

Sistem Tanılama ile Su Üstü Aracı Modellenmesi

Surface Vehicle Modelling via System Identification

Recep Fatih CANTEKİN¹, Berna EROL¹, Seda Karadeniz KARTAL¹, Rıfat HACIOĞLU¹, Egemen BELGE¹,
Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ², Şenol Hakan KUTOĞLU², M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU³

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye
recep_cantekin@hotmail.com, erolberna4@gmail.com, {sedakartal, hacirif, egemenbelge}@beun.edu.tr

²Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye
{ksgormus, shakan.kutoglu}@beun.edu.tr

³Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye
kleb@metu.edu.tr

Özetçe— Bu çalışmada bir su üstü aracının sistem tanımlama ile modellemesi yapılmaktadır. Su üstü araçlarının basit matematiksel modelinin bilinmesi sistem değişkenlerin birbiri ile nasıl bir etkileşim içinde olduğunu ifade etmek için önemlidir. Yapılan sistem tanımlama çalışması için su üstü aracının doğrusal olmayan matematiksel modeli kullanılmaktadır. Matematiksel modelden sisteme ait giriş çıkış verileri elde edilmektedir. Giriş çıkış verileri ile parametrik metot olan özbağlanımlı (kendini tekrarlayan) ekstra girişli, özbağlanımlı hareketli (kayan) ortalama ekstra girişli ve çıkış hatası sistem tanımlama yaklaşımıları kullanılmıştır. Bu yöntemler ile aracın daire rota ve sonsuz işaretî rota için hareketi karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Su üstü aracının sistem tanımlama testi için en iyi sonucu çıkış hatası model yapısı vermiştir. Matematiksel modeli elde edilen su üstü aracının sistem tanımlama testinin daire rota ve sonsuz işaretî rotası için uygulanması bu çalışmanın katkısıdır. Sistem tanımlama yaklaşımıları ile verilen iki farklı rota başarıyla takip edildiğinden öngörülen matematiksel modelin doğru olduğu düşünülmüştür. Tüm çalışma MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır.

Anahtar kelimeler— Sistem tanımlama, su üstü aracı, özbağlanımlı ekstra girişli, özbağlanımlı hareketli ortalama ekstra girişli, çıkış hatası

Abstract— In this study, of a surface vehicle modelling has been done via system identification. Knowing the simple mathematical model of surface vehicles is important to express how system variables interact with each other. A nonlinear mathematical model of the surface vehicle is used for the system identification study. The input-output data of the system are obtained from the mathematical model. With the obtained input-output data, the parametric method, exogenous input autoregressive, exogenous input autoregressive moving average and output error system identification approaches are used.

With these methods, motion of the vehicle for the circular route and the infinite route is analyzed comparatively. Output error model structure gives the best results for system identification testing of surface vehicle. The application of the system identification test of the surface vehicle whose mathematical model is obtained, for the circulate route and the infinite route is the contribution of this study. The predicted mathematical model is considered to be correct since two different routes given with the system identification approaches are followed successfully. All the study is done in MATLAB/Simulink environment.

Keywords— System identification, surface vehicle, auto regressive with exogenous input, auto regressive moving average with exogenous input, output error

I. Giriş

Su üstü araçları, denizlerdeki mayınların temizlenmesi, kirli sularda gerçekleştirilecek görevlerde, uzun süreli askeri ve bilimsel keşif görevlerinde, liman güvenliği, kablo/ boru hatlarının denetimi ve izlenmesi, arama/kurtarma çalışmaları gibi birçok askeri ve sivil alanda yaygın olarak kullanılan bir araç haline gelmiştir.

Su üstü araçları yük kapasitesi ve kalıcılık açısından hava araçları veya sualtı araçlarından daha avantajlıdır [1]. Su üstü araçlarının sistem tanıması, sisteme deki değişkenlerin birbiri ile nasıl bir etkileşim içinde olduğunu ifade etmek için önemlidir. Bu çalışmada doğrusal sistem tanımlama yaklaşımıları kullanılarak bir su üstü aracının hareket matematiksel modeli üzerinde durulmaktadır. Sistem tanımlama ile giriş ve çıkış bilgileri kaydedilen su üstü aracının veri analizi yapılarak matematiksel modeli elde edilir [2]. Matematiksel model simülasyon ortamında bir su üstü aracının davranışlarını incelemek için kullanılır.

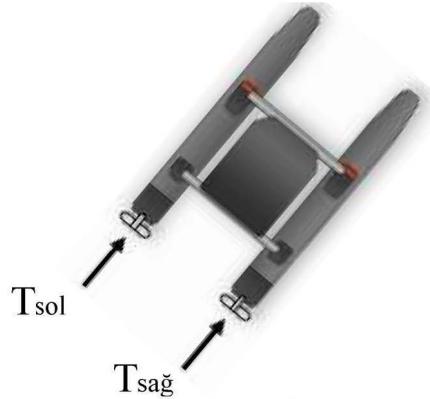
Sistem tanılama uygulamasına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. S. Timpitak ve Ark. bir su üstü aracı olan katamaranın dalgalanma ve sapma hareketleri için dinamik modelini özbağlanımlı (kendini tekrarlayan) ekstra girişli (Auto Regressive with eXogenous input-ARX) sistem tanılama yaklaşımını ile tahmin ettiirmişlerdir [3]. X. Sun ve Ark. vektör tahraklı bir insansız su üstü aracının yönüğe izleme kontrolü için sistem tanılama çalışmasını yapmışlardır [4]. J. Woo ve Ark. 2018 yılında bir insansız su üstü aracı için çeşitli manevra testleri ile eğittiğileri geri beslemeli derin öğrenme yöntemi ile sistem tanılaması yapmışlardır [5]. C. Sonnenburg ve Ark. farklı kontrol sistemlerine sahip, bir dıştan takma motor, bir jet tahraklı itici ve diferansiyel elektrikli iticiler olmak üzere üç farklı su üstü aracı için karşılaştırmalı olarak sistem tanılaması yapmışlardır [6]. 2017 yılında M.F Pairan ve S. Shamsudin bir insansız hava aracının minimum kaynak ayırma ağı (Minimal Resource Allocating Network-MRAN) algoritması ile eğitilmiş radyal tabanlı fonksiyon (Radial Basis Function-RBF) sınır ağı yapısına dayalı özyinelemeli sistem tanılaması yapmışlardır [7]. A. Altan ve R. Hacıoğlu dış bozucu etkisi altındaki bir insansız hava aracı üzerine monte edilmiş üç eksenli gimbal sisteminin sistem tanılamasını yapmışlardır [8]. Bu çalışmada bir su üstü aracı için sistem tanıma yaklaşımları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Su üstü aracının istenilen rotayı takip edebilmesi için özbağlanımlı ekstra girişli (Auto Regressive with eXogenous input-ARX), özbağlanımlı (kendini tekrarlayan) hareketli (kayan) ortalama ekstra girişli (Auto Regressive Moving Average with eXogenous input ARMAX) ve çıkış hatası (Output Error-OE) sistem tanılama yöntemleri karşılaştırılmıştır. ARX, ARMAX ve OE model yapıları sistem tanıma çalışmalarında sıkılık kullanılmaktadır [9], [10].

Bu çalışmada bir su üstü aracının itici giriş bilgilerine dayalı aracın ileri yön hızı ve sapma açısının değişim kontrolü için sistem tanıma yapılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında su üstü aracının hareketi için daire ve sonsuz işaret rotaları takip ettirilmiştir. Su üstü aracı için sistem tanıma yaklaşımlarının daire rotası ve sonsuz işaret rotası üzerinde test edilmesi bu çalışmanın katkısıdır. Bu çalışmanın geri kalanı, su üstü aracının üç serbestlik derecesine sahip matematiksel modeli, parametrik yöntem olan ARX, ARMAX ve OE sistem tanıma yaklaşımları Bölüm II, simülasyon sonuçları Bölüm III ve son olarak sonuç ve yorum Bölüm IV' den oluşmaktadır.

II. METOT

A. Matematiksel modelleme

Bu çalışmada kullanılan su üstü aracı üç serbestlik derecesine sahiptir. Şekil 1'de görüldüğü gibi aracın sağda ve solda olmak üzere 2 adet iticisi bulunmaktadır [11].



Şekil 1. Modellenen Su Üstü Aracı

Su üstü aracının yatay düzlemdeki hareketi için aracın doğrusal olmayan matematiksel modeli Denklem 1 ve Denklem 2'de tanımlanmıştır [12].

$$M(\dot{v}) + C(v)v + D(v)v = f \quad (1)$$

$$\dot{\eta} = R(\eta)v \quad (2)$$

M : Aracın kütle matrisi,

C: Merkezkaç kuvveti ve Coriolis kuvveti matrisi,

D : Sönümleme matrisi,

f : İticilerin üretmiş olduğu kuvvet ve momentlerden oluşan girdi vektördür.

v: Aracın doğrusal ve açısal hız vektörü,

η : Aracın konum ve yönelim vektörü,

R: Koordinat dönüşüm matrisidir.

Üç serbestlik derecesine sahip su üstü araçları dalgalanma (surge), sallanma (sway) ve sapma (yaw) hareketlerine sahip olduğu varsayılar [12]. Aracın x, y eksenindeki doğrusal hareket ve z eksenindeki dönme (sapma) hareketleri için araca etki eden kuvvet ve momentler ile hız ve konum bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Serbestlik derecesi	Konum ve Yönelimler	Kuvvet ve moment	Hız (doğrusal, açısal)	Konum ve Euler açıları
1	x eksenindeki hareket	X	u	x
2	y eksenindeki hareket	Y	v	y
3	z eksenindeki dönüş	N	r	ψ

Tablo 1. Su üstü aracı için kullanılan gösterimler

Su üstü aracının konum ve hız matrisleri aşağıdaki gibidir:

$$\text{Hız, } \mathbf{v} = [u \ v \ r]^T \quad \text{Konum, } \boldsymbol{\eta} = [x \ y \ \psi]^T \quad (3)$$

Su üstü aracı ileri yön hareketini ve z eksenindeki dönüş hareketini yapabilmektedir. Su üstü aracına uygulanan kuvvet ve moment matrisi aşağıdaki gibidir [11]:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Tsol+Tsağ \\ 0 \\ (Tsol-Tsağ) * (\frac{B}{2}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada, B: iki itici arasındaki mesafedir. T1: aracın ileri yön hareketi için gereken kuvvettir. İleri yön hareketi için sağ ve sol iticiye eşit kuvvet uygulanırlar. T2: y eksenindeki hareketi için uygulanacak kuvveti ifade eder. Ancak bu çalışmada su üstü aracının gövde koordinat sistemine göre y eksenindeki hareketini sağlayacak iticisi olamadığı için sıfırdır. T3: aracın sapma yön hareketini (z ekseni etrafındaki dönüş (ψ)) yapması için gereken kuvvettir. Sağ ve sol iticiye uygulanan kuvvetin farkı alınır ve iki itici arasındaki mesafenin yarısı ile çarpılır. Su üstü aracının katma kütle matrisi [1]:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m-X_u & 0 & 0 \\ 0 & m-Y_v & -Y_r \\ 0 & -N_v & Iz-N_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

Katma kütle matrisi su üstü aracı düşük hızlarda hareket ettiği için diyagonal olarak seçilmektedir. Burada; X_u , Y_v , N_v , Y_r ve N_r katma kütle parametreleridir. m, aracın kültlesi. Iz, eksenindeki atalet momentidir. Su üstü aracının merkezkaç ve Coriolis kuvvet matrisi ve sönümleme matrisi [1]:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -mv + (Y_v v + (\frac{Y_r + N_v}{2})r) \\ 0 & 0 & (m-X_u)u \\ mv + (-Y_v v - (\frac{Y_r + N_v}{2})r) & -(m-X_u)u & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$D = -\begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & Y_r \\ 0 & N_v & N_r \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sönümleme ve merkezkaç kuvveti ve Coriolis kuvveti matrisleri hız ile ilişkilendirilir. Burada; X_u , Y_v , Y_r , N_v ve N_r sönümleme parametreleridir. Su üstü aracı için koordinat çevirim matrisi [11]:

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

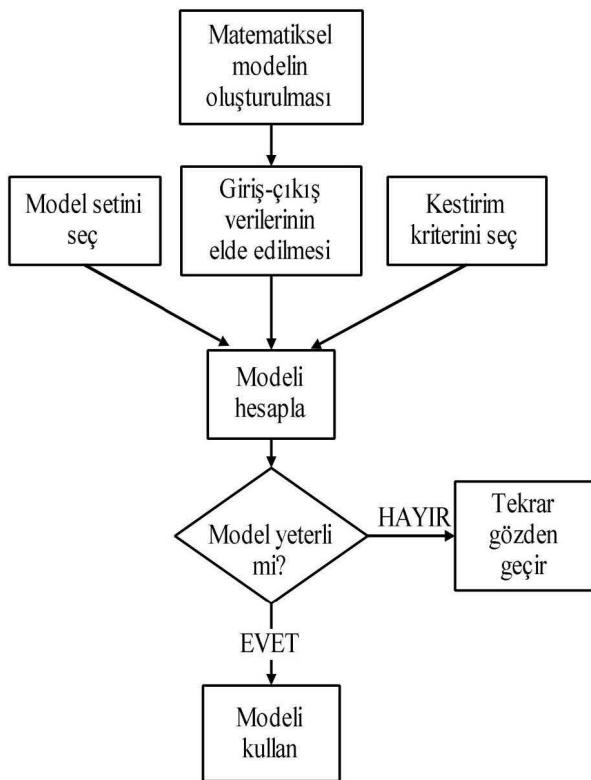
B. Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama, belirli bir sisteme ait giriş-çıkış ilişkisinden güvenilir bir matematiksel model kurmaktır [9]. Kurulan model ile birlikte sistemin davranışlarının öngörlübilmesini ve sistem davranışlarının istenen şekilde kontrol edilmesi amaçlanır. Sistem tanımlamanın dört temel adımı vardır [13].

- Veri toplama
- Model yapısının seçimi
- Sistem tanımlama yönteminin seçimi
- Verileri kullanarak hangi modelin seçileceğinin kararı (model doğrulama)

İlk olarak, tanımlanacak sistem için giriş / çıkış verilerinin elde edilmelidir. Giriş / çıkış verileri ile sistem dinamikleri hakkında yeterli bilgi elde edilebilir. Bu çalışmada veri seti 7500 veriden oluşmaktadır. İlk adım, sistemin yapısını, girdiyi çıktıyla ilişkilendiren model yapısının seçimidir [13]. Bunun için, özbağlanımlı (kendini tekrarlayan) ekstra girişli (ARX), özbağlanımlı hareketli ortalama ekstra girişli (ARMAX) ve çıkış hatası (OE) gibi uygun parametrik bir model yapısının seçilmesi gereklidir. Üçüncü adım tanımlanacak sistem ile seçilen model yapısı arasındaki hatayı en aza indirir. Bu işlem için yaygın olarak en küçük kareler yöntemi kullanılır. Son adım model doğrulamadır. Model doğrulama, sistem tanımlamada elde edilen model yapısının gerçek sisteme uygunluğunun test edilmesidir. Elde edilen model "Yeteri kadar iyi mi?" sorusuna cevap aranır. Model, sistem dinamiklerini yeteri kadar tahmin edemiyorsa, veri toplama model yapısı ve sistem tanımlama yöntemi yeniden gözden geçirilmelidir [14]. Model doğrulama için çapraz doğrulama yöntemi yaygın olarak kullanılır. Sistem tanımlamanın akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.

Sistem tanımlama için model derecesinin seçimi önem arz etmektedir. Uygun model derecesine karar verilmelidir. Bu çalışmada model dereceleri ARX, ARMAX ve OE için de değerlendirilmektedir. Bu çalışmada sistem tanımlama için model yapısı olarak özbağlanımlı ekstra girişli (ARX), özbağlanımlı (kendini tekrarlayan) hareketli ortalama ekstra girişli (ARMAX) ve çıkış hatası (OE) seçilmiştir. Her üç model yapısı için $u(t)$: giriş verisi, $y(t)$: çıkış verisi ve $e(t)$: çıkışa etki eden bozulmadır. Doğrusal regresyon ile bilinmeyen polinom katsayılarının kestirimini her üç yaklaşımında da mümkündür ki OE yaklaşımı dış bozucu etkisi altında gerçek değerinden sapmama özelliği ile ön plana çıkmaktadır.



1) ARX model yapısı
ARX model yapısı için giriş-çıkış ilişkisi [15]:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (9)$$

Burada q kaydırma operatörü olacak şekilde ($q^{-1}u(t) = u(t-1)$)

ARX model yapısı için A ve B polinomlarının model derecesi sırasıyla n_a , n_b olarak tanımlanmaktadır.

2) ARMAX model yapısı
ARMAX model yapısı için giriş-çıkış ilişkisi [15]:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (10)$$

Burada ARMAX model yapısı için bu çalışmada A , B ve C polinomlarının model derecesi sırasıyla n_a , n_b , n_c olarak tanımlanmaktadır.

3) Çıkış hatası model yapısı
OE (çıkış hatası) model yapısı için giriş-çıkış ilişkisi [8]:

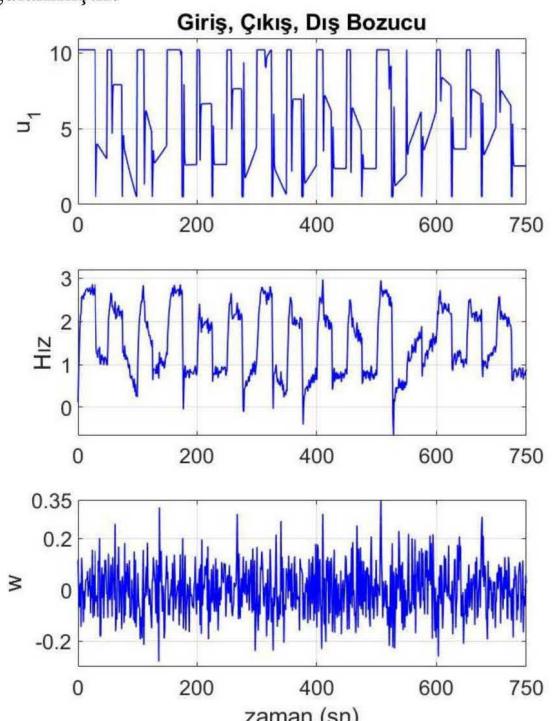
$$y(t) = [B(q) / F(q)] u(t) + e(t) \quad (11)$$

Burada OE model yapısı için F ve B polinomlarının model derecesi sırasıyla n_f , n_b olarak tanımlanmaktadır.

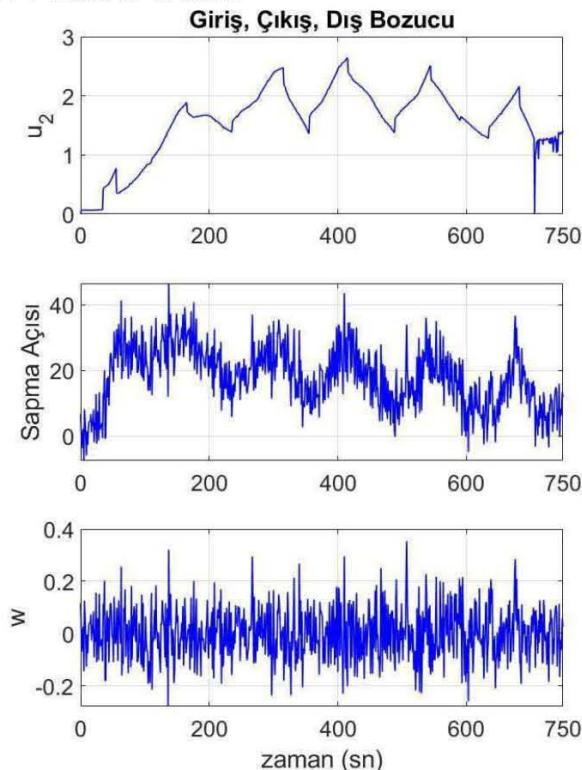
III. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada bir su üstü aracının ileri yön hızı ve sapma açısının sistem tanılaması yapılmıştır. Sistem tanılama yapılabilmesi için su üstü aracının giriş ve çıkış verileri elde edilmiştir ve sistem giriş olarak su üstü aracının iki adet iticisinin dönüş hızları, sistem çıkışı olarak su üstü aracının ileri yön hızı ve sapma açısı seçilmiştir. Aracın ileri yön hızı iki iticinin toplamları ile, sapma açısı ise iticilerin farklı ile ilişkilidir. Aracın farklı itici dönüş hızları için ileri yön hızı ve sapma açıları elde edilmiştir.

Toplamda 750 saniyelik veri oluşturulmuştur. Oluşturulan veri 0,1 saniyelik örneklemme aralığıyla kaydedilerek 750 veriden oluşan veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veri setine ARX, ARMAX ve OE sistem tanılama yaklaşımı uygulanmıştır. ARX model yapısı için bu çalışmada model derecesi; $n_a = 2$, $n_b = 2$, ARMAX model yapısı için bu çalışmada model derecesi; $n_a = 2$, $n_b = 2$, $n_c = 2$ ve OE model yapısı için bu çalışmada model derecesi; $n_f = 2$, $n_b = 2$ olarak alınmıştır. ARX ve OE toplamda 4, ARMAX ise toplamda 6 parametre ile ifade edilmektedir. Sistem tanılmasından sonra araca daire ve sonsuz işaretleri yaptırılarak modellerin doğruluğu test edilmiştir. Su üstü aracına dış bozucu olarak 0 ortalama beyaz Gaussian gürültüsü eklenmiştir. İleri yön hızına ait giriş-çıkış verisi ve eklenen dış bozucu Şekil 3'te sunulmuştur. Su üstü aracının ileri yön hızı iki iticinin toplam dönüş hızına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3'teki u_1 iticilerin toplam RPM değerlerini ifade etmektedir. Giriş değerine normalizasyon uygulanmıştır.

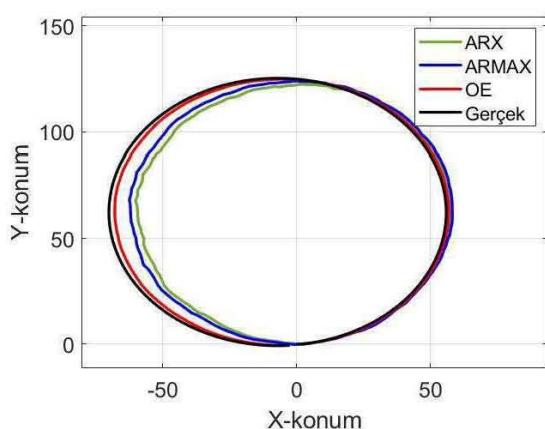


Sapma açısına ait giriş-çıkış verisi ve eklenen dış bozucu Şekil 4'te sunulmuştur. Su üstü aracının sapma açısı iki iticinin dönüş hızının farkına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4'teki u_2 iticilerin dönüş hızlarının farkını ifade etmektedir.

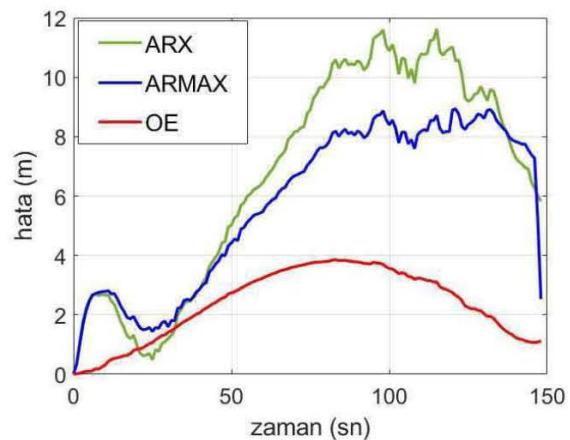


Şekil 4. Sapma açısı için giriş-çıkış verisi ve eklenen dış bozucu

Oluşturulan modellerin doğruluğunu test etmek için ilk olarak daire rota takibi Şekil 5'te sunulmuştur. Daire rota için en iyi performansı OE modeli göstermiştir. Daire rota takibi için mutlak hata grafiği ise Şekil 6'da sunulmuştur. Elde edilen ortalama mutlak hata değerleri OE için 2.3495 m, ARMAX için 5.7584 m, ARX için ise 6.6941 m olarak hesaplanmıştır.

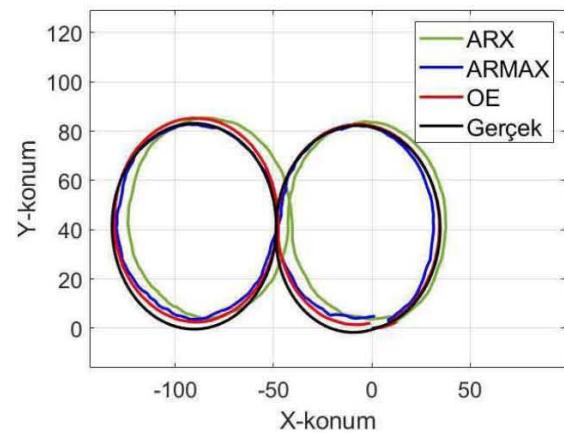


Şekil 5. Daire rota için ARX, ARMAX, OE sistem cevapları

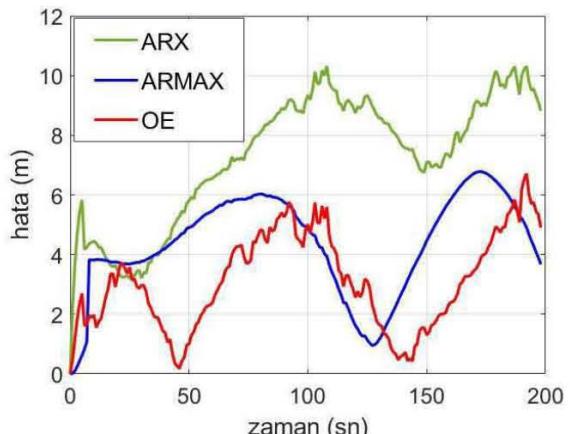


Şekil 6. ARX, ARMAX ve OE sistem cevaplarının mutlak hataları

İkinci olarak modellerin doğruluğunu test etmek için sonsuz işaretinin takibi yapılmıştır ve Şekil 7'de sunulmuştur. Sonsuz işaretin rotası için en iyi performansı OE modeli göstermiştir. Mutlak hata değerleri çizdirilmiştir ve Şekil 8'de sunulmuştur. Oluşturulan sonsuz rota takibi sonrasında ortalama mutlak hata değerleri OE için 3.1091 m, ARMAX için 4.3578 m, ARX için ise 7.2611 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Sonsuz işaretin rotası ve ARX, ARMAX, OE sistem cevapları



Şekil 8. ARX, ARMAX ve OE sistem cevaplarının mutlak hataları

IV. SONUÇ VE YORUM

Bir su üstü aracının matematiksel modeli MATLAB/Simulink ortamında kurulmuştur. Oluşturulan simülasyon ile birlikte insansız su üstü aracına ait giriş-çıkış verileri elde edilmiştir. Elde edilen giriş-çıkış verileri ile parametrik sistem tanımlama yöntemi olan ARX, ARMAX ve OE yöntemleri uygulanmıştır. Su üstü aracının sistem tanılaması için 750 saniyelik veriden 0.1 saniyelik örneklemme aralığı alınarak veri seti oluşturulmuştur. Sistem tanılama testi için ise ARX, ARMAX ve OE modellerine verilen referans rotaya karşılık model cevaplarının analiz edilmesi bu çalışmanın katkıdır. Model cevaplarının performanslarını analiz etmek için referans rotalara karşı ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmıştır. Daire rotası için elde edilen ortalama mutlak hata değerleri OE için 2.3495 m, ARMAX için 5.7584 m, ARX için ise 6.6941 m olarak hesaplanmıştır. Sonsuz rotası için ise ortalama mutlak hata değerleri OE için 3.1091 m, ARMAX için 4.3578 m, ARX için ise 7.2611 m olarak hesaplanmıştır. Ortalama mutlak hata değerlerinden de anlaşılacağı gibi su üstü aracının sistem tanılama testinde de en iyi sonucu OE yöntemi vermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 119E037 nolu TÜBİTAK 1001 projesi dâhilinde desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi arz ederiz.

REFERENCES

- [1] C. R. Sonnenburg ve C. A. Woolsey, "Modeling, Identification, and Control of an Unmanned Surface Vehicle", *Journal of Field Robotics*, c. 30, sy 3, ss. 371-398, 2013, doi: 10.1002/rob.21452.
- [2] L. Ljung, *System Identification, System Identification Theory for The Users*, 1999.
- [3] S. Timpitak, P. Prempranceerach, ve E. Pengwang, "Parametric system identification of catamaran for improving controller design", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, c. 297, s. 012033, Oca. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/297/1/012033.
- [4] X. Sun, G. Wang, ve Y. Fan, "Model Identification and Trajectory Tracking Control for Vector Propulsion Unmanned Surface Vehicles", *Electronics*, c. 9, sy 1, Art. sy 1, Oca. 2020, doi: 10.3390/electronics9010022.
- [5] J. Woo, J. Park, C. Yu, ve N. Kim, "Dynamic model identification of unmanned surface vehicles using deep learning network", *Applied Ocean Research*, c. 78, ss. 123-133, Eyl. 2018, doi: 10.1016/j.apor.2018.06.011.
- [6] C. Sonnenburg vd., "Control-Oriented Planar Motion Modeling of Unmanned Surface Vehicles", Eyl. 2010, ss. 1-10. doi: 10.1109/OCEANS.2010.5664297.
- [7] M. F. Pairan ve S. S. Shamsudin, "System identification of an unmanned quadcopter system using MRAN neural", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, c. 270, s. 012019, Ara. 2017
- [8] A. Altan ve R. Hacıoğlu, "Model predictive control of three-axis gimbal system mounted on UAV for real-time target tracking under external disturbances", *Mechanical Systems and Signal Processing*, c. 138, s. 106548, Nis. 2020, doi: 10.1016/j.ymssp.2019.106548.
- [9] E. Belge, H. K. Kaba, A. Parlak, A. Altan, ve R. Hacıoğlu, "Estimation of Small Unmanned Aerial Vehicle Lateral Dynamic Model with System Identification Approaches", *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, c. 8, sy 2, Art. sy 2, Nis. 2020, doi: 10.17694/bajece.654499.
- [10] U. Forssell ve L. Ljung, "Identification of Unstable Systems using Output Error and Box-Jenkins Model Structures", *IEEE Transactions on Automatic Control*, c. 45, Oca. 1998, doi: 10.1109/9.827371.
- [11] W. B. Klinger, I. R. Bertaska, K. D. von Ellenrieder, ve M. R. Dhanak, "Control of an Unmanned Surface Vehicle With Uncertain Displacement and Drag", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, c. 42, sy 2, ss. 458-476, Nis. 2017, doi: 10.1109/JOE.2016.2571158.
- [12] Fossen, T.I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. Wiley, 1999.
- [13] W. Naeem, R. Sutton, ve J. Chudley, "Modelling and control of an unmanned surface vehicle for environmental monitoring", *undefined*, 2006.
- [14] N. V. Hoffer, C. Coopmans, A. M. Jensen, ve Y. Chen, "A Survey and Categorization of Small Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle System Identification", *J Intell Robot Syst*, c. 74, sy 1, ss. 129-145, Nis. 2014,
- [15] A. GIWA ve S. Giwa, "ARX and ARMAX Modelling of olefin metathesis reactive distillation process", *Advances in Applied Science Research*, c. 6, ss. 42-52, Eki. 2015