

DAR KANALDA SEYİR YAPAN GEMİLERİN OTOPİLOT VE MANUEL KUMANDA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN MANEVRA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Yrd.Doç.Dr.Müh.Bnb.Uğur Şimsir

Deniz Harp Okulu , Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı
Tuzla, İstanbul, Türkiye
usimsir@dho.edu.tr

Özetçe

Çalışmada, bir geminin İstanbul boğazı geçişini kaptandan aldığı komutlar ile gerçekleştiren insan operatör (serdümen) 'ün sürekli bir sistemi rasgele bozuculara karşı kontrol ederken yaptığı hareketlere ait performansı ile otopilot sistemi performansının geminin rotasına ve koordinatlarına ne şekilde yansıdığı incelenmiştir. Boğaz geçişi yapan farklı tip ve tonajdaki 120 metreden daha uzun gemilerin özellikle boğazın tehlikeli manevra bölgelerindeki seyirleri incelenmiştir. Hemen hepsinde çok gelişmiş seyir cihazları bulunmasına rağmen, dar kanallarda seyir yapan gemilerin geçişlerinde otopilot kullanımına izin verilmemektedir. Geçişin manuel olarak gerçekleştirilmesi zorunluluğu vardır [2]. Çalışmanın amacı, otopilot kullanılması ile boğazdan manuel olarak geçiş yapan gemilere ait gerçek veriler kullanılarak karşılaştırma yapmak ve otopilot kullanımına izin verilmeme nedeni hakkında bilimsel veriler sunmaktır.

COMPARING OF MANOEUVRES PERFORMANCES WITH AUTOPILOT AND MANUAL CONTROL OF VESSELS WHICH NAVIGATING IN NARROW WATERWAYS

Abstract

In this study, a human operator (helmsman) controls a ship as continuous system manually according to captain's command against to random disturbances through bosphorus of Istanbul and it's investigated how their behaviour affects the course and coordinates of th ship. For this working, participated to navigation on bosphorus with different type vessels especially longer than 120 meter and determined where regions are dangerous and have risks. Despite all vessels have modern navigation devices, it's forbidden to use autoplot and they have to control their vessels manually according to rules [2]. The purpose of this study is to compare with autoplot navigation and manual navigation on bosphorus and present the cause of why autoplot is forbidden with scientific data.

Anahtar Kelimeler : Manuel Kontrol, Otopilot, Seyir
Keywords : Manuel Control, Autoplot, Navigation

1.GİRİŞ

Otopilot ve manuel kumada ile seyir performanslarının incelenmesi maksadıyla model olarak seçilen 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, mahalli olarak "orkoz" olarak adlandırılan güçlü bir ters

akıntıya neden olmaktadır. Ters akıntı gemilerin manevra kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışmada, kaptandan aldığı komutlar ile bir geminin İstanbul boğazı geçişini gerçekleştiren insan operatör (serdümen) 'ün sürekli bir sistemi rasgele bozuculara karşı kontrol ederken yaptığı hareketlerin geminin rotasına ve koordinatlarına ne şekilde yansıdığı incelenmiş ve PD kontrol algoritması ile çalışan otopilot sistemi simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Serdümen kumandası ile seyir yapan gemi lineer olmayan bir harekete sahip olmasına rağmen otopilot sistemlerinde seyir dinamiğinin lineer olduğu kabul edilmektedir. Otopilot kullanımına izin verilmeyen İstanbul boğazı ve İstanbul boğazına benzer yoğun ve dar kanallarda, izin verilmeme nedeninin net olarak anlaşılabilceği bir çalışma hedeflenmiştir.

2. GEMİ HAREKETİNİN TANIMLANMASI

2.1 GEMİ MANEVRASINA AİT SİSTEM DİZAYNI

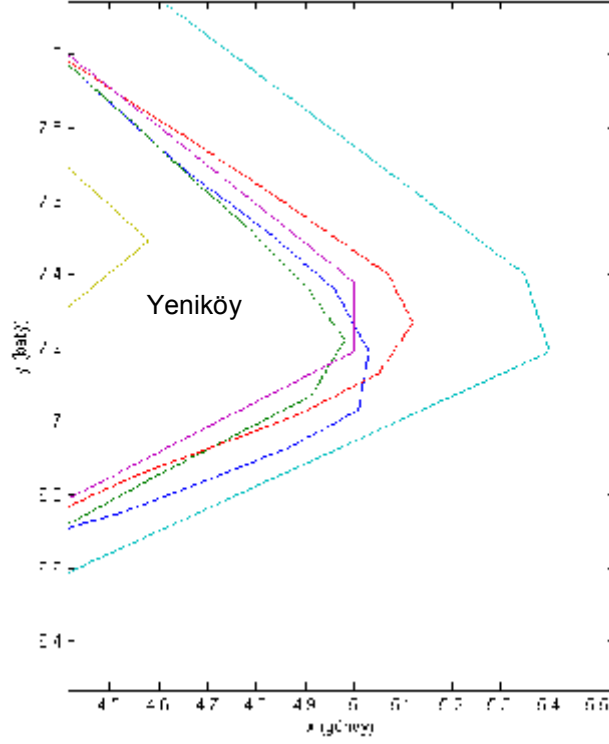
Gemi otopilot sistemleri, geri besleme temeline dayalı olarak verilen rota ve geminin mevcut rotası arasındaki hata'ya göre dümen hidrolik sistemi servo valfine kontrol ederek dümenin sancak-iskele hareketini sağlar. En yaygın olarak sabit parametrelili PD yada PID kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu 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 [3,4].

2.2 İSTANBUL BOĞAZI'NIN COĞRAFİ YAPISININ SEYRE ETKİSİ

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

Dar Kanalda Seyir Yapan Gemilerin Otopilot Ve Manuel Kumanda İle Gerçekleştirilen Manevra Performanslarının İncelenmesi

engellemektedir. Özellikle Kandilli'de boylu gemiler için bir başka sorun da yan yana geçiş durumunda yeterli alan bulunmamasıdır.

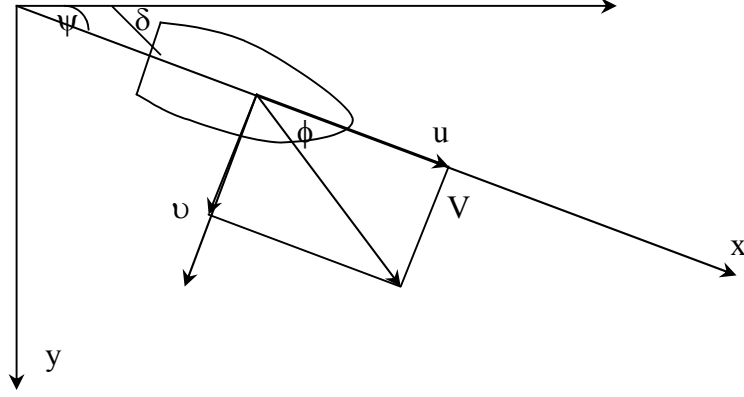


Şekil 2.1: İstanbul Boğazından Karadeniz yönüne geçiş yapan gemilerin Yeniköy bölgesinde izledikleri yörünge

2.3 GEMİ DİNAMİĞİNİN TARİFİ

Gemi dinamiği, Newton denklemlerinin gemi hareketine uygulanmasıyla elde edilmektedir. Geminin hareketine ait model şekil 2.2 de gösterilmiştir.

Burada V geminin toplam hızı, u ve v , hızın x ve y bileşenleri, r ise açısal hızdır.



Şekil 2.2 Gemi hareket denklemlerinin tanımları için koordinat ve notasyonların kullanılması

Normal bir dümen ile, gemi, rotasından küçük sapmalar yapmaktadır. Bu nedenle, çözümün $u=u_0$, $v=v_0$, $r=r_0$ ve $\delta=0$ olduğu durumda hareket denklemleri lineerleştirilebilir. Normal durum değişkenleri, sancak yada iskele tarafa olan kaçma yada düşme hızı v , dönme nispeti r ve rota ψ dir. Buna göre aşağıdaki denklemler elde edilir [3,4,5].

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

2.4 OTOPILOT TASARIMI VE PD KONTROL

Geminin dönüşü esnasında serdümen tarafından dümene kumanda edilir. Dümen gemiyi istenen rotaya yönlendirirken gemi “r” açısız hız ile dönmektedir. V vektörü ile rota çizgisi arasındaki ϕ açısına göre sancak - iskele kaçma hızı $v = u \times \tan \phi$ şeklinde yazılarak diferansiyel denklem çözdürülürken “ ϕ ” = x_1 durum değışkeni ve açısız hız “r” = x_2 durum değışkeni 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 sabit kalmaktadır [3-4]. Transfer fonksiyon gemi dümen açısından rotaya yukarıdaki denklemlerden elde edilebilmektedir.

$$G(s) = \frac{K(1 + sT_3)}{s(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \quad (2.2)$$

$$K = K_0 u / l$$

$$T_i = T_{i0} l / u \quad i=1,2,3 \quad (2.3)$$

Bu model, aşağıdaki gibi basitleştirilebilmektedir.

$$G(s) = \frac{b}{s(s + a)} \quad (2.4)$$

$$b = b_0 \frac{u^2}{l^2} = b_2 \frac{u^2}{l^2} \quad (2.5)$$

$$a = a_0 \frac{u}{l}$$

Bu model Nomoto modeli olarak isimlendirilmektedir ve b yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$b = c \frac{u^2}{l^2} \frac{Al}{D} \quad (2.6)$$

Bu denklemde D (in m^3) deplasman , A (in 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), (2.2) ve (2.4) ile verilen lineerleştirilmiş modelden görülebilmektedir. Önce gemi hızındaki değişiklikler göz önüne alınırsa, denklem (2.3) ve (2.5)' ten 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 draftına bağlı olarak değişmektedir.

İstanbul Boğazından geçiş yapan eş tip gemilerden geçişe ait GPS enlem-boylam koordinat verileri, rota bilgileri ve hızları elde edilmiştir. Ayrıca (2.7) ile gösterilen durum denkleminde gemiye ait kaçma hızları v , açısız hızı r ve dümen açısı δ 'ya bağlı olarak ϕ dönüş rotası runge –kutta yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve geminin boğazda bulunan dönüş noktaları için simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar boğazda, dümene manuel olarak kumanda edilerek elde edilmiş gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Geminin u hızı sabit ve rotası ψ dir.

Dar Kanalda Seyir Yapan Gemilerin Otopilot Ve Manuel Kumanda İle Gerçekleştirilen Manevra Performanslarının İncelenmesi

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u}{l} a_{11} & u a_{12} & \frac{u^2}{l} b_1 \\ \frac{u}{l^2} a_{21} & \frac{u}{l} a_{22} & \frac{u^2}{l^2} b_2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \delta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Geminin dönüş noktasında takip ettiği yörüngedeki manevrası, gemi hızı u ve dümen açısı δ ya bağlı olarak manuel olarak yapılmaktadır. Bu manevraya ait 2.7 denkleminin runge-kutta çözümünden elde edilen datarlarla belirlenen yörüngenin PD kontrolü gerçekleştirilmiştir.

2.5 DÜMEN SİSTEMİ NOMOTO MODELİ

Gemi Dümen Sistemi dinamiği denklem (2.4) de verilen Nomoto modelin regülator olarak PD tip kontrol sistemi kullanılarak çözüme yakınsanabilmektedir.

$$G_r(s) = K(1+sT_d) \text{ Transfer fonksiyonu kullanılır.} \quad (2.8)$$

Açık çevrim transfer fonksiyonu ;

$$G(s)G_r(s) = K.b (1+sT_d) / (s(s+a)) \quad (2.9)$$

Kapalı çevrim sistemin karakteristik denklemi

$$s^2 + s(a + b.K.T_d) + b.K=0 \quad (2.10)$$

İzafi sönüm oranı

$$\xi = \frac{1}{2} (a.(b.K)^{1/2} + T_d.(b.K)^{1/2}) \quad (2.11)$$

Sönüm oranı geminin hızına bağlı olarak değişir. (2.4) ile gösterilen modelde nominal hız olan u_{nom} 'da katsayılar a_{nom} ve b_{nom} olarak kabul

edilir. u gemi hızının sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda a ve b katsayıları aşağıdaki gibi yazılabilir

$$a = a_{nom} (u / u_{nom})$$
$$b = b_{nom} (u / u_{nom})^2$$

Sönüm oranını u değişkenlere bağlı olarak yazarsak

$$\xi = \frac{1}{2} (a_{nom} / (K.b_{nom})^{1/2} + (u / u_{nom}) . T_d . (K.b_{nom})^{1/2}) \quad (2.12)$$

Kararlı olmayan bir tanker için aşağıdaki katsayılar göz önüne alınabilir

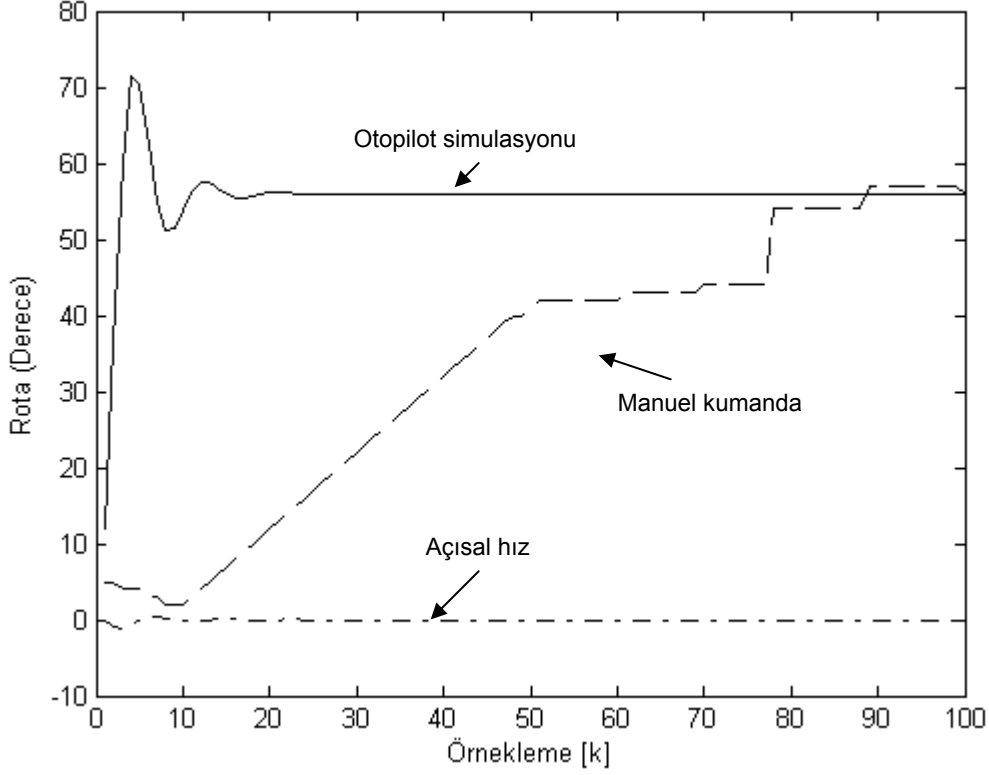
$$a_{nom} = -0.3$$
$$b_{nom} = 0.8$$
$$K = 2.5$$
$$T_d = 0.86$$

Bu katsayılar ise $\xi = 0.5$ ve $\omega = 1.4$ değerlerini vermektedir. Tanker için yapılan PD kontrol simülasyonunda bu değerler kullanılmıştır.

2.6 SİMÜLASYON

Boğaz geçişi yapan geminin dönüş noktaları arasında sabit rota ve sabit hızda seyir yapması istenmekte ve kabul edilmektedir. Rotadaki sapmalarla geminin sancak yada iskeleye olan hareketlerinden yukarıda bahsedilen kaçma hızları doğar. Rota doğrultusu etrafındaki dairesel sapmalar ve bu sapmaların açısal hızları ile yukarıda bahsedilen diferansiyel denklemler ve parametreler kullanılarak elde edilen 2. dereceden sisteme ait çözümden elde edilen otopilot sistemi simülasyonu ile gerçek boğaz geçişine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 2.3 ve 2.4 te gösterilmektedir.

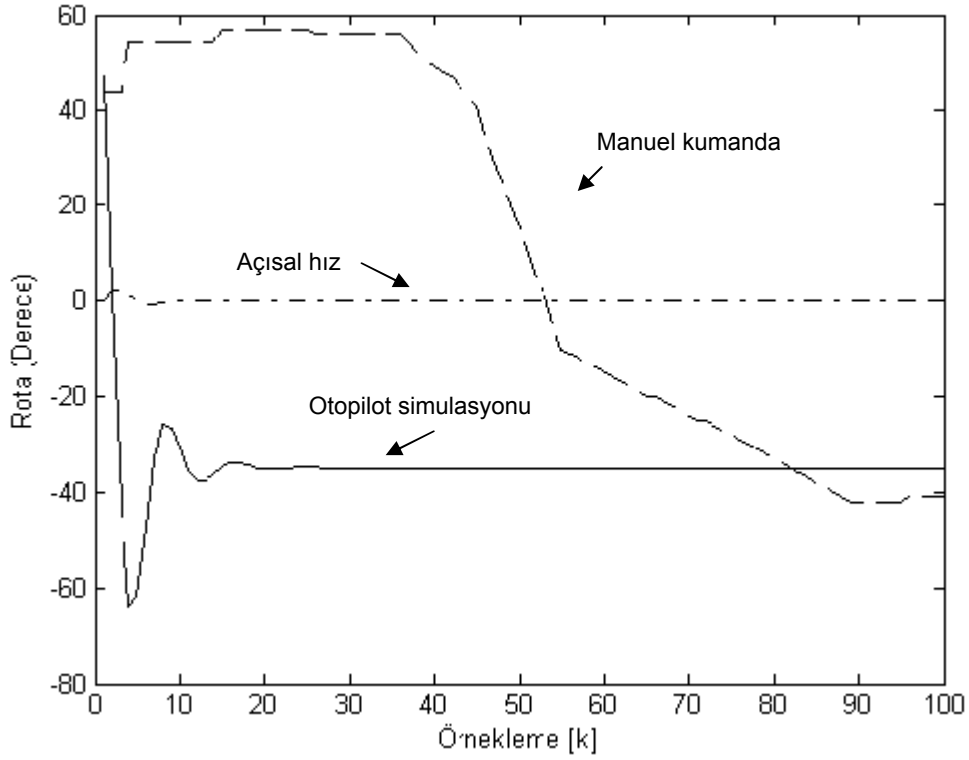
Dar Kanalda Seyir Yapan Gemilerin Otopilot Ve Manuel Kumanda İle Gerçekleştirilen Manevra Performanslarının İncelenmesi



Şekil 2.3 Karadeniz yönüne geçiş yapan bir tankerin Kandilli Burnunu manuel kumanda ile dönüşü ve otopilot simülasyonu (rota 12° den 56° ya)

İstanbul Boğazından Karadeniz yönüne geçiş yapmakta olan 140 metre uzunluk ve 22 metre genişliğe sahip, draftı 7.6 m olan manevra kabiliyeti oldukça düşük bir tankerin ortalama 9 knots hızla Kandilli burnundan manuel kumanda ile dönüşüne ait ve aynı bölgenin bir otopilot ile geçişine ait simülasyon grafikleri Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu dönüşte rota 12 dereceden 58 dereceye çevrilmiş ve manuel kumanda ile bu yaklaşık 8 dakikada gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.4'te ise yine aynı yönde geçiş yapan aynı geminin Yeniköy burnundan geçişine ait manuel kumanda ve otopilot simülasyonları gösterilmiştir. Yeniköy burnunda rota 47 dereceden 358(-2) dereceye ve çok kısa bir süre bu rotada kaldıktan sonrada 325(-35) dereceye çevrilmesi gerektiğinden genellikle gemilerin bu bölgede rotalarını 47 dereceden 325 dereceye fasılalı bir şekilde çevirdikleri gözlenmiştir. Bu geçiş ise yaklaşık 12 dakikada gerçekleşmektedir.



Şekil 2.4 Karadeniz yönüne geçiş yapan bir tankerin Yeniköy Burnunu manuel kumanda ile dönüşü ve otopilot simülasyonu (rota 40^0 den $319(-41)^0$ 'ye)

Dar Kanalda Seyir Yapan Gemilerin Otopilot Ve Manuel Kumanda İle Gerçekleştirilen Manevra Performanslarının İncelenmesi

Şekillerden anlaşılacağı gibi özellikle tanker gibi yüksek tonajlı gemilerin manuel olarak kumandasında gecikmeler olmakta ve bu nedenle de özellikle dar sulardan geçişte serdümenin herhangi bir sebeple yapacağı hata çok tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemilerin dar kanallardan geçişlerinde akıntı, rüzgar, kötü hava şartları, yoğun trafik, coğrafi şartlar gibi seyire olumsuz olarak tesir eden ve gemi kontrol sistemlerinde bozucu olarak bulunan faktörler nedeniyle, özellikle keskin dönüşlerde manevraları çok uzun süre almakta ve rotadan sapmalar meydana gelmektedir. Sözkonusu dar kanallarda otopilot sisteminin kullanımına izin verilmemesi, bozucuların etkisi altında gemi hareketinin lineer olamayışıdır. Bu çalışmada, keskin dönüş noktalarında seyire ait manuel geçiş ve lineer varsayımla PD kontrol simülasyonu yapılmış ve PD kontrol ile çok kısa sürelerde dönüşün gerçekleşmesi gerektiği görülmüş ve gerçekte bunun mümkün olmadığı da manuel kumanda seyir sonuçları ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

KAYNAKÇA:

- [1] Cerit G., 2000, Deniz Güvenlik Yönetimi ve Türk Boğazları, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Yüksekokulu, Büyüteç altında Türk Boğazları Sempozyumu, Mart
- [2] Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, 1999, İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı Seyir Rehberi, İstanbul
- [3] Astrom, K.J., Wittenmark, B., 1989, Adaptive Control ,Lund Institute of Technology
- [4] Astrom, K.J.,Thorell, N.E., Eriksson J.,Sten, L.,1979, Adaptive Autoplots for Tankers, *Automatica* 20 pp:241-254
- [5] Sindel D., 1984, Sistem Mühendisliği Yaklaşımı ile Gemi Çarpışmalarının Önlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi
- [6] 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
- [7] 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

- [8] Hosman, R., Stassen, H., 1999, Pilot's perception in the control aircraft motions, *Control Engineering Practice* 71421-1428
- [9] Chen, L.K., Ulsoy, A.G.,2001, Identification of a Driver Steering Model and Model Uncertainty From Driver Simulator Data, Dept. Of Mechanical Engineering, University of Michigan, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol 123/623 December
- [10] 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
- [11] Weir, D.H., 1970, McRuer, D.T., Dynamics of Driver Vehicle Steering Control, *Automatica*, Vol.6, pp.87-98
- [12] Sutton, R., 1990, Modelling Human Operators in Control System Design, Royal Naval Engineering College, Plymouth UK
- [13] Şimşir, U Ertuğrul, Ş., 2007, "Prediction of Position and Course with Artificial Neural Networks Utilizing GPS/Radar Data", 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies Space for a More Secure World, RAST 2007, 14-16 June 2007, Istanbul, TURKEY
- [14] Şimşir, U Ertuğrul, Ş., 2007, İTÜ Dergisi, "Dar Kanalda El Kumadası İle Seyir Yapan Gemilerin Konumunun Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Öngörülmesi" Ağustos 2008, Cilt 7, Sayı 4, Sayfa 15-25
- [15] Şimşir, U Ertuğrul, Ş., 2009, Prediction of Manually Controlled Vessels' Position and Course Navigating in Narrow Waterways Using Artificial Neural Networks, *Applied Soft Computing*, Elsevier Editorial System
- [16] INT 3756-2921, 1996, İstanbul Boğazı Haritası, Ölçek : 1:30,000, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi