

DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE İNSANSIZ SUALTI ARAÇLARI (İSAA-AUV & ROV) TASARIM VE UYGULAMALARI

Güray Ali CANLI, İsmail KURTOĞLU, M.Ozan CANLI, Özgür Selman TUNA
İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, 34469 Maslak-İstanbul, Türkiye.
Tel: +90-212-2624015, e-mail: canlig@itu.edu.tr

ÖZET

Bu yazıda; denizcilik sektöründe son yıllarda askeri ve sivil amaçlarla kullanım alanları gittikçe yaygınlaşan insansız su altı araçlarının, kısaca tarihsel gelişimi, teknolojisi, faydaları, mevcut ve gelecekte muhtemel kullanım alanları ile birlikte ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: AUV, ROV, OTONOM, İSAA, UUV

1. Giriş

1.1-Tanımlar

Su altı araştırmaları; günümüzde doğal ve çevresel kaynakların korunması ve incelenmesi, muhtelif inşaat faaliyetleri, kıyı ve ülke güvenliğinin sağlanması gibi farklı ve çeşitli amaçlarla, sivil ve askeri uygulamalarda yürütülmekte olup, özellikle son yirmi yıldır yapılan akademik ve endüstriyel araştırmaların büyük bir kısmı, insan hayatının riske atılmaması amacıyla insansız platformların kullanılması üzerine odaklanmıştır.

Bu alanda yapılan çalışmaları zorlaştıran unsurlar;

- Deniz altındaki tuz ve basınç etkilerinden dolayı malzeme yıpranma olasılığının çok yüksek olması,
- Denizin içindeki dalga hareketlerinin pertürbasyona sebep olarak zorlayıcı bir ortam oluşturması,
- Deniz suyunun elektromanyetik spektrum dâhilinde çok sınırlı bantlarda ve belirli ölçüde geçirgen davranıyor olmasıdır.

Bu nedenle RF haberleşme sorunları, görev için gerekli enerjiyi depolama gücü gibi birtakım fiziksel gerçeklerden ötürü, su altında çalışabilecek araçların kablosuz olarak (otonom) tasarımı bilim insanları için temel zorlanma nedenleridir.

Gerçekten de, söz konusu araçların sistem çözümü ve donanım tasarımlarının yanı sıra haberleşme, seyrisfer, enerji, kontrol ve güdüm çözümlerinin oluşturulması gibi hususların her biri ayrı bir araştırma konusudur.

İSAA'lar temel olarak Kablo Kontrollü ve Kablosuz-Otonom olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Kablo kontrollü olan "ROV (Remote Operating Vehicle)", otonom olan ise "AUV (Autonomous Underwater Vehicle)" olarak adlandırılmaktadır.

ROV, en genel tanımı ile bir operatör tarafından uzaktan kontrol edilerek su altında değişik amaçlara yönelik ve tehlikeli olabilecek bir dizi işlevi yerine getiren bir su altı robotudur. Dolayısıyla bir ROV sistemi; aracın yanı sıra, aracı kontrol eden operatör, operatörün bu kontrolü sağladığı donanımlar, aracı yüzeğe bağlayan kablo ve aracın suya indirilip geri alınmasını sağlayan vinç düzeneklerinden oluşmaktadır.

ROV'lar boyut ve işlev olarak, sadece izleme amaçlı olarak su altı kameraları vasıtasıyla görüntü almaya ve bazı ölçümler yapmaya yönelik, nispeten küçük ve basit araçlar olabileceği gibi, üzerlerinde yer alacak pek çok sensör (kamera, sonar vb.) yardımıyla büyük oranda otonom çalışma yetkinliğine sahip ve robot kollar (manipülatörler) kullanarak oldukça karmaşık işlevleri yerine getiren büyük sistemler de olabilmektedir.

Özellikle İş Sınıfı ROV olarak adlandırılan, aslen insansız su altı iş makineleri olarak düşünülebilecek olan ROV'lar, 250 m ile sınırlı olan insanlı dalışların kısıtlarını ve tehlikelerini bertaraf etmekte, 3000 m'yi aşan derinliklerde çok zor bir takım inşa, bakım/idame görevlerini yerine getirebilmektedir.

Mikro ve Mini ROV olarak adlandırılan ve ağırlıkları 3-15 kg mertebesinde olan ROV'lar ise su altındaki dar dehlizlerde çalışmalar gerçekleştirmek için ekonomik çözüm önerileri sunmaktadır.

AUV'lerin tasarımını ve kullanımını mümkün kılangünümüz teknolojisi, insansız su altı araçlarının, bir çok problem ve işletme zorluğu oluşturan kablo bağlantıları olmaksızın kendi seyir/sefer sistemleri ve güç ünitelerini barındırarak, tamamen bağımsız hareket etmesini sağlamaktadır.

AUV'lerin ROV'lardan en temel ayrıcalığı; AUV'lerin otonom/yarı otonom olmaları ve kendi güç kaynaklarının olması olarak özetlenebilmektedir. Daha önemlisi ise AUV'ler önceden planlanmış rotalarda planlanmış görevi icra edebilecekleri gibi, otonomi seviyelerine göre görev esnasında önceden öngörülememiş durumlar karşısında veya iletişimin olmadığı hallerde de faaliyetlerini sürdürebilecek şekilde tasarlanmış ve donatılmışlardır.

Genelde AUV'ler hidrodinamik bir gövde yapısında (silindir-balık formu) tasarlanıp üretilmektedirler.

Normal denizaltılarda (submarine) dalmak için kullanılan su tankları bu araçlarda yoktur; özellikle AUV'ler dalma işlevini balast tankı yerine motorları ve hareketli kanatlarıyla sağlamaktadır. Ana ilke, cihazın sudan hafif olması ve herhangi bir problem-arıza durumunda kendiliğinden su yüzeyine çıkması şeklinde özetlenebilmektedir.

Temel Kısaltmalar:

- AUV - Autonomous Underwater Vehicle – Otonom Sualtı aracı
- ROV - Remotely Operated Underwater Vehicle - Kablo kumandalı su altı aracı
- İSAA- İnsansız su altı aracı
- PAP ROV - Military Class Remotely Operated Underwater Vehicle

- DCM - Data Communications Module - Haberleşme modülü
- PEM -Hydrogen Fuel Cell - Yakıt Hücresi
- SAM- Su altı Aracı Manipülator sistemi
- UUV-Uzaktan kumandalı sualtı aracı
- Manipülator - Su altında Görev yapmayı sağlayan Robot kol

1.2-Kullanım Yerleri:

İSAA'lar günümüzde yaygın olarak askeri ve sivil alanda kullanılmakta olup, sivil kullanım alanları:

- Arama, kurtarma
- Sualtı boru ve kablo döşenmesi ve kontrolleri
- Köprü ayağı kontrolleri
- Su altı durum farkındalığı sağlama
- Su altı inşaat ve bakım/onarım
- Su altı örnek toplama
- Batık kurtarmak
- Sualtı naaş ve delil çıkartma
- Çevresel araştırmalar, çevre kirliliği
- Oşinografik araştırmalar, biyoçeşitlilik çalışmaları
- Batık objelerin araştırılması (gemi, batıklar, uçaklar vb.)
- Sualtı güç istasyonları, hidroelektrik ve nükleer santraller
- Su rezervuarları, baraj kapakları ve su setleri incelemeleri
- Su altı boru hattı kaynak incelenmesi
- Balık, yengeç ve su yüzeyi araştırmaları
- Zebra midyeleri ve temizlenmesi
- Arkeoloji çalışmaları
- Sualtı haritalama ve doğrulama
- Belgesel çekimi
- Su parkları
- Korozyon ve katodik ölçümler
- Sualtı olay yeri inceleme
- Gemi teknesi, pervanesi ve yönlendirme ekipmanı incelemesi
- Dalgıç gözlemlene ve destek elemanı olarak görev icrası

şeklinde sıralanabilmektedir.

Askeri alanda ise; manipülator sistemleri, sualtı keşif ve gözetleme, liman ve kritik alan güvenliği, mayın tani, teşhis ve imha, anti denizaltı harbi, filo eskortu, denizaltı kurtarma, batık çalışmaları gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.

Minyatür araçlar genellikle sualtı keşif ve gözlem operasyonları amaçlı olup, su altında, petrol ve boru hatlarında üzerinde herhangi bir kaçak/çatlak/kırık kontrolünde kullanılmaktadır. Tersaneler tarafından ise "Gemilerin altında herhangi bir arıza ve/veya yosunlama var mı?" diye bakılmaktadır. Ayrıca baraj kapaklarının incelenmesinde de kullanılmaktadır. Emniyet birimleri tarafından ise ceset ve kanıt araştırma faaliyetlerinde yararlanılmaktadır. Bilim adamları ise bu minyatür araçları, sualtından örnek toplama, gözlem yapma amaçlı kullanılmaktadır.

Oldukça yoğun kullanılan yerlerden biri de balık çiftlikleridir ki, çiftlikteki ağların yırtılıp yırtılmadığını kontrol etmek için kullanımı çok önem taşımaktadır. Çünkü her gün düzenli olarak dalgıç indirilmesi gerekmektedir, dalgıç yerine kötü, soğuk havalarda bu tür ürünleri kullanmak ciddi bir alternatiftir.

Özellikle oşinografik çözümlerler, bilhassa küresel ısınma etkilerinin incelenmesi nedeniyle son yıllarda hayli geniş kitlelere hitap eden bir konu olmakta; dolayısıyla AUV uygulamaları içerisinde en büyük yüzdeyi teşkil etmektedir.

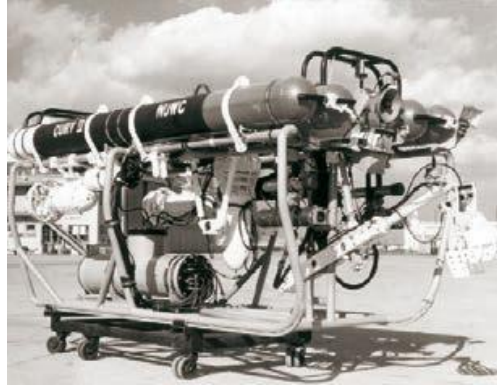
1.3-İnsansız Su Altı Araçlarının Tarihçesi:

İnsansız su altı araçlarının tarihte ilk olarak kim tarafından geliştirildiğine dair kabul görmüş bilgiler bulunmasa da, kayıtlara geçen en eski iki örnekten birincisi PUV (Programmed Underwater Vehicle) adı ile Avusturya'da 1864'te Luppis-Whitehead Automobile tarafından geliştirilmiş olan torpido şeklindeki bir uzaktan kumandalı su altı aracıdır.

Bugün yaygın olan forma daha yakın olan ilk uzaktan kumandalı su altı aracı ise 1953'te Dimitri Rebikoff tarafından tasarlanan Poodle isimli araçtır. İnsansız su altı aracı geliştirme çalışmalarındaki ilk ciddi ilerlemeler ise Britanya Kraliyet Donanması ve ABD Donanması tarafından gerçekleştirilmiştir. Otonomi özellikleri olmayan, uzaktan kumandalı su altı aracı olarak sınıflandırılabilen bu araçlar ilk yıllarda genelde mayın ve patlayıcı imha ve temizleme amacıyla kullanılmıştır. ABD Donanması 1957'den beri bu araçları belli bir programla geliştirmeye başlamış olup, 1970 yılından itibaren sınırlı sayıda da olsa envantere almıştır. Önceleri okyanus dibinin haritasının çıkarılması ve deniz mayınlarının yerlerinin tespit edilmesinde kullanıldığı kaydedilmiştir. Roket şeklinde ve uzaktan kumandalı bu araçlar enerji problemi nedeniyle deniz altında uzun süre kalamıyordu. Aynı şekilde uzaktan pilot tarafından kontrol edilen bu denizaltıların, suyun sinyallerin iletişimine izin vermemesi nedeniyle kontrolleri çok zordu. Yine de İran-İrak savaşı esnasında yaygın bir şekilde Hürmüz Boğazı'nda İran tarafından döşenilen mayınların tespiti için kullanılmışlardır.

Britanya Kraliyet Donanması, uzaktan kumandalı su altı araçlarını uzun bir süre tatbikat sonrası deniz altında kalan eğitim torpidolarının temizlenmesi için etkin bir şekilde kullanmıştır.

ABD Donanması'na ait CURV(Cable Controlled Underwater Recovery Vehicle) isimli aracın 1966'da İspanya'nın Palomares kasabası açıklarında gerçekleşen bir uçak kazasının ardından kaybolan atom bombasını deniz altından çıkarması (Resim 1), 1973 yılında İrlanda açıklarında batan denizaltı mürettebatını sadece birkaç dakikalık oksijenleri kaldığında kurtarması, uzaktan kumandalı su altı araçlarının operasyonel anlamda ne kadar faydalı olabileceğine dair en önemli örneklerdir.



Resim 1. CURV-II.

ABD'nin Rhode Island eyaleti açıklarında bir süre önce test edilen insansız denizaltılardan olumlu sonuçlar alınmıştır. Massachusetts'e bağlı Woods Hole'dan denize bırakılan insansız araç kendi başına Newport'a kadar gitmeyi başarmıştır. Cape Cod'tan Newport'a kadar 26 saatlik yolculuğu GPS veya iletişim araçlarına ihtiyaç duymadan kendi başına yapan araç sonuçta Deniz Kuvvetlerinin 2017'de tamamen bağımsız insansız deniz aracı yapmayı planlamasına ve bunları yaygın şekilde envantere sokma kararına sebep olmuştur. Bu denizaltıların diğer insansız hava araçları gibi daha ekonomik olacağı belirtilmiş olup geliştirilen denizaltıların 70 güne kadar suyun dibinde kalabileceği belirtilirken, insansız araçların askeri amaçlar dışında da kullanılması planlanmaktadır.

2. İSAA'ların Genel Özellikleri

Sualtı ortamında yapılan çalışmalar göreceli olarak daha zorlu olmaktadır. Hem ortamın farklılığı ve değişkenliği, hem de bozucu etkilere daha açık oluşu, haberleşme zorlukları, basınç gibi problemler İSAA'ların temel özelliklerini belirlemektedir.

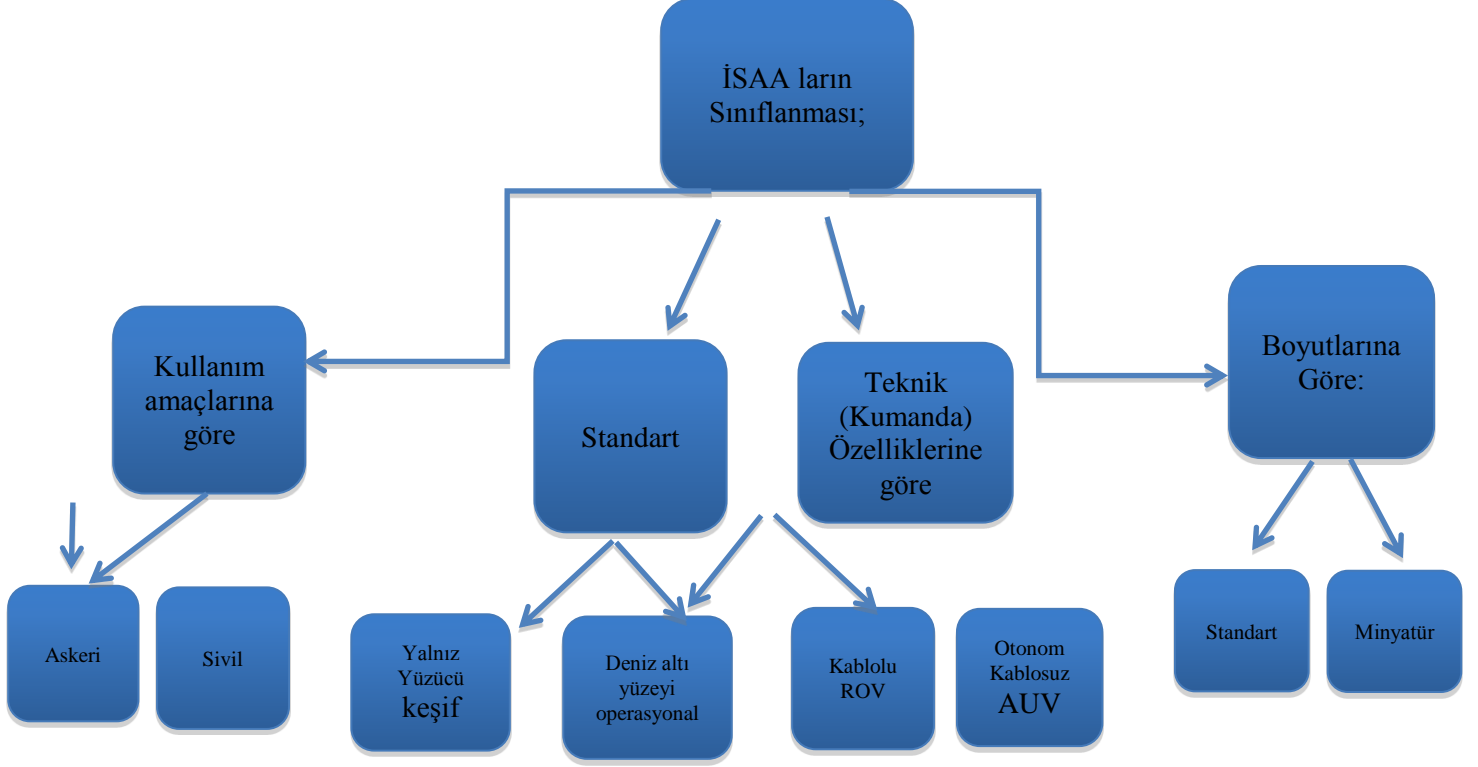
İSAA'ların genel özellikleri ROV'lar için farklı AUV'ler için ise farklıdır. Bu yazıda iki grup ürün birlikte değerlendirilecek ve gerekli kısımlarda farklar açıklanacaktır.

2.1 Çeşitleri:

İSAA lar muhtelif çeşitlerde yapılmakta olup bunları kullanım amaçlarına, otonomi/kumanda özelliklerine, boyutlarına ve görevlerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

2.1-Çeşitleri:

ŞEMA-1



2.2 Teknoloji, Modelleme, Navigasyon ve Problemler

2.2.1-Teknoloji

İSAA'ların geçmişteki temel teknolojik problemlerinin;

- Enerji (özellikle AUV'lerde)
- Navigasyon doğruluğu ve otonom çalışma
- Haberleşme (AUV'lerde)
- Yüksek derinlik

Şeklinde olduğu bilinmektedir.

Günümüzde bulanık kontrol ve yapay sinir ağları tekniklerinin bir araya getirilmesi gibi karmaşık birtakım kontrol teknikleri AUV'lerde uygulanabilmektedir. Yeni geliştirilen enerji kaynakları (yakıt pili gibi) ve batarya teknolojileri, gelişmiş haberleşme teknikleri ve kompozit malzeme teknolojileriyle ilgili problemler büyük ölçüde giderilebilmektedir.

2.2.2-Modelleme

İSAA'lar pahalı araçlar olup, zor şartlarda ve problemlili ortamlarda kullanılmaktadırlar. Bu nedenle kablolu veya kablosuz olsun, kontrollerinin mükemmel olması gerekmektedir. Bu sebeple, öncelikletasarım için doğru bir modelleme üzerinde doğru şartları tespit edip, doğru davranış fonksiyonlarını tanımlamak ve oluşturmak gerekmektedir. Yapılan tespit ve istenen misyona göre İSAA'ların navigasyon ve kontrol modellemelerinin, en az aşağıdaki fonksiyonları sağlaması gerekmektedir:

- a. İstikamet koruma
- b. Sabit derinlik
- c. Sabit yükseklik (deniz tabanına göreceli)
- d. Engelden sakınma
- e. Belirlenen noktada durma
- f. Gürültü ve harici faktör bastırma
- g. Acil durumlarda kendini kurtarma

İstikamet koruma; birçok farklı İSAA görevinde olmazsa olmaz bir fonksiyondur. Sabit derinlik fonksiyonu; mayın temizleme görevlerinde; sabit yükseklik fonksiyonu ise; deniz tabanına yakın görevlerde (örneğin boru hattı, fiber kablo hattı vb. döşeme veya bakım/idame görevlerinde) önem kazanmaktadır.

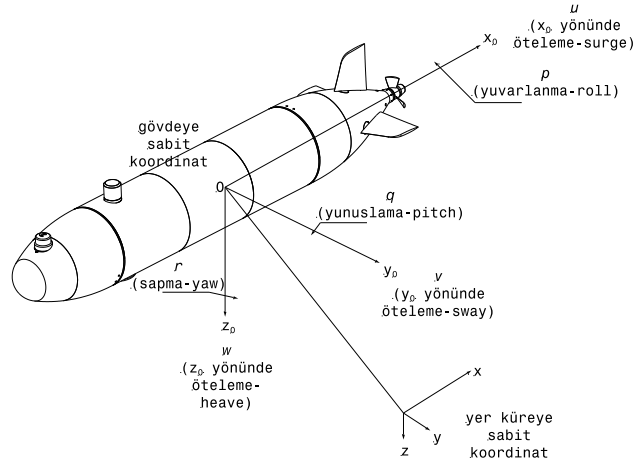
Engelden sakınma; özellikle sığ sularda gerçekleştirilen görevlerde (örneğin sahil güvenlik, liman koruma vb.) gerekli ve önemli bir özelliktir. Zira seyir esnasında seyrüsefer sensörlerini yanıltan harici faktörler arasında, deniz tabanındaki bitki örtüsü örnek verilebilir.

Saptanan noktada asılı kalarak durma; özellikle arama-keşif –inceleme görevi için, gürültü ve harici faktör bastırma özelliği ise; dış etkilerin sensör ve görüntülerde yarattığı, bozucu/yanıltıcı etkileri yok etmesi, acil durumlarda ise cihazın kendini kurtarması-su yüzüne çıkması ve sahip olduğu "beacon" sinyalini açarak dost unsurlarca kısa zamanda bulunup kurtarılmasını sağlaması bekaa kabiliyeti (survive etmek) olarak önemlidir. Acil durumlar olarak ise; merkez ile irtibat kaybetmek, enerjisinin tükenmesi, kaza yapması, bozulması, takılması veya vurulması gibi durumlar sayılabilmektedir

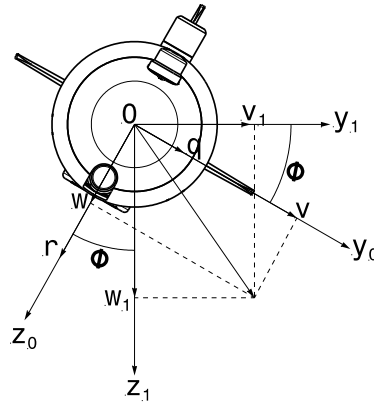
Navigasyon çözümündeki nihai hatalardaki en önemli faktör, sistemde bulunan sensörlerin ölçüm hassasiyetidir. Örneğin, 10 m'lik ölçüm hassasiyeti olan bir pozisyon sensörü kullanılırken 0,1 m'lik ölçüm hassasiyeti sağlanabilmesi teorik olarak asla mümkün olamaz. Ancak yapılan çeşitli çalışmalarda AUV'lerdeki navigasyon hatalarının, sadece sensörlere bağımlı olmayıp aşağıdaki unsurlara da bağımlı olduğu belirlenmiştir:

- Görevde kalma süresi
- Görev profili (yatay ve düşeyde yapılan hareketler)
- Görev hızı
- Görev ortamındaki coğrafi koşullar (derinlik profili, akıntı profili, vb.)
- Görev ortamındaki taktik koşullar (GPS güncellemesi almak için yüzeye çıkma imkânı, akustik ışınma yapma imkânı, Jammer etkileri vb.)

Dolayısıyla, tasarım aşamasında AUV'lere uygun bir navigasyon çözümünün bulunabilmesi ve performansının değerlendirilebilmesi için özellikle performansta önemli etkileri olan araç (hidrodinamik özellikler) ve ortam özellikleri (su sıcaklık ve tuzluluk profili, derinlik profili, akıntı profili vb.) gibi faktörlerin mutlaka modelleniyor olması ve daha sonra da bu modellemeye uygun senaryo bazlı uygun simülasyonlar geliştirilmesi gerekmektedir.

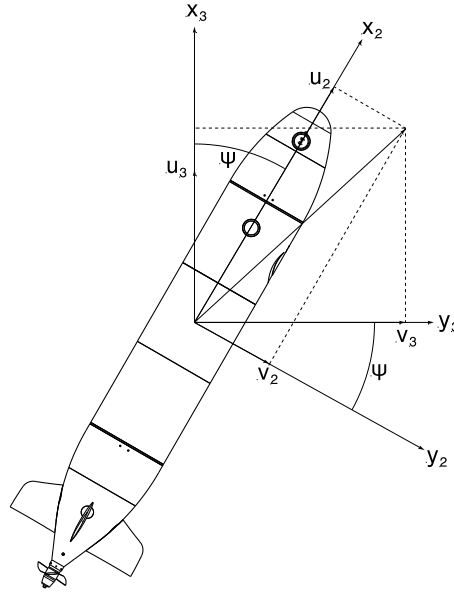


Şekil 1. Konumlamada kullanılan referans eksenler .

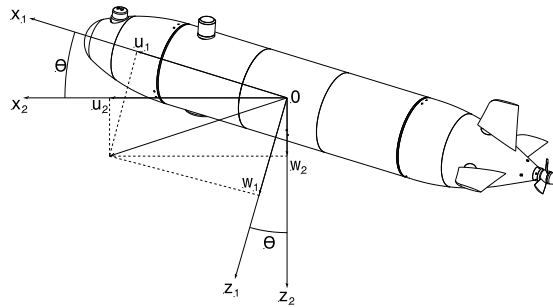


Şekil 2. Gövde(ağırlık merkezi bazlı) y-z eksenindeki vektörel değerler ve açılar.

AUV'lerin görevlerini icra etmesinde bir diğer önemli husus da kontroldür. Su altı araçlarının hareketleri de aynen hava araçları gibi üç boyutlu uzayda, altı serbest değişkenli olarak tanımlanabilmektedir. Yani kontrol edilmesi gereken modelleme matematiksel olarak 6 eksenli bir çift koordinat sistemi üzerinde oluşturulmalıdır. Bir başka deyişle, bir AUV'nin konum ve oryantasyonu, ileri/geri öteleme (surge), sağa/sola öteleme (sway), aşağı/yukarı öteleme (heave), yuvarlanma (roll), sapma (yaw), yunuslama (pitch) bileşenleri ile ifade edilebilmektedir. Seyir esnasında bazı kuvvetlerin gövdedeki ağırlık merkezini baz alan (body-fixed) koordinat sisteminde, bazı kuvvetlerin ise yer küreye sabitlenmiş (Earth-fixed) koordinat sisteminde ifade edilebiliyor olması, İSAA'lerin hareket denklemlerinin türetilmesinde bu iki koordinat sistemi arasında sürekli ileri-geri dönüşümleri zorunlu kılmaktadır.



Şekil 3. Gövde(ağırlık merkezi bazlı) x-v eksenindeki vektörel değerler ve açılar.



Şekil 4. Gövde(ağırlık merkezi bazlı) x-z eksenindeki vektörel değerler ve açılar.

AUV'lerin kontrolü üzerine genelde akademik bazda yapılmakta olan çalışmalar 1980'li yıllarda başlamıştır. Bu konudaki ilk çalışmalarda, problemin basite indirgenmesi için yatay düzlemde yapılan hareketler ile düşeyde yapılan hareketler birbirlerinden ayrılmış ve buna uygun analiz ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde ise 2x6 eksen üzerinde oldukça hassas hesaplar yapılmasını sağlayan SAM(Su Aaltı Manipulasyon) sistemleri geliştirilmiş olup, burada bunlardan birisi örnek olarak aşağıdaki şekilde modellenmiş ve yörünge takip kontrol yöntemi buna göre önerilmiştir:

Sistem, sistemi oluşturan sualtı aracı ve manipülatör uzuvları ayrı ayrı askıda olmamasına rağmen, kendisi askıda kalacak şekilde tasarlanmıştır. Sferoid şekle sahip olan sualtı aracı ile manipülatörün ikinci ve üçüncü uzuvları üzerine etkiyen hidrodinamik kuvvetler, bu uzuvların birbiri üzerindeki gölgeleme etkileriyle birlikte dikkate alınmıştır. Daha küçük olan diğer uzuvlardaki bu etkiler ihmal edilmiştir. Sualtı aracının eyletici dinamiği kontrol sistem tasarımına dahil edilmiştir. Yörünge takip kontrol algoritması manipülatörün uç işlemcisi ve sualtı aracına ayrı görevler tanımlama yoluyla uygulanmıştır. Bu görevler, aracın bulunduğu ilk konumda sabit tutulması ve uç işlemcinin önceden tanımlı rotayı yüksek hassasiyetle takip etmesidir.

Bu şekilde geliştirilmiş olan AUV'lerde dalma ve çıkma hareketi diğer yönlerdeki hareketlerden tamamen bağımsız hale gelmekte, ancak AUV'ye üç boyutlu uzayda her türlü oryantasyonu vermek yine de tam mümkün olamamaktadır. Bu da, belirli görevleri icra edecek AUV'lerde sıkıntı yaratabilecek bir durumdur. Yine ilk dönemlerde yapılan çalışmalarda AUV kontrol problemi, bir takım doğrusallaştırma teknikleri ile basite indirgenerek yaklaşık olarak çözülmüşken, günümüzde bulanık kontrol (Fuzzy-logic) ve yapay sinir ağları (Neural network) tekniklerinin bir araya getirilmesi ile kompleks birçok kontrol tekniği AUV'lerde uygulanabilmekte ve çok daha iyi neticeler alınabilmektedir.

Hareket kontrolünün yanı sıra, otonomi seviyesine göre farklı düzeylerde görev icrası için durum değerlendirmesi yapmaya ve hareket tarzı belirlemeye olanak sağlayan ileri düzey teknikler de artık AUV'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hatta günümüz teknolojisi, birden fazla AUV'nin (gerektiğinde yüzey unsurlarından da destek alarak) koordineli olarak görev icra ettiği "AUV FİLOSU" uygulamalarını da mümkün kılmış, bizlerin de çalışmaları son yıllarda bu yönde yoğunlaşmıştır.

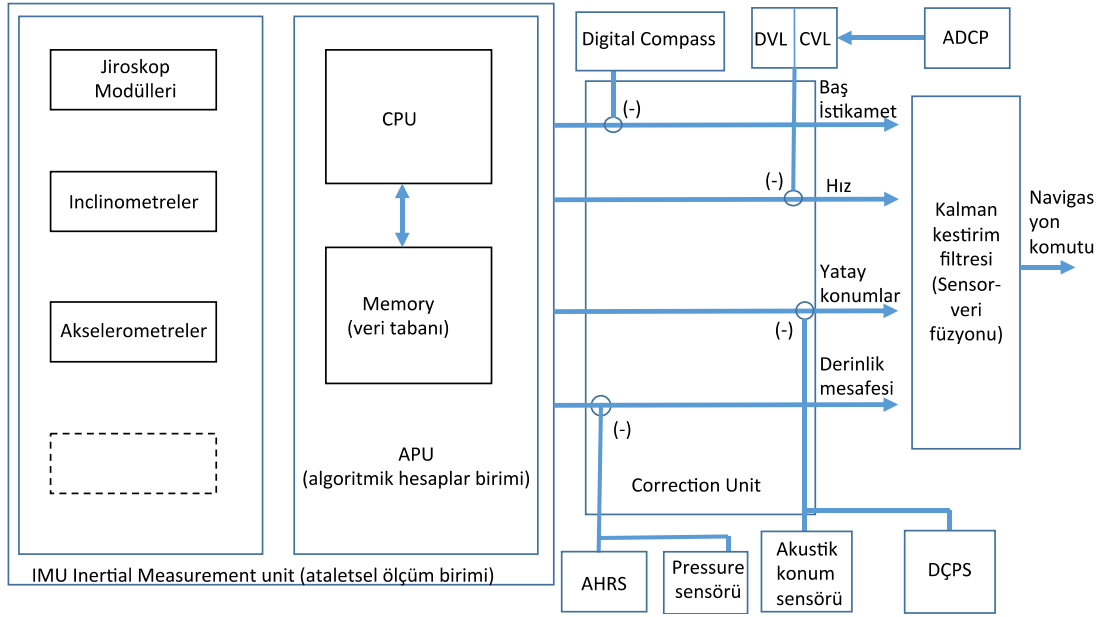
2.2.3- Navigasyon (Seyrüsefer), Kontrol ve Haberleşme Sistemleri:

İSAA'lardaki Haberleşme, Kontrol ve Navigasyon kabiliyetleri, insansız platformların görevlerini başarıyla yerine getirmesinde belki de en önemli önemli unsurlardır. Kara, hava ve su üstünde görev yapan insansız platformlarda seyrüsefer sistemleri, uydu tabanlı konum belirleme teknolojilerini (örneğin GPS) müşterek kullanan jiroskop sistemlerine dayanmaktadır. Ancak deniz suyunun, elektromanyetik spektrum dahilinde sadece akustik ve optik bantlardaki frekanslara belirli ölçüde geçirgen davranıyor olması, İSAA'larda yeni ve farklı yöntemler kullanılması zorunluluğunu doğurmuştur.

ROV'larda navigasyon desteği amaçlı konum bilgilerinin, GPS imkânı olan bir su üstü platformu ile kurulan kablolu bir bağlantı veya akustik bir modem link üzerinden alınması mümkündür. Ancak AUV'ler için konum bilgilerini sağlayacak eşlikçi bir su üstü platformu ve bir veri linki prensip olarak yoktur. Hâlbuki AUV'lerin su altında özellikle askeri uygulamalarında doğruluk ve hassasiyetin çok yüksek olması gerekmektedir.

AUV'lerin navigasyonu için temel teknikleri üç ana başlıkta değerlendirebilmektedir:

1. Ataletsel (inertial) navigasyon
2. Akustik navigasyon
3. Jeofiziksel navigasyon



Şekil 5. INS Ataletsel Navigasyon Sistemi (Inertial Navigation System).

Ataletsel navigasyon, AUV'nin hareketlerinin akselerometreler ve jiroskopik sensörler vasıtasıyla çözülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu kapsamdaki en yaygın iki sistem; INS (Inertial Navigation System) ile AHRS (Attitude Heading Reference System)'dir. Daha yeni ve daha yüksek hassasiyette bir sistem olan AHRS'nin INS'e göre temel farkı, jiroskopik sensörlerden gelen ham verinin ayrıca manyetometreler ile birlikte işlenmesidir. Son yıllarda MEMS teknolojisindeki gelişmeler, düşük maliyetli MEMS tabanlı AHRS sistemlerini yapılabılır kılmıştır.

Piyasada, katı-hal ve MEMS teknolojilerine dayalı farklı AHRS cihazları bulunmaktadır. Söz konusu jiroskopik sensörler, genellikle DVL (Doppler Velocity Log) cihazı ile tümleşik olarak kullanılmakta; bu yöntemle normal kestirim yöntemlerine göre daha yüksek performans elde edilebilmektedir. DVL, deniz tabanına akustik dalgalar göndererek Doppler etkisi yardımıyla hız ölçen bir cihazdır. Dolayısıyla deniz tabanına olan mesafe, DVL ile ölçüm yapılabilmesi için önemli bir faktördür. DVL'lerde çalışma frekansı arttıkça ölçüm hassasiyeti artmaktadır; öte yandan, ölçüm yapabilme mesafesi de azalmaktadır. 600 KHz'de çalışan DVL'lerdeniz tabanına olan mesafenin 90 m'den fazla olması durumunda, 300 KHz'de çalışan DVL'ler ise bu mesafenin 200 m'den fazla olması durumunda ölçüm yapamamaktadır.

Çok derin ortamlarda DVL ölçümü yapabilmek için daha düşük frekans (örneğin 100KHz) tercih edilebilir; ancak bu durumda ölçüm doğruluğu azalacaktır, ayrıca gönderilen dalğanın cevabının alınabilmesi için seyir hızının düşük tutulması gerekecektir. DVL ölçümlerindeki başlıca hata kaynakları; kalibrasyon hataları, çevresel gürültüler, ivme kaynaklı kaymalar (drift) olarak özetlenebilmektedir. DVL'e alternatif bir başka sistem de, ölçüm mesafesi 500 m'ye kadar çıkabilen CVL (Correlated Velocity Log) cihazıdır. Özellikle Arktika ve Antartika civarında AUV'ler ile buz altında yapılan araştırma faaliyetlerinde DVL ve CVL'den kesintisiz olarak ölçüm alabilmek amacıyla, söz konusu cihazların yönünün ters çevrilerek deniz tabanı yerine üstteki buz tabakasına göreceli hız ölçümü alınması, yaygın bir uygulamadır. Doppler etkisi prensibine dayanarak çalışan bir başka cihaz ise ADCP (Acoustic Doppler Current

Profil)'dir. ADCP, bulunulan bölgedeki farklı derinliklerde göreceli akıntı hızını ölçen ve ortamın akıntı profilini çıkaran bir cihaz olup, özellikle okyanuslarda görev yapan AUV'ler de; DVL'in yanı sıra kullanılmaktadır (Şekil 6).

Akustik navigasyon, konum belirleme amacıyla akustik vericilerden gelen işaretlerin kullanılması esasına dayanmaktadır. Hareket alanına bir altyapı kurulması gerektiği için akustik navigasyon ancak kontrollü ortamlarda kullanılabilir. En çok kullanılmakta olan yöntemler, deniz tabanına monte edilmiş ve birbirine uzak mesafede en az iki adet vericinin kullanıldığı LBL (Long Baseline) ve su üstünde bulunan bir platforma yerleştirilmiş GPS destekli bir vericinin kullanıldığı USBL (Ultrashort Baseline) teknikleridir. LBL yönteminde, AUV ile her bir verici arasındaki mesafenin 10 km'nin altında olması durumunda konum ölçümü ve tespiti yapılabilir. Ancak LBL yöntemi, sadece sahil güvenlik uygulamaları gibi sürekli aynı bölgede görev yapılan durumlarda uygulanabilir. Ayrıca deniz tabanındaki vericilerin montajı, kalibrasyonu ve bakım/idamesi gibi hususlar, bu yöntemin uygulanabilirliğini azaltmaktadır.

USBL yönteminde ise, derin sularda AUV ile verici arasındaki mesafenin 4 km'nin altında olması durumunda konum ölçümü ve tespiti yapılabilir. AUV'nin yakınlarında bir su üstü platformu bulunması gerekliliği, USBL yönteminin gizlilik gerektiren görevlerde kullanımını sınırlandırmaktadır. Ayrıca sığ sularda USBL'in etki menzilin 500 m'ye kadar düşüyor olması, yöntemin önemli bir dezavantajıdır. Hem LBL, hem de USBL yöntemleri ile belirlenen konum bilgilerindeki en temel hata kaynakları, ses hızının ortam koşullarına göre değişimi, istenmeyen yansımalar, çok yolluluk etkisi (multipath effect), verici kalibrasyon hataları olarak özetlenebilir.

Jeofiziksel navigasyon ise, konum belirleme işleminin önceden bilinen çevresel koşulların özelliklerin haritalar yardımıyla yapılması veya bu haritaların istatistiksel olarak görev esnasında oluşturulması esasına dayanmaktadır.

Özellikle optik algılayıcılardan (kamera görüntülerinden) alınan verilerin işlenmesi ile gerçekleştirilen jeofiziksel seyrüsefer, bütün yöntemler içerisinde en yüksek hassasiyeti sağlıyor olmasına rağmen, algoritmalarının karmaşıklığı, optik sensörlerin maliyeti, bu sensörlerin derinlerde başarılı olabilmesi için yüksek aydınlatma zorunluluğu ve dolayısıyla enerji sarfıyatı, pahalı maliyet gibi nedenlerden dolayı halen çok kritik askeri uygulamaların dışında yaygın bir yöntem değildir, fakat hızla gelişmektedir.

Yeni nesil AUV'lerde navigasyon çözümlerinde yukarıdaki üç teknikten en az ikisini (genelde ataletsel ve akustik), hatta pahalı çözümlerde üçünü barındıran ve şartlara göre en az ikisini müşterek uygulayan hibrit yöntemler kullanılmaktadır.

AUV'lerin navigasyon uygulamalarında temel prensip, çözülebilen her bir değer en az iki farklı sensör sistemi ile çözülmesi ve farklı çözümlerin birtakım tekniklerle veri füzyonuna tabi tutularak en doğru sonucun alınabilmesi ilkesine dayanmaktadır.

2.3 Ana Parçalar

İSAA'ların ana parçaları şunlardır:

- Gövde
- Mekanik unsurlar
 - Makara-kablo sistemi(ROV'larda)

- Robot Kollar
- Elektronik-Elektrik
 - Kontrol-haberleşme
 - Motorlar, servolar
 - Güç kaynağı
- Yazılım
- Dış Kontrol Ünitesi (ROV'larda, kısmen AUV'de)



Resim 2. Çift pervaneli bir AUV.

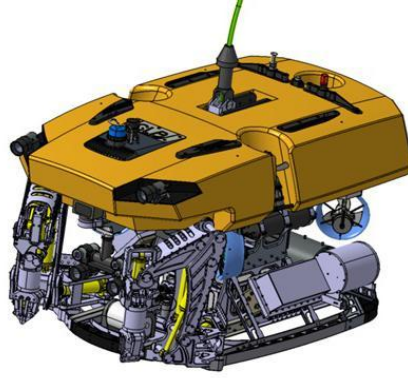
2.3.1-Gövde

Gövde AUV'lerde ROV lara göre daha hidrodinamik formda, genellikle sferoid yapıda şekillenmişken, ROV'larda biçilen göreve uygun herhangi bir yapıda, hatta koruyucu bir kafes-çerçeve içinde bile olabilmektedir.

Aluminyum alaşımlı malzeme ve/veya komposit, bir iskeletin üzerine kaplanmış hedef derinliğe uygun komposit veya alüminyum türevi kabuk yapısı içersinde, hem sızdırmazlık-koruyucu amaçlı hem de acil durumlarda su üstüne çıkabilmesini sağlayan özel poliüretan türevi köpükler basılmaktadır. Özellikle derin deniz uygulamalarında gövdenin eksiz tek parça olması çok önemlidir. AUV'ler deniz yüzeyinde yüzebilecek şekilde tasarlanmış hafif araçlardır. Deniz altına motorlarının tahrik gücü ve kanat etkisiyle inerler yani klasik denizaltılar gibi yanlarında safla olarak kullanılabilen su depoları yoktur. Bunun nedeni arıza halinde veya acil durumlarda (enerjisinin bitmesi vb.gibi) aracın kendiliğinden su yüzeyine çıkabilmesi ve kaybedilmemesi gereksinimidir.

2.3.2-Mekanik Unsurlar

İSAA'larda mekanik unsurlar, araçların denize indirilmesini ve denizden alınmasını sağlayan vinçler dışında yine AUV'lerde ve ROV'larda ayrı ayrı değerlendirilmelidir. AUV'lerde kanatlar, dümen, projektör ve kamera mesnetleri gibi yüzücü formu bozmamak için minimal düzeyde kullanılan mekanik unsurlar, yerini ROV'larda operasyonel kabiliyeti arttırıcı şekilde birçok üniteye bırakmaktadır.



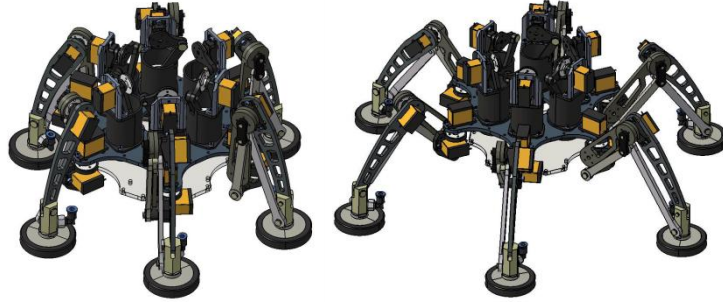
Resim 3. Tipik bir ROV.

-Makara-kablo sistemi: ROV'larda kullanılan bu düzenek bütün ROV sistemleri için en genel haliye gemide veya karada bulunan komuta konsolu, bilgileri, gerekli olan elektriği ve video verilerini aşağıya ve yukarıya aktaran umbilikal (göbekbağı kablosu), kablonun gerilimini ayarlayıp fazla salınmasını engelleyen bu sayede su altındaki akıntılardan aracın ve kabloların minimum etkilenmesini sağlayan tether kontrol sistemi (tether management system) ve operasyonel kabiliyeti olan vinç ve makaralardan oluşmaktadır. Bu sistemlerin kullanılmasının sebebi yüksek güç gereksinimidir. Bu yüksek güç ise çoğunlukla robot kollarının kullanımı için hidrolik sisteminde ve itki sistemlerinin idame ettirilmesinde kullanılmaktadır. Bu elektriksel yükü taşımakla yükümlü olan göbekbağı kablosunun fiziksel kuvvetlerden etkilenmesini engellemek ve gerektiğinde haddinden fazla ağırlığı su altından kurtarmak veya kaldırmak maksadıyla extra korumalarla donatılmıştır.



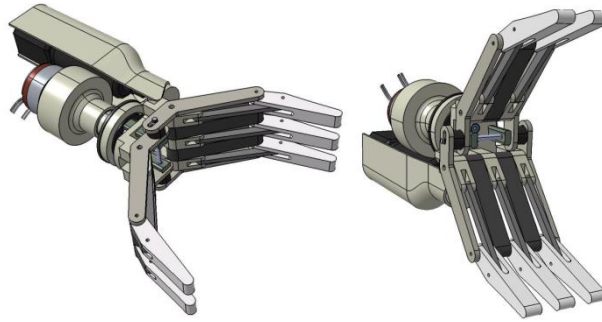
Resim 4. Umbilikal kablo makarası.

-Manipülatör ve Robot Kollar: Mekanik ayaklarla özellikle derin deniz ağır iş amaçlı ROV'lar dip yüzeyde ahtapot gibi tutunarak hareket edebilmektedir. Yüzen bir aracın yüzerken manipülatörlerini kullanması çok zor ve kısıtlıdır, mutlaka sabit bir yüzeye dayanarak güç alması/aktarması gerekmektedir. Mekanik ayaklar, sert-kaya (düzgün-kaygan yüzeyli) yüzeylere tutunabilmesi için vakümlama özellikli olabilmektedir.



Resim 5. Su altı yüzey hareketi.

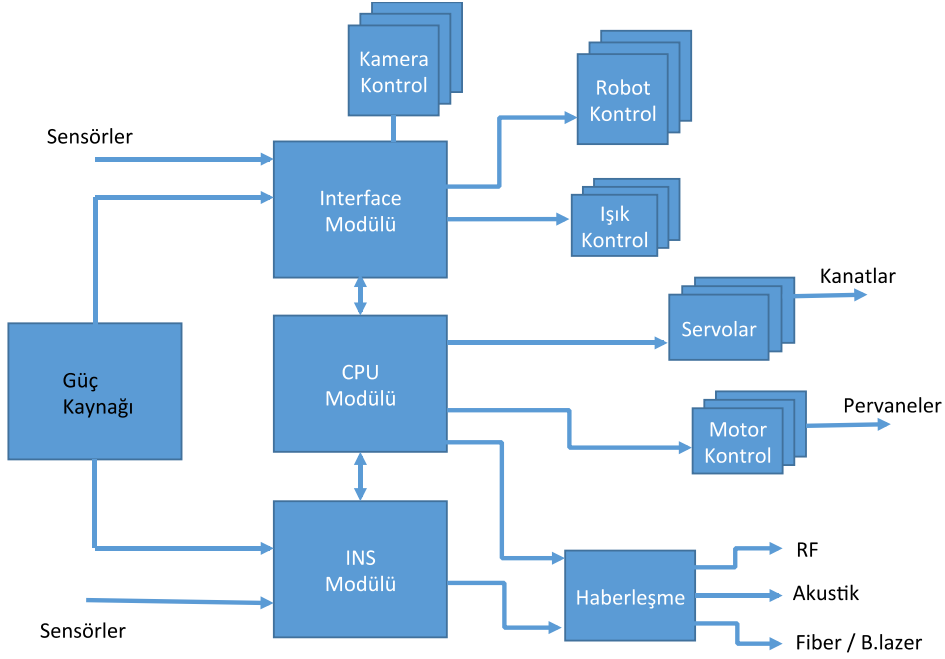
Robot kollar ise; kol en az 3 eksen hareketli olmalı, bilek 350 derece eksen etrafında dönebilmeli, parmak sayısı en az 4 olmalı (toplamda minimum 6 aks kontrol) ve her parmak en az 2 mafsallı (tercihen 3) olmalıdır. Bu mafsallar tam olarak kapanabilmeli, üzerlerindeki yüzey sensörleri yardımıyla tutulan cismin sertliğine ve dayanıklılığına uygun olarak sıkma basıncı ayarlanabilmelidir.



Resim 6. Robot el hareketi.

6 aks robot manipülatör kollar tümüyle derin deniz basıncı ve şartlarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Genelde titanyum tabanlı malzemelerden yapılmış olup gerekli iletişim sağlandığında su yüzünden joystick ile kontrol edilebilmektedir.

2.3.3-Elektronik-Elektrik Donanımlar: -Kontrol,



Şekil 6. Elektronik kontrol sistemi.

Haberleşme: ROV'larla haberleşme kablo üzerinden yapılabilirken AUV'lerde bu mümkün olmadığından farklı yöntemler kullanılmaktadır, şöyle ki; su üstüne atılan mini şamandra ile kablolu kablosuz haberleşme genellikle acil durumlarda kullanılmaktadır. Örnek olarak Haberleşme Modülü, DCM adlı unite (Resim 7) içerisinde bulunan bir makaradan yüzeye gönderilen bir fiber optik kablo üzerinden geniş bantlı data haberleşmesi yapılabilmektedir. Burada kablonun kopmaması için üzerindeki tansiyon bir load cell (yük hücresi) aracılığıyla sürekli ölçülmektedir.

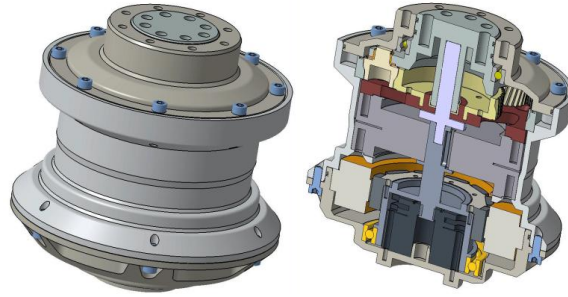


Resim 7. DCM Modülü.

-Sensör ve kullanım unsurları: Çoğu ROV sistemi video kamera ve ışıklarla donatılmıştır. Gerekli durumlarda ise ROV sistemi farklı sensörler ile donatılıp operasyonel kapasitesi artırılabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu sensörler sonarlar (ileri bakış sonarı, yan tarama sonarı), manyetometre, farklı görüş kapasitelerine sahip kameralar (düşük ışık kamerası, kızılötesi kamera vb.), CTD (iletkenlik, sıcaklık ve derinlik), robot kolu ve kesici el, su örneği toplayıcı ve su temizliğini ölçen ekipmanlardır. Bunların kullanım ve kontrolü elektrik-elektronik modüllerle sağlanır.

-Motorlar(Propulsion): Birçok farklı propolsion tekniği kullanılmasına rağmen propolsion thrustersler veya kort nozzlerla sağlanmaktadır. Kort nozzlede pervane sabit (non-rotatif) bir nozzle üzerine konur böylece özellikle 10 knot'un altındaki hızlarda hem verimlilik, hem de seyir-istikamet (yön) stabilitesi artmakta olup kavitasyon daha iyi olur, ayrıca rudderslara da gerek kalmaz.

İSAA'larda thruster olarak çok özel elektrik motorları kullanılmaktadır. Bunlar genelde alimünyum-titanyum casede, çok yüksek torklu (1300Nm @ 160mm dia.), küçük çaplı, az enerji sağlayan, özel yağlama desteğiyle çalışan, sızdırmaz motorlar olup, okyanus derinliklerinde bile çalışabilmektedirler. Fırçalı veya fırçasız olabilmektedirler (değişik parametrelere göre). AUV'lerde genelde 1 veya 2 motor bulunurken, ROV'da dikey ve yatay çalışan en az 4 motor bulunmaktadır.



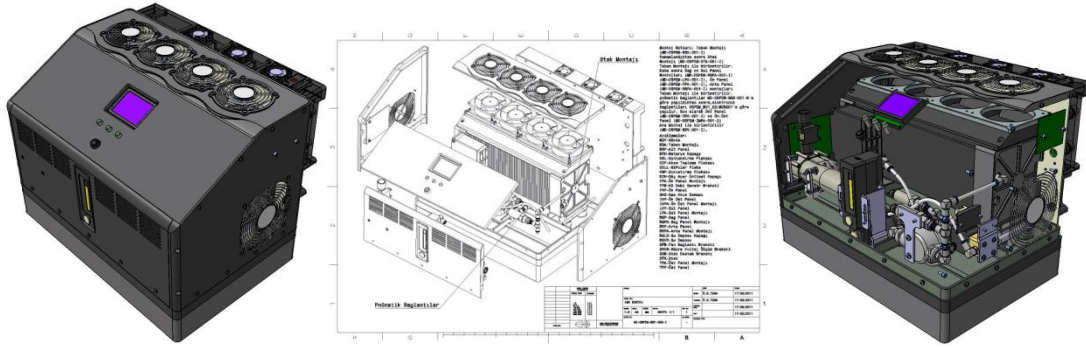
Resim 8. Motorlar.

-Güç Kaynağı:

İSAA'larda günümüzde kullanılan güç kaynakları olarak gelişmiş lityum ion/polimer Ni-Metal hidride bataryaların yanı sıra, gümüş oksit-çinko bataryalar ve PEM-HYP hidrojen yakıt pilleri sayılabilmektedir. Bunlardan lityum ion temelli piller bilinen ve yaygın teknolojilerdir. Diğerleri ise:

1- HYP (Hidrojen Yakıt Pili)

İlk zamanlar Alüminyum tabanlı yarı yakıt hücreleri sadece büyük İSAA'larda kullanılmaktayken, bakım zorluğu ve çevre kirliliği yaratması gibi nedenlerle yeni tip HYP'lere geçilmiştir. Görev süresinin uzun olması istenilen insansız Robot Sistemleri'nde kullanılmak üzere tasarlanıp üretilmiş olan en az 1 KW çıkış gücüne sahip PEM (Proton Exchange Membrane) Hidrojen Yakıt Pilleri, Li-İyon, Li-Polymer, kuru ya da jel tipi akülerden farklı olarak yüksek güç yoğunluğu (Watt/kg) ile operasyon sürelerini dört kata kadar uzatmakta, yakıt (hidrojen) ve oksitleyici (hava ya da oksijen) sağlandığı sürece enerji üretimine devam etmektedir. Enerjinin elde edilebilmesi için gerekli olan hidrojenin küçük hacimli kartuşlarda rahatlıkla depolanabilmesi ve kolaylıkla değiştirilebilir olması, önemli miktarda düşük emisyon üretmesi, sessiz ve modüler bir yapıda olması sayesinde bu tür araçlar için çok tercih edilen bir güç kaynağı olmaktadır. Birim fiyat pahalılığı ve ağırlığı yegâne dezavantajlarını oluşturmakta olup, zaman içerisinde bu yönlerin de iyileşeceği kesindir.



Resim 9 PEM Hidrojen yakıt pilleri.

2- Gümüş Oksit-Çinko Bataryalar

Genellikle acil durumlarda ve/veya back-up amaçlı olarak kullanılmaktadır. Çok kısa zamanda çok çok yüksek güç elde edilebilir. Gümüş-oksit çinko bataryaların en önemli özellikleri yüksek enerji yoğunlukları, yüksek spesifik enerjileri, kanıtlanmış güvenilirlik ile birim hacim ve kütle başına en yüksek güç çıkışına sahip olmalarıdır.

0,5-120 Ah aralığında kapasitelere sahip gümüş-oksit çinko hücreleri, yüksek enerji akım yoğunluğu gereken uygulamalarda örneğin uydularda, askeri uçaklarda, denizaltılarda ve taşınabilir askeri ekipmanlarda kullanılmaktadır. Uzay uygulamalarında bataryalar, yüksek güç gereksinimine ihtiyaç duyulan periyotlarda güneş pillerine destek olmak amacıyla, diğer zamanlarda güneş pillerinin yedekleri olarak görev yapmaktadır. Askeri uçak uygulamalarında acil güç ünitesi ya da uçuş kontrol yüzeylerinin ani devreye girdiği manevralarda ileri güç ünitesi olarak kullanılmaktadır.

Bir hücreden elde edilebilecek enerjinin yeterli olmadığı durumlarda, piller seri ve/veya paralel bir şekilde bağlanarak batarya bloğu oluşturulabilmektedir. Bu şekilde oluşturulmuş gümüş-oksit batarya grupları 300 KW enerjii 10 dakikaya kadar sağlayabilmektedir.(Torpido kullanımı). Gelişmekte olan Trend ise iki farklı enerji kaynağının süper kapasitörlerle kombine edilmesidir. Ayrıca akıllı bir Power management sistemin kullanımı yeni tip İSAA larda artık kaçınılmaz hale gelmiştir.



Resim 10. Gümüş oksit çinko batarya.

2.3.4-Yazılım

Kablo kumandalı (ROV) veya Otonom (AUV); su altı aracının kontrolünü, fonksiyonlarının istenilen şekilde çalıştırılmasını, seyrü seferini, verilen görevleri ifa edebilmesini, haberleşmeyi, acil/olağan dışı durum davranışlarını, enerji kontrolü gibi temel gereksinimlerini yerine getirmesini sağlamaktadır.

Sistem mimarisi gömülü (Embedded) yazılımlar üzerinde ve gerçek zamanlı (Real time) işletim sistemleriyle çalışan, aynı zamanda kritik tüm fonksiyonlarda redundant (yedeklemeli) planlanmış bir yapıda olmalıdır. (Bazı basit nod larda işletim sistemi kullanılmayabilir).

Araca güç sinyali verildiği andan itibaren, aracın su altındaki dengesinden, ortamın modellenmesi, görevlerin planlaması, otonom hareketleri ve eylemleri yürütmesine kadar merkezi bir yazılımsal çekirdek vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Devrelerde PİC, C, ASM türü yazılımlar kullanılabilmesine rağmen, ana çekirdeğin kodu, C# /Java gibi programlama dillerini taban alan Microsoft Robotics benzeri veya daha gelişmiş platformlar yardımıyla yazılabilmektedir. Aracın beyni olarak tanınan bu yazılımın derlenmiş hali, araçta bulunan gömülü bilgisayar kartına/Micro PC ye yüklenip çalıştırılabilmektedir. Ayrıca, gerçek zamanlı görevlerde sistemin zaman gecikmesini minimuma indirmek için gereken yapı, örneğin Windows Embedded veya daha gelişmiş bir çözüm işletim sistemi olarak bilgisayara kurulmalıdır. Aracın farklı çevre birimlerinin eş zamanlı olarak çalışabilmesi ve sistemin en kısa zamanda cevap üretebilmesi, yoğun bir algoritma geliştirme ve haberleştirme mekanizmasını gerekli kılmaktadır. Yazılım çekirdeğinin esas rolü bu konuda ortaya çıkmaktadır. Paralel programlama tekniklerinden faydalanan bir yazılım, bir kaç algoritmayı farklı bir kaç döngü içerisinde eş zamanlı olarak işlemeye tabi tutup, çıktıları gerekli çevre birimlerine iletebilmektedir. Yazılım çekirdeğinin yapı taşları, "servisler" adında kod bloklarından meydana gelmelidir. Her bir servis, belli bir donanım birimini temsil edebilme ve içinde o birimin sanal yapısını barındırmaktadır. Böylece, araçta bulunan her bir birim diğer birimlerle serbestçe haberleşebilir ve birbirlerinin algoritmalarını yürütebilir. Aracın bütün görevleri başarıyla yerine getirmesi için Davranışsal FSM adında veya benzeri bir algoritmadan yararlanılmalıdır. Buna göre, servisler hem birbirleriyle haberleşebilmekte ve hem de aynı anda yürütmesi gereken bir davranışı da kolayca işleme sokabilmektedir. Şayet servisler popüler haberleşme formatı olan XML formatı benzeri haberleştikleri zaman, yazılım çekirdeği farklı bir kaç bilgisayara dağıtılsa bile yerine getirmesi gereken işlemleri başarıyla tamamlayabilmektedir. Bunun anlamı, görüntü işleme çalışması eğer farklı bir bilgisayarda yapılıyorsa, servisler bunu rahatlıkla takip edebilmektedirler ve çalışma mekanizmasıyla birleştirebilmektedirler.

2.3.5-Su Üstü Kontrol

Su üstü kontrol merkezleri gemide ve/veya karada konuşlanmış olup ROV uygulamaları için kesinlikle zaruridir. AUV'lerin yarı otonom modda çalışmaları ve acil durum pozisyonlarında destek olabilmek veya yardım etmek için bu birime gerek vardır.

- Kontrol Odası, operator konsolu (Server+monitörler, kamera kontroller)
- Vinç
- Makara düzeneği
- Haberleşme/role birimleri
- Sensörler (sonar vb)
- Destek sistemleri



Resim 11: Su üstü kontrol odası.

3. Mevcut Durum:

3.1 Dünyadaki Durum

Günümüzde İSAA sadece birkaç ülke tarafından tasarlanıp üretilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, tasarım ve özverilerle, ülkemiz bu ülkeler arasına girmeyi başarmıştır. Bu çalışmalar için cömert kaynaklar sağlayan TSK/SSM'in ve TÜBİTAK'ın payı ve çabası yadsınmaz.

Şu an dünyada özellikle kıyası olan tüm ülkeler kendi İSAA'larını tasarlayıp geliştirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmalar esnasında ülkeler kendi komponentlerini de geliştirmektedir. (Motorlar, sızdırmaz, ileri teknolojik malzeme, yakıt pili, batarya, haberleşme birimleri, basınç altında çalışacak mekanik-robot kollar vb.) Zira bu malzemeler halen stratejik adletilip büyük oranda ülkelerin birbirine satışı kısıtlamalı ve/veya izne tabi tutulmalıdır.

3.1.1-Önemli Güncel Uygulamalar

Giriş bölümünde verilen örnekler dışında dünya bu konuya okyanusta düşen uçakları 6000m derinde bulan ABYSS türü cihazların haberleriyle aşına oldu:



Resim 12. ABYSS, 6000m derine inebilmektedir.

Malezya Havayolları'na ait MH370 sefer sayılı yolcu uçağının Hint Okyanusu'na düştüğü Malezyalı yetkililer tarafından açıklanmıştı. Uzmanlar, uçağın başkent Kuala Lumpur'dan havalandıktan yaklaşık 7,5 ila 8,5 saat uçtuktan sonra düştüğünü tahmin ediyordu. Ancak düşmeden önce uçakta tam olarak neler yaşandığı ve uçağın düşmesine neyin yol açtığı hala belirsizdi. Daha ayrıntılı bilgi elde edilmesi için Okyanus dibindeki enkaz arama çalışmaları AUV'ler tarafından sürdürüldü.

Atlantik'te düşen Air France uçağının enkazı Abyss tipi otonom sualtı arama robotları yardımıyla tespit edilmişti. Bu tür otonom sualtı araçlarından (AUV) dünyada sadece 3 adet bulunuyor. Bunlardan ikisi ABD'nin Boston kentinde bulunan Woods Hole Oşinografi Enstitüsü'ne aittir. Üçüncüsü ise Almanya'nın Kiel kentine bulunan GEOMAR Helmholtz Okyanus Araştırmaları Merkezi'nde bulunmaktadır. Dünyada şu anda bu araçlar dışında deniz seviyesinden 6 bin metre kadar derinliğe inip deniz tabanının birebir haritasını çıkarabilen başka bir araç bulunmamaktadır. Bu otonom sualtı robotları yaklaşık olarak ayakkabı kutusu büyüklüğündeki objeleri bile tespit edebilmektedirler.



Resim 13. Kaiko; JAMSTEC tarafından geliştirildi. Resim 14. Tiburon, USA, MBARI tarafından geliştirildi.

Japon Teknoloji Ajansı'nın (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology-JAMSTEC) geliştirdiği Dolphin ve Kaiko isimli uzaktan kumandalı su altı araçları, Monterey Körfezi Akvaryumu Araştırma Enstitüsü'nün (Monterey Bay Aquarium Research Institute-MBARI) geliştirdiği Tiburon isimli uzaktan kumandalı su altı aracı, Fransız Deniz Araştırmaları Enstitüsü'nün (Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer-IFREMER) geliştirdiği Victor isimli uzaktan kumandalı su altı aracı, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün (Massachusetts Institute of Technology-MIT) geliştirdiği Odyssey isimli otonom su altı aracı ve Woods Hole Oşinografi Enstitüsü'nün (Woods Hole Oceanographic Institution-WHOI) geliştirdiği Nereus isimli uzaktan kumandalı su altı aracı ile ABE isimli otonom su altı aracı gibi insansız su altı araçları, dalış rekorları ve görevde kalış süresi rekorları kırdıkları için kayda değer diğer örneklerdir. Mart 1995'te Kaiko'nun, dünyanın en derin noktası olan Mariana Çukuru'na 10.911 metre, Mayıs 2009'da ise Nereus'un aynı bölgede 10.902 metre derinliğe inmiş olması, söz konusu cihazların yetenekleri hakkında önemli fikirler vermektedir.

Günümüzde İSAA'lar insanların yapamadığı veya yapmasının riskli olduğu her alanda başarıyla kullanılmaktadır. Bunlara okyanus dibi boru-iletişim hatları yapım ve kontrolü, petrol sondajı, arama-kurtarma, mayın arama ve temizleme, iklim denetimi ve çevre kirliliği, ulusal güvenlik, sismik araştırma ve sondaj (deprem fay hatları tespiti), açıkta acil gemi bakım-onarımı gibi birçok konuda örnekler verilebilmektedir.

3.1.2-Gelecek Tasarım ve Hedefler

Gelecekte;

- ROV'lar kontrol, enerji ve haberleşme teknolojileri gelişeceği için yerlerini daha çok AUV'lere bırakacaklardır.
- AUV'ler tek tek olduğu gibi çoklu filolar halinde göreve çıkacak, filodaki her AUV kendine tahsis edilen rolü yerine getirecek, bu şekilde görev süresi kısaltılacak ve başarı yüzdesi çok çok yükseltilecektir.
- Hidrojen yakıt pilleri ve batarya teknolojileri gelişeceği için araçlar çok daha uzun süre denizde kalacaklar ve menzilleri birkaç kat artacaktır.
- Kompozit malzeme ve ileri malzeme teknolojileri gelişeceği için daha derine, 10.000 m' nin altına dalabileceklerdir.
- Çok daha farklı boyurlarda (mikro ölçüde veya dev boyutlu) araçlar gerçekleştirilecektir.
- Askeri uygulamalar için (Sahil muhafaza, saldırı, escort vb.) silahlı olanları servise alınacaktır.
- Teknolojinin gelişmesi ve kullanımın yaygınlaşmasıyla, gerek birim fiyatları gerekse görev idame maliyetleri düşecektir.

3.2 Ülkemizdeki Durum

3.2.1-Tarihçe:

1970'lerde deneysel düzeyde ABD mayın arama gemilerinde kullanılmaya başlayan ROV'lar, ilk olarak 1990'lı yıllarda yurt dışından temin edilerek donanmanın mayın arama filosunda sınırlı sayıda MK serisi olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Resim 15. Türk Deniz Kuvvetleri envanterindeki MK serisi İSAA'lar tatbikatta.

Teminindeki kısıtlar nedeniyle yerli ürün temini arayışı içerisinde olan Dnз.K.K.lığı 1996'da ilk olarak SUTA (Su altı Teknolojileri Araştırma Enstitüsü) ROV'unu incelemiş fakat daha sonra bu konuda Tubitak ile çalışmaya karar vermiştir.

Ülkemizde Yerli İSAA tasarım ve üretimi kamuda TÜBİTAK ve bazı üniversitelerde, özel sektörde ise SSM desteğiyle birkaç firmada başlamıştır.

3.2.2- Bilimsel Kuruluş ve Üniversitelerin Çalışmaları

3.2.2.1-TÜBİTAK Çalışmaları

Ülkemizde bu alandaki ilk ciddi çalışma olarak TÜBİTAK organizasyonu altında yapılan ULİSAR projesini görmekteyiz.

TÜBİTAK desteğiyle Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan Çok Amaçlı Ulusal İnsansız Su Altı Aracı (ULİSAR), 100 m'ye kadar dalması hedeflenmiş olan ve akustik link üzerinden kumanda edilen hafif sıklet bir ROV'dur. 1 Temmuz 2006 - 1 Temmuz 2009 tarihleri arasında devam etmiş olan proje, daha ziyade akademik bazda yürütülmüş olup kavramsal ispat bazında bu konuda Türkiye'deki ilk önemli adımdır.



Resim 16. Prof. Dr. Kemal Leblebicioğlu ve ekibi Ulisar havuz testlerinde.

ULİSAR bir TÜBİTAK-1001 projesi olup, 01.06.2006 tarihinde başlamıştır. Su altı gözleme amacı ile yapılan bir insansız su altı aracı hakkındadır. Temel fikir olarak, su altı aracı ile beraber hareket eden ve su altı aracına fiber kablo ile bağlı bir su üstü aracı olması düşünülmüştür. Su altı ve su üstü araçları aralarında fiber üzerinden haberleşirken, su üstü aracı ile ana gemi arasındaki haberleşme RF üzerinden planlanmıştır. Böylece gerçek zamanlı navigasyon mümkün olacaktır. Mayın tarama görevleri için de kullanılabilmesi için gövde kompozit malzemeden imal edilmiştir. Oldukça kalabalık bir araştırmacı grubu projeye katkıda bulunmuşlardır. Bunların arasında farklı bölümlerden öğretim üyeleri, yüksek lisans ve doktora öğrencileri, şirketler ve mühendis subaylar vardır. Proje bütçesi (bölüm payı dâhil olmak üzere) yaklaşık 462.000 TL'dir.

Proje sonunda istenilen hedeflere tam olarak ulaşılmasa da görüntülü navigasyon yapabilen, üzerinde kameralar, ışıldaklar, sonar, sonar modem, akustik algılayıcılar ve benzeri cihazların yüklü olduğu, ilgili elektronik kartların tasarlanıp hazırlandığı, bu cihazlarla ilgili yazılımların hazırlandığı, kullanıcıya kolaylık sağlayacak şekilde bir operator konsolunun bulunduğu bir sistem ortaya çıkmıştır. Su altı aracının deneme çalışmaları ODTÜ açık ve kapalı havuzlarında

gerçekleştirilmiştir. Deneyle sonuçunda navigasyon ve görüntü bilgileri elde edilmiştir. Araca eklenen her yeni modülden sonra yeni deneyle yapılmaktadır.

TÜBİTAK 1007 programı destekli olan Milli PAP (ROV) Cihazı Geliştirilmesi Projesi ise TÜBİTAK, Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) ve TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü arasında 26 Eylül 2006 tarihinde imzalanan sözleşme ile yürürlüğe girmiştir. Proje kapsamında geliştirilen askeri sınıf ROV, üzerinde birçok farklı sensör taşıyan ve bir robot kolu içeren bir araçtır. 17 Aralık 2007 tarihinde, TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü ile imzalanan ve yürürlüğe giren alt yüklenici sözleşmesi ile projede görev almaya başlayan GATE Elektronik A.Ş. / TR Teknoloji Ltd. Şti. (eski MALERİ Teknik Hizmetler Ltd. Şti.) iş ortaklığı ise, projede ROV modülünün geliştirilmesi, Robot Kolu geliştirilmesi, Silah Sistemi geliştirilmesi, Kablo Sarma Ünitesi geliştirilmesi faaliyetlerinden, bu birimlerin sisteme entegrasyonundan ve bu birimler ile ilgili test faaliyetlerinden sorumludur. Proje şu anda entegrasyon ve test safhasındadır.

3.2.2.2-İTÜ Çalışmaları

İTÜ'de 2000 li yıllarda başlayan çalışmalar, 2008 yılındaki SSM ihalesine katılma ve kazanma sonrası oluşan birikim öğrencilere de taşınmış ve öğrenciler öğretim üeleriyle birlikte üniversiteden destek alarak hazırladıkları projelerle ulusal ve uluslararası yarışmalarda çok başarılı sonuçlar elde etmiştir.

İTÜ AUVTECH

İTÜ'lü öğrencilerin, hocalarıyla beraber kendi kaynaklarıyla geliştirdiği birçok görevi aynı anda yapabilen otonom İTÜ-AUVTECH sualtı aracı 2013 yılında San Diego'da düzenlenen Dünya Otonom Sualtı Aracı Yarışması'nda yarı finalist olmuştur.

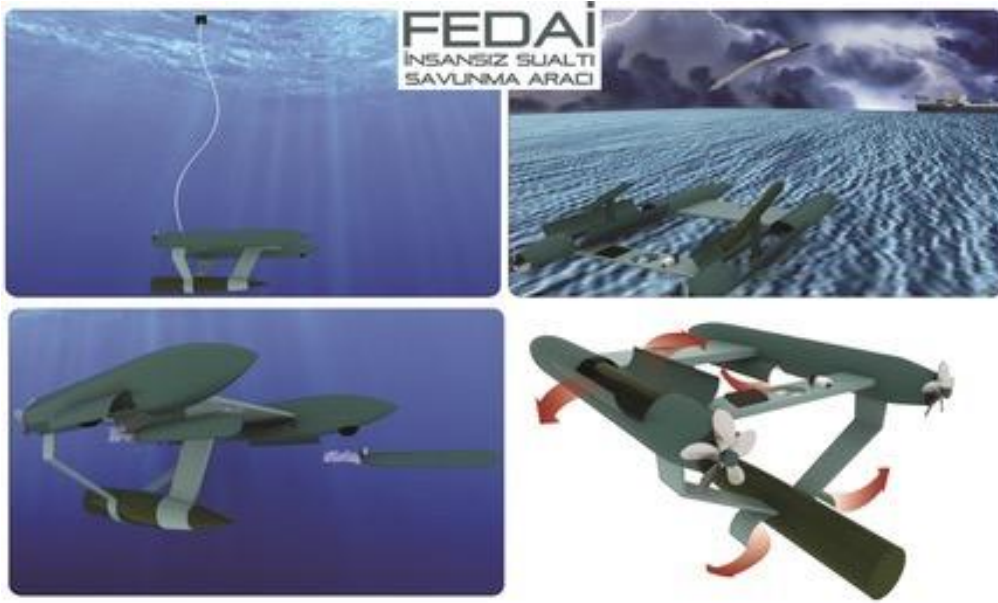


Resim 17 İTÜ Öğrencileri tarafından geliştirilen AUVTECH adlı ROV.

İTÜ FEDAI:

İnsansız Sualtı Savunma Aracı: "Fedai" Projesi, 2012 yılında TMMOB Gemi Mühendisliği kurumu tarafından düzenlenen "Geleceğin Gemi ve Yüzer Yapıları Tasarımı Proje Yarışması 2012" yarışmasında 1.lik elde etmiştir.

Çağatay Sabri KÖKSAL (İTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği), Recep DEMİR (İTÜ Makine Mühendisliği) Samet SAİP (İTÜ Endüstri Ürünleri Tasarımı) M.Çağatay BAHADIR (İTÜ İşletme Mühendisliği) başarılı proje ekibini oluşturmuştur.



Resim 18. İTÜ Öğrencilerinin tasarladığı FEDAI adlı AUV.

Bu çalışmada, ülkenin milli savunma politikası kapsamında olası saldırı senaryoları ve savunma teknolojileri alanındaki gelişmeler göz önüne alınarak geleceğin savunma teknolojilerine yeni bir bakış sağlanması amacıyla savunma, silah ve iletişim teknolojilerinin birbiri ile entegrasyonundan oluşan, uzun menzilli insansız savunma aracı Fedai'nin kavramsal tasarım çalışmasına ve stabilite, yüzebilirlik, güç gereksinimi gibi temel mühendislik hesaplamalarına yer verilmiştir.

3.2.2.3-ODTÜ Çalışmaları

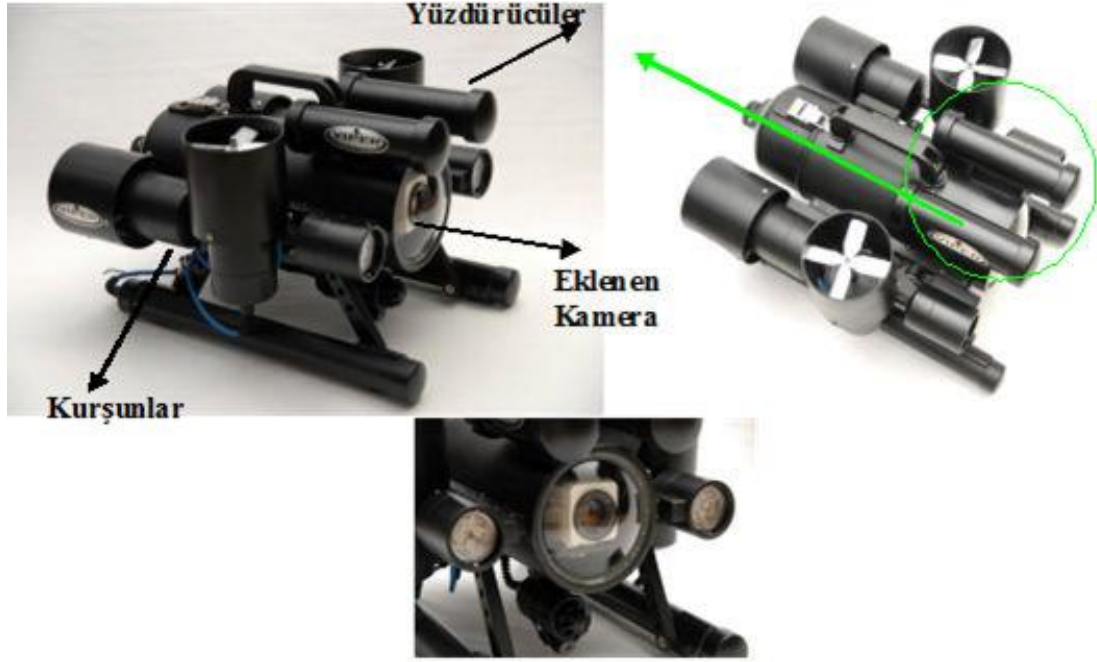
ODTÜ, SAGA (Su Altı Gözetleme Aracı) adlı bir ürünü Teknokent'te tasarlayarak ülkemizdeki ilk uygulamalardan birini gerçekleştirmiştir. Daha sonra Teknopark'ta kurulan Desistek adlı bir firma tarafından üretilen ve ticarileştirilen bu mikro ROV halen farklı sivil uygulamalarda deneme çalışmalarını sürdürmektedir.



Resim 19. SAGA Mini ROV.

3.2.2.4-Kocaeli Üniversitesi Çalışmaları

Kocaeli üniversitesinde TUBİTAK 111E294 referanslı proje desteğinde 46cm boyunda 13kg ağırlığında 4 motorlu ve iki eksen kumandalı bir mini ROV geliştirilmiştir.



Resim 20. Kocaeli üniversitesince gerçekleştirilen mini ROV.

3.2.2.5-İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çalışmaları

İzmir yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği bölümü öğrencileri geliştirdikleri İZTECH-ROV projesiyle TÜBİTAK 2241-B proje yarışmasında üçüncü olmuşlardır.

3.2.3-Askeri çalışmalar

Daha önce yurt dışından temin edilen araçlar (ROV), TÜBİTAK ve SSM üzerinden milli tasarım şartıyla ülkemizden temin edilmeye başlanmış, konuyla ilgili olarak Deniz K. Komutanlığı İstanbul Tersane Müdürlüğü'ne koordinasyon görevi verilmiştir. Bu çerçevede muhtelif kontratlar yapılmış ve halen projeler yürütmektedir. Milli ROV'lar başarıyla tamamlanmış AUV üretimleri ise halen devam etmektedir.

Milli Askeri ROV'ların görevleri şunlardır:

- Muhasım ülkeler tarafından liman ve boğaz giriş çıkışlarının uzaktan torpido mayınlarla kirletilip kirletilmediğini tespit etmek,
- Mayın tanı – teşhis ve imha çalışmalarında kullanılmak,
- Eğitim amaçlı tatbikatlarda kayıp olan eğitim torpidoları gibi cihazları arama ve kurtarma faaliyetleri yürütmek,
- Seyir hidrografi çalışmaları ile anfibi harekâta ön kuvvet harekâtı kapsamında su altına yönelik çeşitli araştırmalarda da değerlendirilmek amacıyla görüntü ve sonar verileriyle birlikte çevre ve konum verilerinin iletimini kablosuz olarak uzaktan veya önceden programlanan rotalarda hareket ve kontrol edilebilmektedir.

3.2.3.1-GATE Elektronik çalışmaları

Gate Elektronik Bu konudaki çalışmalarda ülkemizdeki lider firma konumundadır. Çalışmaların özeti şu şekildedir;

A-Derin Deniz Keşif (Askeri) AUV'si

Özellikleri:

- Maksimum dalacağı mesafe: 1000m
- Gövde yapısı: : Carbon fiber skin, 6061T6 Aluminum frame
- Dışardaki Ağırlık: 260kg (Su dışında)
- Boyutları: Uzunluk:2.4m; Genişlik- 0.8m; Yükseklik – 0.4m
- Max. Hız: 8 knots

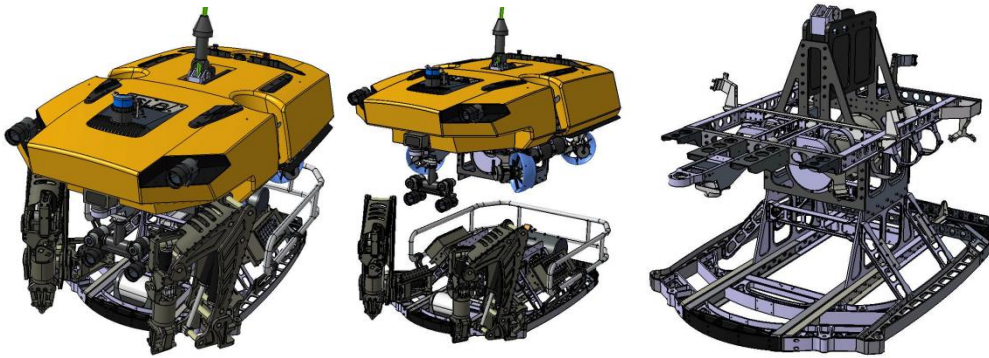


Resim 21.GATE Elektronik tasarımı Askeri Derin deniz keşif AUV si.

B-Gelibolu ROV

GELİBOLU- Ağır iş Sınıfı Uzaktan Kontrollü Su Altı Aracı, yüksek itki ve kaldırma kapasitesi sağlayan 7 motorlu tahrik sistemi, sağlam ve fonksiyonel 2 adet hidrolik robot kolu, küçük ve hafif yapısı ile denizaltı kurtarma, batık çıkarma, deniz dibi inceleme ve sismik araştırmalarda gözlem yapma ve su altından numuneler toplama gibi uygulamaları başarı ile gerçekleştirebilmektedir.

- 2 adet 7 eksenli robot kolu
- Her biri 120 kgf itki üretebilen 7 adet itki sistemi
- 3 knot azami hız
- 150 kg faydalı yük taşıma kapasitesi
- 1500 m standart çalışma derinliği (3000 m ve 6000 m opsiyonel)
- Kesici uç ile 30 mm çapa kadar çelik tel kesebilme



Resim 22. GELİBOLU adlı ROV.

C-GMK AUV – Genel Maksat-Keşif

GMK – C her türlü platforma hızlı ve kolay bir şekilde entegre edilebilme özelliği, operasyon kolaylığı ve düşük bakım gereksinimi, modüler yapısı, kullanım kolaylığı, kablolu ve kablosuz (otonom) kullanıma uygunluğu tasarlanmış ve planlanmış bir üründür.

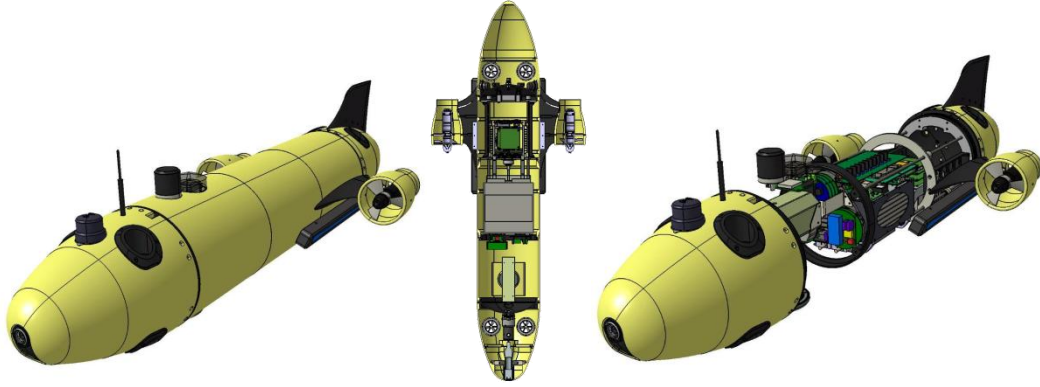
Kabiliyetleri:

- Mayın tespit edebilme
- Hafif, küçük ve dayanıklı yapı
- Kablolu ve kablosuz (otonom) operasyon imkânı
- Kolay kullanılabilir görev yönetim sistemi
- Uzun süreli operasyon yapabilme
- 5 eksenle hareket edebilme (İntikal, dikey, yunuslama, yuvarlanma, sapma yönleri)

şeklinde belirtilebilir.

Genel Özellikler:

- | | |
|----------------------|---|
| • Operasyon Modu | Otonom |
| • Çalışma Derinliği | 100 m |
| • Gövde | 6061 Serisi Alüminyum ve Kestamit(Döküm Polyamid) |
| • Havadaki Ağırlık | 60 kg |
| • Azami İntikal Hızı | 6 knot |
| • Nominal Hızı | 3 knot |
| • Boyutlar | Uzunluk 1,5 m, Çap 23,5 cm |



Resim23. GMK (Genel Maksat ve Keşif)AUV'si.

D-PAP ROV – Askeri ROV-Çanakale SSR

ÇANAKKALE SSR, uzaktan kumanda edilebilen, mayın tarama ve mayın avlama sistemlerinde dalgıçların mayın harbindeki rolünü üstlenebilecek bir su altı aracıdır. Mobil mayın imha şarjlarının kullanımı sayesinde tespit edilen mayının imhası için şarj yerleştirme faaliyetinde dalgıç kullanımı önlenmekte, limitli olan dalgıç ve toplam dalış sürelerinin efektif kullanımı sağlanmaktadır. Halen mevcut ROV (Remotely Operational Vehicle) cihazları veya dalgıçlar vasıtasıyla yapılan mayın imhası işleminin süresi de tek kullanımlık mobil mayın imha şarjları ile oldukça kısalmaktadır.

Genel Özellikler:

- Boy 2,5 m
- En 0,45 m
- Yükseklik 0,45 m
- Renk Siyah
- Çal. Derinliği 300 m
- İleri Hız 6 knot
- Hava. Ağırlık 100 kg
- Dış Gövde 6082 T6 Aliminyum
- Manevra 1 x Yatay 250N itki motor
 - 4 x Dümen Kanadı
- Işıklandırma 1x 576 lux @ 1m
- Kamera 1 x HiRes Renkli IP
- Seyrüsefer 1x Görüntüleme Sonarı
 - 1 x AHRS
 - 1 x Derinlik Ölçer
 - 1 x Mesafe Ölçer
 - 1 x Akustik Alıcı / Verici
 - Patlayıcı Taşıma Kapasitesi 25 kg

**Resim 24. ÇANAKKALE PAP ROV.****E-Mini ROV:**

Haberleşme Fiber optik kablo üzerinden yapılmakta, üzerindeki kameraların görüntüsü bir media konvertör tarafından çevrilerek aktarılmakta, lityum ion batarya ile çalışmaktadır.

Son günlerde yaşanan ekonomik sıkıntılarının, özel sektör firmalarına yansısı bu başarılı çalışmalarını neredeyse durma noktasına getirmiştir. Ülkemizde binbir zorluklarla oluşturulan özellikle stratejik alanlardaki teknoloji ve bilgi birikimlerini korumak, desteklemek aslında herkes için milli bir görev olmalıdır.



Resim 25. Bir GATE tasarımı.

3.2.3.2-ASELSAN Çalışmaları

ASELSAN 2010 yılında Savunma Sanayi Müsteşarlığı'nın üzerinde çalıştığı "Ağ yetenekli ve çok sensörlü sualtı keşif sistemi" projesi Çerçevesinde "Ahtapot", adlı bir AUV geliştirmeye başlamıştır. Bu çalışma ABD Savunma Bakanlığı Pentagon'un birkaç yıl önce uygulamaya koyduğu benzer bir projeyi örnek almaktadır.

ASELSAN'ın yapacağı "Ahtapot" sistemi kapsamında sualtı araçları, liman ve kritik alanların güvenliğini sağlayacak, istihbarat toplayacak, kısaca sualtı keşif ve gözetleme çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmesi planlanmıştır.

Sualtında keşif, gözetleme, mayın tespit ve imha, arama-kurtarma görevlerinde kullanılmakta olup insansız araçlar uzaktan kumandayla çalışmakta ve topladığı bilgileri komuta merkezine aktarmaktadır. Ahtapot'un "Ağ yeteneği" AUV'ların topladığı istihbaratın, TSK'ya bağlı iz, kara ve hava araçlarına da aktarılabilmesini, dolayısıyla bu araçların müşterek harekâtlarda kullanılabilmesini sağlamaktadır.

ASELSAN'ın geliştirdiği bir diğer insansız sualtı aracı olan "Dalgıç", şu anda sınıfında yerli olarak üretilen tek model ve TSK'nın beklentilerini bir ölçüde karşıladığı düşünülüyor.



Resim 26. ASELSAN Tasarımı İSAA.

3.2.3-Diğer Firma Çalışmaları

Gate Elektronik'ten ayrılarak kurulan ve Gate ile ortak projeler yürüten TR-Teknik firması halen Bilkent Cyber-park'ta faaliyet gösteren bir firma olup, ana iş konusu insansız denizaltı araçları ve alt birimleri tasarımı ve üretimi yapmaktadır.



Resim 27. TR tasarımı iki farklı AUV.

-Desistek, ODTÜ Teknopark'ta yerleşik olup ODTÜ ile müşterek geliştirilen SAGA adlı MiniROV cihazının, sivil kullanımlar için üretim ve satışını yapmaktadır.



Resim 28. Desistek yapısı SAGA.

4. Sonuç

İnsansız su altı araçlarının gerek sivil, gerekse askeri alanda neredeyse sınırsız kullanım alanlarının olması önemli bir potansiyel oluşturmakta, tasarım ve üretimde var olan zorluklar ise teknolojinin hızlı gelişimiyle hızla bertaraf edilmektedir.

Ülkemiz halen, dünyada bu teknolojiye sahip birkaç ülke arasında olmasına, henüz emekleme aşamasındaki çalışmaların ve uygulamaların hızla artırılması gerekmektedir. Klasikleşmiş deyişle üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizin gelecekte bu teknolojide dünya liderliğine soyunması asla bir hayal olarak düşünülmemelidir.

Kaynaklar

- [1] Gökalp, B., Yıldız,Ö., Yılmaz, E. İnsansız su altı araçları güncel teknolojileri ve uygulaması SSM gündemi sayı 12, 2010/2.
- [2] Gül, U.D., Leblebici, K. Otonom su altı aracı modellemesi,denetimi ve hareket planlama tasarımı,TMMOB, EMO, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu. Fırat Üniversitesi , Elazığ. 06.10.2011.
- [3] Aryan, A.J. Otonom Su altı araçlarında yazılımsal yapılanma, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fak. Elektronik Böl. Master Tezi.
- [4] İnce,S., Otcu, M., Yakut, M., Aygün, E. Derinlik ve yön kontrol uygulamaları için sualtı aracı tasarımı, Gazi Ü.Fen Bil.dergisi,Part:C tasarım ve Teknoloji. 09.01.2015, 3(1), Sayfa 343-355
- [5] Korkmaz, O., İder,S.Kemal., Özgören.M.Kemal., Bir Otonom sualtı Aracı Manipülatör Sisteminin Yörünge Takip Kontrolü, SAVTEK makalesi,Cilt 3, Sayı 6, Syf 123-130, Aralık 2013.
- [6] <http://www.gateelektronik.com.tr>,<http://tr-teknoloji.com.tr>, <http://aselsan.com.tr>,
<http://itu.edu.tr>, <http://metu.edu.tr>, <http://desistek.com.tr>