

Otonom Sualtı Araçlarında Genel Tasarım İlkeleri

Serhat YILMAZ¹, Sadettin Burak KILCI^{2*}

ÖZET: Avrupa Birliği'nde yasallaşmakta olan ve zorunlu hale getirilen sualtı yaşamı ve kirliliğinin düzenli olarak kontrol edilmesine yönelik çalışmalarda sualtı araçları kullanılmaktadır. Dünyanın farklı yerlerinde yaşanan kimyasal sızıntıların okyanuslarda neden olduğu çevre felaketler, özellikle bölgemizde denizlerde artan petrol ve doğalgaz arama çalışmaları sondaj platformlarında kullanılan sualtı araçlarının önemini arttırmıştır. Sualtı araçları açık deniz balıkçılığı ve batık gemi incelemelerinde önemli bir role sahiptirler. Bu çalışmada sualtı araçlarında genel olarak kullanılan çevre birimler, algılayıcılar, işleticiler ve bunların aracın denetimi ve seyir planlaması üzerindeki etkileri, insansız sualtı araçlarında otonom hareketin aşamaları verilmiştir. Bu kapsamda, tasarım sırasında ölçüt olarak karşımıza çıkan genel hedef, görev ve amaçlar açıklanmıştır. Ardından bunları sağlamak için gerekli mekanik, elektronik ve yazılım geliştirmeye yönelik tasarımlarda dikkat edilmesi gereken temel kavramlara değinilmiştir. Örnek olarak, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümünde geliştirilen sualtı aracı (SA) Lucky Fin'in dinamiğine ait bazı parametrelerin nasıl belirleneceği ele alınmıştır. İnsansız sualtı araçları; robot kinematığı, hidrodinamik, modelleme, kontrol, görüntü işleme, elektronik kart tasarımı, sensör teknolojileri, gömülü sistemler, sürücü sistemleri, güç yönetimi, aydınlatma, sualtı haberleşmesi, imge işleme algoritmaları, seyir planlama gibi birçok konuyu bir arada kullanmayı ve disiplinler arası eşgüdümü gerektiren bir çalışma alanıdır. Makale, araç tasarımında karşılaşılan kavramlar ve tasarım ilkelerini genel hatlarıyla okuyucuya vermeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sualtı aracı tasarımı, otonom araçlar, kontrol.

General Design Principles For Autonomous Underwater Vehicles

ABSTRACT: Underwater vehicles are used for regular control of underwater life and pollution, which are legalized and made mandatory in the European Union. In addition to environmental disasters caused by chemical leaks to oceans in different parts of the World, increasing oil and natural gas exploration studies in the seas, especially in our region, have increased the importance of underwater vehicles that are used in drilling platforms. Underwater vehicles have an important role in offshore fishing and sunken ship investigations. In this study, the peripheral units, sensors, operators used in underwater vehicles and their effects on vehicle control and cruise planning and the stages of autonomous movement in unmanned underwater vehicles are given. In this context, the general goals, tasks and objectives that we encounter as criteria during the design stage are explained. Then, the basic concepts that should be considered in designs for mechanical, electronic and software development required to achieve these are mentioned. As an example, it has been discussed how to determine some dynamics parameters of the underwater vehicle Lucky Fin developed in the Electronics and Communication Department of Kocaeli University Faculty of Engineering. Unmanned underwater vehicles use many subjects such as robot kinematics, hydrodynamics, modeling, control, image processing, electronic card design, sensor technologies, embedded systems, drive systems, power management, lighting, underwater communication, image processing algorithms, navigation planning which require an interdisciplinary coordination. The article aims to contribute in providing the reader an overview of the generic concepts and design principles encountered in vehicle design.

Keywords: Underwater vehicle design, autonomous vehicles, control.

¹Serhat YILMAZ (Orcid ID: 0000-0001-9765-7225), Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

²Sadettin Burak KILCI (Orcid ID: 0000-0002-6583-8379), Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sadettin Burak KILCI, e-mail: burakkilci1@gmail.com

GİRİŞ

İnsansız sualtı araçları, günümüzde sualtı hareketlerinin izlenmesi, okyanus dibi sıcaklık haritalarının çıkarılması, tuzlu su katmanlarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Benzer şekilde kayıp arama ve kurtarma, sünger toplama, mayın temizleme, gemi altı bakımı, gemi altı hasarların görüntülenmesine yönelik ekspertiz işlemleri yapılmaktadır. Buna ek olarak; tehlikeli derinliklerde görüntü alma, batıkların incelenmesi, sahil güvenliğini sağlama, askeri bir takım görevleri yerine getirilmektedir. Baraj tabanlarının temizlenmesi, göl, tatlı su kaynakları, sualtı mağaraları, aktif su altı volkanları, akarsuların denizlere döküldüğü akarsu ağızları gibi alıcı su ortamlarının düzenli kirlilik analizi ve kirlilik haritalarının çıkarılması gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadırlar (Dumlu ve İstefanopulos, 1995).

Bu çalışmada sualtı araçlarında genel olarak göz önünde bulundurulması gereken belli başlı tasarım kavramları ele alınmıştır. Bunun için, referans gösterdiğimiz uluslararası yarışmalara ait ölçütler ve seyir planlama hedefleri temel alınmıştır. Yarışmaların amacı ileride sualtında gerçek görevler üstlenebilmek için senaryolar, taktiklerin denendiği yeni nesil Otonom Sualtı Araçları (OSA) geliştirmektir. Üniversite öğrencileri, hocaları ve profesyonel olarak sualtıyla ilgilenen uzmanlardan oluşan ekipler tarafından tasarlanan donanım ve yazılımlar yarışarak, başarıyı arttıran farklar ortaya koyulmakta, sonuçlar hem katılımcının ülkesine hem de OSA teknolojisinin gelişimine katkıda bulunmakta, üniversite öğrencileri ve bu alanda çalışan firmalar arasındaki bağlar güçlendirilmektedir (Ferri ve ark., 2015). Yarışmacıların tasarımları çoğunlukla katıldıkları ülkelerin savunma bakanlıkları ve savunma sektöründe iş yapan firmaları tarafından desteklenmektedir. Yarışmaları düzenleyen organizasyonlar çoğunlukla düzenleyen ülkelerin savunma bakanlıklarına bağlı birimlerdir (Caseley ve ark., 2012). Otonom araçların, karada, havada veya suda çalışması kapalı döngü kontrol sisteminin genel yapısını fazla değiştirmemektedir. Otomatik kontrol sistemleri, bilindiği gibi algılayıcılar, denetleyiciler ve kumanda elemanlarından oluşmaktadır. Belirli bir süre otonom çalışması gereken dinamik tüm sistemlerin; temel olarak elektronik pusulayla yönünü, basınç sensörü veya altimetreyle derinlik veya yüksekliğini ölçebiliriz. Günümüzde bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi akıllı hesaplama yöntemlerinin kara, hava ve deniz araçlarının kontrolünde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bulanık karar verme sistemleri, istenen derinlik veya irtifa değeri ile ölçülen değer arasındaki hata ve hatanın türevi bilgilerine bakarak, ilgili aracın dümen açısını geleneksel yöntemlere göre daha başarılı olarak denetleyebilmektedir (Karakoç ve ark., 2015). Çevresel örüntüleri çıkarabilmek için ise kamera ve sonarlara başvurulmaktadır. Doppler prensibine dayalı ivmeölçerlerle aracın hız ve ivmesi hesaplanmaktadır. Bunlara bağlı olarak sürücü kısmında tekerler ve motorlar işletilmektedir. OSA'nın dinamik ve kinematik modellerinin çıkarılması ve bu modeller üzerinde yapılan benzetim çalışmaları, araç tasarım ve geliştirme aşamalarını hızlandırmaktadır. OSA'nın açık çevrim cevabı incelenerek başarılı denetleyiciler ve kapalı çevrim kontrol sistemleri tasarlanabilmektedir (Raju ve ark., 2020). Öğrencilerimizin ve öğretim elemanlarımızın bu tür kapalı çevrim kontrol sistem elemanları ve aralarındaki işaretleşmeleri kurması, gerçekleştirmesi, yazılımlarını hazırlaması ve geliştirmesi, otonom sistemler hakkında genel bir kavrayışa erişmelerini sağlayacaktır. Yetiştirilmiş elemanlar yeni otonom sistemler tasarlamada yetkinlik kazanacaklardır.

MATERYAL VE METOT

OSA Tasarımında Temel Hedefler ve Ölçütler

Otonom sualtı aracı (OSA) tasarımı konusu, bir takım dinamik, statik hesaplamaları, modellemeleri, makine, yazılım ve elektronik bilgisi gerektiren disiplinler arası bir konudur. Gerek literatüre, gerekse her yıl düzenlenen yarışmaların amaçlarına koşut olarak problemi sürekli daha iyi

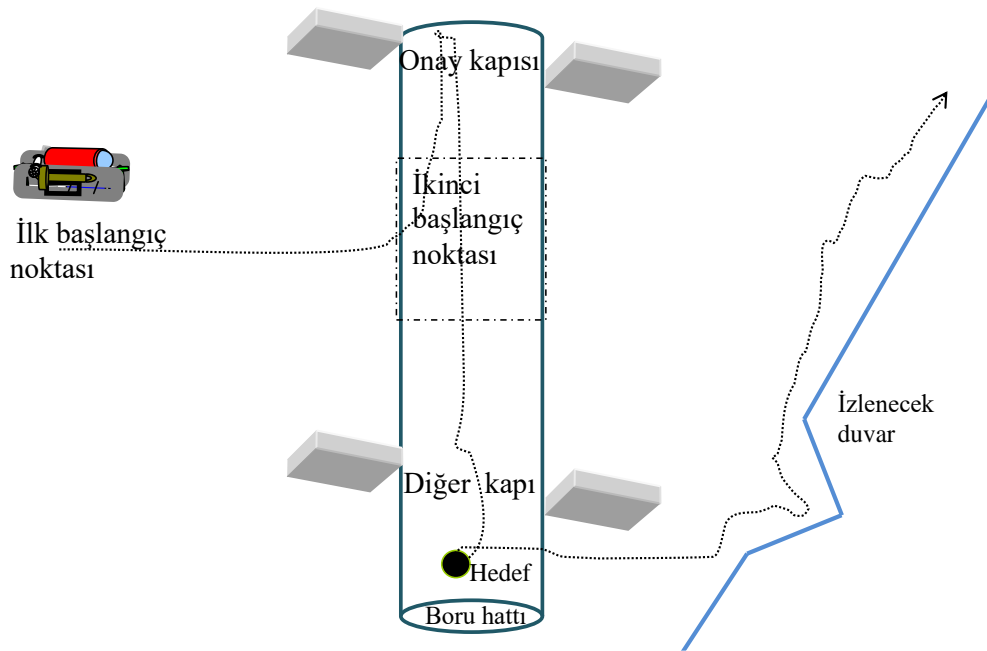
yöntemleri arayarak kendini geliştiren bir optimizasyon problemi olarak görebiliriz. En kısa yol planlama, işaret işleme ve akıllı kontrol algoritmaları geliştirme için sayısal yöntemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Elektronik, yazılım ve kontrol sistemleri ne kadar iyi tasarlanırsa tasarlanırsa araç gövdesinin bunların çalışmasına izin verecek bir ortam sağlaması gerekmektedir. Gövde sürtünme yüzeyini en aza indirecek, manevra yeteneği yüksek olacak şekilde tasarlanmalıdır. Su altında basınç dayanım ve sızdırmazlık testlerinden geçmelidir.

Tasarımlar özel hedeflere göre elbette farklılıklar gösterirler. Bu çalışmanın amacı, tasarım açısından kendi içinde bir bütünlük arz edebilmesi için, bahsedilen yarışmalara katılabilecek yeteneklerde otonom bir su altı aracının genel ilkelerinin verilmesi olarak sınırlandırılmıştır. Hedef olarak, İngiltere Savunma Bakanlığına bağlı, Savunma Bilim ve Teknolojileri Laboratuvarı (Dstl)'nin Avrupa'da öğrenciler arasında düzenlediği otonom sualtı aracı müsabakaları, Europe (SAUC-E)'nin katılım şartları kıstas alınmıştır (Ferri ve ark., 2017). Bu yarışmada istenen esas koşullar aşağıdaki gibi maddelenebilir;

- Tasarlanacak araçlar, bir dizi görevi özerk olarak yerine getirmek zorundadır. Uzaktan denetim, yönlendirme, bir kişi veya GPS sistemi de dahil dışarıdaki bir bilgisayarla haberleşmesi yasaktır. Araçlar, OSA'ların konumu üzerine yerleştirilen 37 KHz frekansında bir verici ile yarışma komitesi tarafından takip edilecektir. Bunun için önceden gövdede 30 mm çapında ve 150 mm uzunluğunda bir yer ayrılmalıdır.

- Özerk olarak yapılacak ilk başlangıç veya ikinci başlangıç noktalarından başlayan 2 görev seçeneği vardır. Takımlar istediğini seçebilir.

- Görevler, genel olarak bir başlangıç noktasından yola çıkıp, onay kapısına ulaşarak buradan geri dönmeyi hedeflemektedir. Bunun için bir boru hattını izleyerek diğer bir kapıya ulaşip geçme ve misinayla bağlı sonar veya lazerle tespit edilebilen bir hedefi bağından kurtarıp, yüzeyi düzgün olmayan bir duvarı belirli bir mesafeyi koruyarak takip etme, sonra geri dönüp başlangıç noktasında tekrar yüzeye çıkma işlemlerini kapsamaktadır. Örneğin tüm işlemlerin 40 dakika gibi belirli bir zaman sınırlaması içinde yapılması istenmektedir.



Şekil 1. Temsili bir görev haritası (Ribas ve ark., 2007).

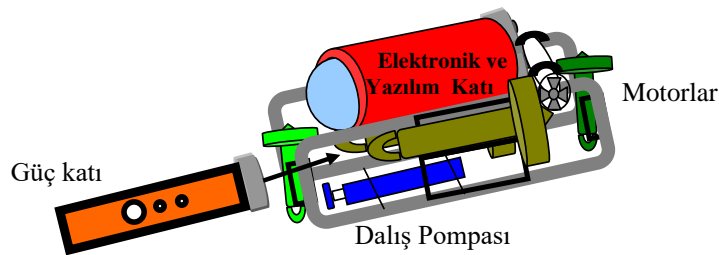
Boyutlar, araç görevleri yerine getirebilecek güçte olduktan sonra ne kadar küçük olursa o kadar iyidir. En büyük boyutlar: 2m uzunluk X 1m genişlik X 1m yükseklik şeklindedir. Verilen ölçütlere göre tasarlanacak aracın su dışındaki ağırlığının 35kg ile 70kg aralığında olması öngörülmektedir. OSA üzerinde denize indirme amaçlı 30 cm aralıklı, iç yarıçapları 4'er cm olan 4 kanca yeri olmalıdır. Gövde üzerinde dalgıçların kolay erişebileceği, tüm elektriksel donanımı aküden ayıracak bir kapama düğmesi bulunmalıdır. Araç kapatıldığında en az % 0.5'lik bir batmazlık oranına sahip olmalıdır.

İstenen Ölçütleri Sağlayabilecek Tasarım Önermeleri

İstenenleri yerine getirebilecek otonom bir sualtı aracını gerçekleştirebilmek için tasarlanacak aracın teknik özelliklerinin detaylı olarak ortaya konulması gerekmektedir. Çalışmada, ilişki şemaları ve algoritmalar özgün olarak çıkarılmıştır. Mekanik tasarımda farklı yarışmalara katılan çok sayıda üniversitenin tasarımları, kullandıkları algılayıcı, işlemci, ana kart ve diğer ekipman önerileri incelenmiş, başarıyı arttıran faktörler yorumlanarak tercih edilen ekipmanlar verilmiştir.

Mekanik Tasarım

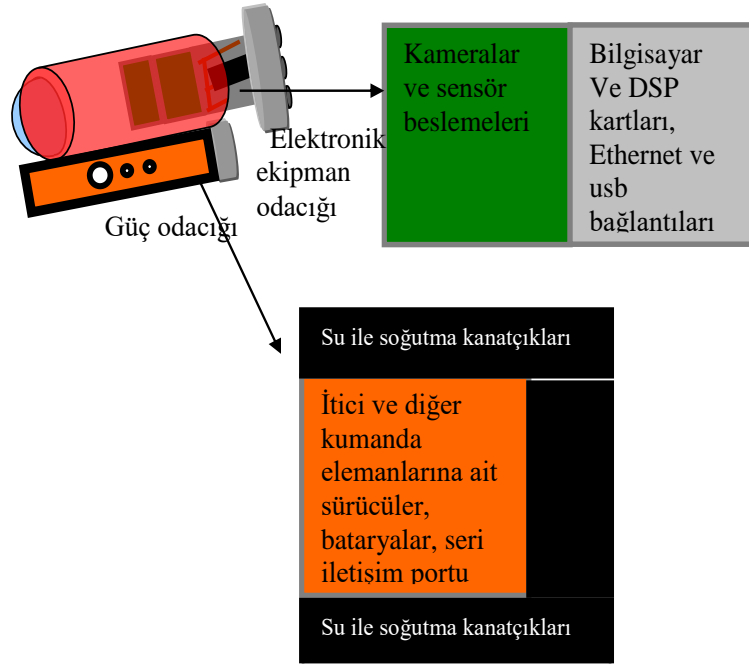
Aracın gövdesi, itici motorları, elektronik kontrol birimlerini, vericileri, sensörleri ve diğer parçalarını barındıracak ve koruyacak, sızdırmazlığı ve basınç dayanımları sağlayacak, sürtünme yüzeyi düşük, araca yüksek hareket kabiliyeti sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Başka üniversitelerin hem fikir oldukları tasarımlardan yola çıkarak genel hatlarıyla temsili bir gövde şu şekilde olmalıdır; aracın mekanik aksamı, omurga, odacık ve elektromekanik parçalardan oluşacaktır. Elektronik kontrol kartları ve kamera su geçirmez odacıkta (kırmızı) saklanacaktır. Motorlar ve harici sensörlerle bağlantılar kablolar aracılığıyla yapılacaktır. Yatay hareketi sağ ve sol itici motorlar (kahverengi) sağlayacaktır. Dikey hareketi ön ve arkadaki iticiler (yeşil), yatay ekseninde eksernel dönüş hareketini pupa motoru (beyaz) sağlayacaktır. Dalışa yardımcı olmak için değişik tuzlulukta su ortamlarına göre batmazlığı servo motor kontrollü hava pompası (mavi) sağlayacaktır. Ağırlığı azaltmak için omurga (gri) ABS malzeme, teflon veya delrin plastikten yapılacaktır. Omurga boyutları; en uç noktalar göz önüne alındığında uzunluk 65 cm, en 25 cm, yükseklik ise 13 cm civarında olacaktır.



Şekil 2. Aracın gövde tasarım modeli (Yılmaz, 2012).

İç Donanım

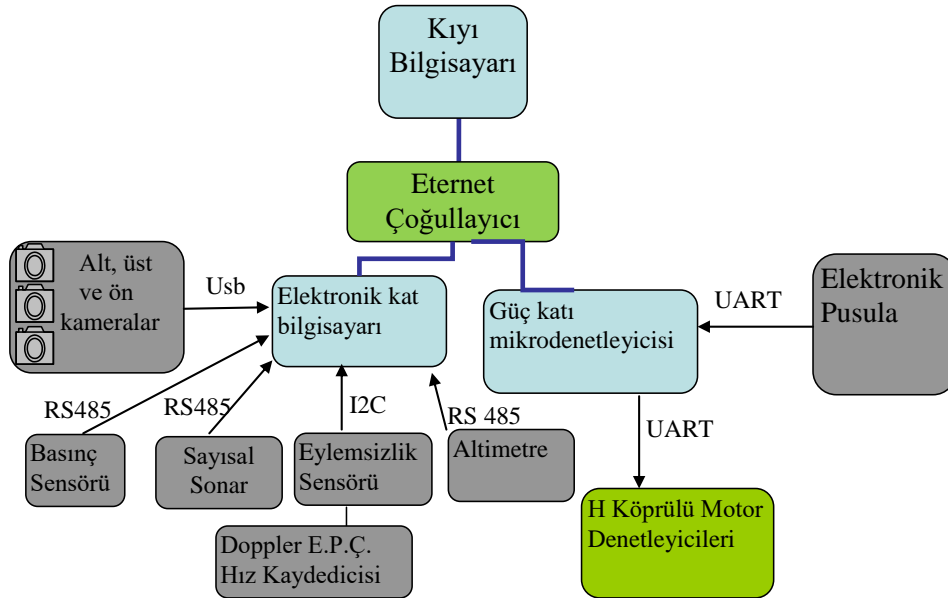
Elektronik donanımın yerleşimi ve kablolaması aşağıdaki şemada görüldüğü gibi olacaktır. Sensörlere ait bağlantılar, kamera ve gömülü sistemler elektronik ekipman katını oluşturmaktadır ve bunlar elektronik ekipman odacığında korunmaktadır. Elektromanyetik gürültüleri önlemek için motorları süren H köprüleri, bataryalar ve diğer yüksek güçlü ekipmanlar izole ve su soğutma yüzeyi geniş ayrı bir odacıkta yer almaktadır. Güç odacığı adını vereceğimiz bu bölme ağırlık merkezini tabanda tutmak için aşağıya yerleştirilecektir. Araçta ön, yukarı ve aşağı olmak üzere 3 kamera bulunacaktır. Kameralar 45° dönebilmelidir.



Şekil 3. Su geçirmez elektronik katı ve güç katı odacıkları (Yılmaz, 2012).

Kontrol Kartı ile Çevre Birimler Arasındaki İlişki Şeması

Gerekli görev değişiklikleri ve elektronik kat ve güç katı bilgisayarlarına ait programlara kısıydan erişim için bir Ethernet bağlantısı bulunmaktadır. Elektronik kat bilgisayarı, kameralardan gelen görüntüleri işleme gibi DSP gerektiren yüksek hızlı işlemlere ayrılmıştır.



Şekil 4. Kontrol Kartı ile Çevre Birimler Arasındaki İlişki Şeması (Ergan, 2014).

Ayrıca, daha yavaş değişen bilgilerden kameralarla doğrudan ilintili olanların bir kısmını da işlemektedir. Basınç sensöründen, yüzeyden ne kadar derinde olduğumuz bilgisi alınmaktadır. Altimetre bir tür sonardır ve suyun (havuz, deniz, göl, okyanus..) zemininden ne kadar yüksekte olduğumuzu gösterir. Sayısal Sonar, burada izleyeceğimiz kıyı duvarına yakınlığımızı ölçmektedir. İvme

sensöründen gelen bilgilerin integrali alınarak aracın hızı kestirilecektir. Üç eksenli elektronik pusula aracın yön bilgisini bize verecektir. Çevre birimler kontrol kartı ile Usb, UART, I2C, RS485 gibi farklı protokollerde haberleşmektedir.

Gömülü Bilgisayar: Araçta kullanılacak bilgisayarlar, 2 adet MSM800 PC104 gömülü bilgisayarından oluşacaktır. Bu model düşük güç tüketimi, buna koşut olarak ortamı fazla ısıtmaması ve küçük boyutları nedeniyle tercih edilmiştir. 4 adet usb 2.0 çıkışı 2 seri portu ve 100 Mbitlik bir ethernet portu bulunmaktadır. Bilgisayarlar birbirlerine ethernetle bağlı olacak, biri düşük seviyeli kontrol işlemlerini (Doğan ve ark., 2015), diğeri kameralara bağlı olarak görüntü yakalama ve işleme işlemlerini yapacaktır (Bo ve ark., 2009).

Güç Katı: 10 adet Lityum-Polimer pil akü olarak kullanılacaktır. Seri bağlanarak 24V elde edilecektir. Şarj ve kullanım için iki ayrı bağlantı bulunacaktır. Böylece piller araç üzerindeyken çıkarılmadan şarj edilebilecektir. Pillerin kapasitesi 9 A/h. Sigortalar, şarj ve deşarj sırasındaki tehlikeli akım seviyelerini önlemek için konulacaktır. Elektronik katta ve iticilerin sürülmesinde +5V'da 3A, -5V'ta 0.5A, 12V'ta 1A ve -12V'ta 0.5A akıma gereksinim olması beklenmektedir. Güç katı akünün ürettiği gerilimi, regülatörler aracılığıyla +/-5V ve +/-12V'a dönüştüreceklerdir.

İtici: OSA'da 5 adet itici motor bulunacaktır. Araca inip çıkma, ilerleme, dönme gibi 4 serbestlik derecesinde hareket imkanı verecektir. Motorlar maksimum 4.25 A çekmektedir. 19V DC ile beslendiklerinde her biri 80W'lık bir güç sağlamaktadır. Motorlar USART protokolü üzerinden bilgisayar ile seri haberleşen STM32 mikrodenetleyicileri tarafından kontrol edilen H köprüleri ile sürülecektir.

Basınç Sensörü (Derinlik Ölçer) :Aracın su yüzeyinden derinliğini ölçecektir. Keller 33X serisi bir basınç sensörü kullanılacaktır RS485 bağlantısı ile doğrudan bilgisayara veri iletebilmektedir. 5 cm mutlak hatayla 0-90m aralığında çalışmaktadır. Beslemesi 8-28V'tur.

Altimetre (Yükseklik Ölçer)

Deniz veya havuz tabanından araca olan yüksekliği ölçecektir. En fazla 50 m'ya kada ölçebilmektedir. PA500 Altimetresi analog ve sayısal çıkış verebilmektedir (Jiang ve ark., 2019).

Elektronik Pusula: Yön kontrolünün yapılabilmesi için gerekli olan eksen konum bilgisinin elde edilmesinde kullanılacaktır. TCM3: 3 eksenli elektronik pusulası 0.5 o duyarlılıkla aracın rotasını ölçebilmektedir. Aracın yatayda ve dikeyde 80° ye kadar yaptığı açıları ölçebilmektedir. Bu da aracın yapacağı hareketler bakımından, daha üst modellere göre yeterli bir donanımdır.

Kameralar: İlerideki, alttaki veya üstteki hedeflerin tespiti ve takibi için su altında 8 m menzilli 3 kamera kullanılacaktır (Bo ve ark., 2009).

Sayısal Sonar: Engellerden sakınmak ve haritalandırma amaçlı olarak kullanılacaktır. 75 m menzili vardır. Dikey bant genişliği 35o, yatay bant genişliği 3o'dir. Neredeyse bütün yarışma bölgesini tarayıp haritalandırabilir. 12V-50V arasında gerilime ve 4VA güce ihtiyaç duyar. Bilgisayarla RS485 veya RS232 protokolleri aracılığıyla doğrudan haberleşebilir. Boyutları küçüktür: maksimum 6.8 cm eninde ve 7.9 cm boyundadır. İstenirse 360°'lik bir alanı sürekli dönerek tarayabilir. 650-750 kHz frekansları arasında çalışır (Hansen, 1993; Harsdorf ve ark., 1998).

Eylemsizlik Ölçüm Sensörü (IMU) ve Doppler Etkisi Prensibine Göre Çalışan Hız Kaydedicisi (DVL): Navigasyona destek amaçlı olarak kullanılırlar. GPS, CTD ve elektronik pusula gibi diğer algılayıcılarla haberleşebilme altyapısı bulunmaktadır. 600 KHz'de çalışır. 300m derinliğe kadar

çalışabilmektedir. Yazılım aracılığıyla veriler filtrelenerek daha gerçekçi hız ve konum bilgileri elde edilebilmektedir (Lindsay ve ark., 1998).

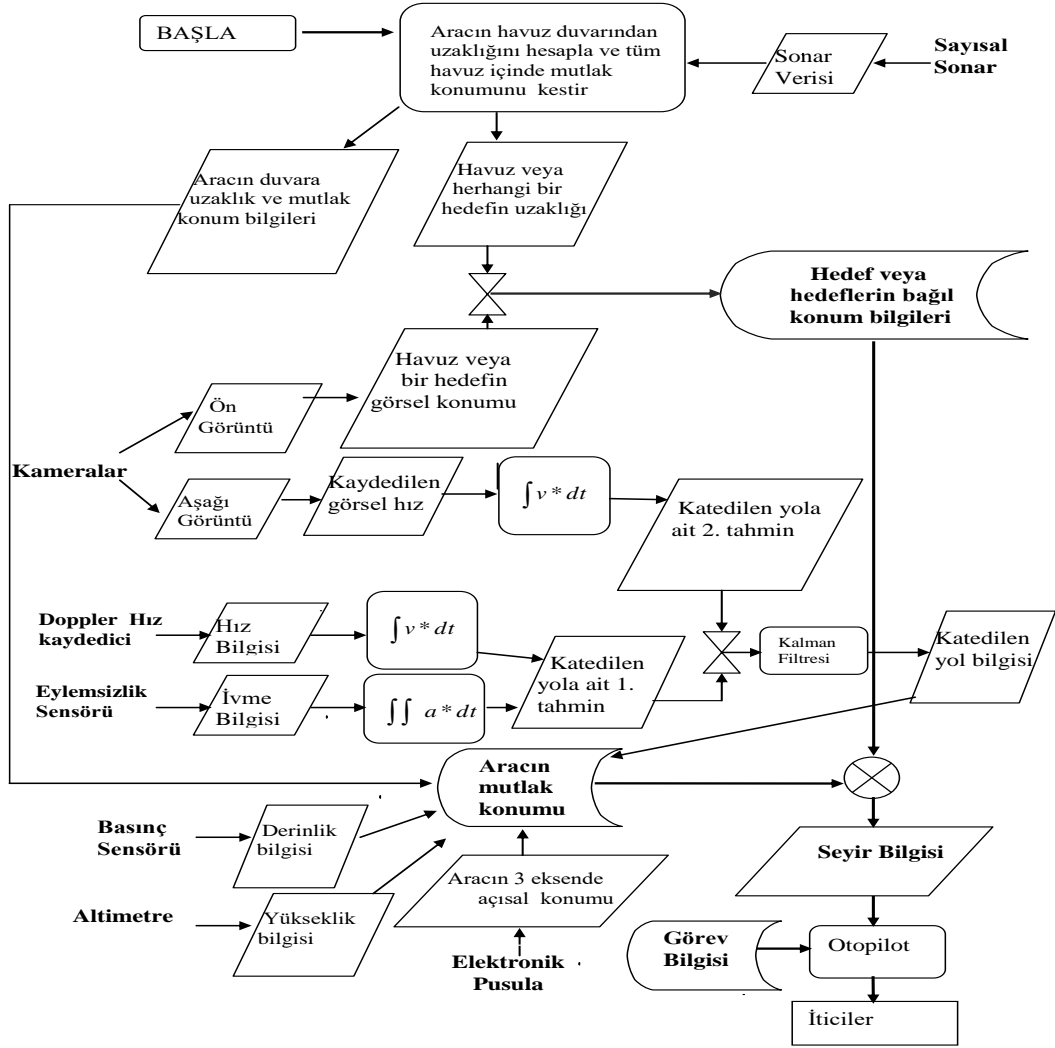
Kablosuz Ve Kablolü Haberleşme Modülü: Aracın kıyı bilgisayarı ile haberleşmesi Ethernet hattı üzerinden yapılacaktır. Aracı yüzeye çıktığında uzaktan durdurma, program yükleme gibi uzaktan yapılacak işlemlerde D-Link 802.11G erişim noktası kablosuz haberleşme modülü kullanılacaktır (Çubukçu ve ark., 2015).

Yazılım: Program birkaç altıyordam modülü ve bir ana programdan oluşacaktır (Şekil 5). Görev bilgisinin kaydedildiği modül, görüntü ve işaret işleme-dsp modülleri, sensör verilerinin alındığı, dsp modülünden gelen verilerle araç ve hedef konumlarının sentezlendiği navigasyon modülü olmak üzere görev yönetim yazılımını birkaç başlık altında gruplayabiliriz. Bunlara ek olarak kontrol çıkışında görev ve navigasyon bilgilerine göre motorları denetleyen otopilot veya denetleyici modülü bulunmaktadır.

Seyir: Sefer-seyir sistemi iki ana kısımdan oluşmaktadır; Hareket kestirimi ve küresel yer belirlemesi. Hareket kestirimi; kaydedilen görsel hız aracılığıyla ve diğer Doppler prensibine dayalı hız kaydedicisi ve ivme sensörleri aracılığıyla yapılmaktadır. Aşağı kamera görsel hızı kaydeder. Burada görsel hızdan kasıt bir önceki çerçevedeki piksellerin ve şu anki çerçevedeki piksellerin uzamsal olarak birim zamandaki yer değiştirmesine bakarak hareket vektörlerinden gerçek hızı ve bunun integralinden, katedilen mesafeyi kestirmektir (Poupart ve ark., 2000; Zhang ve ark., 2001). Kestirimdeki kaymayı önlemek ve düzeltmek için yerimizin nerede olduğunun belirli aralıklarla küresel olarak belirlenmesi gerekir.

Otopilot: Aracın su altındaki hareketi 6 farklı hızın bileşkesinden oluşmaktadır. Denetlenecek her ekseninde denetleyici olarak PID denetleç kullanılacaktır. Her eksen için mevcut konum ve istenen konum arasındaki fark, denetleyici girişi olarak verilecektir (Wang ve Lee, 2003). Hata, türevi ve integrali işlenip, bunlarla orantılı uygun bir denetim işareti üretilecektir. Bunun için önce sistemin doğrusal matematiksel modeli elde edilip, model üzerinde uygun denetleyici katsayıları belirlenecektir. Katsayılar; kararlılık, kalıcı durum hatası istenen değere hızlı ulaşma ve az salınım yapma olarak özetleyebileceğimiz bir takım kriterleri sağlayacak ölçütleri (en büyük yüzde aşma, yükselme zamanı, aşma zamanı, yatışma zamanı vb.) sağlayacak şekilde ayarlanacaktır. Bunun sayısal yöntemlerle analizi için, model üzerinde gerek zaman düzleminde gerekse frekans düzleminde, kararlılığa yönelik (Nyquist, Routh-Hurwitz, Bode Eğrileri, Köklerin Geometrik Yer Eğrileri vb.) bilinen araçlar kullanılarak benzetim programları üzerinde analiz ve sentez çalışmaları tamamlanacaktır. Bozucu etkiler altında denetleyici modellerinin başarımı incelenecektir.

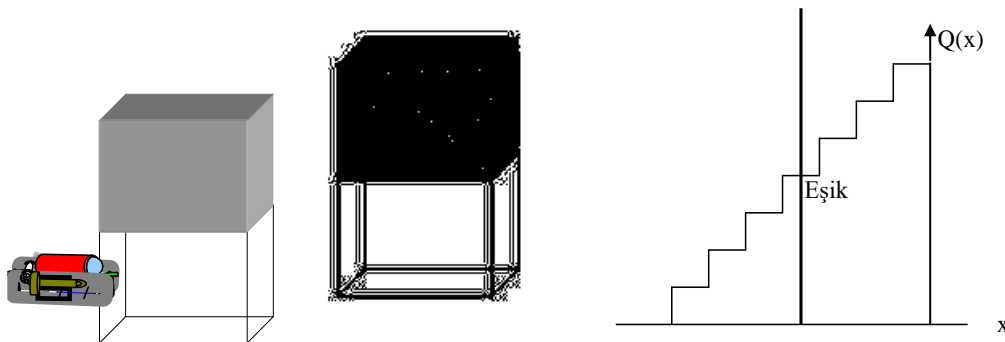
Görsel Nesne Tespiti: Kenar tespiti sonarla yapılmaktadır. Yarışmalarda amaçlanan hedeflerden biri de tank içindeki farklı nesnelerin yerini belirlemektir. Kameraların çerçeve hızları sonara göre daha yüksek olduğundan ve tanktaki su berrak olduğu için hedef tespitinde kameralar kullanılır. Hata durumunda sonara başvurulur. Görüntü işleme algoritmaları Intel'in Computer Vision Library 1.0 kütüphanesinde bulunan hazır açık kaynak kodları kullanılarak hazırlanır (Shi ve ark., 2015). Hedef türüne göre nesne tespitinde kullanılacak yöntemlere aşağıda değinilmiştir.



Şekil 5. Görev yönetimi algoritması

1) Yerdeki hedefler: Bir iskeleye veya bir hedefe yaklaşma denizcilikte başlı başına bir problemdir. Yarışmalarda yerdeki bir hedefi bulma, üzerine gelip belirli bir cm yüksekliğe kadar otonom olarak yaklaşma gibi koşullar bulunmaktadır. Bu hedeflerde alt kamera kullanılacaktır ve Canny Algoritması ile hedefin kenarlarını tespit etmek, hedefi belirlemek için yeterli olacaktır (Eriksen ve ark., 2001).

2) Yanaşıp içine girilecek hedefler: Şekildeki gibi yarısı kapalı yarısı açık bir dolaba girebilmesi için aracın ön kamera görüntüsünü yine bir kenar bulma algoritmasıyla tespit etmesi gerekir. Daha sonra eşiklenmiş bölütlemeyle görüntünün dolu ve boş kısımları ayırt edilir.



Şekil 6. Araç ve hedefin temsili görüntüsü ve 8 bitlik nicemlenmiş bir görüntünün eşiklenmesi.

3) Ortadaki bir hedefin tespiti: Örnek olarak, bir yarışmada misinaya bağlanmış, suyun derinlik olarak ortasında duran turuncu renkli yuvarlak bir dubanın tespiti ve yanına gidilmesi istenmiştir. Bu gibi hedefler için 2 farklı algoritma hazırlanabilir. Kenar bulma algoritmasıyla daire şeklindeki hedeflerin tespiti veya renk filtresiyle istenilen renkteki dubanın tespiti yapılabilir.

Duvar İzleme

Duvar izleme, gerek endüstride gerekse askeri uygulamalarda sık sık karşılaşılan bir problemdir. Sonar düzenli olarak 180°'lik bir bölgeyi tarayarak oluşturduğu mesafe vektörü içinde en kısa değeri bulacaktır. Bu mesafenin istenen değerde kalması için pupa motoru ve yatay motorlardan ilgili olanı birlikte çalıştırılarak mesafe korunur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Dinamik Modelleme: Kocaeli Üniversitesi SA Lucky Fin

Bir aracın dinamik modelinin çıkarılabilmesi araca 3 ekseninde etki eden kuvvet ve momentleri belirlemek gerekir. Kuvvet ve momentler, deneysel testler veya akışkanlar dinamiği programları aracılığıyla bulunabilir. Sualtı araç hidrodinamiğini belirlemeye yönelik deneysel çalışmalar, araştırma ve geliştirmede zaman kaybına neden olan uzun geliştirme süreleri gerektirir. Bu nedenle araştırma ve geliştirmede bilgisayarların ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarının kullanımına ihtiyaç duyulur. Bir aracın hidrodinamik davranışı akışkan dinamiği görüntüleme ve benzetim programları ile çıkarılabilir (Satria ve ark., 2019). LUCKY FIN, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Bölümü tarafından gerçekleştirilen dört serbestlik dereceli bir sualtı aracıdır (Yılmaz,2012). Araç iki dikey, iki yatay motor tarafından sürülmektedir (Şekil.7).

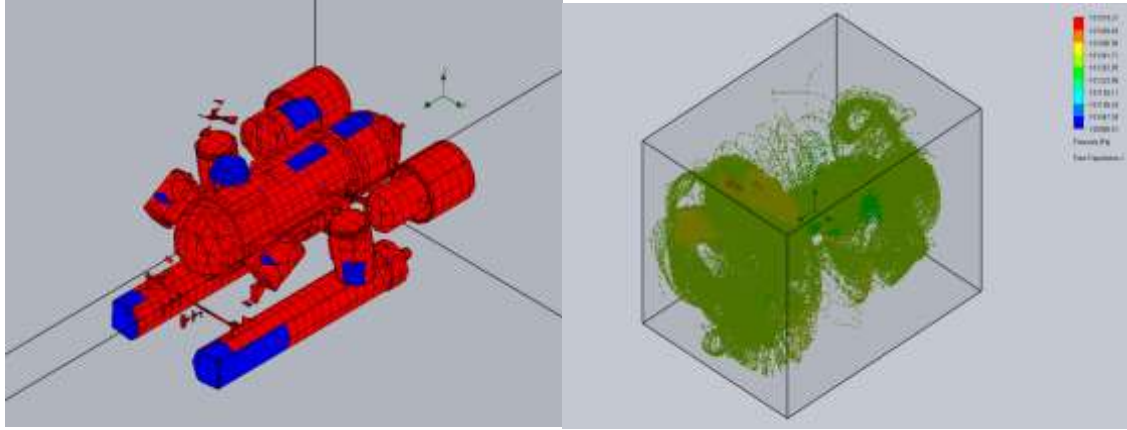


Şekil.7. KOÜ Lucky Fin SA (Yılmaz,2012)

Aracın yalpa (roll) ve rota (yaw) moment katsayıları, dinamik modelin belirlenmesi gereken önemli iki parametresidir. Yalpa momenti (M_R) denklemi, Denklem.1'de verilmiştir. Aracın sağ ve sol taraflarına etki eden düşey kuvvetler eşit olmadığına y_c mesafesinde M_R momenti aracı hidrodinamik yan kuvvet olarak bir yöne yatırır. Diğer katsayılar bulunabilir sabit değerlerdir. C_{MR} ise birimsiz yalpa momenti katsayısıdır. Deneysel olarak veya HAD yöntemleri ile elde edilebilir (Söylemez, 2015).

$$M_R = F_y y_c = q A L C_{MR} \quad (1)$$

Benzer şekilde, rota momenti (M_Y) denklemi, Denklem.2’de verilmiştir. Yanal akışların aracın önünü ve arkasını farklı kuvvetler ile etkilediği durumlarda oluşan hidrodinamik rota momenti M_Y , x_c mesafesinde etki eden yan kuvvetten kaynaklanmaktadır. C_{MY} , birimsizdir ve bulunması gereken rota moment katsayısıdır (Eng ve ark.,2009).



Şekil.8. (a) Lucky Fin CAD modelinin Solidworks’te mesh’lere ayrılmış ağ modeli (Yılmaz, 2020)

(b) HAD analizi yoluyla sıvı akışının Lucky Fin üzerindeki görünümü ve basınç dağılımları

$$M_Y = F_y x_c = q A L C_{MY} \quad (2)$$

Aracın 3 boyutlu CAD çizimi hazırlanır (Yılmaz ve Kılıcı, 2020). CAD çizimi, Solidworks Paket programının altında çalışan Flow Simulation HAD analiz yazılımında açılır (Şekil.8) ve akışkan içinde benzetim testleri yapılır (Şekil.9): HAD yazılımı, çalışılacak çerçeveyi oluşturur ve bu çerçeve içine bir mesh ağı tasarlanır. Bir CFD kodu akışkanın belirleyici Navier-Stokes denklemlerini (akışkanların tanımını yapan temel üçüncü derece denklemlerdir) ağın içindeki tüm hücrelere uyarlar. Flow Simulation programı bize dinamik modelde gerekli olacak, araca ait kritik C_{MR} ve C_{MY} katsayılarını verir (Tablo.1).

Tablo.1. 4 serbestlik dereceli Lucky Fin SA’nın yalpa ve rota katsayıları (Yılmaz, 2020).

Hareket Katsayıları	C_{MR}	C_{MY}
HAD Hesaplama Sonuçları	-0.0046	-0.052

Örnek Benzetim Uygulaması:

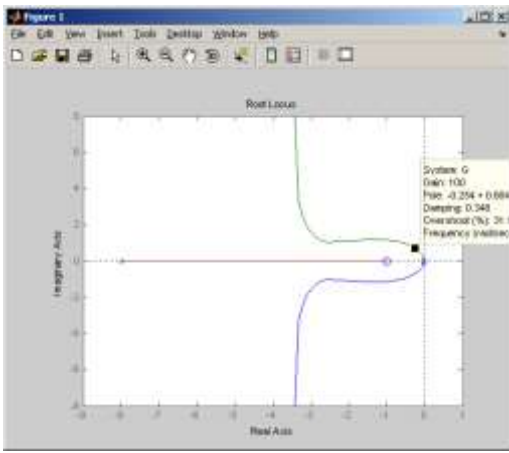
Şekil 9’da K, a ve b değişkenleri kontrol parametreleri, J ise aracın sudaki eylemsizlik momenti olmak üzere bir sualtı aracı (SA)’nda derinliği denetleyen kontrol sisteminin blok şeması verilmiştir.



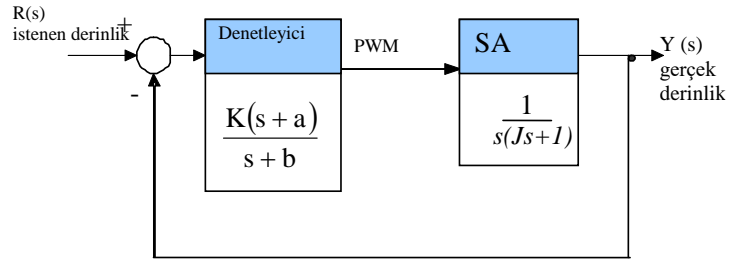
Lucky Fin SA

KOÜ. Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü

$$GD(s) = K \frac{(s+a)}{s+b} : \text{denetleyici}, G_A(s) = \frac{1}{Js^2 + s} : \text{SA}$$



Sualtı Aracı karakteristik köklerinin kazançla bağlı geometrik yerleri

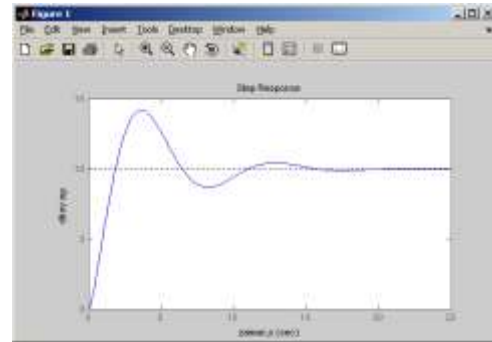


Sualtı Aracının düşey eksende kontrol sistemi

```

Editor - C:\Documents and Settings\Administratör\Belgelerim\...
File Edit Text Go Call Tools Debug Desktop Window Help
1 R=100; a=1; b=8; J=25;
2 GD=tf([1 a],[1 b]); GA=tf([1],[J 1 0]);
3 G=series(GD, GA); T=feedback(K*G,[1]);
4 step(10*T)
5 xlabel(' zaman')
6 ylabel(' Derinlik ')
7 rlocus(G)
Matlab kodları
script Ln 7 Col 11

```



Kontrol sisteminin basamak yanıtı

Şekil 9. OSA derinlik kontrolü için örnek benzetim uygulaması

Program, blokları indirger ve 10°'lik basamak girişine verilen yanıtının gösterilmiştir. Eylemsizlik momentinin nominal değerinin $J=25$, kontrol parametre değerlerinin ise sırasıyla $K=100$, $a=1$, $b=8$. Şekil 7'deki örnekte aracın dinamiği doğrusal alınmıştır. Bir kutup ve bir sıfırdan oluşan denetleyici ile kapalı çevrim denetim döngüsü oluşturulmuştur. En büyük aşım ve yükselme zamanını düşük tutacak şekilde uygun bir kazanç seçilmiştir. Aracın basamak yanıtı kabul edilebilir sınırlar içinde (En büyük aşım: %40, Kalıcı durum hatası: 0, Yükselme zamanı: 2sn) çıkmıştır.

SONUÇ

İnsansız sualtı araçları çalışma prensibi açısından; uzaktan kumandalı ve otonom olmak üzere ikiye ayrılır. Otonom araçların tasarımlarında kullanılacak yöntemler, elektronik ve mekanik ekipmanlar, güç yönetimi, analiz, benzetim ve tasarım yazılımları ve bunlar arasındaki ilişkiler aracın başarımını doğrudan etkilemektedir. Aracın görevi verilen bir sıra içinde yapması, istenilen yörüngeyi takip edebilmesi otonomluğun en önemli ölçütlerinden birisidir. Bu da algılayıcıların doğru seçimini ve yazılımla doğru ilişkilendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada; otonom araçların tasarımı ile ilgili yapılan birçok çalışmanın ortak yanları incelenmiştir. Kocaeli Üniversitesi'nde geliştirilen SA Lucky Fin'e ait dinamik parametrelerin elde edilmesine yönelik akışkan analizi açıklanmıştır. Yalpa katsayısı -0.0046, rota katsayısı -0.052 bulunmuştur. Denetleyici tasarımıyla ilgili temel bir benzetim örneği verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada insansız araç tasarımı ve otonomi konularına ilgi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, sualtı aracı tasarımına ilgi duyan araştırmacıların başlangıç seviyesinde ihtiyaç

duyabilecekleri genel kavramların çerçevesi çizilmeye çalışılmış ve bu konuda Türkçe kaynakların artmasına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Bo H, Ke Y, Bingsen L, Chunyun R, Jing L, 2009. Design and Reliability Analysis of Data Logging and Management System for AUV, WASE International Conference on Information Engineering, Vol.1, s. 75-78, Taiyuan
- Casele P R, Strong G T, Holland Smith D J, Bown K J, Madahar B K, 2012. Emerging Technologies with the Potential to Impact Safety in Defence, 7th IET International Conference on System Safety, incorporating the Cyber Security Conference, s 1-9, Edinburg.
- Çubukçu A, Kuncan M, Kaplan K, & Ertunc, HM 2015. Development of a voice-controlled home automation using Zigbee module, 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE 1801-1804.
- Doğan H, Kaplan K, Kuncan M & Ertunç HM, 2015. Araç Süspansiyon Sistemi Kontrolüne PID ve Bulanık Mantık Yaklaşımları - PID and Fuzzy Logic Approach to Vehicle Suspension System Control, TOK 2015, Denizli; Türkiye, 699-704.
- Dumlu D, Istefanopulos Y, 1995. Design of an Adaptive Controller for Submersibles via Multimodel Gain Scheduling, Ocean Engng, Vol. 22, No. 6, pp. 593-614.
- Eng Y H, Lau W S, Low E, Seet G G L and Chin C S, 2009. Estimation of The Hydrodynamic Coefficients of an ROV using Free Decay Pendulum Motion, Engineering Letters, 3rd Edition.
- Ergan A F, 2014. Sualtı Deney Platformu için Donanım ve Kullanıcı Arayüzünün Tasarlanarak Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Eriksen C C, Osse T J, Light R D, Wen T, Lehman T W, Sabin P L, Ballard J W, Chiodi A M, 2001. Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research. IEEE Journal of Oceanic Engineering, VOL. 26, NO. 4, 424-435.
- Ferri G, Ferreira F, Djapic V, 2015. Boosting the Talent of New Generations of Marine Engineers Through Robotics Competitions in Realistic Environments: the SAUC-E and EuRathlon Experience, Oceans, s.1-6,. Genova.
- Ferri G, Ferreira F, Djapic V, 2017 Multi-domain robotics competitions: The CMRE experience from SAUC-E to the European Robotics League Emergency Robots, , s.1-7,. Aberdeen
- Hansen R K, 1993. An Acoustic Camera for 3D Underwater Imaging. IEE Acoustic Sensing and Imaging, Conference Publication No: 369, 99-102.
- Harsdorf S, Janssen M, Reuter R, Wachowicz B, Willkomm R, 1998. Lidar as part of an ROV-based Sensor Network for Detection of Chemical Pollutants on the Seafloor. IEEE 1250-1253.
- Jiang M, Xu K, Xu X, Shi L, Yu X, Liu P, 2019. Range Noise Level Estimation of HY-2b Radar Altimeter and Its Comparison With Jason-2 And Jason-3 Altimeters, IGARSS - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, s. 8312-8315, Yokohama.
- Karakoç H, Erin K, Çağırın R, Kuncan M, Kaplan K & Ertunç H M, 2015. Uçak yükseklik kontrolünde PD kontrolör ve bulanık mantık kontrolör performans karşılaştırması- The Performance Comparison of PD Controller and Fuzzy Logic Controller for the Aircraft Height Control, TOK 2015, 10-12 Eylül 2015, Denizli; Türkiye, 1020-1026.
- Lindsay J A, Coles B, Babb I, Tomey D, 1998. Acoustical/Optical Technology Integration with a Manned Submersible and a ROV for the Investigation of a Radioactive Materials Disposal Site and a Sewage Diffuser Outfall. IEEE 395-400.

- Poupart M, Benefice P, Plutarque M, 2000. Subaquatic Inspections of EDF (Electricite de France) Dams. IEEE 939-942.
- Raju S S, Swamy G N, Bharath Y and Nandini, C H N, 2020, Simulation and Performance Analysis of Autonomous Underwater Vehicle using Advanced Control Algorithms, International Conference on Communication and Signal Processing, July 28 - 30, 2020, India, 905-909
- Ribas D, Palomeras N, Ridao P, Carreras M, Hernandez E, 2007. CTINEUAUV Wins the First SAUC-E Competition, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma,s.10-14.
- Shi X, Xiong H, Wnag C, Chang Z, 2005. A New Model of Fuzzy CMAC Network with Application to the Motion Control of AUV. Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2173-2178.
- Satria D, Wiryadinata R, Esiswitoyo D P A, Adji M I, Rosyadi I, Listijorini E, Sunardi, 2019. Hydrodynamic Analysis of Remotely Operated Vehicle (ROV) Observation Class using CFD, The International Conference on Aerospace and Aviation, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng, 645
- Söylemez I, 2015. The Importance Of Aerodynamic Design in Vehicles and Analysis With Ansys Fluent, Karadeniz Technical University, Mechanical Engineering Department Graduation Study, Turkey
- Wang J S, Lee C G, 2003. Self-Adaptive Recurrent Neuro-Fuzzy Control of an Autonomous Unerwater Vehicle. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 19/2, 283-295.
- Yılmaz S, 2012. Derinlik Ve Yön Kontrol Uygulamaları İçin Deney Platformu Tasarımı, Tübitak 1002 Projesi, Proje No:111e294, Süre:12 Ay, Yürütücü: Serhat YILMAZ.
- Yılmaz S, Kılıcı S B, Dört Serbestlik Dereceli Bir İnsansız Sualtı Aracının 3 Boyutlu Bilgisayar Benzetimi, 2020. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10/2, 888 – 899.
- Yılmaz G, 4 Serbestlik Dereceli Sualtı Aracının Tam Dinamik Modelinin Elde Edilmesi Ve Kontrol Uygulaması,2020. Doktora Tez İzleme Dönem Raporu, Danışman: Serhat YILMAZ, KOÜ FBE, Kocaeli
- Zhang Y, Baggeroer A B, Bellingham J G, 2001. Spectral-Feature Classification of Oceanographic Processes Using an Autonomous Underwater Vehicle. IEEE Jornal of Oceanic Engineering, 26, 726-741.