

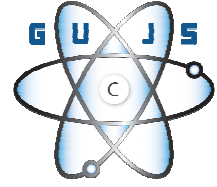
PAPER DETAILS

TITLE: Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Sualtı Aracı Tasarımı

AUTHORS: Mehmet YAKUT,Serhat YILMAZ,Sibel INCE,Murat OTÇU,Engin AYGÜN

PAGES: 343-355

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/83815>



Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Sualtı Aracı Tasarımı

Mehmet YAKUT¹, Serhat YILMAZ^{1,*}, Sibel İNCE², Murat OTÇU¹, Engin AYGÜN³

¹*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü, Umuttepe Kampüsü, Kocaeli*

²*Smartiks Bilgi Teknolojisi Hizmetleri, Gebze Organize Sanayi Bölgesi, No:609, Teknopark, Gebze, Kocaeli*

³*Sualtı Stüdyo, Uskumruköy Arıköy Sitesi, Sarıyer-İstanbul*

Başvuru:15/04/2014 Kabul:09/01/2015

ÖZET

İnsansız su altı araçları, günümüzde sualtı hareketlerinin izlenmesi, okyanus dibi sıcaklık haritalarının çıkarılması, gemi altı hasarlarının görüntülenmesine yönelik ekspertiz işlemleri, tehlikeli derinliklerde görüntü alma, batıkların incelenmesi, sahil güvenliğini sağlama, askeri bir takım görevleri yerine getirme, akarsuların denizlere döküldüğü alıcı su ortamlarının düzenli kirlilik analizi ve kirlilik haritalarının çıkarılması gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Çalışmanın amacı, sualtı aracı teknolojisindeki gelişmelere denetim yöntemleri açısından katkı sağlayacak bir platform geliştirmektir. Uzaktan kumandalı veya otonom olarak çalışan sualtı araçları belirli bir açığa yönelme, belirli bir derinliğe inme, yanaşma ve seyir gibi temel dinamik hareketleri yapabilmelidir. Bu hareketlerin, sualtı akıntıları gibi bozucu etkiler karşısında da başarılı olması beklenmektedir.

Bu amaçla testlerin yapılacağı bir sualtı aracı hazırlanmıştır. Aracın içinde çalıştırılacağı bozucu etki üreten bir deney tankı kurulmuştur. Araç derinlik bilgisini basınç sensöründen, yön bilgisini elektronik pusuladan almaktadır. Hareketler 4 motorla sağlanmaktadır. Aracın temel dalış ve hareketleri yapabilmesi için kablo bağlantısıyla uzaktan yönlendirilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan kontrol arayüzünde istenen hareketleri sağlayabilmek için gerekli algoritmalar çıkarılmıştır. Çalışmada platformun tasarım aşamaları verilmiştir. Platform, öğrencilere taşınabilir bir deney seti imkanı sağlayacaktır. Burada kontrol yöntemi geliştirme, yazılım, kart tasarımı, mikrodenetleyici, işaret işleme, haberleşme, sensörler, gibi konuları etkileşimli olarak uygulayabilme imkanı bulacaklardır.

Anahtar Kelimeler: Derinlik kontrolü, yön kontrolü, ROV, Sualtı Sistemleri

ABSTRACT

Recently, unmanned underwater vehicles (uuv's) are operated in a wide range areas such as observations of underwater movements, determination of salty water layers, demining, maintenance and expertise operations of ship bilges, imaging in dangerous depths, investigation of sinks, execution of some military tasks, regular inspection and mapping of environmental pollution in receiving water bodies such as lake, freshwater resources.

This study will contribute to developments of underwater vehicle technology in terms of control methods. Remotely or autonomously operated underwater vehicles (ROV,AUV) should handle basic dynamical behaviors such as

*İletişim yazarı, e-posta: serhatyilmaz@ieee.org

standing to a certain angle, diving to a certain depth, docking and cruising. These behaviors are expected to be successful under distortional effects such as underwater flows.

For this purpose an experimental underwater vehicle on which desired tests are performed is designed and realized. An experimental tank with distortion effects, on which the vehicle runs is set. Depth is sensed by pressure sensor where steering is determined by an electronic compass. Movements are actuated by 4 thrusters. The vehicle is remotely operated through a cable. The algorithms for the desired movements are established in the Control Programme Interface. Designing stages of the platform is given in the study. The platform will enable students to a portable training set wherein the control method development, software, card design, microcontroller, signal processing, communications, sensors will have applied interactively.

Keywords: Depth Control, Steering Control, ROV, Underwater Systems

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, derinlik ve yön denetimi yapabilen bir su altı aracı deney platformunun tasarımı ve gerçekleştirilmesi aşamaları verilmiştir. Platformun taşınabilir olması, havuz çalışmaları öncesi tekrar gerektiren sualtı aracı testlerini daha kolay tamamlama imkânı verecektir. Platform, derslerde görülen pek çok konu üzerine öğrencilerin uygulama geliştirmeyi sağlayacak bir deney seti görevi üstlenecektir. Su altı araçlarında denetimi sağlayabilmek için, aracın dinamik davranışları bir yazılım tarafından belirlenmelidir. Temel olarak, su altı araçlarında denetlenen başlıca değişkenler, aracın derinliği, 3 ekseninde yönü ve hızıdır.

Konuyla ilgili olarak Tomotoka ve diğ. [1] mikroişlemci tabanlı bir sualtı robotunda derinlik kontrol sistemi geliştirmiştir. Çalışmada basınç sensöründen alınan derinlik bilgisi, mikrodenetleyiciye girilen istenen derinlik bilgisi ile karşılaştırılarak, aradaki hatayı düzeltecek şekilde motorları sürerek istenen derinliğe ulaşılmaktadır.

DeBitetto [2] benzer bir çalışmada geleneksel denetim yöntemleri yerine bulanık denetleyicileri kullanmıştır. Burada Tomoka'nın çalışmasından farklı olarak, istenen derinlik ile gerçek derinlik arasındaki hata bilgisi ve onun türevi kullanılarak derinlik denetimi yapılmıştır. Derinlik hatası ve hatadaki artışa bağlı olarak aracın kalkış açısının büyüklüğü belirlenmiştir. Değişken büyüklükleri matematiksel bir model yerine sözle ifadelerle betimlenmiştir. Kim ve diğerleri [3], derinlik ve yön kontrolü için bir otonom sualtı aracının matematiksel modelini çıkarmışlardır. Kim ve Shin [4] Kayan kipli gözlemci ve Kalman Filtresi kullanarak, aracın 6 serbestlik derecesinde hidrodinamik katsayılarını belirlemişlerdir. Buradan aracın blok şema modelini çıkararak, çeşitli derinlik ve yön referans değerleri için, aracın davranışının benzetimini yapmışlardır. Sualtı araçları, alıcı su ortamlarında düzenli olarak kirlilik analizi, denizlerde petrol kirliliğinin modellenmesi [5] sualtı yaşamının gözlenmesi sualtı keşifleri, çekimleri ve haritalandırılması, arama kurtarma çalışmaları gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır.

Bu tür çalışmalarda su altı aracı olarak uygulamaya bağlı çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bu su altı araçlarının bir kısmı su yüzeyindeki sistemlere kablo ile bağlı olup (remotely operated vehicle-ROV) diğer grup kendi başına otonom hareket edebilme yeteneğine

sahiptir (autonomous underwater vehicle-AUV). İkinci gruptaki su altı araçları genelde yüzeydeki sistemle akustik modemler vasıtasıyla haberleşmektedir. Su altı araçlarının otonom hareketini sağlayabilmek için hem geleneksel [6] hem de yeni [7,8] kontrol tekniklerinden faydalanılmaktadır. Ülkemizde de insansız sualtı aracı tasarımı çalışmaları gündemdedir. Kritik sualtı aracı geliştirme teknolojisinin ülkemize kazandırılması ve dışarıya aktarılan kaynağın ülkemizde kalması için çok amaçlı insansız sualtı aracı tasarımı yönelik projelere ağırlık verilmeye başlanmıştır. ODTÜ tarafından geliştirilen Çok Amaçlı Ulusal İnsansız Sualtı Aracı (ULISAR) projesinde prensip olarak, biri yüzeyde gemiyle RF haberleşen, diğeri sualtında fiberoptik kabloyla yüzeydeki ile iletişim kuran iki araç tasarlanmıştır. Araç görüntülü navigasyon yapabilmektedir ve 100 m'ye kadar dalması hedeflenmiştir. Üzerinde kameralar, sonar, ışıldaklar, sonar modem, akustik algılayıcılar ve benzeri cihazlar bulunmaktadır. Elektronik kartların ve yazılımın tümü 2006-2009 yılları arasında proje çalışanları tarafından özgün olarak tasarlanmıştır [9]. Milli PAP (ROV) projesi kapsamında GATE Elektronik / TR Teknoloji Ltd.Şti. tarafından 2007 yılında geliştirilen askeri sınıf ROV'da ise bir çok algılayıcı ve bir robot kolu bulunmaktadır. Projede robot kolu, silah sistemi, kablo sarma ünitesi geliştirmeleri ve bunların sisteme entegrasyonu üzerinde çalışmalar yapılmıştır [10]. 2010 yılında GATE Elektronik / TR Teknoloji Ltd.Şti / Kocaeli Üniversitesi ve İTÜ'nün yer aldığı ekipte, Milli AUV projesi kapsamında AUV navigasyon ve denetim algoritmaları, işaret işleme ve modüller arasında iletişim işlemleri, yönelim testleri geliştirilmiştir. [10]. ASELSAN'ın , sualtı keşif ve gözetleme, liman ve kritik alan güvenliği, mayın tanı teşhis ve imha, arama ve kurtarmaya yönelik insansız sualtı aracı tasarım çalışmaları bulunmaktadır. Tasarlanan araç genel olarak uzaktan kullanım, gelişmiş otonom seyrüsefer, görüntüleme sonarı ve kamera kullanılarak keşif ve gözetleme, otomatik şüpheli cisim tanıma ve uyarı, veri ve görüntü aktarımı için yüzer ara birim, insansız sistemler için birleşik mimari uyumluluğu özelliklerini taşımaktadır [11]. İTÜ'nün geliştirdiği bir çok görevi otonom olarak yerine getirebilen İTÜ-AUVTECH sualtı aracı 2013 yılında San Diego'da düzenlenen otonom sualtı aracı yarışmalarında yarı finalist olmuştur [12].

Bu çalışmada ROV olarak kullanılmak üzere yerli imkânlarla bir aracın mekanik, elektronik ve yazılım kısımları tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Dalış, istenen derinlik seviyesinin kontrolü, istenen konum açısının

korunması gibi temel hareketleri yapabilen, bozucu etkiler altında istenen komutları belirli başarımla ölçütleri içinde sağlayabilen kontrol yöntemlerinin sınanıp geliştirildiği, tasarımı iyileştirecek modelleme ve benzetim çalışmaları için gerekli gerçek sistem parametrelerinin ölçülebildiği bir test düzeneği yapılmıştır.

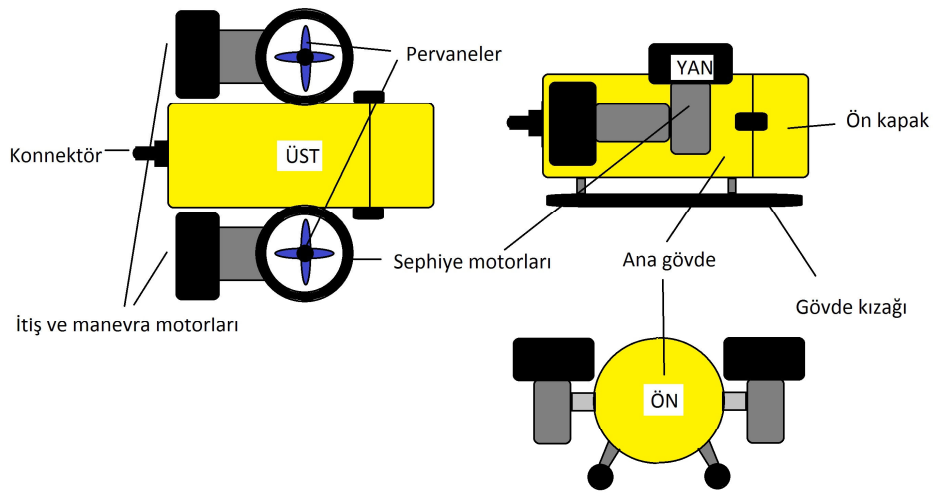
2. DERİNLİK VE YÖN KONTROL UYGULAMALARI İÇİN TASARLANAN DENEY DÜZENEGİ

Deney düzeneği; mekanik, elektronik ve yazılım kısımları Kocaeli Üniversitesi tarafından hazırlanan bir sualtı aracı ve bu aracın bozucu etkiler karşısında

derinlik ve yön kontrol uygulamalarının yapılacağı bir su tankı platformundan oluşmaktadır.

2.1. Mekanik Tasarım Aşamaları

Araç Gövdesi: Araç gövdesi elektronik aksamı koruyacak bir ana gövde, bataryayı taşıyan bir gövde kazağı ve motorlardan oluşmalıdır. Literatür çalışmaları incelenerek, araçta bulunması gereken temel ekipmanlar belirlenmiş [13-15] ve istenen aracın genel görünümü taslak olarak çıkarılmıştır (Şekil 1). Aracın sephiye kontrolü ve yalpa hareketi kontrolü için dikey iki motoru, aracın ileri ve geri yönde hareketi (itış) ve sağa sola dönüşünü (manevra) kontrol edebilmek için ise yatay iki motoru bulunmalıdır.



Şekil 1. Sualtı aracının çeşitli yönlerden görünüşüne ait ilk tasarım çizimleri

Gövde aksamında malzeme olarak kolay işlendiği için PVC malzeme kullanılmıştır. Gövdeyi oluşturan parçalar tek tek basınç dayanım testinden ve sızdırmazlık testinden geçirilmiştir. Araç içine kamera

ve gövdeye aydınlatma amaçlı iki lambası monte edilmiştir ve ön cam şeffaf ve dışbükey olarak tasarlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Gövde kazağı (1), motorlar ve aydınlatmalar (2), ana gövde ve basınç sensörü (3)

Araç ekipmanları 200 m derinliğe karşılık gelen 20 Bar basınç altında test edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Basınç testleri

Araç dışına yerleştirilmesi gereken basınç sensörü ve motorlar ve diğer ekipmanlar gövdeye monte edilmiş ve sızdırmazlıkları tekrar test edilmiştir. Gövde kısmına kontrol kartı ve ön kısma kamera yerleştirilebilecek

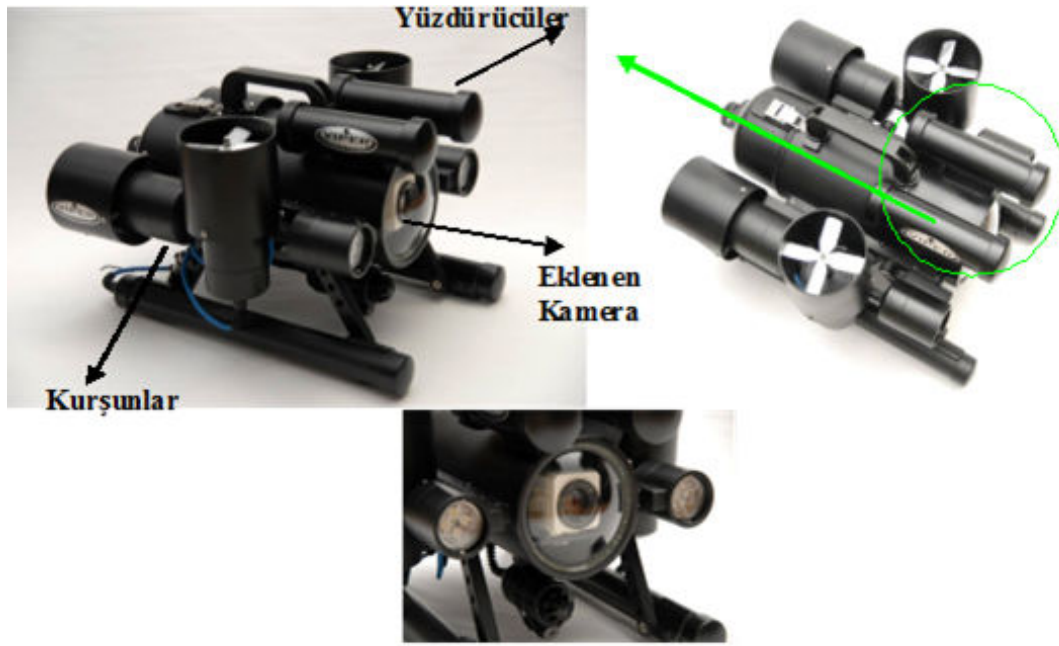
şekilde bir açma kapama kapağı ve kontrol kartını bilgisayara bağlayacak bir konektör hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sualtı aracının ilk tasarımı [12]

Kontrol kartı, kamera ve diğer elektronik ekipmanlar tamamlanıp araç içine yerleştirildikten sonra yeni ağırlık durumu göz önüne alınarak dengenin ayarlanabilmesi için aracın ihtiyaç duyulan kısmına (ön

veya arka) yüzdürücüler monte edilmelidir. Değişen batmazlık oranını düzeltmek için ayaklara kurşun plakalar eklenir (Şekil 5)



Şekil 5. Gövde tasarımıdaki değişiklikler (ön yüzdürücülerin eklenmesi, kurşun plakalarla denge ayarının yapılması)

Sualtı aracı tasarımlarında genel olarak, motorların araç gövdesine bağlantı noktalarının uygun olmaması sonucu, aracın çalışması esnasında dinamik denge problemleriyle karşılaşılabilir [16]. Benzer şekilde konektör, kablo geçişlerinde ve gövde kapağında kullanılan sızdırmazlık elemanlarının uygun olmamasından kaynaklanan sızıntı problemleri yaşanabilmektedir. Bu uygulamada da konektör bağlantısında su sızıntısı ve dikey motorlar çalıştırıldığında araçta dinamik denge problemi yaşanmıştır. Yatay motorlar geriye çekilip, dikey

motorlar ağırlık merkezine kaydırılarak ve arkaya yüzdürücü eklenerek denge problemi giderilmiştir. Sızıntı problemi O-ring değişikliği ve arka kapakta değişiklik yapılarak ortadan kaldırılmıştır [17].

Ortaya çıkan problemler çözüldükten sonra da denemeler esnasında kablo sıkışması, kapağın yerine oturmaması, konektörün gevşek kalması vs. nedenlerle ortaya çıkabilecek sızıntılara dikkat edilmelidir. Bu çalışmada, tasarlanan sualtı aracına ait genel bilgiler Tablo.1’de verilmiştir;

Tablo 1. Araç Özellikleri

Uzunluk	Genişlik	Çapraz (köşeden köşeye)	Yükseklik	Ağırlık	Her Bir Motorun Gücü (4 adet)	Piller (10 adet seri) (her bir pil 1.2V, 3700 mAh, Nikel Metal Hidrit)	Aydınlatma ledleri (2 adet)
46 cm	42,5 cm	47 cm	30 cm	13 kg	12V-3A yaklaşık 30W	12V-3700mA (Aracın her bir ayağında 5’er pil)	Her biri 15W

Sualtı Aracı Test Platformu: Pleksiglas silindir ve PVC taban, su sızdırmayacak şekilde yatak açılarak birbirine yapıştırılarak sualtı aracı test platformu oluşturulmuştur (Şekil 6). Deneylerde, kontrol algoritmalarını

başarımlarının test edilmesi amacıyla aracın hareketi üzerinde bozucu etki üretmesi için dalgıç pompa kullanılmıştır



Şekil 6. Sualtı Aracı Test Platformu

Su tankına ait açıklamalar Tablo 2’de verilmiştir.

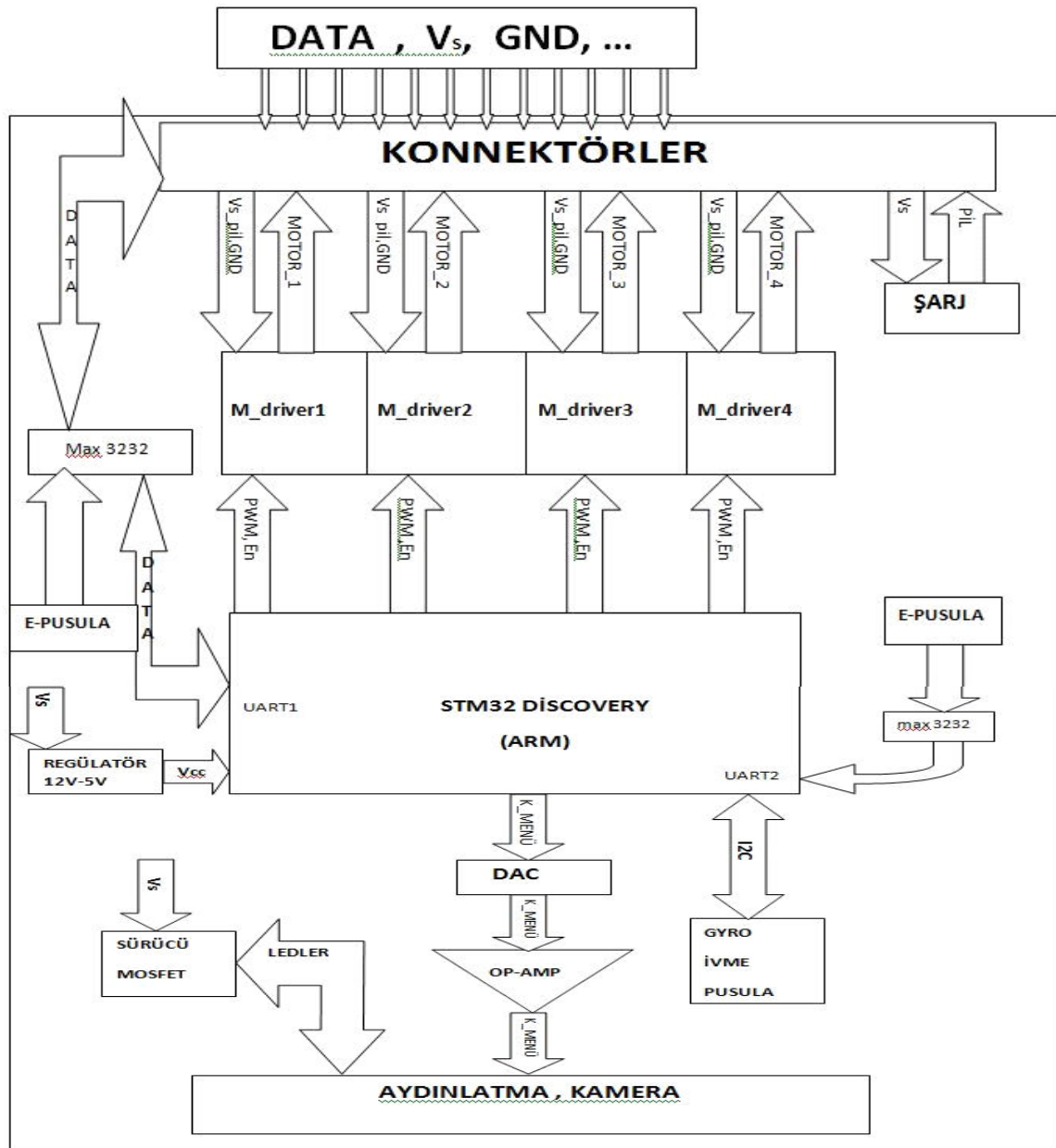
Tablo 2. Su Tankına ait özellikler

Silindir Tank			Taban Kısmı	Tank içinde bozucu etki üreten ve suyu tahliye eden motor
Uzunluk	Çap	Malzeme		
2m	80cm	Pleksiglas	PVC	1100 W (250V) Dalgıç Pompa

2.2. Su altı aracı Elektronik devreleri tasarımı

Kontrol Kartı: Aracın kontrol kartı dört adet motor sürücü devresi, ARM Cortex M4 tabanlı 168 MHz’lik bir mikrodenetleyici, 2 seri port, basınç sensörü, 3 eksenli elektronik pusula, kamera girişleri, aydınlatma

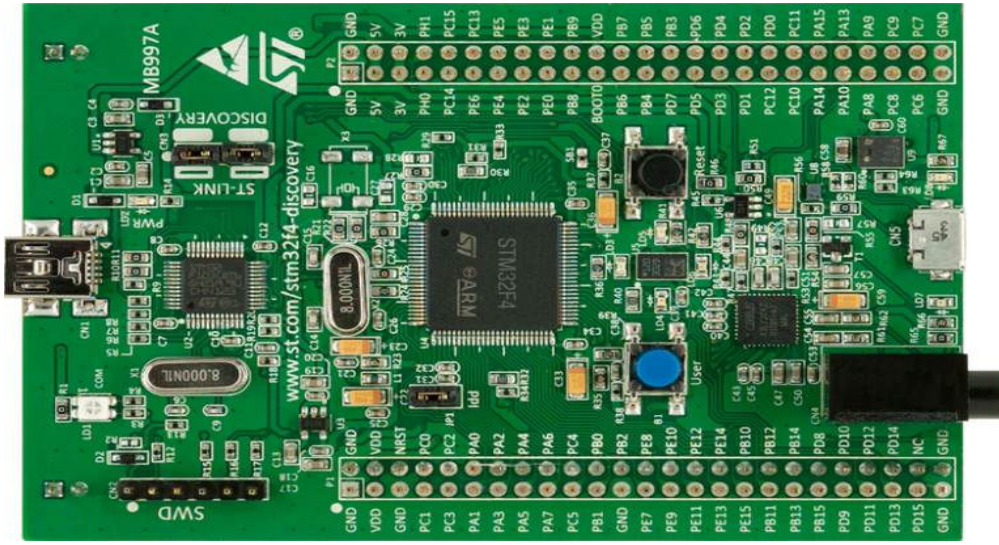
güç çıkışları bulunacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 7). Kontrol kartının amacı bilgisayarla iletişim halinde olan sualtı aracımızın kamera görüntülerinden, basınç ve 3 eksenli elektronik pusula sensörlerindeki verilerden faydalanarak, bilgisayardan komut verip aracı yönlendirmektir.



Şekil 7. Kontrol kartı blok şeması

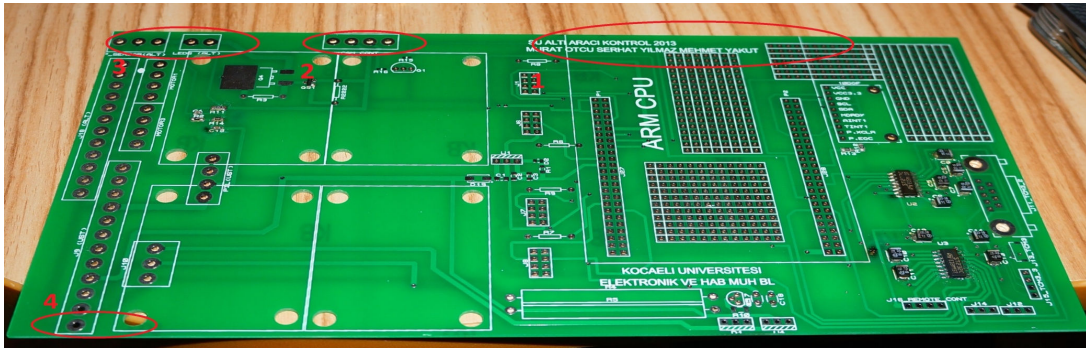
Kontrol kartının yazılımı C dili kullanılarak yapılmıştır. Elektronik pusula ve kamera bilgileri işlemciye fazla yük oluşturmamak için doğrudan bilgisayarda

işlenmektedir. Bilgisayardan kontrol kartına motor hızını belirleyen PWM ve motorların çalışma yönünü belirleyen yön komutları gönderilmektedir.



Şekil 8. STM32 Discovery kit [18]

Aracın ana gövdesinin silindirik yapısından dolayı, kenar bölgelerde yüksekliğin azalması nedeniyle araç gövdesine sığmayan dikdörtgen biçimli elektronik ekipmanların PCB üzerinde yerleştirilmesinde düzenlemeler yapılmıştır.



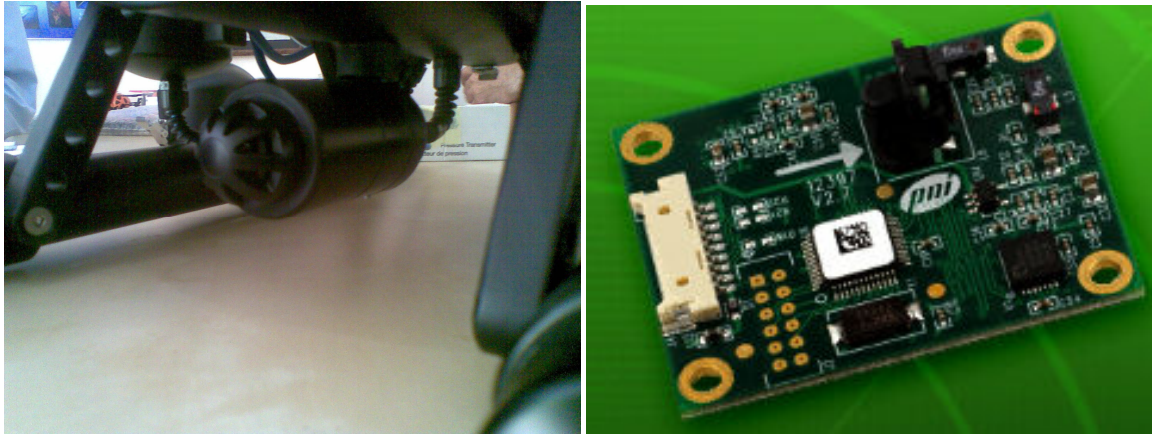
Şekil 9. Kontrol kartı hataları ve çözümleri

Motor sürücü pinlerinin sürücünün üzerinde yazılan notasyonda olmamasından dolayı veri kablosunun hatlarında değişiklik yapılarak sürücüler tasarlanan kart ile uyumlu hale getirilmiştir.

Basınç sensörü ve elektronik pusula: Derinlik bilgisi için basınç sensöründen okunan veriler kontrol kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmaktadır [17,19] (Şekil 10.a).

Elektronik pusulalar insansız sualtı araçları (UUV), insansız hava araçları (UAV) ve insansız yer araçlarının (UGV) otonom kontrolleri, konum, yükseklik ve

durumlarının belirlenmesi için kullanılan elektronik devrelerdir. Bu çalışmada aracın kontrolü ve sualtındaki durumunun belirlenmesi için TCM3 elektronik pusula modülü kullanılmıştır (Şekil 10.b). TCM3 elektronik pusula modülü üç eksenli ölçüm yapmaktadır (heading-doğrultu, pitch-yunuslama, roll-yalpalama) [17,20]. Bu ölçüm değerleri, hazırlanan kontrol arayüzünde kullanılarak aracın sualtındaki durumu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca aracın sualtında dengeli durabilmesi ve istenen doğrultuda ilerleyebilmesi için elde edilen ölçüm değerleri kontrol arayüzünde işlenip motorlara gerekli olan PWM değerleri göndermektedir.



Şekil 10.a) Basınç Sensörü, b) Elektronik Pusula

2.3. Sualtı Aracı için Yazılım Geliştirme

Kontrol Kartı Programı: Kontrol kartının PWM değerini ve motor yön bilgilerini bilgisayardan denetlemek ve sensör değerlerini okuyabilmek için ADC okuma, derinlik bilgisine dönüştürme ve haberleşme yazılım bileşenleri hazırlanmıştır. Yazılım bileşenleri tasarlanırken bilgisayardan 5 karakterlik komut bilgisi gönderilmesi kararlaştırılmıştır. 1 ile 4

rakamları arasında seçilen ilk karakter çalıştırılacak motoru belirlemektedir. İkinci karakter motor yön bilgisini temsil edecek ve “r” yada “l” harflerinden seçilmektedir. Sonraki üç karakter motor PWM değerini belirleyecek ve “000” ile “999” rakamları arasından seçilmektedir. 000 için motorlar durmaktadır. Benzer şekilde 999 için motorlara tam güç verilmektedir. Örnek motor sürme komutu formatı Tablo 3’te verilmiştir.

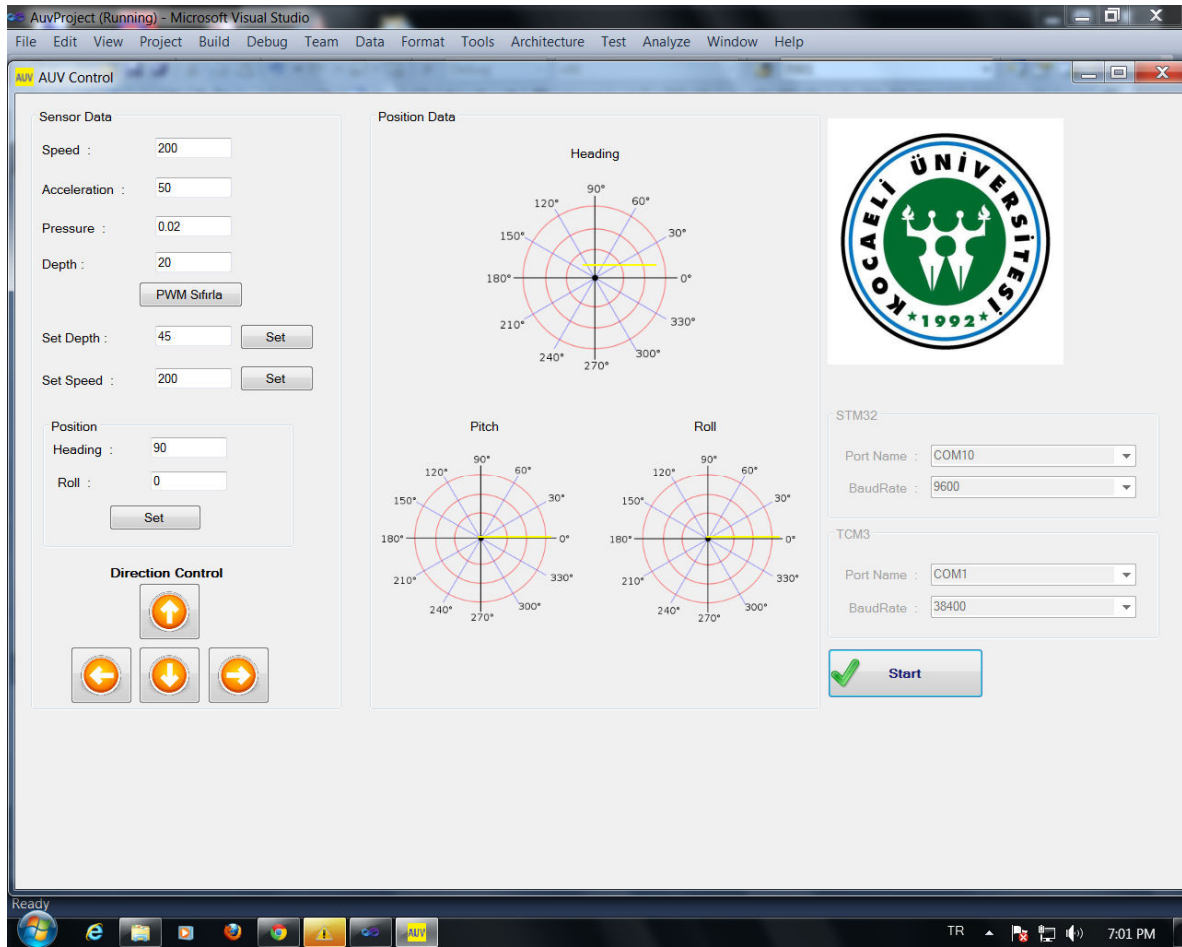
Tablo 3. Örnek motor sürme komutu (1 nolu motor saat yönünde %50 hızla dönecek)

Motor No	Dönüş Yönü	Dönüş Hızı		
1	R	5	0	0

Benzer şekilde, mevcut derinlik bilgisini alabilmek için bilgisayardan aracın kontrol kartına “5SSSS” komutu gönderilmektedir. Örneğin 02,55 m gibi. Bu doğrultuda PWM, ADC ve haberleşme kodları yazılmış ve birleştirilmiştir.

Sualtı Aracı Bilgisayar Arayüzü Yazılımı: Dört motorlu insansız sualtı aracının el ile ya da otomatik olarak kontrolü için C#’ta kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır [17]. Otomatik kontrol döngüsünde derinlik kontrol geri bildirim elemanı olarak basınç sensörü ve yön geribildirim elemanı olarak elektronik pusula sensörü kullanılmıştır. İlgili sensörlerden gelen verilere göre motorların yön ve hızları yazılım aracılığıyla

belirlenmektedir. Arayüz üzerinden motorların el ile denetimi de yapılabilmektedir. Arayüz programı, elektronik pusuladan gelen verilerle kullanıcıya aracın doğrultu, yunuslama ve yalpalama bilgilerini grafik olarak göstermektedir. Basınç sensöründen gelen derinlik bilgisi de kullanıcıya görüntülenmektedir. Araç, el ile veya otomatik olarak denetlenebilmektedir. El ile kontrolde ileri-geri, sağa-sola hareketleri istenen hızda sağlanmaktadır. Otomatik modda istenen yön ve derinlik bilgileri girildiğinde araç, oransal kontrol yöntemiyle istenen değerlere ulaşmaktadır. Bunlara ilave olarak arayüz programı, mikrodenetleyici ve pusula sensörü ile iletişimi sağlayan seri portların konfigürasyonunu sağlamaktadır (Şekil 11)

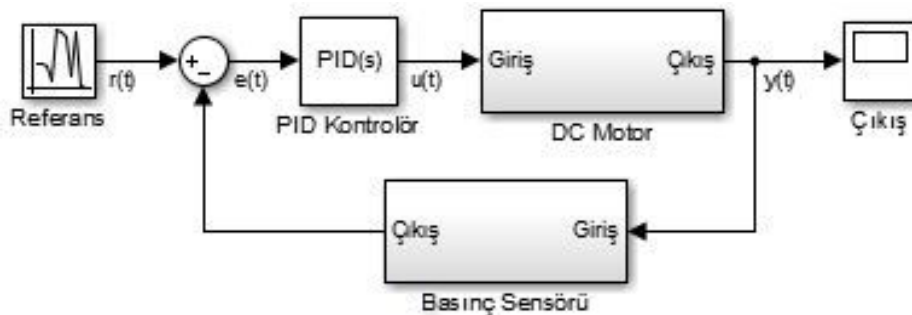


Şekil 11. Sualtı Aracı Kontrol Arayüzü

2.4. Kontrol Yöntemi

Araç kontrolü için bu çalışmada PID kontrol yöntemi denenmiştir. PID endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın kullanılan bir kontrol döngüsü geribildirim mekanizmasıdır. Bir PID denetleyici ölçülü bir süreç

içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı alarak bir "hata" değeri hesaplar [21]. Kontrolör, süreç kontrol girişini ayarlayarak hatayı en aza indirir ve böylece istenilen ayar değerine ulaşmaya çalışır. Burada derinliğin denetimini örnek verecek olursak (Şekil 12);



Şekil 12. Derinlik için PID Kontrol Bloğu

Blok diyagramda $u(t)$ kontrol sinyalini, $y(t)$ çıkış sinyalini, $r(t)$ referans sinyalini ve $e(t)$ ise hata sinyalini göstermektedir. Yukarıda verilen blok diyagrama göre

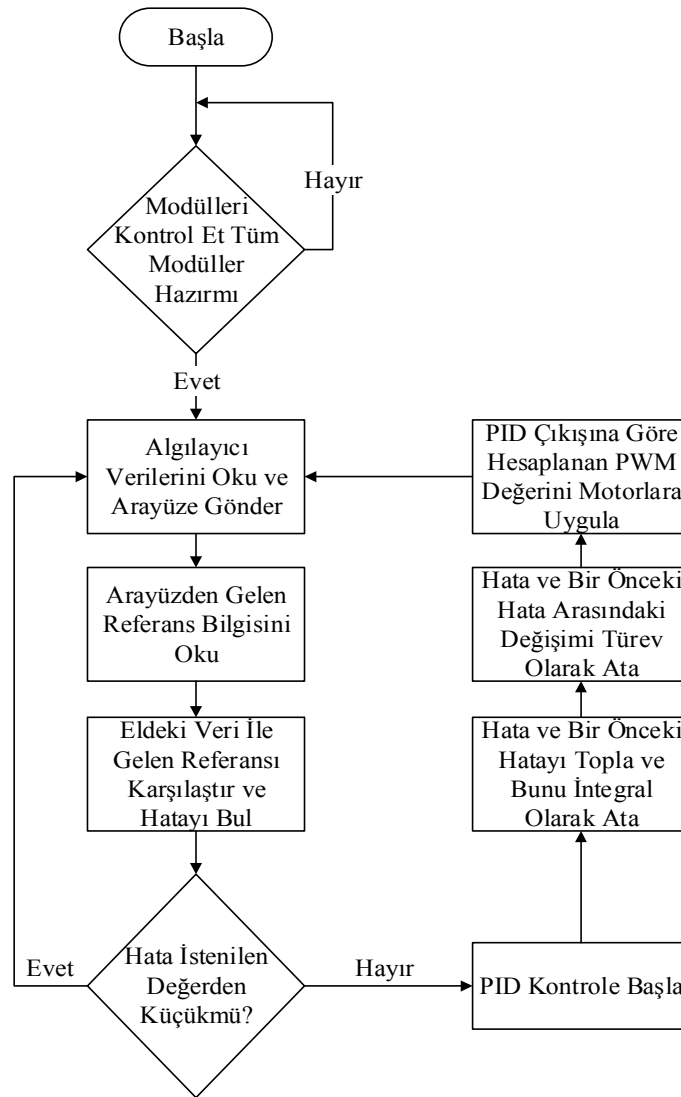
PID çıkışı $u(t)$ Denklem 1 ve 2'deki gibi hesaplanır [22].

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

PID kontrolde sistem çıkışının istenen referans değerini takip edebilmesi için KP, KI ve KD katsayılarının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Burada hata işareti derinlik kontrolü için referans derinlik değeri ile basınç algılayıcısından okunan gerçek derinlik bilgisi arasındaki ilgili örneklemedeki farktır. Denetim işareti ise dikey motorlara uygulanacak PWM işareti

tarafından belirlenen ortalama gerilimdir. Yön kontrolünde ise denetlenecek yön hangisi ise istenen açı değeri ile elektronik pusulada o açıya ait eksen den gelen gerçek açı değeri arasındaki fark hatayı temsil eder. Denetim işareti söz konusu eksen de dönüşü sağlayan motorlara uygulanan gerilimin karşılığı olan PWM işaretidir. Aracın PID parametrelerinin belirlenmesinde manuel ayar metodu kullanılmıştır. Aracın kontrol yazılımının genel algoritması Şekil.13'te verilmiştir.



Şekil 13. Genel Kontrol Algoritması

Aracın tasarımından ve donanımından kaynaklanan kısıtlamalardan dolayı PID kontrol 3 eksen için gerçekleştirilebilecektir. Bu 3 eksen;

- Dikey Eksen (Derinlik Ekseni)
- Dönme Ekseni (Rota Ekseni)
- Yuvarlanma Ekseni

olarak sıralanabilir.

Kontroller arasında eksenel olarak öncelikler bulunmaktadır. Yuvarlanma ekseni referansa oturmadan derinlik kontrolüne geçilmez. Aynı şekilde dönme ekseni de referans değerine ulaşmadan ileri veya geri yönlü harekete başlanmaz. Bu kontrol sistemi ile

hedeflenen rotanın hareket sırasında kaybedilmemesi amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Derinlik ve yön kontrol uygulamaları için gerekli deney platformu tamamlanarak uygulamalara hazır hale getirilmiştir. Eğer pervaneler aynı yönde döndürülerek batma veya çıkma hareketi gerçekleştirilseydi, bu aracın

kendi etrafında dönmesine de neden olacaktı. Bu etkiyi düzeltmek için tasarlanan araçta pervanelerin kanat yönü birbirlerine ters olarak yapılmıştır (Şekil.14.a). Bu durumda da batma veya çıkma amacıyla her iki pervanenin de yanlışlıkla aynı yönde döndürülmesi aracın yalpa yaparak yatmasına neden olmaktadır. Gerçekleştirilen aracın pervaneleri birbirine ters yönde çalıştırıldığında araç batma veya yüze çıkma hareketi yapmaktadır (Şekil 14.b).



Şekil 14. Dalış için motorların (a) hatalı sürülmesi (b) düzenlenmiş sürüş biçimi

Bilgisayar- araç haberleşmesinde karşımıza çıkan ve komut alış verişinde senkronizasyonu engelleyen program eksiklikleri giderilmiştir. Testler sırasında, kontrol dışı hareketlerinde aracı acil olarak durdurabilmek için sudan çıkarmanın ve kapağını açarak karta erişmenin zorlukları görüldüğünden kontrol kartı, uzaktan reset'lenebilecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Aracın dikey hareketlerde bozulan dengesi, motorların konumunda kaydırma yapılarak ve araca yüzdürücüler ve kurşun plakalar eklenerek düzeltilmiştir.



Şekil 15. Test Uygulamaları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada insansız sualtı aracının mekanik, elektronik ve bilgisayar kontrol aksamalarının gerçekleştirilmesi aşamaları verilmiştir. Araç için bozucu etki üreten, derinlik ve yön kontrol uygulamalarının yapılabileceği bir platform hazırlanmıştır. Elde edilen deney ortamı çeşitli kontrolör yapılarının gerçekleştirilmesi ve bu çalışmaların bilimsel literatüre sunulması için altyapı oluşturmaktadır. İnsansız su altı aracı tasarım ve kontrolü problemi zor fakat akademik anlamda güncel ve TÜBİTAK Vizyon 2023 strateji belgesine göre de öncelikli konulardandır. Dünyada ilgi gören uzaktan kontrollü sualtı araçlarının yerli imkanlarla tasarımı, bunların üniversite laboratuvar ortamına kazandırılması ve deney ortamında farklı kontrolör yapıları tasarlanarak üzerinde pek çok testlerin yapılmasına imkan vermesi, bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacılarımıza katkı sağlayacaktır. Platformun taşınabilir olması, havuz çalışmaları öncesi tekrar gerektiren sualtı aracı testlerini daha kolay tamamlama imkânı verecektir. Her iki deney havuzu içine yerleştirilen, santrifüj pompa ile yapay türbülanslar üretilebilmektedir. Farklı denetleyicilerin bozucu etkilere göre başarımlarını karşılaştırması daha kolay sağlanmaktadır. Kontrol kartı proje çalışanları tarafından, tasarlanan araca özgü olarak hazırlanmıştır. Tasarlanan sualtı aracı, seri üretime uygun olup, üniversitelerin kontrol laboratuvarlarında öğrencilerin kendilerini geliştirebileceği bir deney setine kolayca dönüştürülebilir niteliktedir. Otonomluk sağlayacak ek sensörlerin katılması ve geliştirilecek kontrol algoritmaları ile aracın uluslararası otonom sualtı aracı yarışmalarına katılması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Makalede sunulan çalışmalar, 111E294 No'lu TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılmıştır. Yazarlar proje desteğinden dolayı Kuruma teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- Inoue,T., Shibuya,K. and Nagano,A., “Underwater Robot with a Buoyancy Control System Based on the Spermaceti Oil Hypothesis - Development of the Depth Control System”, *The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Taipei, Taiwan, 18-22, October 2010.
- DeBitetto, P.A., “Fuzzy Logic for Depth Control of Unmanned Undersea Vehicles”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 20, No.3, 242-248, 1995.
- Kim,J., Kim, K., Choi, H.S., Seong, W. and Lee, K.Y., “Depth and Heading Control for Autonomous Underwater Vehicle Using Estimated Hydrodynamic Coefficients”, *MTS/IEEE OCEANS 2001 Conference and Exhibition*, Honolulu Hawaii, vol.1, 429-435, November 2001.
- Kim, H.S. and Shin, Y.K., “Design of Adaptive Fuzzy Sliding Mode Controller using FBFE for UFV Depth Control”, *The 2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, Bexco- Busan, Korea, 3100 – 3103, 18-21 October 2006.
- İnan, A., İskenderun Körfezinde Petrol Kirliliğinin Modellenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 26, No 2, 471-478, 2011
- Wang, J. S., Lee, C. S. G., Self-Adaptive Recurrent Neuro-Fuzzy Control of an Autonomous Underwater Vehicle. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol.19, No.2, 283-295, 2003
- Shi, X., Xiong, H., Wnag, C., Chang, Z., “A New Model of Fuzzy CMAC Network with Application to the Motion Control of AUV”, *Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Niagara Falls, Canada, 2173-2178, July 2005.
- Song, F., An,E., Folleco, Modeling and Simulation of Autonomous Underwater Vehicles: Design and Implementation, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 28, No. 2, 283-295, 2003.
- Leblebicioğlu, M.K., ULİSAR: Bir İnsansız Sualtı Aracı, *Savunma Sanayi Gündemi*, s.41-47, Sayı:12, 2010/2
- Gökalp, B., Yıldız, Ö., Yılmaz, A.E., İnsansız Su Altı Araçları, Güncel Teknolojiler ve Uygulamalar, *Savunma Sanayi Gündemi*, s.35-39, Sayı:12, 2010/2
- <http://turksavunmasanayi.blogspot.com.tr/2011/06/insansiz-sualti-araci-uav.html>, Ziyaret Tarihi: 27 Kasım 2014
- <http://www.mcbahadir.com/auvtech.html>, Ziyaret Tarihi: 23 Kasım 2014
- Jun,B.H., Park, J.Y., Lee,P.M., Ma, S.J., Kim, Y., Oh, J.H. and Lim,Y.K., “Design, Implementation and Free Running Test of ISiMI; an AAUV for Cruising in Ocean Engineering Basin Environment”, *IEEE Oceans 2007 Europe*, Aberdeen, 1-6, June 2007.
- Trebi-Ollennu, A., King, J. and White, B. A., “A Study Of Robust Multivariable Control Designs for Remotely Control Systems”, *IEE Colloquium on Control and Guidance of Remotely Operated Vehicles*, London, 2/1 - 2/6, June 1995.
- Hong, E.Y., Soon, H. G., Chitre,M., “Depth Control of an Autonomous Underwater Vehicle”, STARFISH, OCEANS 2010 IEEE, Sydney, 1 - 6, May 2010
- Kırcı,H., Yılmaz,S., Yakut,M., İnsansız Sualtı Araçları, *Endüstri & Otomasyon Dergisi*, 134, 24-29 , 2008
- Yılmaz,S.,Yakut,M., İnce,S., Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Deney Platformu Tasarımı, Tübitak 1002 Hızlı Destek Projesi Final Raporu, Proje No:111E294, Temmuz 2013.
- http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/S_C959/SS1532/PF250863 , Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2013
- http://www.wika.us/S_10_en_us.WIKA , Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2013
- <http://www.pnicorp.com/products/tcm-legacy> , Ziyaret Tarihi: 29 Ağustos 2013
- F. Golnaraghi, B.C. Kuo, *Automatic Control Systems*, Ninth Ed., Chapter 9, Jonh Wiley and Sons Inc., 2009.
- Dorf RC, Bishop RH. *Modern Control Systems*. Pearson Prentice Hall, 2005.