



Bir İnsansız Su Üstü Aracının Dış Bozucu Etkisinde Makine Öğrenmesi ile Hız Kontrolü

Recep Fatih Cantekin¹, Berna Erol², Seda Karadeniz Kartal^{3*}

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2130-894X), recep_cantekin@hotmail.com

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7381-9840), erolberna4@gmail.com

^{3*} Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4756-5490), sedakaradeniz@gmail.com

(3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications June 11-13, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.952256)

ATIF/REFERENCE: Cantekin, R.F., Erol, B. & Kartal, S. (2021). Bir İnsansız Su Üstü Aracının Dış Bozucu Etkisinde Makine Öğrenmesi İle Hız Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 431-437.

Öz

İnsansız su üstü araçlarının kontrolü, kullanım alanlarının her geçen gün artması nedeniyle önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada bir insansız su üstü aracının (WAM-V USV14) akıntı etkisi altında iticilerine verilmesi gereken uygun girişlerin kontrolü sunulmuştur. İlk olarak WAM-V USV14 için üç serbestlik derecesine sahip matematiksel model elde edilmiştir. İnsansız su üstü aracının doğrusal olmayan matematiksel modeli Newton-Euler yaklaşımı ile elde edilmiştir. İnsansız su üstü araçlarının kontrolü için literatürde yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte insansız su üstü araçları için yeni kontrolcü tekniklerinin geliştirilmesi güncel bir konudur. Tasarlanan kontrolcülerin araca etki eden dış bozuculardan etkilenmemesi istenmektedir. İnsansız su üstü aracına etki eden dış bozucular, okyanus akıntısı, dalga, rüzgar vb. olabilir. Dış bozucular aracın konumu, yönünü ve hızını etkiler. Bundan dolayı aracın istenen görevleri yerine getirememesine neden olabilir. Bu çalışmada insansız su üstü aracının kontrolü için makine öğrenmesi yöntemi önerilmiştir. Mevcutta kullanılan klasik kontrol tekniklerine alternatif bir yöntem olarak makine öğrenmesi ile dış bozucuların etkisinde, su üstü aracının hızı kontrol edilmiştir. Aracın hız kontrolünü sağlayan, makine öğrenme algoritması olan destek vektör makinesi için PID kontrolcü ile farklı referans sinyallere karşı aracın iticilerine girdi bilgileri üretilerek veriseti oluşturulmuştur. Su üstü araçları akıntıya maruz kaldıklarında yana kayma ve hücüm açıları meydana gelir. Yana kayma ve hücüm açıları tanımlanarak araca etki eden akıntının etkisi analiz edilmiştir. Farklı yön ve hızlardan gelen akıntıya karşı aracın hızı, destek vektör makinesi ile başarılı bir şekilde kontrol edilmiştir. Literatürde kullanılan kontrol tekniklerinden farklı olarak SVM'nin su üstü aracının kontrolünde kullanılması bu çalışmanın katkısıdır. Tüm çalışma MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız su üstü aracı, Matematiksel modelleme, Hız kontrolü, Makine öğrenmesi, Destek vektör makinesi.

The Velocity Control with Machine Learning under the External Disruption of an Unmanned Sea-Surface Vehicle

Abstract

Control of unmanned surface vehicles has become an important issue due to the increase in usage areas day by day. In this study, the control of suitable inputs that should be given to the thrusters of an unmanned surface vehicle (WAM-V USV14) under the current effect is presented. Firstly, a mathematical model with three degrees of freedom is obtained for WAM-V USV14. The nonlinear mathematical model of unmanned sea-surface vehicle (WAM-V USV14) is obtained with Newton-Euler approach.

* Sorumlu Yazar: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4756-5490, sedakaradeniz@gmail.com

There are many studies in the literature for the control of unmanned surface vehicles. In addition, the development of new control techniques for unmanned surface vehicles is a current issue. It is desired that the designed controllers are not affected by external disturbances affecting the vehicle. External disturbances affecting the unmanned surface vehicle may be ocean current, wave, wind, etc. External disturbances affect the position, direction and speed of the vehicle. Therefore, it may cause the vehicle to fail to perform the requested tasks. In this study, machine learning method is proposed for the control of unmanned surface vehicle. The surge velocity of the sea- surface vehicle was controlled with machine learning as an alternative to the conventional control techniques currently used. For the support vector machine, which is the machine learning algorithm that provides the velocity control of the vehicle, the data set was created by generating input information for the vehicle's thrusters against different reference signals with PID controller. When surface vehicles are exposed to current, sideslip and angles of attack occur. The effect of the current affecting the vehicle was analyzed by defining the sideslip and attack angles. The speed of the vehicle against the current coming from different directions and surge velocity was successfully controlled with the support vector machine. The all study was done in MATLAB / Simulink environment.

Keywords: Unmanned surface vehicle, Mathematical modelling, Speed control, Machine learning, Support vector machine.

1. Giriş

İnsansız su üstü araçları ticari, askeri ve bilimsel alanlarda arama/kurtarma çalışmalarında, çevre kontrolünde, liman güvenliğinde ve sualtı haritalandırmada gibi birçok uygulama alanı için önemlidir. İnsansız su üstü araçları kontrol sistemlerinin, sensör sistemlerinin, iletişim ve silah sistemlerinin gelişmesi ile birlikte bahsedilen görevleri yerine getirebilirler (Bertaska vd., 2015; Sarda vd., 2016). İnsansız su üstü araçlarının kontrolü aktif bir araştırma konusudur. Aguiar ve Pascoal, bilinmeyen bir akıntıda belirsiz hidrodinamik parametrelere sahip bir insansız su üstü aracını su yüzeyinde sabit tutabilmek için doğrusal olmayan bir uyarlamalı kontrolör tasarlamışlardır (Aguiar & Pascoal, 2007). İnsansız su üstü araçları için kontrol teoremlerinin doğrulanması için büyük ölçekli deniz deneyleri yerine simülasyon ortamında veya küçük ölçekli deniz deneyleri ile gerçekleştirilir (Ashrafiuon vd., 2010). Su üstü ve insansız su üstü araçlarının kontrolüne dair ilgili literatür incelendiğinde; uyarlamalı kontrol, geri adım kontrolü (backstepping control), kademeli kontrol teorisi, kayan mod kontrol (sliding mode control), bulanık mantık kontrolü, yapay sinir ağı kontrolü, hibrit kontrol gibi çalışmalara sıkça rastlanabilir. M.Chen ve ark. su üstü araçlarının deniz üzerinde sabit kalabilmesi için değişken yapı kontrolü ile birlikte uyarlanabilir kontrol önermişlerdir. Bu kontrol sistemini sinir ağları ile tasarlamışlardır (Chen vd., 2013). Z. Dong ve ark. yatay düzlemde bir USV'nin yörünge izleme problemini ele almak için durum geri besleme temelli bir geri adım kontrol algoritması tasarlamışlardır (Dong vd., 2015). İnsansız su üstü araçlarının kontrolü sağlanırken akıntı, rüzgar ve dalga önemli dış bozucu kaynaklarıdır (Sarda vd., 2016). 2016 yılında yine Z. Dong ve ark. insansız deniz araçlarının, farklı okyanus akıntı hızlarının ve yön açılarının varlığında geri adım yöntemine dayalı farklı yörünge izleme kontrol performanslarını incelemişlerdir (Dong vd., 2016). 2018 yılında M.Yong ve ark. insansız su üstü araçları (USV) için akıntı olan ortamlarda; yol uzunluğu, yol düzgünlüğü, ekonomik maliyet ve yol güvenliğini hedefleyerek yol planlama problemini incelemişlerdir. Yol planlamasını incelerken USV, akıntı etkisinin yanı sıra çarpışmadan kaçınma ve hareket sınırlarına da maruz bırakılmıştır (Ma vd., 2018). 2018 yılında L. Chengxing ve ark. hareket altındaki bir USV'nin hız ve yön açısı izleme kontrolü için kapalı döngü sisteminin kararlılığını analiz eden durum hatası port kontrollü bir kontrolör önermişlerdir (Lv vd., 2018). Daha önce literatürde olan kontrol tekniklerinden farklı olarak, bir insansız su üstü aracının hız kontrolü için destek vektör makinesi kullanılması bu çalışmanın katkısıdır.

Destek vektör makinesi (SVM) hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilir (Vapnik, 2000). Sınıflandırma problemlerinde daha sık kullanılan SVM, regresyon problemlerinde kullanılması Smola ve ark. tarafından önerilmiştir (Smola & Schölkopf, 2004).

Bu çalışmada insansız su üstü aracı için akıntı etkisi altında hız kontrolü yapılmıştır. USV'ye akıntı etki ettiğinde aracın istenen hızda kalabilmesi için uygun araç itici kuvvetlerinin tahmini SVM algoritması ile gerçekleştirilmiştir. SVM'nin eğitimi için gerekli olan veri seti, PID kontrolcü ile oluşturulmuştur. Burada SVM, aracın akıntı etkisi altında referans hızda sabit kalabilmesi için uygun itici girişlerini üretmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Su Üstü Aracının Matematiksel Modeli

Su üstü aracının doğrusal olmayan dinamik ve kinematik matematiksel modeli denklem 1 ve 2 de tanımlanmıştır (Fossen, 1999).

$$M(\dot{v})+C(v)v+D(v)v+g(\eta)=\tau=u \quad (1)$$

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

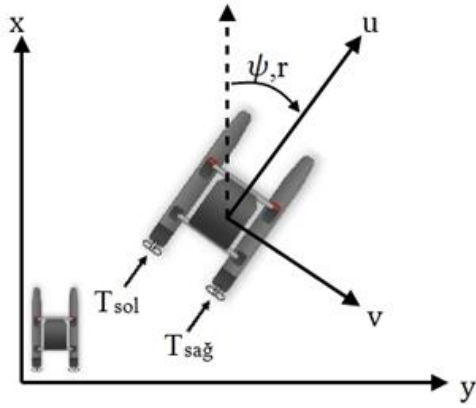
Burada, M, aracın kütle matrisi, C, merkezkaç kuvveti ve Coriolis kuvveti matrisi, D, sönümlenme matrisi, g, yerçekimi ve suyun kaldırma kuvveti matrisi, v, aracın doğrusal ve açısal hız vektörü, η, aracın konum ve yönelim vektörü, J, koordinat çevirimi matrisi, τ, iticilerin ürettiği kuvvet ve momentlerden oluşan girdi vektörüdür. Aracın üç serbestlik derecesine sahip, 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.

Denklem 1 ve 2 bu çalışmada kullanılacak olan, Şekil 1'de gösterilen su üstü aracının hareketi için 3 serbestlik derecesindeki tanımlanmıştır. Sistemin girdisi olan u matrisi iticilerin ürettiği oldukları moment ve kuvvetlerden oluşan sütun matrisidir.

Tablo 1. Su üstü aracının hareket notasyonları

Serbestlik Derecesi	Konum ve Yönelimler	Kuvvet ve Moment	Doğrusal ve Açısal Hızlar	Pozisyon ve Euler Açılı
1	x eksenindeki hareket	X	u	x
2	y eksenindeki hareket	Y	v	y
3	z eksenindeki dönüş	N	r	ψ

Bu çalışmada model olarak kullanılan su üstü aracında (WAM-USV14) 1 tane sağda 1 tane solda olmak üzere 2 adet itici yatay konumda yerleştirilmiştir. Yataydaki iticiler x eksen yönündeki hareketi (surge) ve z eksen etrafındaki dönmeyi (yaw) sağlarlar. WAM-USV14 aracın matematiksel modelinde, daha önce sistem tanılaması yapılarak elde edilen sönümleme parametreleri, katma kütle parametreleri kullanılmıştır (Klinger vd., 2017).



Şekil 1. Modellenen su üstü aracına ait iticiler ve yapabildiği hareketler (WAM-USV14)

Matematiksel modeldeki matrisler:

$$M = \begin{bmatrix} m-X_{\dot{u}} & 0 & 0 \\ 0 & m-Y_{\dot{v}} & 0 \\ 0 & 0 & Iz-N_r \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -(m-Y_{\dot{v}})v \\ 0 & 0 & (m-X_{\dot{u}})u \\ (m-Y_{\dot{v}})v & -(m-X_{\dot{u}})u & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$D = - \begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & 0 \\ 0 & 0 & N_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$J = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

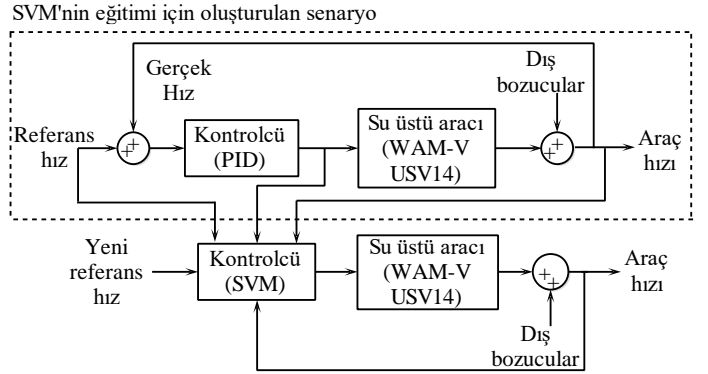
Burada, m: aracın kütlesi, X_u, Y_v, N_r: aracın katma kütle parametreleri, X_u, Y_v, N_r: aracın sönümleme parametreleri ve Iz: z eksenindeki atalet tensörüdür.

İticilerin ürettiği kuvvet ve momentten oluşan girdi vektörü Denklem 7'deki gibidir (Klinger vd., 2017). Burada B, iki itici arasındaki mesafedir.

$$\tau = \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{sol}+T_{sağ} \\ 0 \\ (T_{sol}-T_{sağ}) * (\frac{B}{2}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2. İnsansız Su Üstü Aracının Kontrolü

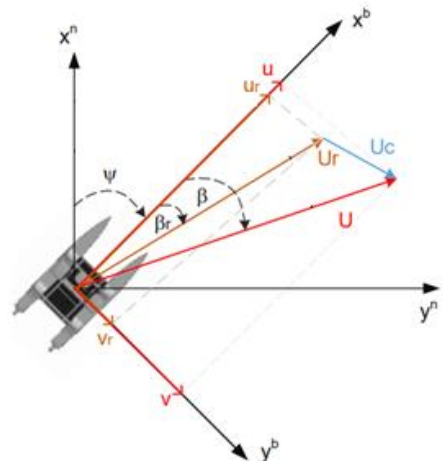
İnsansız su üstü aracının ileri yön hızı, farklı hız ve farklı yönlerde araca etki eden akıntı olduğu durumlarda, makine öğrenmesi olan SVM algoritması ile kontrol edilmiştir. Şekil 2'de su üstü aracı kontrolünün blok şeması verilmiştir. SVM, aracın akıntı durumundaki hareketini kontrol etmek için iticilere gönderilmesi gereken bilgiyi tahmin etmektedir. SVM'nin eğitimi gerçekleştirmek için gerekli veri seti, aracın referans hızlarına karşı uygun itici bilgileri PID kontrolcünden elde edilerek oluşturulmuştur. Veri setini oluştururken PID kontrolcülerin kazanç katsayıları, referans hız ile model cevabı hız arasındaki hatayı minimize edecek şekilde bulunmuştur.



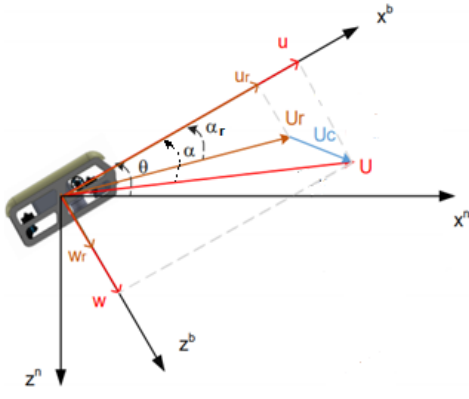
Şekil 2. SVM kontrolcü blok şeması

2.2.1. Su Üstü Aracı Hareketine Akıntı Etkisi

Su üstü aracına etki eden akıntı sebebi ile aracın yanal hareketinde etkili olan yana kayma (sideslip), β, açısı ve sapma açısı (ψ) Şekil 3'te, su üstü aracının dikeydeki hareketinde etkili olduğu hücum açısı, α, Şekil 4'te gösterilmiştir. Vücut (body) yapı eksenleri ve dünya yapı eksenleri sırasıyla x^b, y^b, z^b ve xⁿ, yⁿ, zⁿ olarak gösterilmiştir (Fossen, 1999).



Şekil 3. Sapma açısı ve yana kayma açısı



(b)

Şekil 4. Hücüm açısı

Hücüm açısı ve yana kayma açısı Denklem 8'deki gibi tanımlanır.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{w}{u}, \beta = \sin^{-1} \frac{v}{U} \quad (8)$$

Burada u, v, w aracın x, y ve z eksenlerindeki doğrusal hızlarıdır. U ile gösterilen aracın hız vektörüdür ve yatay hareket için $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ olarak tanımlanır. Akıntı varlığında bağıl hücüm açısı (α_r) ve bağıl yana kayma açısı (β_r) Denklem 9'daki gibi tanımlanır:

$$\alpha_r = \tan^{-1} \frac{w_r}{u_r}, \beta_r = \sin^{-1} \frac{v_r}{U_r} \quad (9)$$

Burada, u_r, v_r, w_r sırasıyla aracın x, y ve z eksenlerindeki bağıl doğrusal hızlardır. Akıntı hızını x, y ve z eksenlerinde sırasıyla u_c, v_c, w_c (akıntı hızı, $U_c = \sqrt{u_c^2 + v_c^2 + w_c^2}$) ise, aracın bağıl doğrusal hızları, $u_r = u - u_c, v_r = v - v_c, w_r = w - w_c$ olarak tanımlanır. U_r ile gösterilen aracın bağıl hızıdır ve 3D hareket için $U_r = \sqrt{u_r^2 + v_r^2 + w_r^2}$.

Bu çalışmada kullanılacak su üstü aracı için, akıntı yok ise hücüm açısı ve yana kayma açısı sıfırdır. Bu açıların etkisi ancak akıntı varlığında incelenebilir. Akıntının var olduğu ortamda, aracın hızı için bağıl hız bağıntısı geçerlidir.

2.3. Destek Vektör Makinesi ile Kontrol

Destek vektör makinesi, istatistiksel öğrenme teorisine dayanıp Vapnik tarafından geliştirilmiştir (Vapnik, 2000). SVM, doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerde hem sınıflandırma hem de regresyon işlemlerinde kullanılan bir makine öğrenme yöntemidir (Smola & Schölkopf, 2004). SVM' de amaç verilen giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasındaki bağlantıyı kurmaktır. x_i giriş değişkenleri, y_i ise bu girişlere denk gelen çıkış değişkenleri olan $D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)\}$ den oluşan bir veri seti olsun. SVM algoritması x_i 'ler ile y_i 'lerin ilişkisini en doğru şekilde oluşturulacak fonksiyonu bulmaktadır. SVM bu fonksiyonu bulur iken aşağıda verilen J maliyet fonksiyonunu minimize eden optimizasyon problemini çözmektedir.

Maliyet fonksiyonu (J):

$$J = \frac{1}{2} \|w\|^2 + K * \sum_{i=1}^m (\xi_i + \xi_i^*) \quad (10)$$

Kısıtlar:

$$y_i - (w * x_i) - b \leq \varepsilon + \xi_i \quad (11)$$

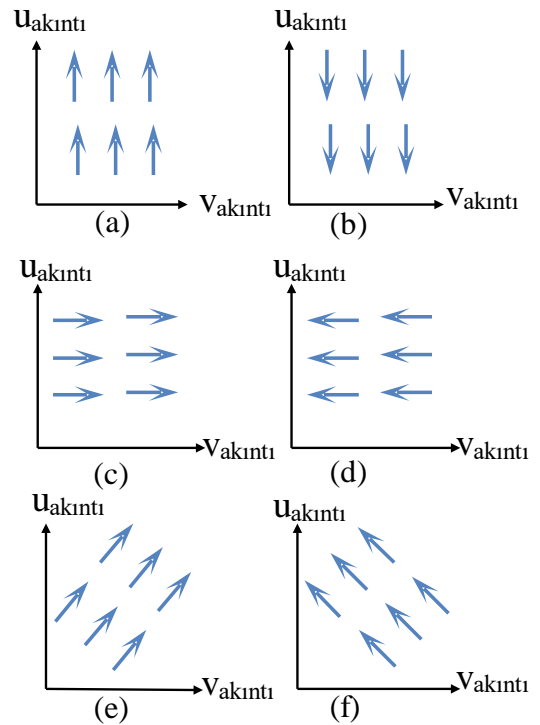
$$(w * x_i) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \quad (12)$$

$$\xi_i, \xi_i^* \geq 0, \quad i=1, \dots, m \quad (13)$$

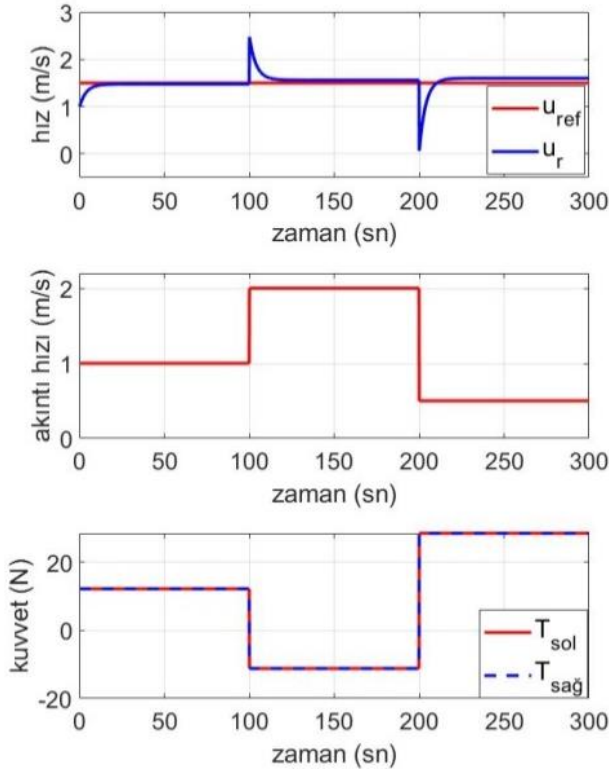
Burada, K parametresi sıfırdan büyük bir sayıdır ve eğitime dahil edilecek olan verileri belirlemede kullanılmaktadır. Veri setine göre değişiklik göstermektedir. Bu yüzden deneme ile bulunmaktadır. ξ_i ve ξ_i^* ise eğitime dahil edilmeyen verilerin eğitime dahil edilen verilere olan uzaklıkları ifade etmektedir. ε , sıfırdan büyük bir sayı olup kullanıcı tarafından belirlenmektedir. b , oluşturulan fonksiyonda algoritmanın belirlediği bir sabit sayıdır. w ise verilen x_i giriş değişkenleri ile çarpılacak sayı olup algoritma tarafından belirlenmektedir.

3. Simülasyon Sonuçları

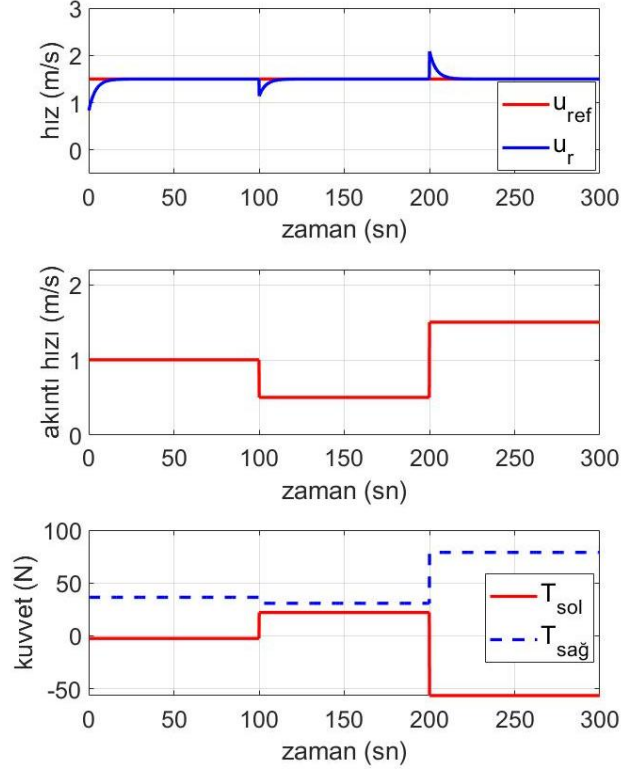
Yapılan bu çalışmada, insansız su üstü aracına etki eden akıntı SVM algoritması ile incelendi. İnsansız su üstü aracına etki eden akıntı ile birlikte aracın istenilen hızda kalması amaçlandı. İnsansız su üstü aracının istenilen hızda kalması için iticilerine verilecek kuvvetin tahmini SVM algoritması ile yapıldı. İlk olarak SVM algoritmasının eğitimi için veri seti oluşturuldu. Veri seti için PID kontrolcüsü kullanıldı ve gelen akıntıya karşılık itici kuvvetleri PID kontrolcü ile belirlendi. Oluşturulan veri seti ile birlikte SVM algoritmasının eğitimi gerçekleştirildi. İnsansız su üstü aracına etki eden akıntı altı farklı yönde incelendi. İncelenen akıntı yönleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 5'te gösterilen altı farklı akıntı yönünde insansız su üstü aracına farklı değerlerde akıntı hızları uygulanmıştır. Böylece aracın istenilen hızda kalabilmesi için gerekli itici kuvvetleri eğitimi gerçekleştirilen SVM algoritması tarafından tahmin edilmiştir.



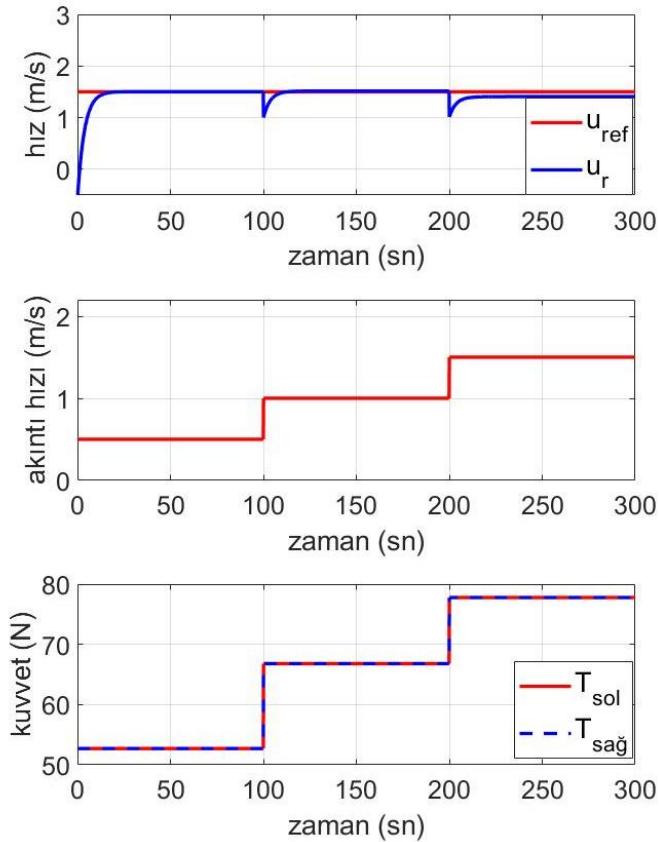
Şekil 5. Araca etki eden akıntı yönleri



Şekil 6. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)

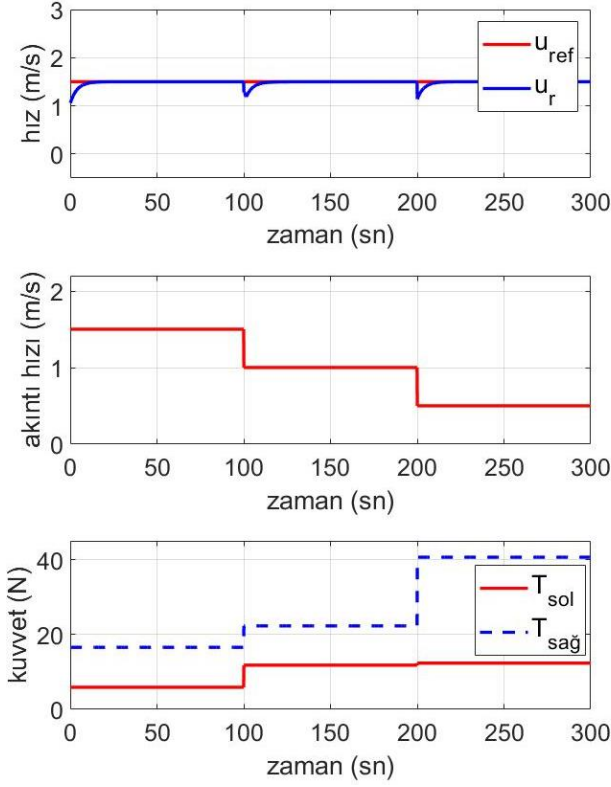


Şekil 8. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)

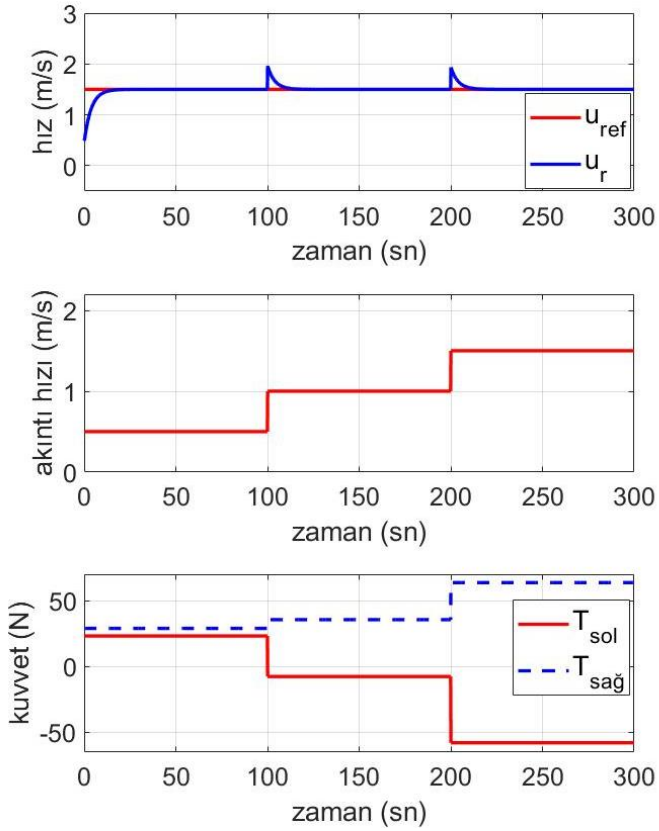


Şekil 7. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)

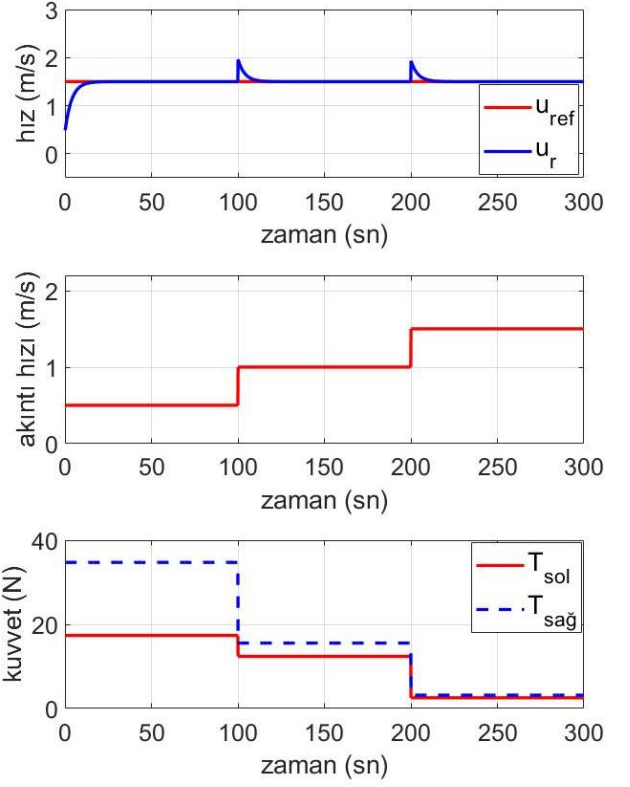
Şekil 6'da araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (a)'da gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü ile araç yönü aynı eksen üzerindedir. Akıntı hızı sırasıyla 1 m/s, 2 m/s ve 0.5 m/s olarak verilmiştir. Aracın referans hızı 1.5 m/s olarak belirlenmiştir. Böylece araç ileri yön hareketini yaparak referans hızı takip edebilmesi için uygulanması gereken uygun itici kuvvetleri SVM tarafından bulunmuştur. Şekil 7'de araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (b)'de gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü ile araç yönü birbirine ters yöndedir. Akıntı hızı sırasıyla 0.5 m/s, 1 m/s ve 1.5 m/s olarak verilmiştir. Böylece araç ileri yön hareketini yapabilmesi için sağ ve sol iticilere uygulanacak uygun itici kuvvetleri SVM tarafından bulunmuştur. Şekil 8'de araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (c)'de gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü araç ileri yön hareketini yaparken araca soldan etki edecek şekildedir. Şekil 9'da araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (d)'de gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü araç ileri yön hareketini yaparken araca sağdan etki edecek şekildedir. Akıntı hızı sırasıyla 1.5 m/s, 1 m/s ve 0.5 m/s olarak verilmiştir. Şekil 10'da araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (e)'de gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü araç ileri yön hareketini yaparken araca sol arka çaprazdan etki edecek şekildedir. Akıntı hızı sırasıyla 0.5 m/s, 1 m/s ve 1.5 m/s olarak verilmiştir. Şekil 11'de araca etki eden akıntının yönü Şekil 5 (f)'de gösterildiği gibidir ve araca etki eden akıntı yönü araç ileri yön hareketini yaparken araca sağ arka çaprazdan etki edecek şekildedir. Akıntı hızı sırasıyla 0.5 m/s, 1 m/s ve 1.5 m/s olarak verilmiştir. Araç ileri yön hareketini yaparak referans hızı takip edebilmesi için sağ ve sol iticilere uygulanması gereken itici kuvvetleri SVM tarafından belirlenmiştir.



Şekil 9. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)



Şekil 10. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)



Şekil 11. Araca uygulanan ileri-yön referans hız ve gerçek ileri-yön hızı, araca etki eden akıntı hızı ve akıntı varlığında aracın referans hızı takip edebilmesi için gerekli sağ ve sol itici kuvvetleri (SVM ile elde edilen)

Tablo 2’de insansız su üstü aracına farklı değerlerde ve yönlerde etki eden akıntı hızına karşılık gelen araç itici değerleri ve yana kayma açıları sunulmuştur. Yana kayma açıları Denklem 9’dan hesaplanmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan insansız su üstü aracı, akıntının olmadığı ortam şartlarında ileri yön hareketi için 1.5 m/s hıza sağ ve sol iticilere 40 N uygulandığında ulaşmaktadır.

Tablo 2. Akıntı hızı ve yönüne karşılık gelen itici kuvvetleri

Akıntı Yönü	Akıntı Hızı (m/s)	Sol İtici (T_{sol}) (N)	Sağ İtici ($T_{sağ}$) (N)	Yana Kayma Açısı (derece)
Şekil 5 (a)	1	12.21	12.21	0
Şekil 5 (a)	2	-11.16	-11.16	0
Şekil 5 (a)	0.5	28.48	28.48	0
Şekil 5 (b)	0.5	52.7	52.7	180
Şekil 5 (b)	1	66.8	66.8	180
Şekil 5 (b)	1.5	77.77	77.77	180
Şekil 5 (c)	1	-2.43	36.52	33.367
Şekil 5 (c)	0.5	22.17	30.8	18.4487

Şekil 5 (c)	1.5	-56.48	78.9	45
Şekil 5 (d)	1.5	5.89	16.57	-45
Şekil 5 (d)	1	11.8	22.31	-33.367
Şekil 5 (d)	0.5	12.34	40.62	-18.4487
Şekil 5 (e)	0.5	23.19	28.89	10.8
Şekil 5 (e)	1	-7.58	35.52	17.45
Şekil 5 (e)	1.5	-57.88	63.58	22.33
Şekil 5 (f)	0.5	11.36	34.72	-10.8
Şekil 5 (f)	1	12.14	15.55	-17.45
Şekil 5 (f)	1.5	2.53	3.17	-22.33

4. Sonuç ve Yorum

Bir insansız su üstü aracının doğrusal olmayan matematiksel modeli elde edilmiştir. Okyanus akıntısı gibi dış bozucularda su üstü aracı referans hızı takip edebilmesi için, sağ ve sol iticilerine uygulanması gereken kuvvet, makine öğrenmesi olan SVM ile elde edilmiştir. SVM'nin eğitiminde kullanılan veriseti, PID kontrol tekniği ile dış bozucu olmadan farklı referans hızlarda araca üretilen girdi bilgilerinden oluşturulmuştur. Araca farklı yön ve farklı hızlarda dış bozucu etki ettiğinde SVM'nin ürettiği kuvvet bilgisini iticilere uyguladığımızda aracın hız kontrolünün başarıyla yapıldığı gözlemlenmiştir. Literatürde kullanılan kontrol tekniklerinden farklı olarak makine öğrenmesinin su üstü aracının kontrolünde kullanılması çalışmanın büyük katkısıdır. Bu çalışmanın devamı olarak deniz ya da havuzdan alınan deneysel veriler kullanılarak SVM'nin performansı analiz edilecektir. Tüm çalışma MATLAB/Simulink ortamında hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Aguiar, A. P., & Pascoal, A. M. (2007). Dynamic positioning and way-point tracking of underactuated AUVs in the presence of ocean currents. *International Journal of Control*, 80(7), 1092-1108. <https://doi.org/10.1080/00207170701268882>
- Ashrafiuon, H., Muske, K. R., & McNinch, L. C. (2010). Review of nonlinear tracking and setpoint control approaches for autonomous underactuated marine vehicles. *Proceedings of the 2010 American Control Conference*, 5203-5211. <https://doi.org/10.1109/ACC.2010.5530450>
- Bertaska, I. R., Shah, B., von Ellenrieder, K., Švec, P., Klinger, W., Sinisterra, A. J., Dhanak, M., & Gupta, S. K. (2015). Experimental evaluation of automatically-generated behaviors for USV operations. *Ocean Engineering*, 106, 496-514. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.002>
- Chen, M., Ge, S. S., How, B. V. E., & Choo, Y. S. (2013). Robust Adaptive Position Mooring Control for Marine Vessels. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21(2), 395-409. <https://doi.org/10.1109/TCST.2012.2183676>

- Dong, Z., Wan, L., Li, Y., Liu, T., & Zhang, G. (2015). Trajectory tracking control of underactuated USV based on modified backstepping approach. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 7(5), 817-832. <https://doi.org/10.1515/ijnaoe-2015-0058>
- Dong, Z., Wan, L., Liu, T., & Zeng, J. (2016). Horizontal-Plane Trajectory-Tracking Control of an Underactuated Unmanned Marine Vehicle in the Presence of Ocean Currents. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13(3), 83. <https://doi.org/10.5772/63634>
- Fossen, T. I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. Wiley, 1999.
- Klinger, W. B., Bertaska, I. R., von Ellenrieder, K. D., & Dhanak, M. R. (2017). Control of an Unmanned Surface Vehicle With Uncertain Displacement and Drag. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 42(2), 458-476. <https://doi.org/10.1109/JOE.2016.2571158>
- Lv, C., Yu, H., Hua, Z., Li, L., & Chi, J. (2018). Speed and Heading Control of an Unmanned Surface Vehicle Based on State Error PCH Principle. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, e7371829. <https://doi.org/10.1155/2018/7371829>
- Ma, Y., Hu, M., & Yan, X. (2018). Multi-objective path planning for unmanned surface vehicle with currents effects. *ISA Transactions*, 75, 137-156. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.02.003>
- Sarda, E. I., Qu, H., Bertaska, I. R., & von Ellenrieder, K. D. (2016). Station-keeping control of an unmanned surface vehicle exposed to current and wind disturbances. *Ocean Engineering*, 127, 305-324. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.09.037>
- Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing*, 14(3), 199-222. <https://doi.org/10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88>
- Vapnik, V. (2000). *The Nature of Statistical Learning Theory* (2. bs). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3264-1>