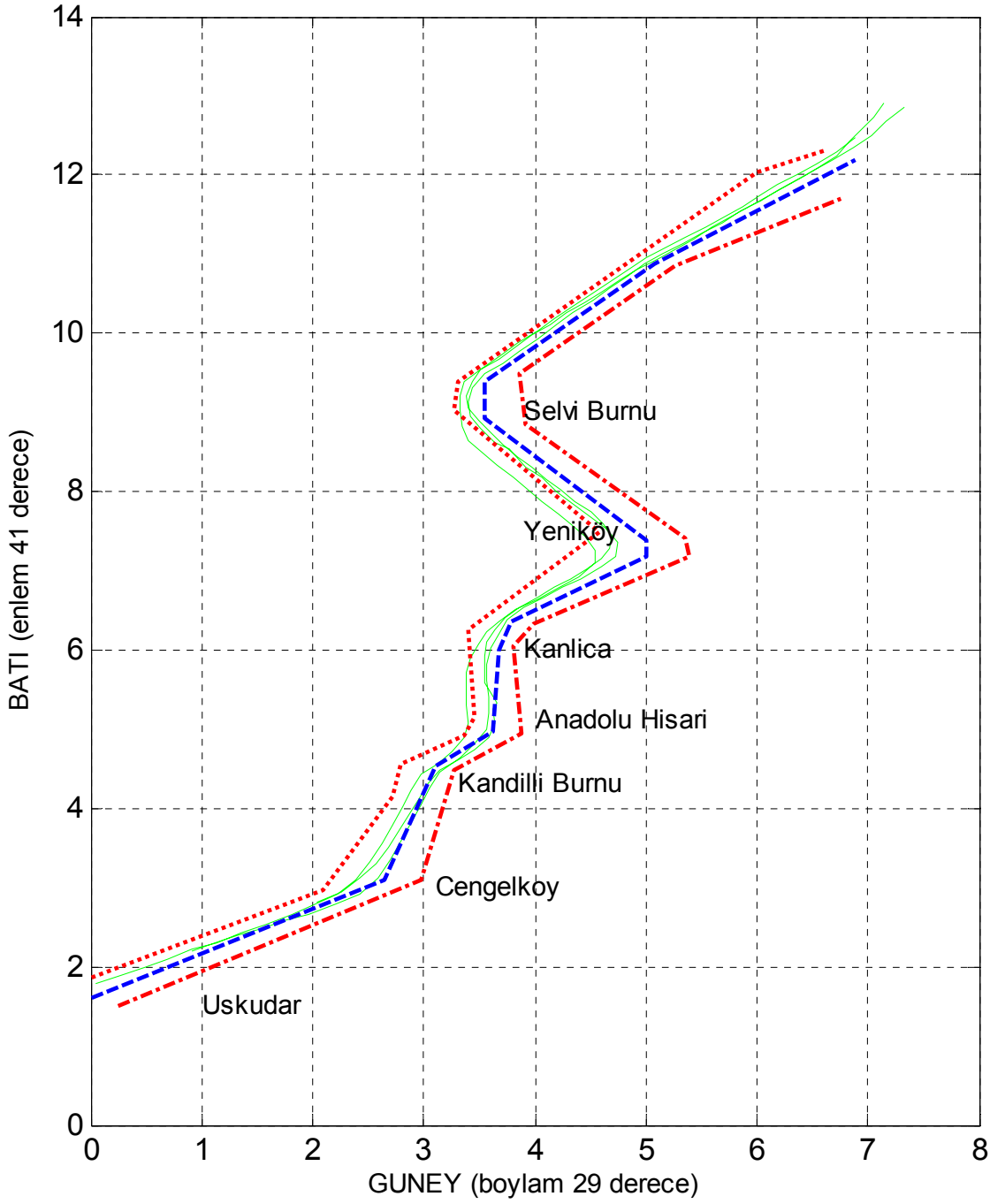


**Şekil C.12 : FIRKATEYN'in Öngörülen ve Gerçek Konumuna ait Rota Hata Grafiği**

## EK-D : GEMİLERİN BOĞAZ GEÇİŞ YÖRÜNGELERİ



**Şekil D.1:** İstanbul Boğazı Trafik Ayrım Düzeni ve Güneyden Kuzeye Geçiş Yapmış 5 Adet Geminin İzlediği Yörünge



**Şekil D.2:** İstanbul Boğazı Trafik Ayrım Düzeni ve Kuzeyden Güneye Geçiş Yapmış 3 Adet Geminin İzlediği Yörünge

## ÖZGEÇMİŞ

Uğur ŞİMŞİR 1971 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı adına askeri öğrenci olarak öğrenim gördüğü İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesinden 1993 yılında mezun oldu ve Mühendis Teğmen olarak Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nda göreve başladı. 1993 – 1999 yılları arasında Dz.K.K. Taşkızak Tersanesi Komutanlığı'nda Makine Dizayn Şube Müdürü yardımcısı olarak görev yaptı. 1996 yılında Üsteğmen rütbesine terfi etti. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Makine Yüksek Mühendisi ünvanı alan ŞİMŞİR, 1999 - 2002 yılları arasında Deniz Harp Okulu, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığında Öğretim Üyesi olarak görev yaptı. 2001 yılında Yüzbaşı rütbesine terfi etti. 2002-2005 yılları arasında Gölcük Tersanesi Komutanlığında Fabrika Müdürü, 2005-2006 yılları arasında İstanbul Tersanesi Komutanlığında Kalite Kontrol Şube Müdürü olarak görev yaptı. Halen İstanbul Tersanesi Komutanlığı MİLGEM Proje Ofisi'nde Dizayn Subayı olarak görev yapmaktadır. Y.Müh.Kd.Yzb. ŞİMŞİR, evlidir ve bir kızı vardır.