



## Su Altı Araçlarında Servo Motor Kontrolünün PSO ile Optimizasyonu

### Optimization of Servo Motor Control in Underwater Vehicles with PSO

Zahide Nur Yılmaz<sup>1</sup>, Nuri Alper Metin<sup>2</sup>, Murat Lüy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Meslek Yüksekokulu, Osmaniye, TÜRKİYE

<sup>3</sup> Kırıkkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 02/03/2022

Kabul / Accepted: 29/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

#### Öz

İnsansız yüzey araçları (USV) günümüzde, otonom veya yarı otonom robotlar olarak tasarlanmış ve teknolojik unsurlara donatılmış birer su altı robotu şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çok yönlü akıllı araçlarda algılama, karar verme ve hareket kabiliyetini kurma becerisi mevcut haldedir. Teknolojik donatılarla güçlendirilmiş USV'ler; deniz yüzeyi ve dip tarama, haritalama, sualtında boru hattı döşemelerini gerçekleştirme, bilimsel araştırmalar ve askeri görevlerde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, insanlı olarak bilinen denizaltı araçlarına yakıt taşıma veya akü ihtiyaçlarını giderme gibi görevleri de üstlenmektedirler. Bu çalışmada USV yapısının servo motor hız kontrolü PID denetleyici ile MATLAB/ Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. PID denetleyici katsayıları birincil olarak Ziegler Nichols ile hesaplanmıştır. İkincil olarak Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile optimize edilmiştir. Sistemde bu yöneme göre referans hız değerine yaklaşımı, salınımı ve kontrolü incelenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“İnsansız denizaltı araçları, Matematiksel Model, PID Kontrol, Parçacık Sürü Optimizasyonu”

#### Abstract

Today, unmanned surface vehicles (USV) are defined as underwater robots designed as autonomous or semi-autonomous robots and equipped with technological elements. These versatile smart vehicles have the ability to detect, make decisions, and set up mobility. USVs strengthened with technological equipment; They are used in sea surface and dredging, mapping, underwater pipeline laying, scientific research and military missions. In addition, they also undertake tasks such as carrying fuel to submarine vehicles known as manned or meeting their battery needs. In this study, the servo motor speed control of the USV structure was carried out with a PID controller in the MATLAB / Simulink environment. PID controller coefficients were calculated primarily with Ziegler Nichols. Secondly, it is optimized with Particle swarm optimization (PSO). According to this method in the system, its approach to the reference speed value, its oscillation and control were examined.

#### Key Words

“Underwater vehicle, Vehicles, Mathematical model, PID Control, Particle Swarm Optimization”

## 1. Giriş

Su altı aracı kontrol sisteminin yürütme organı olan servo motor, su altı aracı yelken duruşunu kontrol etmek için direksiyon torku sağlamaktadır. Servo motor, direksiyon milini gereksinimlerine göre döndürmek, dümen sapmasını ayarlamak ve su altı aracının sabit durum kontrolünü tamamlamak için bir kontrol bilgisayarından çıkış direksiyon komutlarını almaktadır (Xu (2001)).

Geleneksel Doğru Akım (DC) motoru iyi hız performansına sahipken, motorun bir komütatöre, fırçalara ve diğer mekanik temas elemanına sahip olması nedeniyle, çalışma sırasında kolayca kıvılcım çıkarabilir ve zayıf güvenilirlik sağlar. Motorun hızı ve çıkış gücü aynı zamanda sınırlıdır. Bununla birlikte, sabit mıknaatıslı, fırçasız DC motor uygulamaları, komütasyon kıvılcımının neden olduğu elektromanyetik parazitin yanı sıra komütatör ve fırçanın olmaması nedeniyle sürtünme torkunu ortadan kaldıran ve motorların bakım maliyetini düşüren problemleri çözmektedir. Ek olarak, fırçasız DC motor, hafif, küçük hacimli, yüksek verimlilik, yüksek tork / ağırlık oranı, yüksek dönen atalet ve yüksek güç faktörü avantajlarına sahiptir. Aynı zamanda yüksek hız, büyük tork ve yüksek güçlü motor haline getirilebilmektedir (Lui vd. (2008)).

Günümüzde İnsansız Yüzey Araçları (USV), otonom veya yarı otonom robotlar olarak tasarlanmış ve teknolojik unsurlarla donatılmış birer su altı robotu şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çok yönlü akıllı araçlarda algılama, karar verme ve hareket kabiliyetini kurma becerisi mevcut haldedir (Zhou (1990)). Teknolojik donatılarla güçlendirilmiş İDA'lar; deniz yüzeyi ve dip tarama, haritalama, sualtında boru hattı döşemelerini gerçekleştirme, bilimsel araştırmalar ve askeri görevlerde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, insanlı olarak bilinen denizaltı araçlarına yakıt taşıma veya akü ihtiyaçlarını giderme gibi görevleri de üstlenmektedirler (Jiang (2013)).

Literatürde yapılan USV çalışmaları yeni nesil denetleyici içeren yapay zekâ, bulanık mantık, kayma kipli denetleyici gibi yöntemler ile kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir. Yenilikçi yöntemler, geleneksel yöntemlere göre çok fazla işlem yükü ve konuyla ilgili uzmanlık gerektirmektedir. Buna ilaveten kullanılan sistemlerde maliyet artışı meydana getirmektedir. Literatür çalışmaları sonuçlarına göre yenilikçi denetleyici sistemlerin sonuçları ise geleneksel sistemlerden çok daha iyi olmadığı ancak bir miktar üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır. Önerdiğimiz yöntem de ise düşük maliyetli, basit yapıda ve geleneksel olarak iyi derecede bilinen bir kontrolcünün optimizasyon yöntemi ile geliştirilmesidir.

Bu çalışmada su altı aracının servo motor kontrol sistemi değişken yapı kontrol yöntemi ile tasarlanmıştır. Sistem kontrolü geleneksel PID denetleyici ile gerçekleştirilmiştir. Birincil olarak PID denetleyicinin Ziegler Nichols teoremiyle katsayı hesabı işlemi gerçekleştirilmiştir. İkincil olarak PID denetleyicinin katsayıları PSO algoritmasıyla optimize edilmiştir. PSO ile optimize edilen PID katsayı parametreleri Ziegler Nichols teoremine göre kararlı, düşük maliyetli ve sistem parametrelerinden etkilenmeyen bir kontrolcü tasarlayarak literatüre katkı sağlanmıştır.

### 1.1 Literatür taraması

Grenstedt Vd. ve arkadaşarı, gözetleme ve izleme görevlerine yönelik uygulamaları olan yüksek performanslı İnsansız Yüzey Aracı (Unmanned Surface Vehicle – USV) olan Otonom Lehigh Okyanus Araştırma Gemisi (Lehigh Ocean Research Craft Autonomous'u - LORCA) tanıtmışlardır. Kompakt (1,2 m), hafif (5 kg) ve sağlam (tek parça karbon fiber tasarım) olan LORCA, 80 km/s hıza ulaşabilmektedir. Araştırmacıların sundukları bilgilere göre; tüm deniz bölgelerinde kendi kendini düzeltme yeteneği ile okyanus dalgalarında çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında, ilk olarak LORCA tasarımını ve teknik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri otonom yapının gelecekteki planlı çalışmalar için LORCA'nın güçlü yanlarını ve güçlendirilmesi gereken zayıf yanlarını değerlendirmişlerdir (Grenstedt Vd. (2015)).

Campbell ve arkadaşarı çalışmalarında, Akıllı Çarpışmadan Kaçınma Manevraları ile İnsansız Yüzey Araçlarının Özerkliğinin Geliştirilmesi” adlı araştırmalarında, insansız deniz araçlarının özerklik düzeyini artırmak için ortaya çıkan zorluklar, otomatik engellerden kaçınma ve diğer deniz trafiğinin varlığında seyrederken Yol Kurallarına uyma becerileri yönünden otonom deniz araçlarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, ABD Deniz Kuvvetleri için oluşturulan USV Master Planı çerçevesinde, görev çeşitliliğini artırmak ve denetleyici müdahale miktarını azaltmak amacıyla özerkliği geliştirmek için ortaya konmuş olan hedefler listesini odak noktası olarak benimsemişlerdir (Campbell vd. (2012)).

Liu ve arkadaşarı, USV'nin yörünge takip problemi ele alınmış ve araştırmacılar geliştirdikleri geri adım atma algoritması ile izleme kontrolörünü tasarlamışlardır. Araştırmacıların sunduğu algoritma için sudan kuvvet olarak jet motoru ile çalışan USV'lerde serbestlik derecesi (DOF) hareketsiz manevra hareket modeli oluşturularak uygulamışlardır. Araştırmacılar geliştirdikleri algoritma ile tasarladıkları sistemde kontrolörün hem düz çizgi yörüngesini hem de eğri yörüngesini nispeten yüksek doğrulukla izleyebildiğini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, USV sistemi kararlılığını, sınırlı giriş-sınırlı çıkış (BIBO) özellikleri ile kanıtladıklarını ileri sürmüşler ve daha sonra kontrolörün sağlamlığı ile hassas kontrol performansını göstermek için simülasyon deneyleri yaparak ispatlamışlardır (Liu vd. (2016)).

Zhao ve arkadaşarı çalışmalarında, USV'nin güvenilirliğini ve gerçek zaman uyumunu artırmak için USV'nin sistem tasarımı ve uygulaması üzerine yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında VxWorks gerçek zamanlı işletim sistemine göre tasarladıkları kontrol sisteminin donanım mimarisini tanıtarak, tüm parçaların işlevini netleştirmiş, USV'lerin kontrol sistemi için üç katmanlı hiyerarşik mimaride gerçek zamanlı sağlamak için iş birliği katmanı, kontrol katmanı ve işletim katmanını geliştirmeye

çalışmışlardır. Araştırmacılar tasarım sırasında yazılım mimarilerini kullanarak USV modellemesi yapmışlardır. Araştırmacılar ayrıca, gelişmiş kontrol sistemi tasarımında kullanılacak yararlı verileri elde etmek için yön kontrolü ve basit yol takip testleri gibi deneyleri de gerçekleştirmişler ve deney sonucunda gerçek zamana eş olarak başarı elde etmişlerdir (Zhao vd. (2010)).

Mu ve arkadaşları çalışmalarında, bölmeli itiş gücü USV'nin müdahale modelini oluşturarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar, USV hızlarının yükseltilmesi için hızlı yakınsamalara ihtiyaç duyulduğunu bunun sağlanabilmesi için ise bir hız kontrolörü önermişlerdir. Araştırmacıların önerdikleri kontrolörde MMG ayrı modelleme fikrini, itme kuvveti ile USV'nin DOF düzlemsel hareket modelini oluşturmak için kullanmış bunun üzerine yapılan çalışma ile USV yanıt alma şekli model üzerinde basitleştirilmiştir. Daha sonra saha deneylerine dayanarak, yanıt modelinin parametreleri sistem tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Sıradan gemilerin aksine, USV hız kabiliyeti ve küçük boyut avantajlarını da kullanarak artırılmıştır. Araştırmacılar USV'deki hız kabiliyeti artırışında kontrolörün denetimi için de hızlı yakınsama özelliğini güçlendirmek için çok seçmeli kontrol teorisine dayanarak, hızlı ve duraksamasız terminal kayma modu (FNTSM) seyir kontrolörü önermişlerdir. Sistemin hızından kaynaklanan sesi azaltmak için ise, prototip model üzerinde RBF sinir ağı ile kontrol uygulamasını göstermişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri model üzerinde aynı zamanda, kademeli geçişleri yumuşak hale getirmek için bulanık algoritma kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmaları sonucunda uyguladıkları bulanık algoritmanın ise kademe değiştirildiğinde gereksiz enerji sarfmesini önlediğini ileri sürmüşlerdir. Son olarak, araştırmacıların önerdikleri kontrol yaklaşımının hızlılığı ve sağlamlığı simülasyon çalışmaları ile benzer ürünlerin karşılaştırmasını sunmuşlar ve güçlendirdikleri alanları karşılaştırma tablosunda göstermişlerdir (Mu vd. (2017)).

Xu ve arkadaşları , çoklu USV kooperatif ağında kullanılmayan ağılar için MEMS ve DVL algoritmalarını değerlendirmişler tüm otonom sürecinde aktif olan, bağlantı ilişkilerini kontrol edip kesme kabiliyetine sahip olan MEMS sistem hatalarının gözlemlenebilirliğini artırmayı iki alt bölüme ayırarak incelemişlerdir. Araştırmacılar bu inceleme için önce büyük yanlış hizalama açısını tahmin ederek ardından jiroskop sapmasını hesaplamışlardır. Araştırmacılar, yüksek doğruluk ve göreceli küçük hesaplamaya erişimi olan kübik katman filtre (CKF) algoritmasına dayanarak, çift model filtreleme şemasını kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmaları sonucunda navigasyon ve rotalama becerisinin iyileştirildiğini saptamışlardır. Araştırmacılar, yakınsama hızını etkili bir şekilde artırmak için ise otomun su yüzeyinde ileri ve geri hareket kabiliyetini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar simülasyon analizi ve deneysel doğrulama yaparak göstermişlerdir. Simülasyon ve deneysel sonuçlardan, araştırmacıların önerdikleri algoritma ile navigasyon performansının etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermişlerdir (Xu Vd. (2014)).

Alkan çalışmasında elektrik tahrikli itiş sistemlerinde oto denetleyiciler üzerine bir araştırma yapmıştır. Araştırmacı, her tür dinamik debi akış koşulunda, sistemin itme kuvveti isteğinin kabul edilebilir bir ölçüde gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla eksenel su hızını değerlendirebilen yeni bir geri beslemeli itici denetleyicisi tasarlamıştır. Araştırmacı, çalışması sırasında, deniz aracı pervanelerinin dört çeyreklik zaman dilimindeki akış koşullarında verdikleri açık su karakteristiklerini hesaplamıştır. Araştırmacı, daha sonra açık deniz testlerinde elde ettiği verileri boyutlarından bağımsız olarak denetleyicinin itme kuvveti modeline eklemiştir. Dört çeyrekli pervane modeli kullanılarak istenilen itme kuvveti ve ideal pervane shaft hızı arasında bir bağıntı türetmiştir. Araştırmacı çalışmasında açık su koşullarını gerçekleyebilmek için bir deney düzeneği tasarlamıştır. Araştırmacı çalışması sonucunda, önerdiği itişe dayalı sistem denetleyicisinin tüm dört çeyrek akış koşulunda kabul edilebilir sonuçlar verdiğini savunmuştur (Alkan, (2012)).

Beşer, (2018) çalışmasında; denizde can ve mal emniyetine öncelik verilerek, çoklu otonom insansız deniz araçları için kara parçası gibi sabit ve seyir halindeki gemi gibi hareketli engellerin bulunduğu ortamda rota planlanması ve engelden sakınma maksadıyla çeşitli benzetimler gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Araştırmacı çalışmasında, çoklu otonom insansız deniz araçlarına ilişkin benzetimler ile Türk karasuları içerisinde yer alan İstanbul'da bulunan Prens Adaları'nın çevresinde ve İstanbul Boğazı'nda gözlem yapmıştır. Araştırmacı çalışmasında yaptığı gözlemlere dayanarak, rota planlama ve engelden sakınma algoritmalarının yanında ayrıca yapay zeka teknolojileri kullanılarak insansız otonom deniz araçlarının sensörden bağımsız görsel seyrine ilişkin yöntem önermiştir. Araştırmacı ayrıca Elektronik sensörlerin arızalanması veya elektronik aksamlar ile yaratılabilecek suni karıştırmaya maruz kaldığı durumlarda, insansız deniz araçlarının içinde bulunduğu ortamdan etkilenmeden otonom seyrine devam edebilmesini sağlamak üzere European Ship Simulator isimli simülasyon ortamından elden edilen görüntüler ve gerçek gemi görüntülerini kullanarak bir simülasyon çalışması sunmuştur. Araştırmacı çalışmasında ayrıca, uluslararası denizcilik kurallarında insansız araçlarla ilgili herhangi bir hüküm bulunmaması nedeniyle çalışmasında insansız deniz araçlarının mevcut hukuk kurallarına uygun olarak tasarlanmasını önermiştir (Beşer, (2018)).

Altuntaş çalışmasında, İnsansız Deniz Aracı Teknolojileri (İDAT), patent bilgilerini kullanılarak incelemiştir. Regresyon denklemlerinden hareketle teknolojilerin ait oldukları kodu ifade eden IPC kodları arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır. Bu analiz sonuçlarını, okuyucunun daha iyi anlamasını sağlamak amacıyla "Gephi" adlı sosyal ağ analiz yazılımı kullanılarak İDAT'nin teknoloji ağı ve IPC kodlarının stratejik teknoloji kod ağı oluşturmuştur. Araştırmacı çalışması sonucunda, İDAT'in son yıllarda gelişmekte olan bir teknoloji olduğu çalışması kapsamında savunmuştur (Altuntaş, (2017)).

Costanzi ve arkadaşları çalışmalarında; karmaşık denizcilik görevlerini hem yüzeyin üstünde hem de altında geleneksel olarak insanlı yüzey gemileri ve gelişmiş sensör sistemleriyle donatılmış denizaltılar tarafından gerçekleştirmektedir. USV'ler hızlı konuşlanmaları ve kolay ölçeklenebilmeleri sayesinde mevcut deniz yeteneklerini geliştirme potansiyellerini giderek daha fazla göstererek hem operasyonel sürede hem de maliyette azalma sağlar. Ek olarak, personeli riskten uzak ama karar verme döngüsünün içinde bırakarak personel üzerindeki riski azaltırlar. Uzun vadede, insansız sistemler, insan olan operatörler ve eski platformlar arasında net bir birlikte

çalışabilirlik çerçevesi, etkili ortak operasyon planlaması ve uygulaması için çok önemli olacaktır. Ancak, çok alanlı İnsansız Deniz Araçları faaliyetlerindeki mevcut çok satıcılı çoklu protokol çözümlerinin ortak görev kontrol arayüzleri ve iletişim protokol şemaları olmadan birlikte çalıştırılması zordur. Ayrıca su altı alanı, karasal ağlar için geliştirilen çözümlerle tatmin edilemeyecek önemli zorluklar sunmaktadır (Costanzi vd. (2020)).

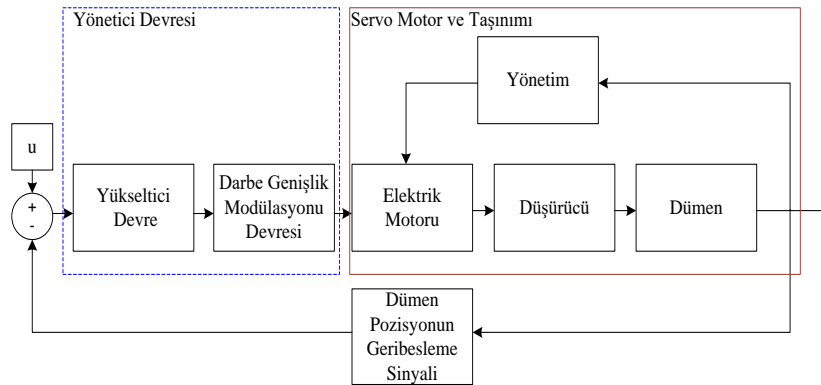
Hu ve arkadaşları çalışmalarında; insansız platformun ve yapay zekanın hızla gelişmesiyle birlikte, artan karmaşıklık ve uzun süreli dayanıklılığa sahip daha fazla deniz hizmeti için Otonom Deniz Araçlarının (AMV'ler) kullanımına olan ilgi artmaktadır. Çoklu AMV'lerin temel teknolojilerinden biri iş birliğine dayalı gezinme ve kontroldür, ancak ağ karmaşıklığı, iletişim gecikmesi ve algoritma geliştirme gibi problemlerden muzdarip olabilir. Zorluğu ele almak için, yüzey için ortak bir gezinme ve kontrol yöntemi. Deniz operasyonlarının performansını iyileştirmek için su altı AMV'leri önerilmektedir. İlk, AMV'lerin su yüzeyinde ve su altında sefer ve kontrol performanslarını iyileştirmek, yüzey-su altı iletişim ağını kurmak akustik iletişim ve konumlandırma sistemi kullanılmaktadır. Daha sonra, tek İnsansız deniz aracı (AUV)'nin sefer performansını iyileştirmek için, yeni bir iş birliğine dayalı seyirüsefer algoritması önerilmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi navigasyon ve kontrol yöntemimizin, mevcut bir INS kullanan (AUV) ile karşılaştırıldığında, AUV'nin konum ve yörünge izleme sonucu açısından daha doğru çözümler elde edebileceğini göstermektedir. Ayrıca navigasyon ve kontrol sistemi, USV'nin AUV'yi sabit bir bağıl mesafe ve yönelimle dinamik olarak takip etmesi için etkili olduğunu kanıtlıyor. Yüzey-su altı iletişim ağını kurmak için akustik iletişim ve konumlandırma sistemi kullanılır. Daha sonra, tek AUV'nin seyirüsefer performansını iyileştirmek için, yeni bir iş birliğine dayalı seyirüsefer algoritması önerilmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi navigasyon ve kontrol yöntemimizin, mevcut bir INS kullanan AUV ile karşılaştırıldığında, AUV'nin konum ve yörünge izleme sonucu açısından daha doğru çözümler elde edebileceğini göstermektedir. Ayrıca navigasyon ve kontrol sistemi, USV'nin AUV'yi sabit bir bağıl mesafe ve yönelimle dinamik olarak takip etmesi için etkili olduğunu kanıtlıyor. Yüzey-su altı iletişim ağını kurmak için akustik iletişim ve konumlandırma sistemi kullanılır. Daha sonra, tek AUV'nin sefer performansını iyileştirmek için, yeni bir iş birliğine dayalı sefer algoritması önerilmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi navigasyon ve kontrol yöntemimizin, mevcut bir INS kullanan AUV ile karşılaştırıldığında, AUV'nin konum ve yörünge izleme sonucu açısından daha doğru çözümler elde edebileceğini göstermektedir. Ayrıca navigasyon ve kontrol sistemi, USV'nin AUV'yi sabit bir bağıl mesafe ve yönelimle dinamik olarak takip etmesi için etkili olduğunu kanıtlıyor. Deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi navigasyon ve kontrol yöntemimizin, mevcut bir INS kullanan AUV ile karşılaştırıldığında, AUV'nin konum ve yörünge izleme sonucu açısından daha doğru çözümler elde edebileceğini göstermektedir. Ayrıca navigasyon ve kontrol sistemi, USV'nin AUV'yi sabit bir bağıl mesafe ve yönelimle dinamik olarak takip etmesi için etkili olduğunu kanıtlıyor. Deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi navigasyon ve kontrol yöntemimizin, mevcut bir INS kullanan AUV ile karşılaştırıldığında, AUV'nin konum ve yörünge izleme sonucu açısından daha doğru çözümler elde edebileceğini göstermektedir. Ayrıca navigasyon ve kontrol sistemi, USV'nin AUV'yi sabit bir bağıl mesafe ve yönelimle dinamik olarak takip etmesi için etkili olduğunu kanıtlamışlardır (Hu vd. (2018)).

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1 Su altı aracının servo motorunun modeli

#### 2.1.1 Su altı aracının servo motorun kontrol modeli

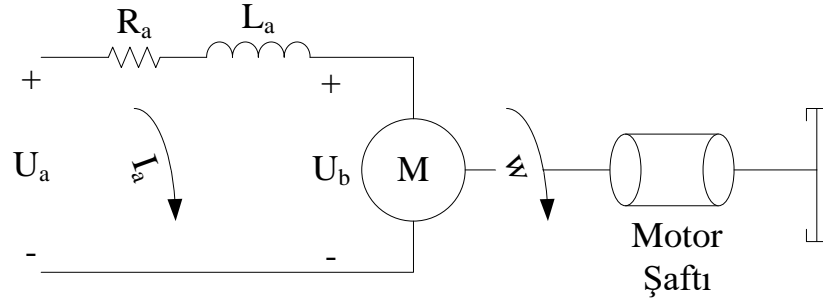
Su altı aracı servo motor kontrol devresi esas olarak fırçasız bir DC motor, redüktör ve bir geri besleme potansiyometresinden oluşmaktadır. Su altı araç kapalı devre servo motor ve aktüatör döngü yapı şeması Şekil 1'de gösterilmiştir (Qiang vd. (2016)).



Şekil 1. Servo ve dümen döngü yapısı diyagramı

### 2.1.2 Servo motorun elektriksel ve matematiksel modeli

Servo Motorun elektriksel devresi Şekil 2'de gösterilmiştir (Qiang vd. (2016)).



Şekil 2. Servo Motorun Elektriksel Devresi

Şekil 2'ye göre, motor hızı armatür gerilimi  $u_a$  tarafından kontrol edilir, devre denklemini yazmak için Kirchhoff teoremi Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$L_a \frac{di_a}{dx} + R_a i_a + u_b = u_a \quad (1)$$

Armatür döndüğünde, armatür kaynaklı gerilim Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$u_b = K_a \omega \quad (2)$$

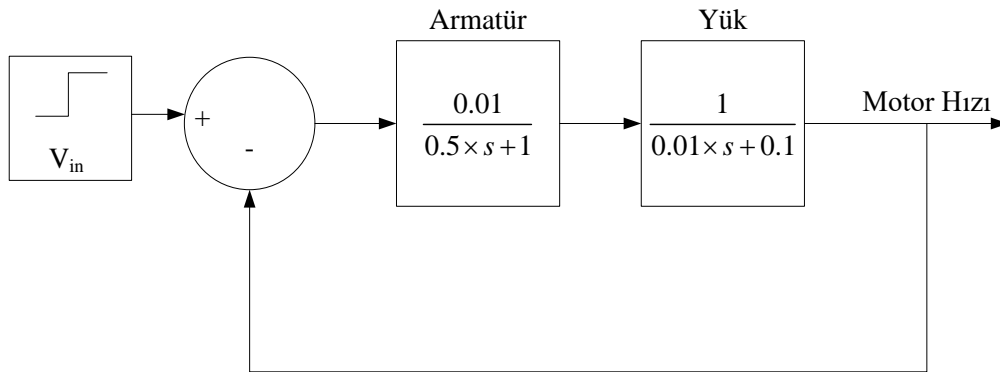
Momentum teoremine göre rotor tork denklemini Eşitlik (3)'te verilmiştir.

$$J \frac{d\omega}{dt} + f\omega + M_{ed} = K_e i_a \quad (3)$$

$U_a$ : Armatür gerilimi (direksiyon talimatı), birimi V,  $U_b$  Motor karşı elektromotor kuvveti, birimi V,  $R_a$ : Armatür sargı direnci, birimi  $\Omega$ ,  $L_a$ : Armatür sargısının endüktansı, birim H,  $\omega$ : Motor hızı, birim rad / s,  $f$ : Viskoz sürtünme katsayısı, birimi  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$ ,  $M$ : Yük torku, birimi  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,  $K_e$ — Motor tork sabiti, birimi  $\text{N} \cdot \text{m/A}$ ,  $K_a$ : Savaş elektromotor kuvveti sabiti, birimi  $\text{V} \cdot \text{s} / \text{rad}$ .

### 2.1.3 Servo motorun benzetim modeli

Gerçek motor viskoz sürtünmesinin küçük olduğu göz önüne alındığında, modelleme sırasında dikkate alınmayacaktır. Eşitlik 1'den 3'e ve motor çalışma prensibine göre Simulink modeli oluşturulmuştur. Servo motorun benzetim modeli Şekil 3'te gösterilmiştir (Qiang vd. (2016)).



Şekil 3. Servo Motorun Benzetim Modeli

## 2.2 PID denetleyici

PID denetleyici endüstri alanında sıkça kullanılan denetleyici yöntemidir. PID denetleyici çalışma prensibi sistemden alınan değerin referans değere karşılaştırılıp sistemin çıkışının referans değere yaklaştırılmasını sağlamaktır. PID denetleyicide oransal, integral ve türev bileşenlerinin katsayıları ayrı ayrı hesaplanarak toplama işlemi gerçekleştirilir. PID kontrolü, üç terimli denetleyiciye verilen bir isimdir. PID denetleyicide terimler adlarının ilk harflerini ifade eder. Bunlar Orantılı terim için P, integral terim için I ve denetleyicideki türev terim için D olarak tanımlanır. PID'nin en yaygın kullanıldığı yerler endüstriyel alanlardır. Hatta karmaşık endüstriyel kontrol sistemleri, ana kontrol yapı bloğu bir PID denetim modülü olan bir kontrol ağı içerebilir PID denetleyici uzun bir kullanım geçmişine sahiptir ve günümüze kadar gelmiştir. PID denetleyicinin matematiksel denklemi Eşitlik (4)'de verilmiştir ((Yazgan vd. (2019)), Kasım vd. (2021)).

$$U(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te verilen u(t) ve e(t) sırasıyla denetleyici ve hata sinyallerini verir.  $K_p$ ,  $T_i$  ve  $T_d$  denetleyicide tasarlanacak parametrelerdir.

## 2.3 Ziegler Nichlos teoremi

Bir denetleyicinin referans değere ulaşması için bir denetleyicinin parametrelerin ayarlanması gerekir. Bir denetleyicinin kazanç parametrelerinin uygun olmayan değeri kullanılırsa sistem yanıtı zayıf ve kararsız hale gelir. Bu nedenle, istenen yanıtı almak için denetleyiciyi uygun şekilde ayarlanmalıdır. Sistemim girdi ve çıktı model parametreleri ( $K$ ,  $L$ ,  $T$ ) aynı olmasına rağmen, PID parametrelerinin elde edilmesi yaklaşımları farklılık göstermektedir. Ziegler Nichols geleneksel yöntemlerden biri birincil zaman gecikmeli sistem olarak tanımlanır. Ziegler Nichols teoremi sağlama süresinin ( $L$ ) ve zaman sabiti ( $T$ )'den iki parametrelerinden oluşur. Ziegler Nichols Yöntemin formülasyonu Eşitlik (5)'te verilmiştir ((Yazgan vd. (2019)), Kasım vd. (2021)).

$$G_p = \frac{K e^{-sL}}{Ts+1} \quad (5)$$

## 2.4 Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), belirli bir kalite ölçüsüne göre çözümü yinelemeli olarak iyileştirmeye çalışarak bir sorunu optimize eden bir hesaplama yöntemidir. Bir problemi, burada parçacıklar olarak adlandırılan bir aday çözümler popülasyonuna sahip olarak ve bu parçacıkları arama uzayında basit matematiksel formüle göre parçacığın konumu ve hızı üzerinde hareket ettirerek çözer. Her parçacığın hareketi, yerel olarak en iyi bilinen konumundan etkilenir, ancak aynı zamanda, diğer parçacıklar tarafından daha iyi konumlar bulunduğunda güncellenen arama uzayındaki en iyi bilinen konumlara doğru yönlendirilir. Bunun sürüyü en iyi çözümlere doğru hareket ettirmesi beklenir ((Yazgan vd. (2019)), Solihin vd. (2011)).

PSO'da, genetik operatörler kullanmak yerine, parçacık olarak adlandırılan bireyler, nesiller boyunca kendi aralarındaki iş birliği ve rekabet yoluyla "evrimleşir". Parçacık, bir problemin potansiyel bir çözümünü temsil eder. Her parçacık uçuşunu kendi uçuş deneyimine ve sürüye eşlik eden diğer bireylerin uçuş deneyimine göre ayarlar. Her parçacık D boyutlu uzayda bir nokta olarak ele alınır.  $i$  parçacığı  $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$  olarak temsil edilir. Herhangi bir parçacığın önceki en iyi konumu (minimum uygunluk değerini veren) kaydedilir ve  $PID=(pid_1, pid_2, \dots, pid_D)$  olarak gösterilir, buna  $P_{best}$  denir. Popülasyondaki tüm parçacıklar arasında en iyi parçacığın indeksi,  $G_{best}$  olarak adlandırılan  $g$  sembolü ile temsil edilir.  $i$  parçacığının hızı  $VI=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$  olarak temsil edilir. Parçacıklar aşağıdaki Eşitlik (6) ve Eşitlik (7)'ye göre güncellenir ((Yazgan vd. (2019)), Solihin vd. (2011)).

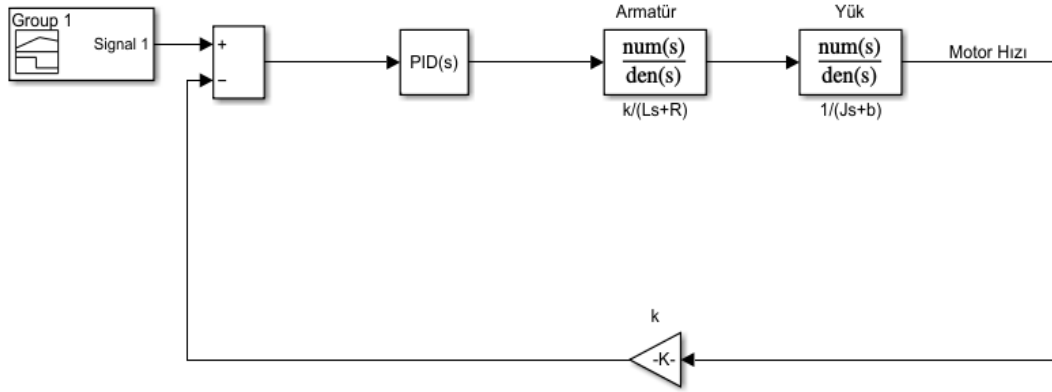
$$v_{id}^{n+1} = w \cdot v_{id}^n + c_1 \cdot rand \cdot (p_{id}^n - x_{id}^n) + c_2 \cdot rand \cdot (p_{gd}^n - x_{id}^n) \quad (6)$$

$$x_{id}^{n+1} = x_{id}^n + v_{id}^{n+1} \quad (7)$$

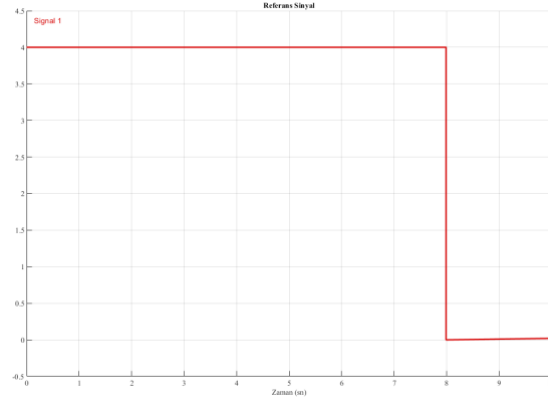
Eşitlik (6)'da verilen  $c_1$  ve  $c_2$  pozitif sabitler  $rand$  ise rastgele 0 ile 1 arasında bir sayıdır.

## 3. Benzetim Sonuçları

Benzetim çalışması yapılırken ilk olarak servo motorun ve uygulanan yükün transfer fonksiyonları elde edilmiştir. Sistemin çıkışından motorun hızı alınarak referans değere karşılaştırılıp hata sinyali elde edilmiştir. Elde edilen hata sinyali PID denetleyiciye iletilmiştir. Sistemin MATLAB/Simulink ortamındaki benzetim şeması ve referans değere Şekil 4'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4 a) Servo Motor Kontrol MATLAB/Simulink Devre Şeması b) Referans Sinyal

PID denetleyicinin Ziegler Nichols teoremine hesaplanan katsayıları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1:** PID Denetleyici Parametreleri (Ziegler Nichols)

Kontrolcü Tipi	$K_p$	$K_i$	$K_d$
PID	10	0.00025	7

PSO (Parçacık sürü optimizasyonu) PID katsayı optimizasyonu için tasarım kriterleri Tablo 2’te verilmiştir.

**Tablo 2:** PSO parametreleri ve değerleri

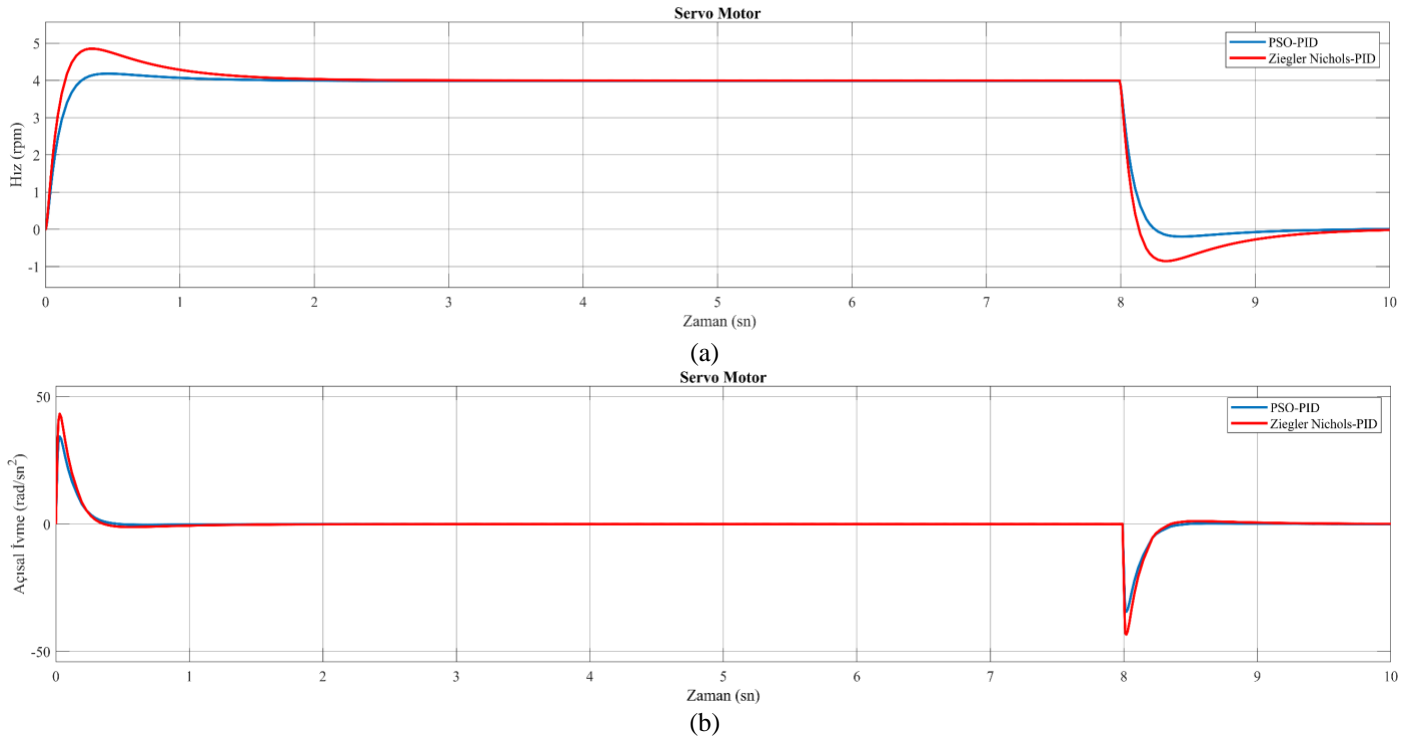
PSO parametreleri	Değerleri
Sürü Sayısı	15
İterasyon Sayısı	200
Maksimum Ağırlık	0.3
Minimum Ağırlık	0.2
c1	1.2
c2	2

PID denetleyicinin PSO algoritmasına göre optimize edilen katsayıları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3:** PID Denetleyici Parametreleri (PSO)

Kontrolcü Tipi	$K_p$	$K_i$	$K_d$
PID	5.2189	$-6.6 \cdot 10^{-7}$	2.8783

Servo motor ve ona uygulanan yük matematiksel olarak tasarlanmıştır. USV modelinde referans değer ile servo motorun çıkışından alınan hız değeri karşılaştırılmıştır. Servo motorun hız değerinin referans değere yaklaştığı gözlemlenmiştir. Açısal ivme hızın türevi alınarak hesaplanır hızın sabit olduğu yerlerde açısal ivme sıfırken hızın değişkenlik gösterdiği yerlerde açısal ivme değer almaktadır. Servo motorun hız, açısal ivme değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5 a) Servo Motor Hız b) Servo Motor Açısal İvme

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada servo motorun hız kontrolünde sıklıkla kullanılan geleneksel PID denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. PID denetleyicide katsayıların ayarlanması sistemin çıkışından alınan değer referans değere yaklaşmasında önemli bir yere sahiptir. PID denetleyici katsayıları Ziegler Nichols teoremiyle hesaplanmış ardından PSO ile optimize edilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda PSO ile optimize edilen PID katsayıları Ziegler Nichols teoremiyle hesaplanana göre referans değere daha kısa sürede ulaştığı, referans gerilime ulaştığında salınım miktarının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumlar göz önüne alındığı PSO ile optimize edilen PID katsayılarının daha kararlı, referans değere daha hızlı ulaştığı ve düşük maliyetli olduğu benzetim çalışmasından elde edilmiştir.

#### Kaynaklar

Alkan, B., (2012). İnsansız deniz araçları için itiş denetleyicisi tasarımı. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Altuntaş, F. (2017). Patent analizi ile teknoloji ağlarının oluşturulması: İnsansız deniz aracı teknolojileri üzerine bir uygulama. Bayburt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Bayburt.

Beşer, F. (2018). Çoklu otonom insansız deniz araçları için rota planlanması ve engelden kaçınma. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.



- Campbell, S., Naeem, W., & Irwin, G.W. (2012). A review on improving the autonomy of unmanned surface vehicles through intelligent collision avoidance manoeuvres. *Annual Reviews in Control*, 36(2), 267-283.
- Costanzi, R., Fenucci, D., Manzari, V., Micheli, M., Morlando, L., Terracciano, D., Tesi, A. (2020) Interoperability Between Unmanned Watercraft: Survey and First Field Experiments. *Frontiers in Robotics and Artificial Intelligence*. Frontiers Media SA.
- De-min Xu, Torpedo automatic control system. [M] Xi'an: Northwestern University Press Inc. 2001. [In Chinese]
- Gang Liu, Zhi-qiang Wang, Jian-cheng Fang, Permanent magnet brushes DC motor control and application [M] Beijing: Mechanical Industry Inc. 2008. [In Chinese]
- Grenestedt, J., Keller, J., Larson, S., Patterson, J., Spletzer, J., Trephan, T., (2015). LORCA: a high performance usv with applications to surveillance and monitoring. 2015 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), West Lafayette, IN, USA.
- Hu, C. Fu, L., & Yang, Y. (2018). Common navigation and control for underwater autonomous vessels. In the 2017 IEEE 2 Conference on Information Technology, Networking, Electronics and Automation Control, ITNEC 2017 Proceedings (Vol.2018-January, pp.589-592). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Ji-jun Jiang, Torpedo Simulation Technology [M]. Beijing: National Defense Industry Inc. 2013. [In Chinese]
- Jun Zhou, Variable structure control theory in the electric steering system design [J] Northwestern Polytechnical University, 1990, 8 (3): 273-280.
- Kasim, Ö. (2021). Speed Control of DC Motor under Reverse Torque Disturbance with Ant Colony Optimized PID Controller. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 5(1), 8-19.
- Liu, J., Luo, J., Cui, J. & Peng, Y., (2016). Trajectory tracking control of underactuated usv with model perturbation and external interference. *MATEC Web of Conferences* 77, 09009 (2016), Shanghai, China.
- Long-yan Lin, Qin-nan Zhang, Jian Gao, Variable speed torpedo Adaptive Sliding Mode controlled [C]. Torpedo guidance technology Symposium 2012, 2012, 4-7. [In Chinese]
- Li, Qiang., Zhang, Q. N., Wang, L. W., & Wang, L. (2016), Sliding Mode Control Technology Research About Underwater Vehicle Servo, 6 International Conference on Control and Automation, ISBN: 978-1-60595-329-8.
- Mu, D., Wang, G., Fan, Y., & Zhao, Y. (2017). Modeling and identification of podded propulsion unmanned surface vehicle and its course control research. *Mathematical Problems in Engineering*, School of Information Science and Technology, University of Dalian Maritime, Dalian, Hindawi Published, Liaoning China.
- Solihin, M. I., Tack, L. F., & Kean, M. L. (2011, January). Tuning of PID controller using particle swarm optimization (PSO). In *Proceeding of the international conference on advanced science, engineering and information technology* (Vol. 1, pp. 458-461).
- Xu, B., Xiao, Y. P., Gao, W., Zhang, Y.G., Liu, Y.L., & Liu, Y. (2014). Dual-model reverse cKF algorithm in cooperative navigation for usv. *Mathematical Problems in Engineering*, Harbin Engineering University, Nantong Road, Harbin, China.
- Yazgan, H., Yener, F., Soysal, S., & Ahmet, G. Ü. R. (2019). Comparison Performances of PSO and GA to Tuning PID Controller for the DC Motor. *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 162-174.
- Zhao, J., Yan, W., Gao, J., & Shi, S., (2010). Design and implement of the control system for unmanned surface vehicle based on the vxworks. 2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 2010), Wuhan China.