

Dar su yollarında manuel kumanda ile seyir yapan gemilerin konumunun yapay sinir ağı kullanılarak öngörülmesi

Uğur ŞİMŞİR*, Şeniz ERTUĞRUL

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Gemilerin dar sulardan geçişleri, maruz kalınan bozucular ve coğrafi yapı nedeniyle çok gelişmiş seyir cihazlarına rağmen sorun olmaya devam etmektedir. Birçok ülkede dar sularda emniyetli geçişin sağlanması amacıyla, belirli aralıklarla yerleştirilmiş radarlar vasıtasıyla geçiş yapan gemilerin izlenmesi ve bu sayede çarpışma, karaya oturma ve diğer şekillerde oluşabilecek kaza risklerinin azaltılması için Gemi Trafik Hizmetleri Merkezleri (GTH) görev yapmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Boğazı model alınarak, GTH merkezinde erken uyarı sistemi ve geçiş yapan gemilerde seyir yardımcısı kılavuz olarak görev yapacak bir yöntem geliştirilmiştir. Boğaz kazalarının, gemilerin trafik ayırım düzeni sınırlarını ihlal etmeleri nedeniyle meydana geldiği bilindiğinden, ihlalin önceden tespiti ile tehlike riskini azaltmak ve olası kazaları engellemek hedeflenmiştir. Özellikle görüşün azaldığı, alt akıntının arttığı durumlarda ve 45 dereceden daha yüksek manevralarda kaza riski artmaktadır. GTH merkezinin imkânlarından faydalanılarak, manüel olarak kumanda edilmek suretiyle boğaz geçişi yaptırılan gemilerin tüm çevre şartlarına bağlı olan hareketine ait verilerinden faydalanarak yapay sinir ağı eğitilmiş ve eğitilmiş yapay sinir ağı (EYSA) ile İstanbul Boğazı'nın coğrafi ve oşinografik özelliği göz önüne alınarak kabul edilmiş süre olan 3 dakika sonraki yerleri öngörülmüştür. Gerçek zamanlı olarak yapılan öngörü GTH personeli ile değerlendirilmiş ve en az 2 dakikalık öngörünün kendileri için faydalı olacağı tespit edilmiştir. Vektörel hata analizleri de yapılarak öngörünün istenen seviyede olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, manüel kontrol, navigasyon, öngörü.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Uğur ŞİMŞİR. usimsir@gmail.com; Tel: (532) 413 42 63.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Dar su yollarında manuel kumanda ile seyir yapan gemilerin konumunun yapay sinir ağları kullanılarak öngörülmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 02.02.2007 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 19.04.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.03.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Prediction of manually controlled vessels' position navigating in narrow waterways using artificial neural networks

Extended abstract

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, guidance and an early 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 for warning system by Vessel Traffic Services (VTS) operators and guidance system by vessel crew. Even though all vessels have modern navigation devices, use of autopilot is not allowed in the Strait. Vessels have to be manually controlled according to rules. A human operator (helmsman) controls a vessel as a continuous system manually according to captain's command against random disturbances through strait of Istanbul and their behaviour affects the course and coordinates of the vessel.

In this study, Artificial Neural Networks have been trained by using position and speed data collected from vessels which navigated manually in the strait and they included effects of environmental conditions and geographical characteristics of the strait. Three-minute-ahead-position of vessels have been predicted by using the trained ANN. 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 a risk on time which may result with a disaster because of negligence of the vessel crew.

Latitude and longitude (x, y), course (ψ), 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.

On-line prediction has been tested at the VTS centre in Istanbul. and, it has been confirmed that, there is no early warning and guidance system as intended in this study, either in Turkey or in another country to use along with VTS systems. Warning mission is currently realised by certificated and experienced operators. 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. Currently a Straight bearing line is shown on the VTS operator panels and it represents vessels' course but it's not useful especially on the turning regions.

The proposed method has been particularly formed for prediction of turning course and the prediction performance was found to be successful on the turning regions. Error analysis has been made for examining differences between predicted position and real position of the vessel.

Three different methods can be suggested for prediction. As in this study; data file of the vessel has been updated and Neural Networks have been trained in 1 minute sampling period and then 3-minute-ahead position has been predicted with trained Neural Network. As another possible method; Trained Artificial Neural Networks (TANN) libraries can be constituted by collecting data statistically from vessels navigate in Strait depending on the current environmental conditions. Finally as a third option, special TANN libraries can be constituted by keeping the past data of any specific vessel and it can be later used for the same vessel and of course environmental conditions should also be considered. In addition, if VTS operators can watch the course prediction instead of straight bearing on operator panels for vessels navigating in opposite directions in straits, the algorithm can be expanded to make "collision prediction" for early warning in especially turning regions and this issue can be studied also in future.

Keywords: Artificial Neural Networks, manual control, navigation, prediction.

Giriş

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. Çalışmada, İstanbul Boğazı model alınarak, gemilerin dar sulardan geçiş problemine yönelik erken uyarı sistemi ve/veya kılavuz olarak hizmet edecek bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir. Temel amaç, manüel olarak kumanda edilen gemiye ait verilerden faydalanarak Yapay Sinir Ağı (YSA)'nın 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 amaçlanmış olup erken uyarı ve kılavuzluk hizmetinin gerçekleştirilebildiği herhangi bir sistemin Türkiye ya da diğer ülkelerdeki GTH sistemlerinde bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmada manüel olarak kumanda edilen geminin tüm çevre şartlarına bağlı olan hareketine ait koordinat ve hız verilerinden faydalanarak Yapay Sinir Ağı eğitilmiş ve İstanbul Boğazının özelliği göz önüne alınarak kabul edilmiş süre olan 3 dakika sonraki yeri öngörülmüştür. Bu amaçla çeşitli gemilerden toplanan veriler kullanılmış, İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri merkezinde denemeler yapılmış ve yöntemin özellikle dönüşlerde istenen hassasiyette öngörü yapabildiği ortaya konmuştur.

GTH Merkezinde operatör tarafından izlenen monitörlerde sadece gemilere ait düz kerterizler görülebilmektedir. Özellikle dönüş bölgelerinde gemi personelinin ihmal ya da hatası nedeniyle oluşabilecek riskin GTH personeli tarafından zamanında tespiti çok önemlidir.

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 knot olmasına rağmen trafiğin uygun olduğu özellikle tek yönlü geçişlerde 15 knota 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 mesafe için öngörü yapılması hedeflenmiştir.

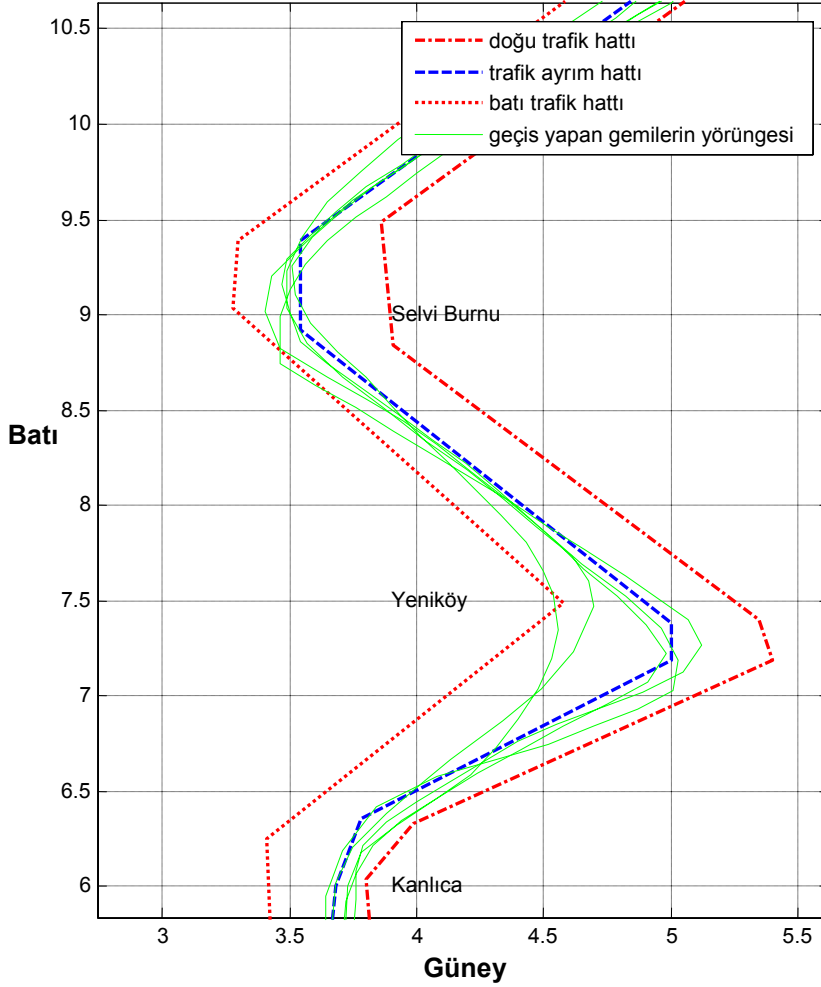
1994'deki Nassia kazasından sonra, 10 milyonun üzerinde nüfusa ve 3000 yıllık tarihe sahip İstanbul'un, ciddi güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde tehlikeli yükler taşıyan bir başka büyük geminin patlaması ile önemli derecede risk altında olduğu anlaşılmıştır (Cerit, 2000).

Gemilerin hemen hepsinde çok gelişmiş seyir cihazları bulunmasına rağmen, İstanbul boğazı geçişinin manuel olarak gerçekleştirilmesi zorunluluğu vardır. Çalışmada, kaptandan aldığı komutlar ile bir geminin İstanbul Boğazı geçişini gerçekleştiren insan operatör (serdümen) 'ün sürekli bir sistemi rasgele bozuculara karşı kumanda ederken yaptığı hareketlerin geminin rotasına ve koordinatlarına ne şekilde yansıdığı incelenmiştir (Papenhuijzen ve Stassen,1989).

İstanbul Boğazı'nda meydana gelen kazalar araştırıldığında son 60 yılda 400'den fazla kaza kaydedildiği tespit edilmiştir (Türk Boğazları Seyir Güvenliği, 2000). İstatistiklere göre deniz kazalarının yüzde 80'i insan hatalarından kaynaklanmaktadır. İstanbul Boğazında en fazla ihlalin yapıldığı bölgelerden biri olan Selvi burnu ve Yeniköy bölgesinde gemilerin yörüngeleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Navigasyon

Boğaz geçişi söz konusu olan geminin manuel kumandasını gerçekleştirecek olan insan operatörün davranışları da öngörü için kullanılacak yöntemde dahil olacağından, insan tarafından kumanda edilen geminin hareket denklemleri ve dinamik özellikleri incelenmiş ve aşağıda anlatılmıştır. Kaptanın dönüş noktaları arasında sabit kalmasını istediği rota (ψ) değerini sağlayabilmek için serdümen dümen açısını (δ) kontrol etmektedir. Gemi dinamiğine ait parametrelerin bozucu etkenler nedeniyle nasıl değişiklik gösterdiğinin anlaşılması için gemi hareket denklemleri incelenmiştir.



Şekil 1. Selvi Burnu ve Yeniköy bölgesinde yapılan ihlaller-Kuzey yönünde geçiş

Bozucu etkenlerden dolayı aşağıdaki denklemde görülen parametreler lineer olarak değişmediğinden gemi hareketi lineer bir davranış göstermez. Ancak, açık deniz seyirlerinde $u=u_0$, $v=v_0$, $r=r_0$ ve $\delta=0$ olduğu durumda hareket denklemleri lineerleştirilebilir. İstanbul Boğazı için bu varsayım geçerli değildir. Sancak ya da iskele tarafa olan kaçma yada düşme hızı (v), dönme oranı (r), rota (ψ), pruva hızı (u), gemi uzunluğu (l) ile gösterilmiştir. Buna göre aşağıdaki denklemler elde edilir. Bu denklemlerdeki a ve b parametreleri gemi tipine göre değişmektedir (Sindel, 1984).

$$\frac{dv}{dt} = (u/l)a_{11}v + ua_{12}r + (u^2/l)b_1\delta$$

$$\frac{dr}{dt} = (u/l^2)a_{21}v + (u/l)a_{22}r + (u^2/l^2)b_2\delta$$

$$\frac{d\psi}{dt} = r$$

İnsan davranışları sonucunda seyir yapan geminin tüm çevresel bozucu etkenlerin de dahil olduğu verilerle eğitilerek, istenen öngörünün yaptırıldığı Yapay Sinir Ağları hakkında bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

YSA'nın eğitilmesi

Yapay Sinir Ağları karmaşık ve belirsiz verilerden anlam ve sistemin eğilimi hakkında sonuç çıkarma kabiliyetlerinin yanı sıra çok karmaşık sistemler için model elde etmek için de kullanılabilir. Eğitilmiş Yapay Sinir Ağı analiz amacıyla verilmiş bir sistem için "uzman" olarak kabul edilebilir. Yapay Sinir Ağları, üstün öğrenme ve genelleştirme

yetenekleri nedeniyle, bir problemde kurallar üretmek ve öğrenmek, örnekleme verilerini kullanarak analiz etmek, genelleştirmek ve tahminler yapmak, verilere bakarak sistemin karakteristiğini öğrenmek gibi yöntemler için kullanılabilir (Ertugrul ve Hızal, 2005).

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 Sinir Ağları ile her t anında, $\hat{x}(t+1)$, $\hat{x}(t+2)$, $\hat{x}(t+3)$, $\hat{y}(t+1)$, $\hat{y}(t+2)$, $\hat{y}(t+3)$ konumlarının öngörülmesi sağlanmıştır. Yapay Sinir Ağının 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 (ψ), 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 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. Bu nedenle YSA eğitilirken tercih edilen modelde sadece koordinat verileri dikkate alınmıştır.

GTH merkezinde yapılan çalışmada, geçiş yapan gemilerin genellikle 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 $y_r[k+1]$, $y_r[k+2]$, $y_r[k+3]$ vektörleri de geçiş yapan gemiye ait konum ve seyir süratine bağlı olarak 1 dakika örnekleme periyodunda güncellenmiştir.

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 Sinir 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;

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 eğitildi,

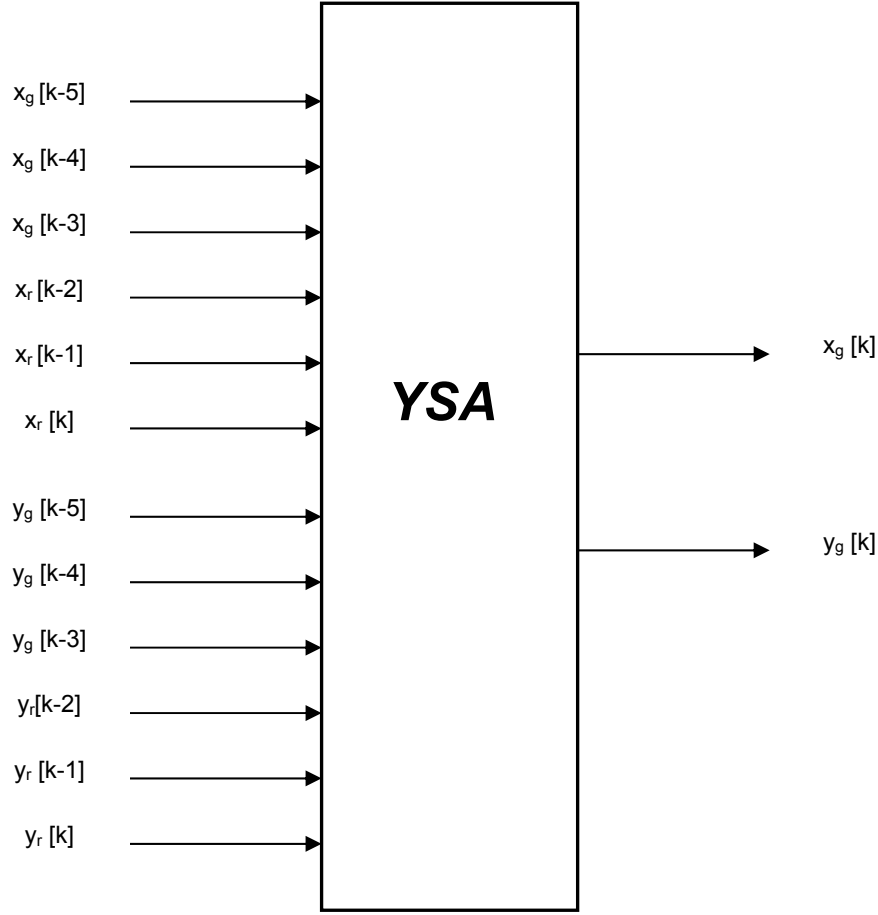
Eğitilen Yapay Sinir Ağı (EYSA) kullanılarak, $x_g[k-2]$, $x_g[k-1]$, $x_g[k]$, $x_r[k+1]$, $x_r[k+2]$, $x_r[k+3]$, $y_g[k-2]$, $y_g[k-1]$, $y_g[k]$, $y_r[k+1]$, $y_r[k+2]$, $y_r[k+3]$ giriş vektörleri ile geminin 3 dakika sonraki konumu olan $\hat{x}_g[k+3]$, $\hat{y}_g[k+3]$ koordinatları öngörüldü.

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 eğitildi.

Eğitilen Yapay Sinir Ağı (EYSA) 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 konumu olan $\hat{x}_g[k+3]$, $\hat{y}_g[k+3]$ koordinatları öngörüldü.

Bu modeller ile yapılan deneylerde 1 dakika ara ile alınan x,y koordinat verilerinin eğitim için yeterli olduğu ve Model-1'in gemi karakteristiğini Model-2'ye göre daha iyi bir performans ile öğrenebildiği gözlemlendiğinden ağın eğitiminde Model-1'in kullanılmasına karar verilmiştir. Yapay Sinir Ağı yapısında ise, her iki modelde de tek saklı katman ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. En iyi performansı veren



Şekil 2. Gemiye ait verilerle eğitilen YSA eğitim modeli -1

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:

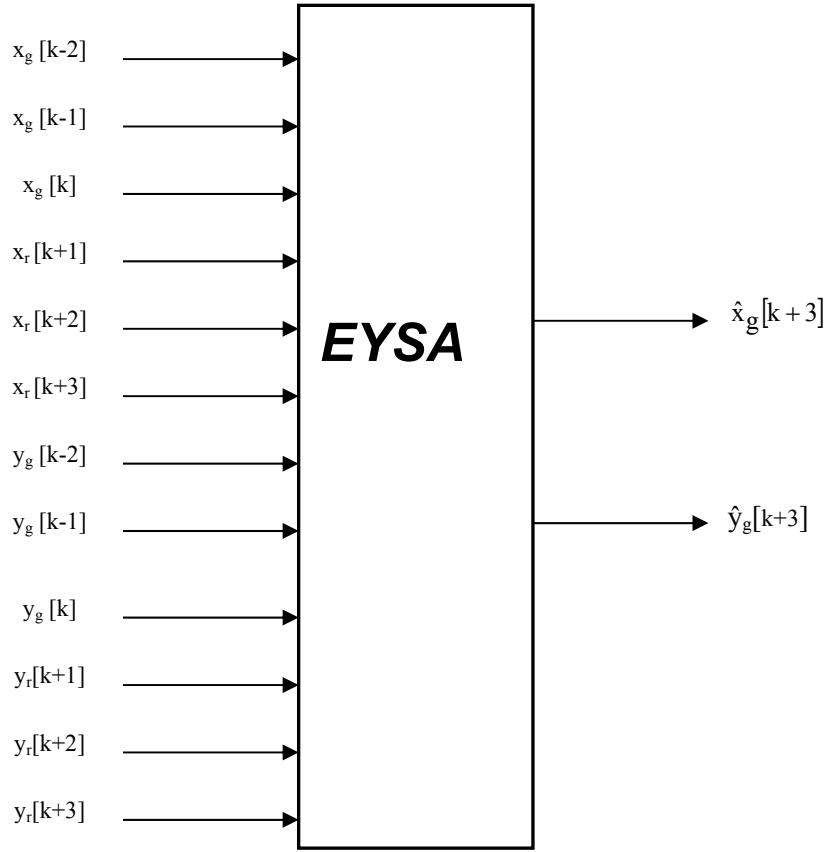
- Eğitim için gerekli verilerin toplanması
- YSA mimarisinin ve modellerin oluşturulması
- YSA'nın eğitimi
- Yeni girişlerle YSA'na benzetim uygulanması ve 3 adım sonraya ait öngörünün yapılması

Model-1'de öngörü amacıyla kullanılan ve eğitilmiş Yapay Sinir Ağı'na giriş olarak kullanılan veriler Şekil 3'te gösterilmiştir. Gerçek zamanlı konum öngörüsü İstanbul'da bulunan GTH sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

EYSA ile öngörü

Gerçek zamanlı konum öngörüsü amacıyla, GTH merkezinde çeşitli gemilere ait geçişler incelenmiş ve önerilen yöntemin uygulaması yapılmıştır. 170 metre uzunluğunda ACHILLEAS isimli tanker GTH merkezinden izlenerek 1 dakika örnekleme periyodunda konum bilgileri alınmıştır.

Model-1'in uygulandığı Yapay Sinir Ağı kullanılarak geminin 1, 2 ve 3 dakika sonraki yeri öngörülmüş ve özellikle Kandilli, Yeniköy ve Selvi Burnu 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.



Şekil 3. Konum öngörüsünde kullanılan Eğitilmiş YSA modeli

ACHILLEAS tankerinin Yeniköy bölgesi dönüşünde konumunun öngörüsü Şekil 4'te gösterilmiştir.

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 gerçekleştirilir:

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:

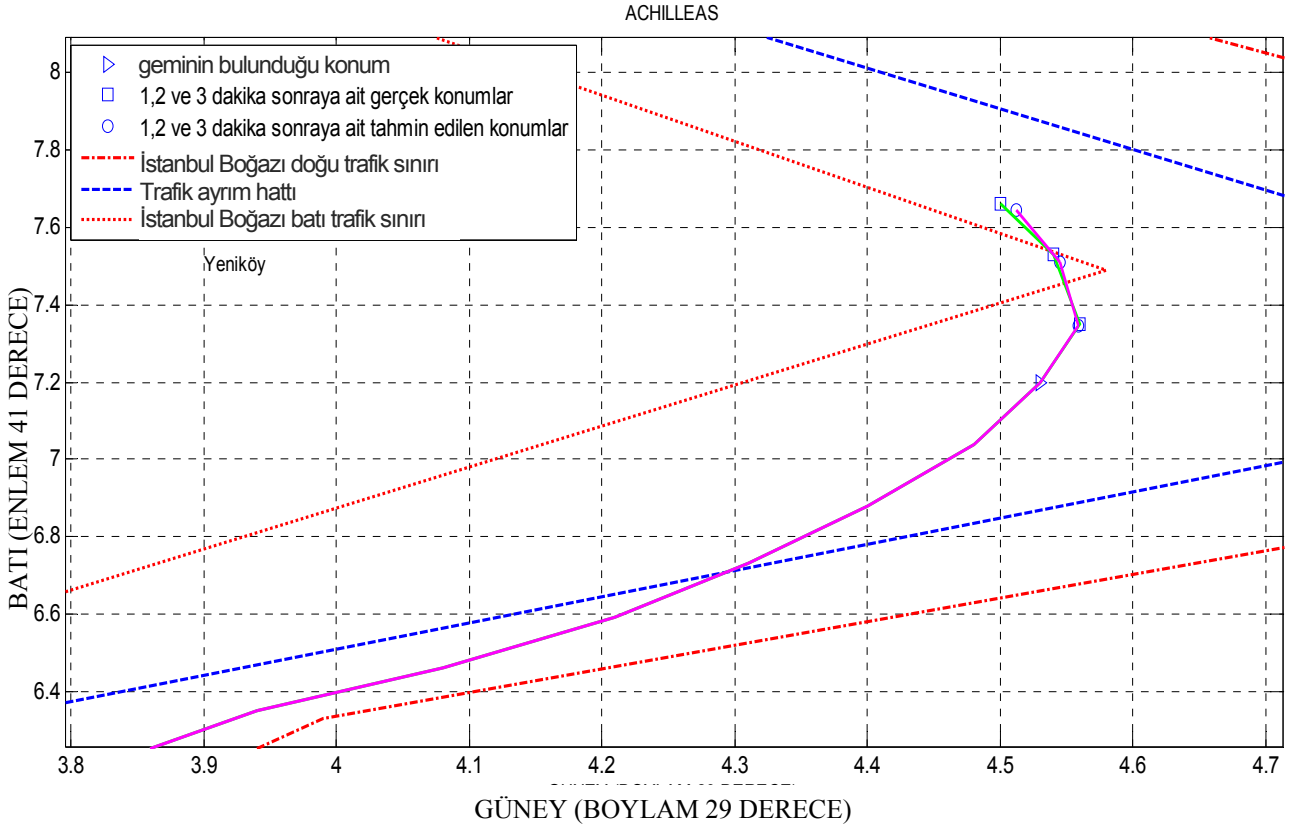
$$x_r [k+1] = x_r [k+1] - \Delta ;$$

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

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

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 şart gerçekleşmediği 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 Sinir Ağının eğitimi güncellendiğinden ağırlıklar ile yanlılık değerlerinin de güncellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle her adımda ağırlık değerleri saklanarak bir sonraki adımda başlangıç değerleri olarak verilmektedir.



Şekil 4. ACHILLEAS Tankerinin EYSA ile Yeniköy bölgesi öngörüsü ve gerçek konumu

Sonuçlar

Çalışmada bahsedildiği gibi, özellikle yüksek manevra gerektiren bölgelerde kaza riski daha fazla ve dolayısıyla konum öngörüsü daha zordur. İstanbul GTH merkezinde yapılan deneylerde kullanılan yöntem bu bölgelerdeki performansı ile başarılı olmuştur. 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, YSA'nın dönüşe yönelik eğitilmesini geciktirmiştir. Kandilli bölgesinde yapılan dönüş manevraları ile çizilen yörünge üzerinden alınan veriler YSA'nın dönüşe yönelik eğitiminin gerçekleşmesini sağlamış ve Kandilli dönüşüyle YSA'nın eğitiminin tamamlandığı gözlenmiştir.

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 herhangi 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 kuzeye 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 tankerine ait boy-

lam (x eksen), enlem (y eksen) ve mesafe hataları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir. 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 YSA’nın 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 knot hız ile alınan yol 1260 metre) göre hata daha küçük olduğundan uyarının da buna göre yapılabileceği ortaya konmaktadır. Öngörü mesafesi azaldıkça doğal olarak hatanın da azaldığı analiz sonuçlarından görülmektedir. Tüm şekillerde mesafe ölçeği dakika olarak verilmiş olup, 1 dakika yaklaşık 1150 metredir.

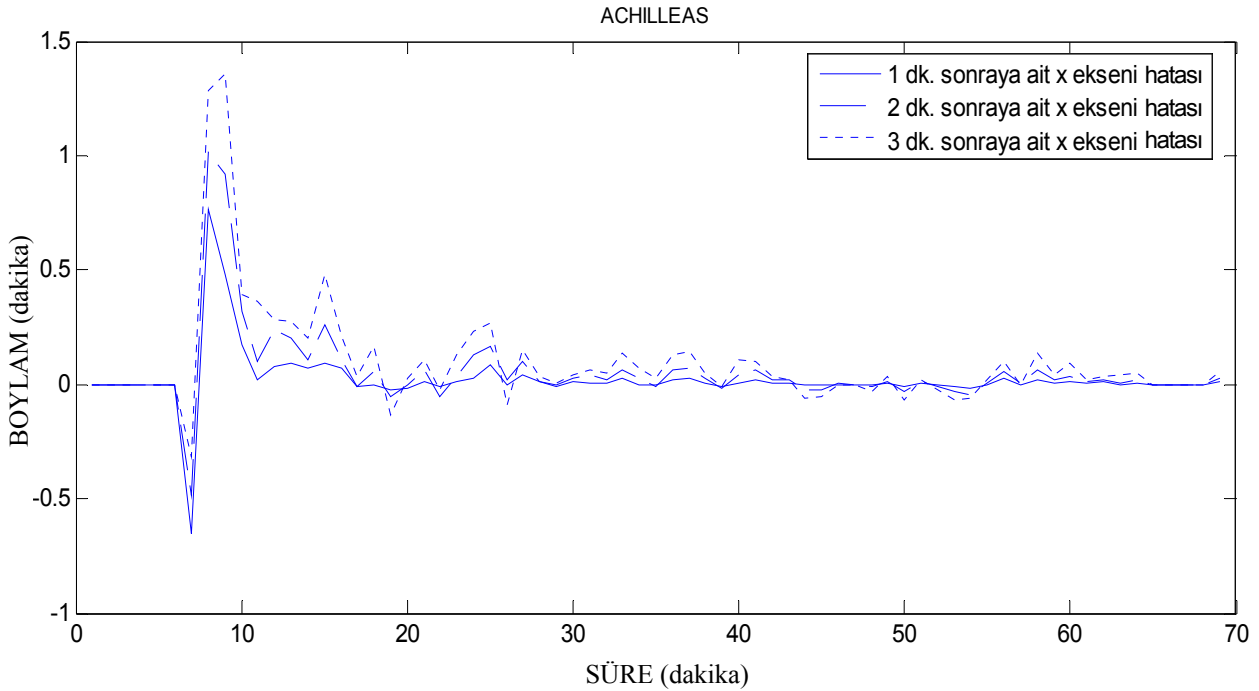
Boğaz kazalarının, gemilerin kendilerine ait trafik ayırma düzeni sınırları dışına çıkmaları nedeniyle meydana geldiği bilindiğinden, ihlalin önceden tespiti ile tehlike riskini azaltacak ve hatta ortadan kaldıracak, Dünya genelindeki

GTH merkezlerinde bulunmadığı tespit edilen ve ilk defa uygulanan erken uyarı sistemi için geliştirilen yöntemin başarılı olduğu görülmüştür.

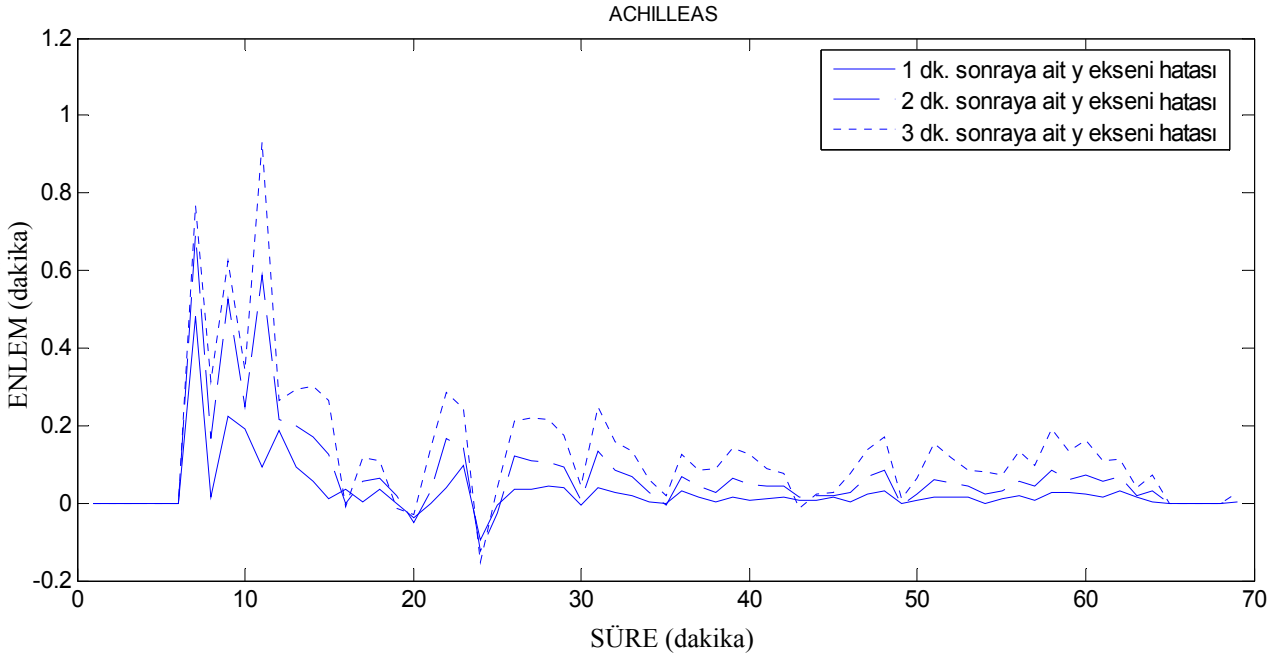
Öngörü için üç farklı yöntem kullanılabilir. Çalışmada, geçiş yapan geminin veri dosyasının 1 dakika örnekleme periyodunda gerçek zamanlı güncellenmesi ve YSA’nın yeniden eğitilmesi ile her t anında 3 dakika sonraki konuma ait öngörünün yapılmasına ilişkin yöntem kullanılmıştır.

Diğer iki yöntem; geçiş yapan gemilerin, istatistik olarak elde edilen verileri ile çevre şartlarına bağlı olan eğitilmiş Yapay Sinir Ağı (EYSA) kütüphaneleri oluşturmak, diğeri ise konum öngörüsü yapılacak geminin daha önceki geçişine ait verilerinin saklanması ile gemiye özel EYSA kütüphaneleri oluşturmak ve öngörü için bu kütüphanelerden faydalanmaktır.

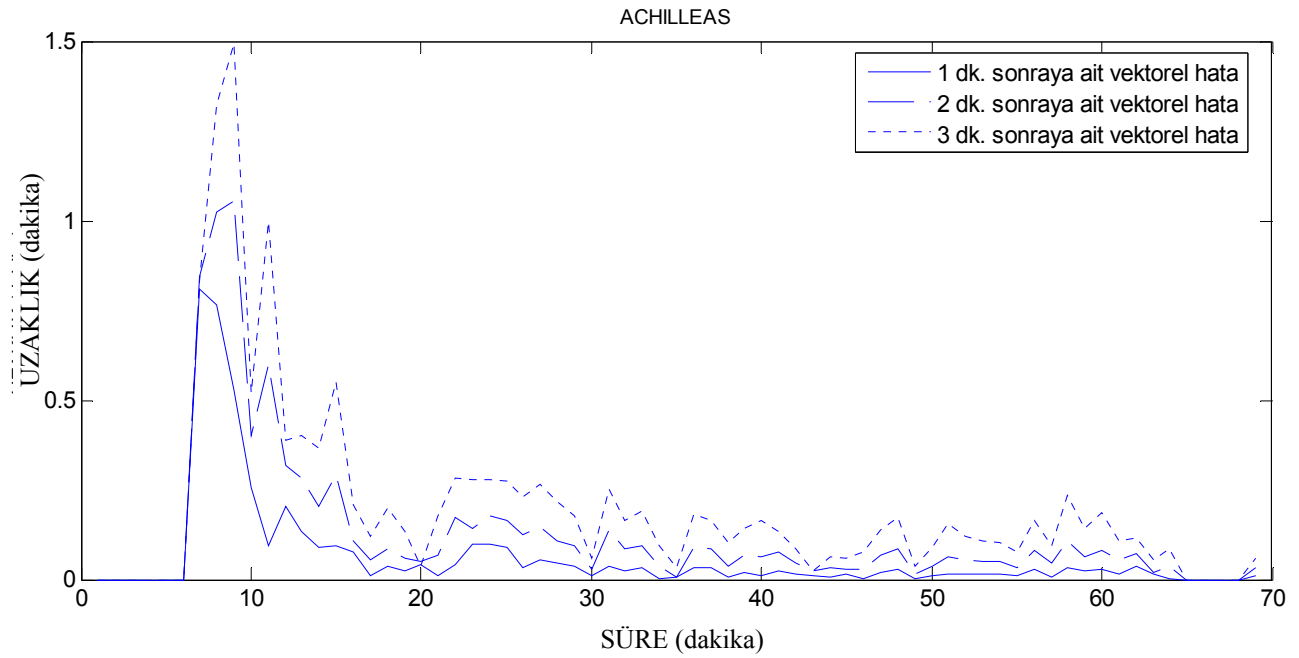
Ayrıca, algoritmanın farklı yönlere boğaz geçişi yapan gemilerin konum öngörülerini ile “çarpışma öngörüsü” yapabilecek şekilde geliştirilmesi de mümkündür.



Şekil 5. ACHILLEAS Tankerinin öngörülen ve gerçek konumuna ait x eksenindeki hata grafiği



Şekil 6. ACHILLEAS Tankerinin öngörülen ve gerçek konumuna ait y eksenindeki hata grafiği



Şekil 7. ACHILLEAS Tankerinin öngörülen ve gerçek konumuna ait mesafe hata grafiği

Kaynaklar

Cerit G., (2000). Deniz güvenlik yönetimi ve Türk boğazları, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Yüksekokulu, Bütüçec Altında Türk Boğazları Sempozyumu, İzmir.
Demuth, H. B., Beale, M., (1998). *Neural Network Toolbox for use with MATLAB*, User's Guide Version 3, The Math Works Inc.

Enab, Y. M., (1996). Intelligent controller design for the ship steering problem, *IEE*, **143**, 1.

Ertugrul, S., Hızal, N. A., (2005). Neur-fuzzy controller design via modelling human operator actions, *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, **16**, 133-140.

- Hagan, M.T., Demuth, H. B., Beale, M., (1996). *Neural network design*, PWS Publishing Company, Boston.
- 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, Sept. 18-20, Republic of Macedonia.
- McRuer, D.T., (1980). Human dynamics in man-machine systems, *Automatica*, **16**, 237-253.
- 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.
- 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 **4**, 25-29, 2801-2806, July.
- 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.
- Salski, A., Noback, H. and Stassen, H.G., (1998). A model of the navigator's behaviour based on fuzzy set theory, Delft University of Technology, Netherland.
- Sindel D., (1984). Sistem mühendisliği yaklaşımı ile gemi çarpışmalarının önlenmesi, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, (1999). İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı seyir rehberi, İstanbul.
- T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Yayınları, (2000). *Türk Boğazları seyir güvenliği*, İstanbul.
- Westrenen, F.V., (1995). Towards a decision making model of river pilots, Delft University of Technology, Delft.