



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ŞEKİL HAFIZALI AKTUATOR İLE BİOMEKANİK HAREKET
EDEBİLEN SUALTI ROBOT TASARIMI VE PROTOTİP
GELİŞTİRİLMESİ

Hakan Yunus AYIRGA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı
Mekatronik Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ümit Kemalettin TERZİ

İSTANBUL, 2014



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ŞEKİL HAFIZALI AKTUATOR İLE BİOMEKANİK HAREKET
EDEBİLEN SUALTI ROBOT TASARIMI VE PROTOTİP
GELİŞTİRİLMESİ**

Hakan Yunus AYIRGA
(526212020)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı
Mekatronik Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ümit Kemalettin TERZİ

İSTANBUL, 2014

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Hakan Yunus AYIRGA'nın “SMA ACTUATOR İLE BİOMEKANİK HAREKET EDEBİLEN SUALTI ROBOT TASARIMI VE PROTOTİP GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tez çalışması, 16.07.2014 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç.Dr.Ümit Kemalettin TERZİ

Marmara Üniversitesi (Danışman)

Prof.Dr. B. Koray TUNÇALP (Üye)

Marmara Üniversitesi

Doç.Dr. Bülent ORAL (Üye)

Marmara Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../2014 tarih ve sayılı kararı ile Hakan Yunus AYIRGA'nın Mekatronik Anabilim Dalı Mekatronik Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın her aşamasında fikirleriyle bana yol gösteren ve tez çalışmam ile ilgili danışmanlık yapmanın ötesinde fikirlerime inanan, karşılaştığım zorlukların her aşamasında sabırla bana destek olan değerli hocam, Doç. Dr. Ümit Kemalettin TERZİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olup bana moral veren, hayatta desteğini benden hiç bir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan eşim Nilgün AYIRGA'ya, kızlarım Nalan, Nilay'a ve aileme teşekkür ederim.

Haziran 2014

Hakan Yunus AYIRGA

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x

1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
1.1.1. Biomimetik, Kas ve SMA Nedir?	3
1.1.2. SMA Materyalinin Kullanım Alanları	7
1.2. Çalışmanın Amacı	18
1.3. Güncel Teknolojide Kullanılan Aktuatörler	18
1.3.1. İçten Yanmalı Makineler	18
1.3.2. Dıştan Yanmalı Makineler	19
1.3.3. Elektrik Makineleri	19
1.3.4. Hidrolik Aktuatörler	20
1.3.5. Pnömatik Aktuatörler	20
1.3.6. Piezoelektrik Aktuatörler	21
1.3.7. SMA (Shape Memory Alloy) Aktuatörler	21
1.4. Sualtı robotu (denizaltı)	21
1.5. Aktif sonar	22
1.6. Pasif sonar	22
1.7. Lithium-iyon piller	23

1.8. Balık yüzme stilleri	23
2. MATERYAL VE YÖNTEM	25
2.1. Sualtı robotu modelinin üretimi	25
2.2. Sualtı robotunda kullanılan SMA Aktuatör gruplarının çalışması	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
3.1. Sualtı robotunun bileşenleri	35
3.2. SMA Aktuatörlerin performansları	39
3.2.1. Kuyruk mekanizmasındaki SMA aktuatorler	39
3.2.2. Sırt yüzgeçlerindeki SMA aktuatörler	41
3.2.3. Göğüs yüzgeçlerindeki SMA aktuatörler	42
4. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ŞEKİL HAFIZALI AKTUATÖR İLE BİOMEKANİK HAREKET EDEBİLEN SUALTI ROBOT TASARIMI VE PROTOTİP GELİŞTİRİLMESİ

Şekil hafızalı alaşımlar (Shape Memory Alloy-SMA) malzeme biliminde uygun bir ısı prosedür ile ilk geometrik şekline geri dönebilme yeteneğine sahip metalik malzemeler olarak isimlendirilirler. Şekil hafızalı alaşımlar soğutulduklarında istenilen şekle girmekte, ısıtıldıklarında ilk zamanki formuna geri dönmektedirler. Şekil hafızalı alaşımların bu özelliklerinden yararlanılarak tasarlanan SMA aktuatörlerle, biomekanik hareket eldesi sağlanmaktadır. SMA aktuatörün kontrolü, SMA aktuatöre gelen elektrik enerjisinin aktuatörün aktif kısmını ısıtmasıyla sağlanır. Tasarlanan mekanizma sualtında çalıştığından dolayı enerjinin kesilmesiyle beraber aktuatörün aktif kısmı hızlı olarak soğumakta, bu döngüsel enerjilenme sırasında lineer hareket enerjisi elde edilmektedir.

Hazırlanan SMA aktuatör grupları, doğal balık formuna benzer yapıda tasarlanan robot sualtı aracına monte edilmiştir. Sualtı robotunun gövde kısmına uzaktan kumanda, pil ve SMA aktuatör gruplarını kontrol edecek elektronik elemanlar monte edilmiştir.

Tamamlanan sualtı robotu uzaktan kumanda ile sualtında biyolojik hareketlere benzer kuyruk çırpma hareketiyle ileri yönlü hareket, sağ sol yönlenme ve dalış çıkış manevraları yapabilmektedir.

SMA aktuatörlerle hareket eden sualtı robotu hareket ettiği sırada sualtında ses ve titreşime sebep olmaması nedeniyle pasif sonar tespit sistemleriyle tespit edilmeden hareket edebilmektedir.

Bu çalışmada, SMA aktuatörlerle hareket eden sualtı robotunun tasarımı ve üretimi tamamlanmış olup bahse konu sualtı robotunun doğal yapıdaki balığa benzer fiziksel özellikleri sağlayarak işlevsel olarak kullanımı kanıtlanmıştır.

Haziran 2014

Hakan Yunus AYIRGA

ABSTRACT

DESIGN OF BIOMECHANICALLY MOVING UNDERWATER ROBOT WITH SHAPE MEMORY ACTUATOR AND DEVELOPING A PROTOTYPE

In the art of material Shape Memory Alloys are called as a metallic material which has capability of having former shape of itself after thermal procedure. When shape memory alloys are cooled, they take the desired shape. In continuation of this procedure if they are heated they take the former shape. Biomechanical movements can be achieved with SMA actuators designed by using this property of shape memory alloys. Control of SMA actuator can be achieved by letting electric current flow thorough actuator and heating active part of it. Because designed mechanism operates underwater conditions, by cutting of electricity, active part of actuator cools very fast. By these heating and cooling cycles, linear movement can be achieved.

Designed SMA actuator groups have been mounted to robot which is designed similar to the form of a real fish. Body part of underwater robot contains remote control part, battery and electronic apparatus which control the SMA actuator groups.

By remote control, designed underwater robot can dive and surface, orient to left and right, move forward with tail flapping motion similar to biological motion in underwater conditions.

While underwater robot is driven by SMA actuators and it moves, it cannot be detected by passive sonars, because SMA actuators don't cause vibration and echo sound.

In this study, design of underwater robot driven by SMA actuators and production of the designed robot have been done. Additionally, it has been proved that mentioned underwater robot can be used by ensuring similar physical properties like a real fish has.

July 2014

Hakan Yunus AYIRGA

SEMBOLLER

Kg : Ağırlık Birimi [Kg]

f : Frekans [Hz]

l : Uzunluk Birimi [m]

t : Zaman (s)

T : Sıcaklık (°C)

I : Akım [A]

ω : Açısal Hız [rad/s]

R : Direnç [Ω]

V : Gerilim [V]

KISALTMALAR

- SMA : Şekil Hafızalı Alaşımalar (Shape Memory Alloy)
ANN : Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)
PWM : Darbe Genlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
GA : Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
FL : Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. SMA Malzemelerin Sıcaklık-Faz Dönüşümü	5
Şekil 1.2. Şekil 1.2 Kalp damar stentinde kullanılan SMA materyal resmi	7
Şekil 1.3. SMA materyalin ortopedik travma uygulaması	8
Şekil 1.4. Şekil 1.4 SMA materyalle yapılan kuyruk kanatçığı	8
Şekil 1.5. Şekil 1.5. SMA malzemelerin ısıl hareket şekilleri	10
Şekil 1.6 Şekil 1.6. Rui Ding ve arkadaşlarının robot balığının mekanik modeli	11
Şekil 1.7. MIT’de geliştirilen robot balık modeli	13
Şekil 1.8. Stephen LICHT ve arkadaşlarının robot sualtı kaplumbağası modeli	14
Şekil 1.9. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığı	15
Şekil 1.10. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığının şematik diyagramı	15
Şekil 1.11. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığının pünomatik hareket körükleri	16
Şekil 1.12. Koray ŞAFAK ve arkadaşları tarafından geliştirilen Lobster robotu	17
Şekil 2.1. Sualtı Robotunun 3D Modeli	25
Şekil 2.2 Sualtı Robotunun 3D Modelinin Üstten Görünüşü	26
Şekil 2.3 Sualtı Robotunun 3D Modelinin Yandan Görünüşü	26
Şekil 2.4 Şekil 2.4. Sualtı Robotu; 1-A 1.Göğüs Yüzgeci, 1-B 2.Göğüs Yüzgeci,2 Sırt Yüzgeci, 3 Kuyruk Yüzgeci	28
Şekil 2.5 Şekil 2.5. Sualtı Robotunun Üstten Görünüşü	28
Şekil 2.6 Şekil 2.6. Sualtı Robotunun Yandan Görünüşü	29
Şekil 2.7 Şekil 2.7. Sualtı Robotu İçerisindeki Elektronik Bileşenler	29
Şekil 2.8. Sualtı Robotu ince uzun ve kısa kalın kuyruk uçları	30
Şekil 2.9. Sualtı Robotu kuyruk uçları bağlantı noktası	31
Şekil 2.10. Sualtı Robotu kuyruk ve sırt yüzgeçlerinin olduğu mekanizma	31

Şekil 2.11. Sualtı Robotu kuyruk ve sırt yüzgeçlerinin olduğu mekanizmanın 3D modeli	32
Şekil 3.1. Şekil Sualtı Robotunun Uygulama Şeması	34
Şekil 3.2. Kuyruk Hareketi İçin Sürücü Kartı	37
Şekil 3.3. Yönlenme Hareketi İçin Sürücü Kartları	38
Şekil 3.4. Kuyruk mekanizmasındaki SMA aktuatör hareketleri	40
Şekil 3.5. Kuyruk Mekanizmasının Salınımı	41
Şekil 3.6. Sırt yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri	42
Şekil 3.7. Göğüs yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri	43

TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 1.1. Şekil Hafıza Etkisine Sahip Alaşımlar	6
Tablo 1.2 . Balık Yüzme Stilleri Tablosu	24

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun güce olana ihtiyacı, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren çözülmesi gereken bir sorun olmuştur. Gündelik işlerde insanoğlu, kendine gerekli olan buğday öğütme, insan ve malzeme nakletme, malzemeleri yüksek yere çıkarmak vs. işler için gerekli güç ihtiyacını ilk zamanlarda hayvanlardan yararlanarak elde etmeye başlamıştır. Teknoloji devrimleriyle birlikte artan güç ihtiyacıyla beraber hareket sistemlerinin gelişim süreçleri su değirmenleriyle başlayıp dıştan yanmalı buhar makinalarına, içten yanmalı dizel ve benzin teknolojisine son olarak da jet itki sistemlerine kadar gelişmiştir.

Elektriğin keşfedilmesiyle birlikte kontrol kolaylıklarından dolayı mekanik enerji ihtiyacı olan üretim tesisleri, fabrika sistemleri ve makinelerde aktuatör olarak doğru ya da alternatif akımla çalışan elektrik motorları tercih edilmeye başlamıştır. Bu saydığımız tüm sistemler hareket enerjisi elde edebilmek için dönen milli radyal sistemler olup çeviricilerle doğrusal hareket elde edilebilmektedir.

Güncel teknolojiye kullanılan denizaltı ve sualtı araçları; dizel makine şarjlı elektrik tahrik sistemleri, batarya ile hareket eden elektrik motoru tahrik sistemleri, nükleer enerjiden üretilen elektrikle tahrik edilen elektrik motoru tahrik sistemlerinden birini kullanarak sualtında hareket etmektedir. Sonuç olarak denizaltı ve sualtı robotları, sualtında hareket edebilmek için gerekli pervane gücünü elektrik motorlarından alırlar. Elektrik motorları gerekli tahrik gücünü dönen mille radyal olarak vermektedir. Radyal sistemler sualtında çalışmaları sırasında sabit frekanslı akustik ses dalgalarına sebep olmaktadır. Pasif sonar tespit sistemleri, sualtında çalışan makine ve araçların çıkardıkları sabit frekanslı ses dalgalarını tespit ederek sualtı makine ve araçlarının konum ve hızlarını tespit etmektedir. Ancak önemli olan sualtında tespit yöntemleriyle tespit edilmeden hareket edebilmektir. Sualtında tespit edilemeden hareket yeteneğine sahip olmak askeri açıdan üstünlük sağlayacaktır.

Çeşitli devletlerin araştırma ofisleri ve üniversitelerinde sualtında tespit edilmeden hareket edebilecek sualtı robotu geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Klasik tip sualtı ve su üstü araçlarının itki tahrik sistemlerini, ana makine şaft tahrikli pervaneli sistemler oluşturur. Sualtı araçlarının gürültü kontrolünde temel yöntem, önce dizaynla kaynak ses seviyelerini olabildiğince düşük tutmak, ikinci kademede ses kaynaklarından iletimi azaltıcı önlemleri seçmek ve dizayn etmek, son olarak da gürültü emici veya yansıtıcı

yalıtım önlemleri almaktır. Ses kaynak seviye kontrolünde tipik örnekler ana ve yardımcı makinalarda oluşan dengelenmemiş zorlayıcı kuvvet ve momentlerin minimuma indirilmesi, devir sayısı seçiminde frekansların teknenin kiriş, çerçeve ve panellerinin frekanslarına yakın olmaması veya pervane seçiminde gürültülü seviyesi düşük pervanelerin seçimi şekilde düşünülebilir. Pervaneden doğan gürültü kontrol önlemlerinden ilki ve en önemlisi kavitasyon önleme veya kavitasyon başlayışını geciktirmedir. Klasik sualtı araçlarını da kullanılan itki sistemi olan pervaneden kaynaklanan gürültüyü azaltabilmek için öncelikle akım düzenliliğinin temini, uyumlu çap ve devir sayısının seçimi gibi genel pervane dizayn konularında düzenlemeler yapılmalıdır.

Sualtı aracının sualtında fark edilmeden hareket edebilmesi için en önemli ve öncelikli seçimin gürültü kaynağını değiştirmek olacağı düşünülmektedir. Araştırma konularının başını hareket mekanizmalarının biyolojik hareket mekanizmalarına benzetimi olan çalışmalar çekmektedir.

Mühendislikte mevcut problemlerin kolay ve verimli çözümü için geliştirilen yeni yaklaşım metotlarının başında doğal ve biyolojik sistemleri benzeşimi ile tasarlanan sistemler gelmektedir. Biyomimetik olarak tanımlanan doğal ve biyolojik sistemlerin taklitleri veya türetilmeleri ile oluşan sistem ve tasarımlar mühendislik için farklı ve yenilikçi çözümler ön görmektedir.

Sualtı robotları için balıklardan esinlenilerek tasarlanan hareket sistemi, kuyruk salınımıyla sualtı robotunun hareketini sağlanması şeklinde oluşmaktadır. Kuyruk salınımı ile hareket eden sualtı robotu tasarımında kuyruğun yatay dikey pozisyonu, kuyruğun salınım noktası ve kuyruğun salınım frekansı tasarlanacak sualtı robotunun kuyruk mekanizmasının hareket parametrelerini oluşturmaktadır.

Sualtı robotlarının tasarımlarının esinlenilen balığın formu ve ölçüleri dikkate alınarak gövde tasarımı yapılır.

Çalışmamızda biyomekanik hareket edebilen sualtı robotu tasarımı ile biyolojik hareket sistemi benzeri kuyruk salınımı yapan hareket mekanizması tasarlanmıştır. Dalma, çıkma, sağ ve sol yönlenme hareketlerinin sualtı robotu tarafından gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Biyolojik hareket sistemi olan kas hareketlerinin benzeri olarak çalışan Şekil Hafızalı Alaşım (Shape Memory Alloy - SMA) aktuatörlerin hareket

mekanizmasının aktuatör grupları olarak tasarlanarak sualtı robotunun sualtında akustik ses çıkarmadan hareket etmesi sağlanmaktadır.

Çalışmamızda tasarımı ve üretimi yapılan sualtı robotu çeşitli tatlı su havuzlarında yüzme, dalma, çıkma, sağa yönlenme ve sola yönlenme testleri yapılmıştır.

1.1.Literatür Araştırması

1.1.1 Biomimetik, Kas ve SMA Nedir?

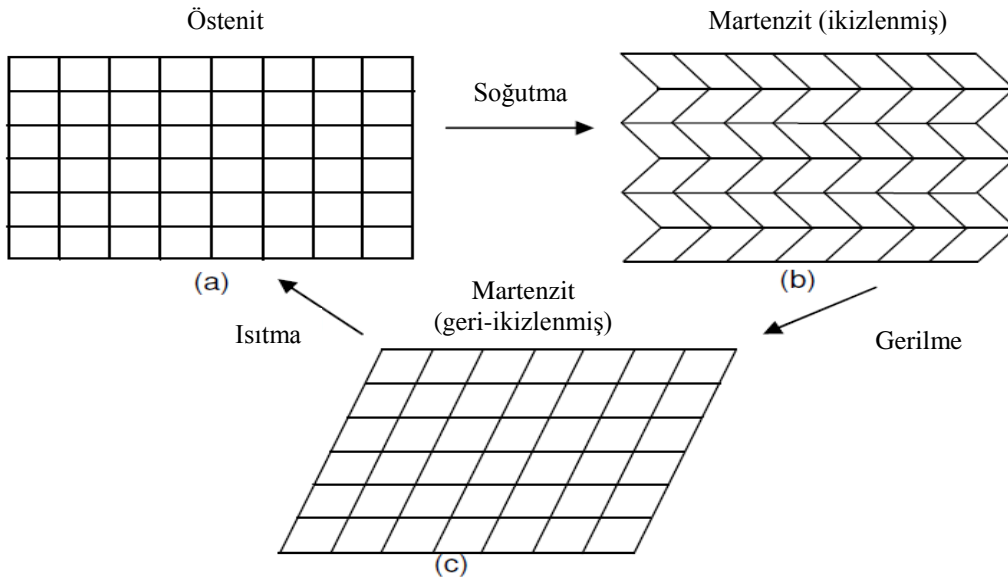
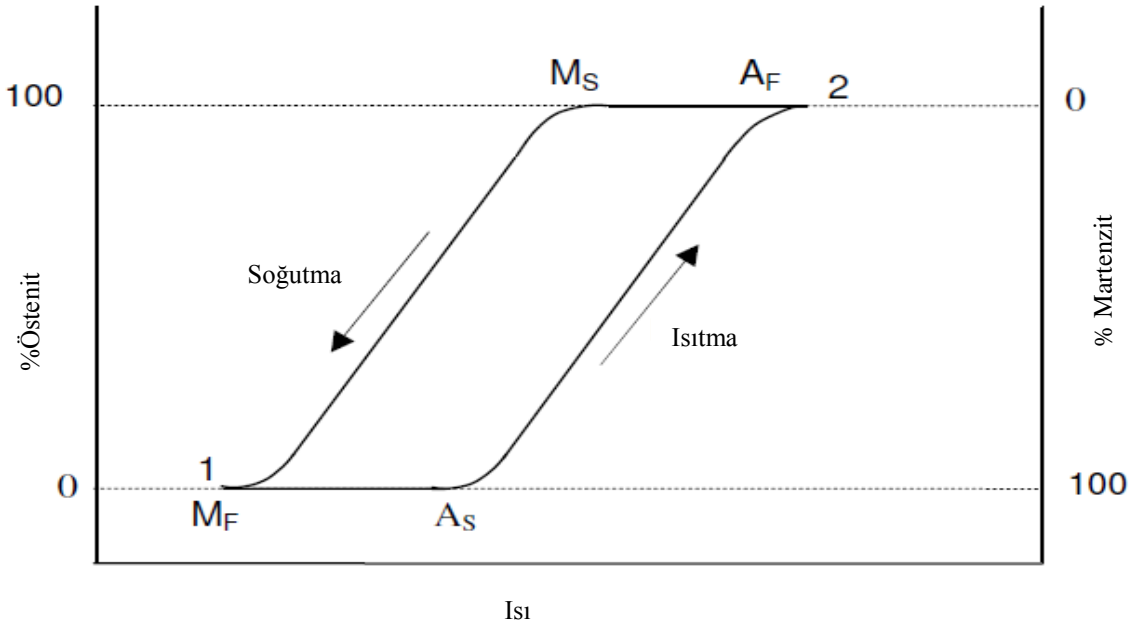
Mühendislikte karşılaşılan sınırlılıkları aşmak için doğal mekanizmalardan esinlenilerek mekanizmalar tasarlamak konusunda çok farklı alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Biomimetik, doğadaki sistem ve modelleri inceleyen, sonra da bu tasarımları taklit ederek veya bunlardan ilham alarak mühendislik problemlerine çözüm getirmeyi amaçlayan yeni mühendislik yaklaşımıdır. Kuş kanadına benzeyen ve yakıt tüketimi azaltılmasını sağlayan uçak kanadı çalışmaları, kalabalık stad ve alışveriş merkezleri gibi yerlerin acil tahliyesi için karıncaların hareket algoritmasından yararlanılarak acil tahliye planı oluşturmak için yararlanma, kuşların göz merceklelerinden yararlanılarak sualtı görüşlü kamera tasarlanmasına, otomobil tasarımında rüzgar direncini düşüren burun tasarımında balıkların tasarımından ilham alınmaya kadar çeşitli disiplinlerde doğal mekanizmalardan esinlenilmiş çeşitli mühendislik çözümlerine rastlanmaktadır [1,2,3].

Bu çözümlerin kullanılabilmesi için canlıların biyolojik yapılarını bilmek gerekmede ve bakıldığında biyolojik hareket sistemlerinin çalışması için vücudumuz kas denilen yapılarını kullanmaktadır. İskeletin üzerini sararak vücuda şekil veren, kasılıp gevşeme özelliğiyle hareketi sağlayan yapıya kas denir. Kasları oluşturan iplikli yapıya kas lifi denir. Çok sayıda kas lifi birleşerek kas demeti denen kalın iplikleri oluşturur. Kasların kemiklere tutunmasını sağlayan yapıya kas kirişi ya da tendon adı verilir. Kaslar, beyinden gelen sinir uyarılarını alarak kasılır. Kasılma esnasında çok enerji harcanır. Kasılan bir kas; kısalır, sertleşir ve şişer. Gevşeyen kas ise uzar, yumuşar ve incelir. Kaslar kirişlerle farklı iki kemiğe bağlandığından kasların kasılıp gevşemesi, eklemlerde hareket meydana getirir. İnsanda hareket; sinir, iskelet, kas ve eklem sisteminin birlikte çalışmasıyla gerçekleşir [4,5].

Bütün canlı organizmalarda hareket elde edilebilmesi kas grupları sayesinde olur. Biomimetik yaklaşımla yapılan yapay kas çalışmaları doğal biyolojik kas yapılarını taklit etmeye çalışmaktadır. Doğal kas çalışmasını taklit ederek hareket elde edilmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Söz konusu çalışmaların temeli kas benzeri lineer hareket elde edilmesidir. Yapay kas benzeri hareket için pnömomatik aktuatörlü, SMA aktuatörlü ve servo sistemler kullanılmaktadır. SMA aktuatörlü sistemlerin temel bileşeni şekil hafızası etkisine sahip SMA olarak bilinen materyallerin kullanımıyla gerçekleştirilmektedir [5,6].

SMA malzemeleri 1963 yılında keşfedilmiştir. Keşfedildikleri yıllardan günümüze kadar tıp alanında stentlerin yapımında, ortodonti alanında düzeltici olarak kullanılmıştır. Son on yılda SMA malzemelerin şekil hafızası özellikleri kullanılarak yapay hareket sistemi tasarlanmada kullanılmaya başlamıştır. SMA aktuatörler, malzemenin tarihçesi incelendiğinde gelişmeye açık yapısı olduğu görülmektedir. SMA materyallerin en güncel kullanımı endüstriyel ismi NITINOL olan materyeldir. Nitinol ismi bileşiği oluşturan Nikel ve Titanyum ile keşfedildiği araştırma laboratuvarının baş harflerinden oluşan (Nikel – Titanyum – Naval Ordnance Laboratory) kelimelerinin kısaltmasıdır. Nitinol bileşikler 1300°C erime noktasına ve 6,45 gr/cm³ yoğunluğuna sahiptir [3,4,5].

SMA'lar, dış etkenlerden dolayı bozulan geometrinin, uygun bir ısı prosedürü uygulanarak gerçek şekline veya boyutuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu malzemeler kristal yapılarında meydana gelen martenzit ve östenit faz dönüşümleri sonucunda şekil değişimi yapabilmektedir. Düşük sıcaklıkta martenzit yapıya sahipken kolay deformasyona uğrayan malzeme, uygun sıcaklıkta ısıtıldığında yüksek sıcaklık fazı olan östenit faza geçerek deformasyon öncesi orijinal şekillerine tekrar dönebilmektedir. SMA malzemelerin sıcaklık-faz dönüşümü Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. SMA malzemelerin sıcaklık-faz dönüşümü

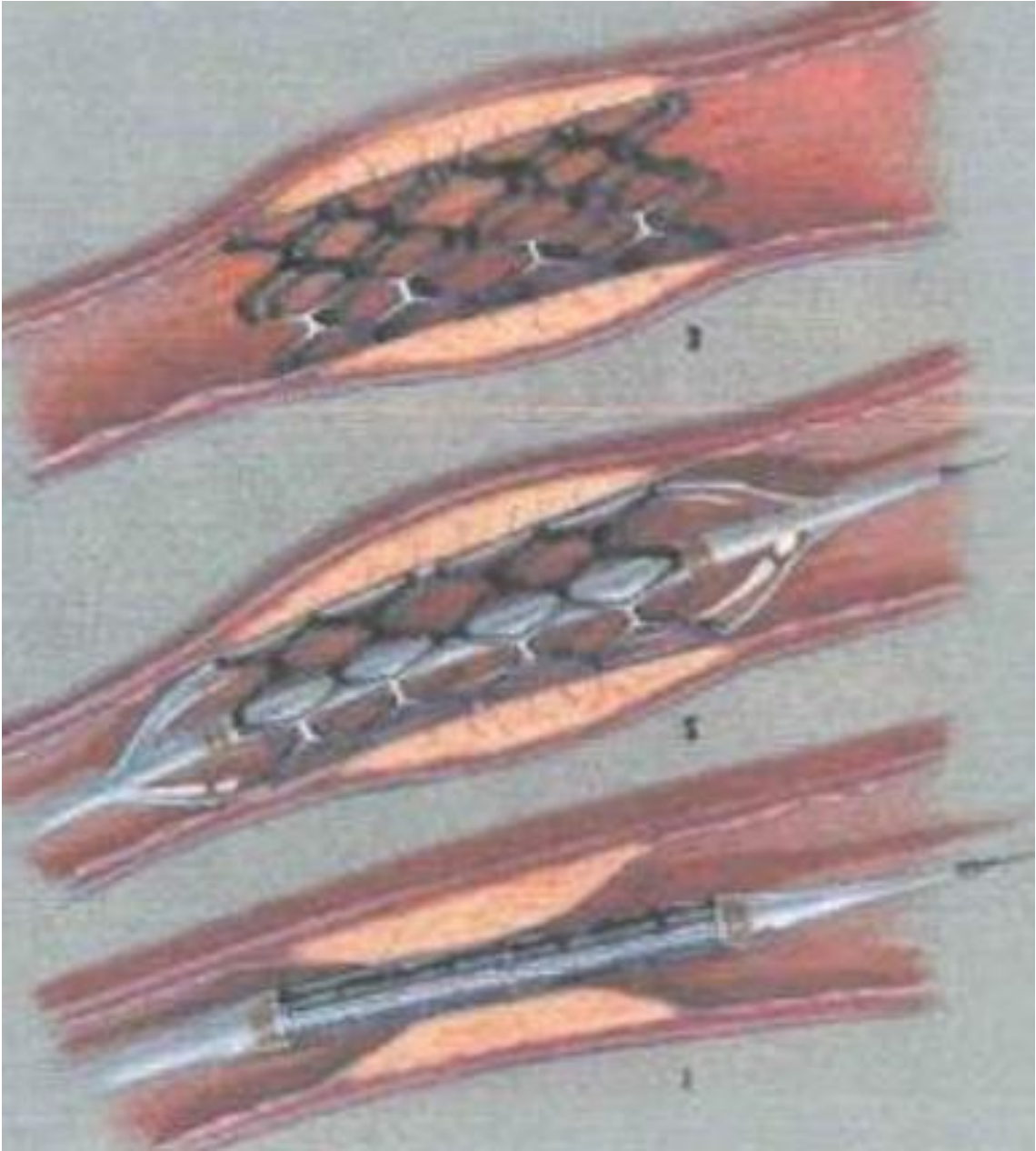
Şekil hafızasına sahip olarak tanımlanan çeşitli materyaller bulunmaktadır. Şekil hafızasına sahip materyaller bileşik formundadır. Tablo 1’de şekil hafıza etkisine sahip alaşımlar gösterilmektedir. Endüstriyel olarak kullanımı en fazla olan şekil hafızalı materyaller titanyum ve nikel alaşımlı olan materyallerdir.

Tablo 1 Şekil Hafıza Etkisine Sahip Alaşımalar

Alaşım	Kimyasal Bileşimi	Dönüşüm Sıcaklığı Aralığı (C)	Dönüşüm Histerezisi (C)
AgCd	44~49%Cd	-190 ~50	~15
AuCd	46.5~50%Cd	30~100	~15
CuAlNi	14~14.5%Al 3~4.5%Ni	-140~100	~35
CuSn	~15%Sn	-120~30	~10
CuZn	38.5~41.5%Zn	-180~ -10	~10
CuZnX (X=SiSnAl)	%X(az miktarda)	-180~200	
InTi	18~23%Ti	60~100	~4
NiAl	36~38%Al	-180~100	~10
TiNi	46.2~51%Ni	-50~110	~30
TiNiX (X=PdPt)	50%Ni+X 5~50%X	-200~700	~100
TiNiCu	~15%Cu	-150~100	~50
TiNiNb	~15%Nb	-200~50	~125
TiNiAu	50%Ni+Au	20~610	
TiPdX (X=CrFe)	50%Pd+X ~15%X	0~600	~50
MnCu	5~35%Cu	-250 180	~25
FeMnSi	32%Mn,6%Si	-200~150	~100
Fe-Pt	~25%Pt	~-130	~4
Fe-Pd	~30%Pd	~50	
FeNiX X=(CCoCr)	%X(az miktarda)		

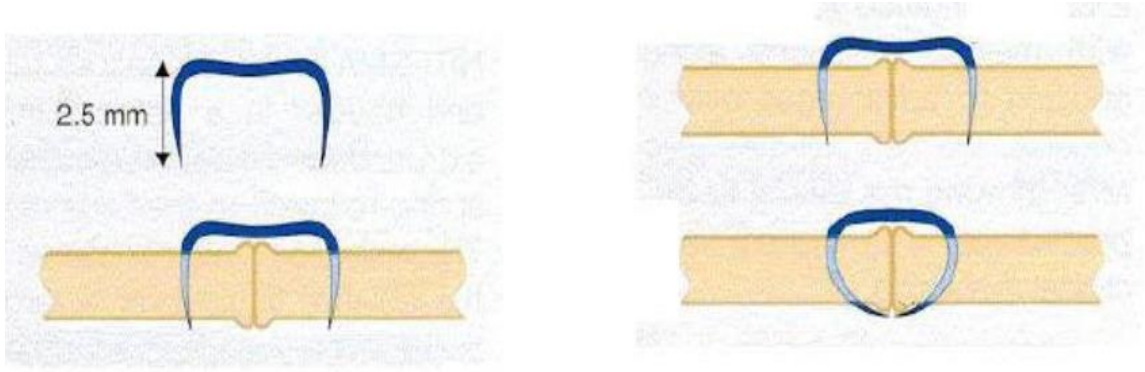
1.1.2. SMA Materyalinin Kullanım Alanları

Stentlerin yapımında kullanılan SMA materyal, soğutulmuş olarak tıkanık damara yerleştirilir ve sonrasında yerleştirildiği bölgede damar ısısıyla birlikte ilk formuna dönerek tıkanık damarı açması sağlanır. Bu şekilde kullanımı Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



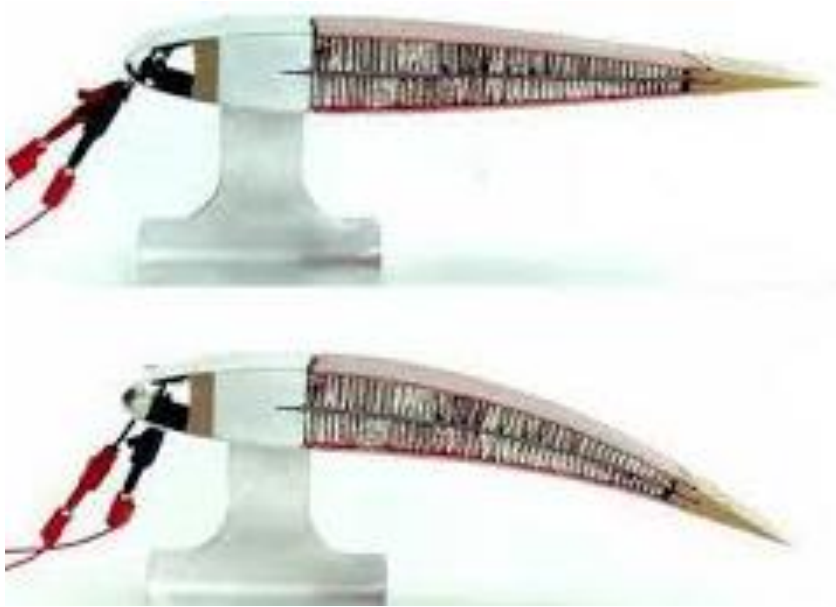
Şekil 1.2 Kalp damar stentinde kullanılan SMA materyal resmi

SMA materyal telin ortopedik travma sonrası kullanımı ile ilgili olarak SMA materyal, soğutulmuş olarak parçalanmış kemiklere tutturulur ve sonrasında SMA materyal vücut ısısında ilk formuna gelerek kırılmış kemik parçalarının yerine yerleşmesini sağlar. Söz konusu işlemin çalışması Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 SMA materyalin ortopedik travma uygulaması

SMA materyal havacılık teknolojisinde de uçak kanatlarındaki kanatçıkların yapımında kullanılmaktadır. Şekil 1.3’de SMA materyal kullanılarak tasarlanan kanatçıklar gösterilmektedir.



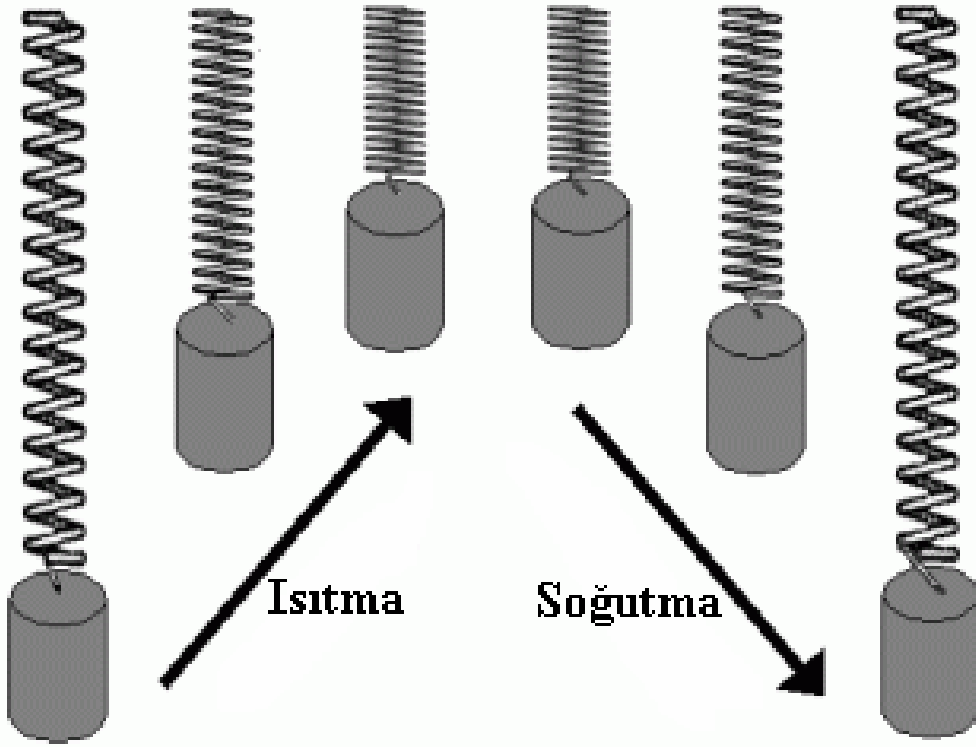
Şekil 1.4 SMA materyalle yapılan kuyruk kanatçığı

Şekil hafızalı alaşımların bu özelliklerinden faydalanılarak üretilen SMA aktuatörlerle doğal kas çalışmasına benzer hareket eldesi sağlanmaktadır.

SMA aktuatörlü yapay kas yapılarında zıt konumlandırılmış iki SMA yapısının birinin ısıtılması halinde ortak nokta bir yönlü hareket eder bu sayede doğrusal hareket enerjisi elde edilmiş olur. SMA aktuatör gruplarının hareket elde edilebilmek için ısıtılması gereklidir.

Herhangi bir malzemenin ısısının artırması için o malzemeye ısı uygulamak gerekir. Uygulanacak ısı çakmak ateşinin ısısı, sıcak suyun ısısı ya da elektrik enerjisinin ısısı olabilmektedir. SMA aktuatör gruplarının kontrollü olarak kullanılabilmesi için SMA aktuatör gruplarındaki SMA tellere elektrik uygulanarak telin ısınması sağlanmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında SMA aktuatörlerde kullanılan elektrik akımı çeşitli modülasyonlarda uygulanan darbe genişlik modülasyonlu doğru akım olmaktadır. SMA telden geçen akımın ısıttığı telin aktif hale gelmesi sonucu aktuatörlerden hareket elde etmek mümkün olmaktadır. SMA tel üzerinde ısı oluşturacak enerjinin alternatif akım (AA) olması halinde ısınmanın daha kısa sürede olacağı ile ilgili tez kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak SMA aktuatörlerde AA kullanılmasının daha verimli olacağı kanıtlanmıştır. Söz konusu çalışma uluslararası kongrede bildiri olarak yayınlanmıştır [4,5,6].

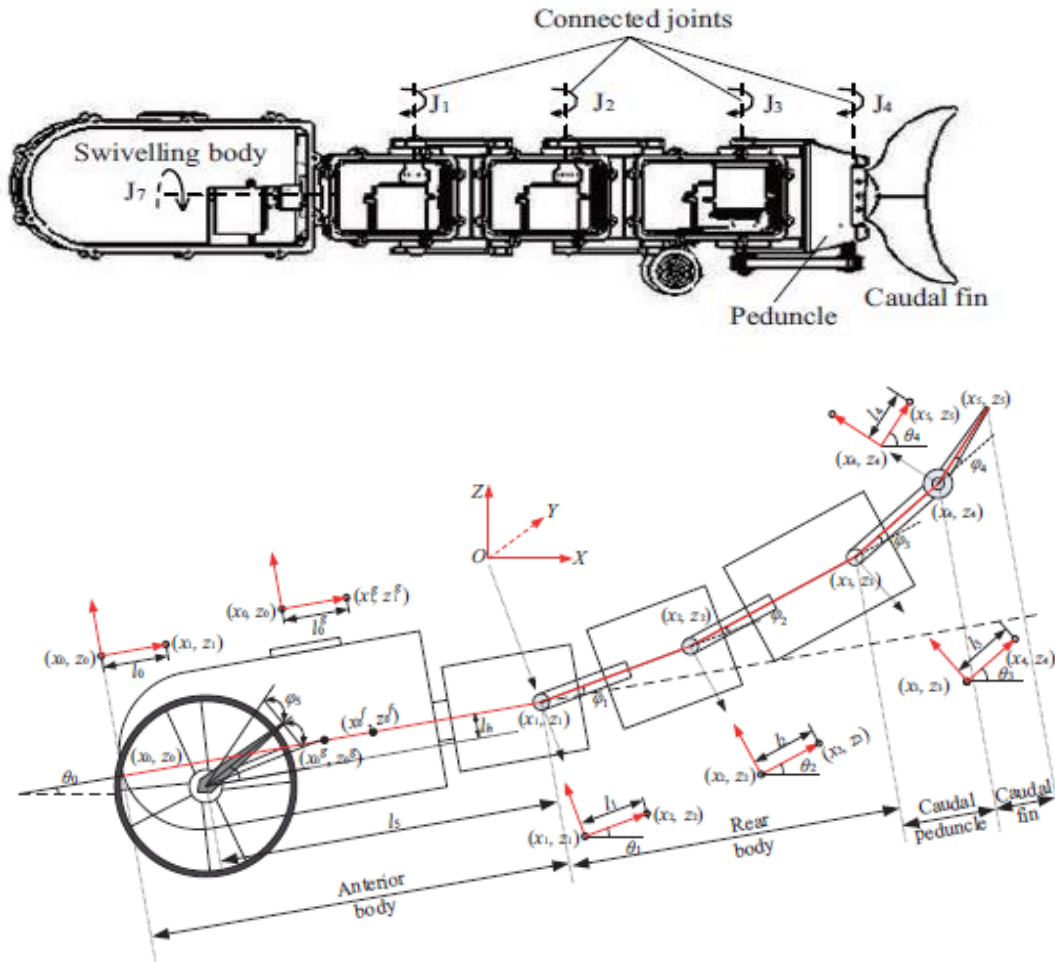
Şekil 1.5'de SMA malzemelerin ısıl hareket şekilleri gösterilmektedir. SMA tellere elektrik akımının çeşitli kontrol yöntemleriyle uygulanması sağlanmaktadır [4,5,6].



Şekil 1.5. SMA malzemelerin ısıl hareket şekilleri

Mühendislik tasarımlarında hareket mekanizması sistemin ana bileşenidir. Sualtı robotu tasarımı konusunda yapılan son yıllardaki araştırmalarda hareket mekanizması pervane tahrikli sistemlere alternatif olarak kuyruk salınımlı itki sağlayan sualtı robotları ön plana çıkmaktadır. Tasarlanan sualtı robotunun kuyruk bölümlerine hangi tip yüzme stili kullanılacaksa ona uygun kuyruk uzunluğu, eklem sayısı ve kuyruk yönü belirlenmektedir. Kuyruk uzunluğu ve eklem noktaları belirlenen tasarıma eklemlere, yerleştirilen servo mekanizmalarla sualtı robotunun salınım yoluyla hareket etmesi sağlanmaktadır [7,8,9,10]

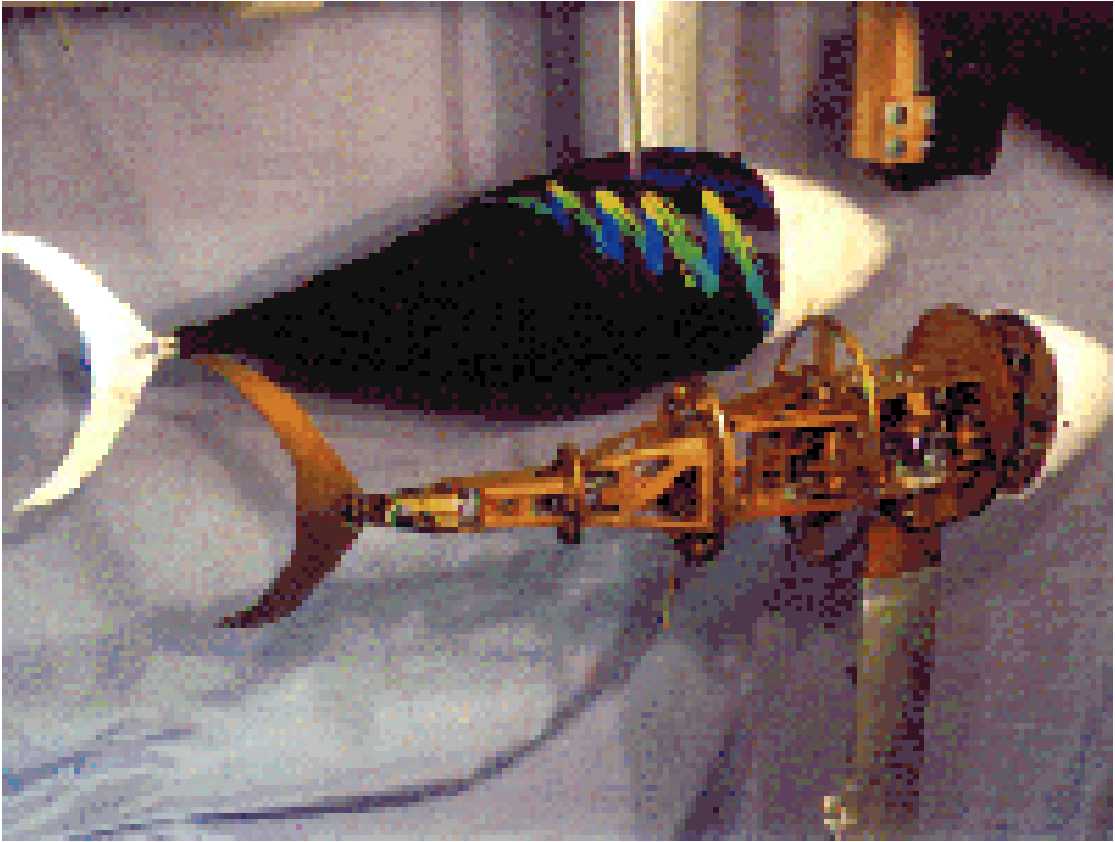
Rui Ding ve arkadaşları biyomimetik yunus balığı benzeri yüzen biyomimetik amfibi robot tasarlamışlardır. Şekil 1.6’de robot balığının mekanik modeli görülmektedir. Yaptıkları çalışmada mühendislik tasarımlarda biyolojik organizmalardan esinlenmenin faydalı olacağı üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında sualtı robotunun yüze stilini analiz etmişler ancak sualtı robotunu yunus balığının aksine dikey kuyruklu yaptıkları görülmüştür. Tasarımlarında gövdeden kuyruğa kadar üç eklem ve bir göğüs yüzgeci kullandıkları görülmektedir. Balığın harekete geçmesi için salınımlı bir itme hareketi yaptığından bahsedilmiştir. Ayrıca çalışmalarında kuyruk hareketinin pervaneye göre daha etkili itiş sağladığından bahsedilmiştir [1].



Şekil 1.6. Rui Ding ve arkadaşlarının robot balığının mekanik modeli

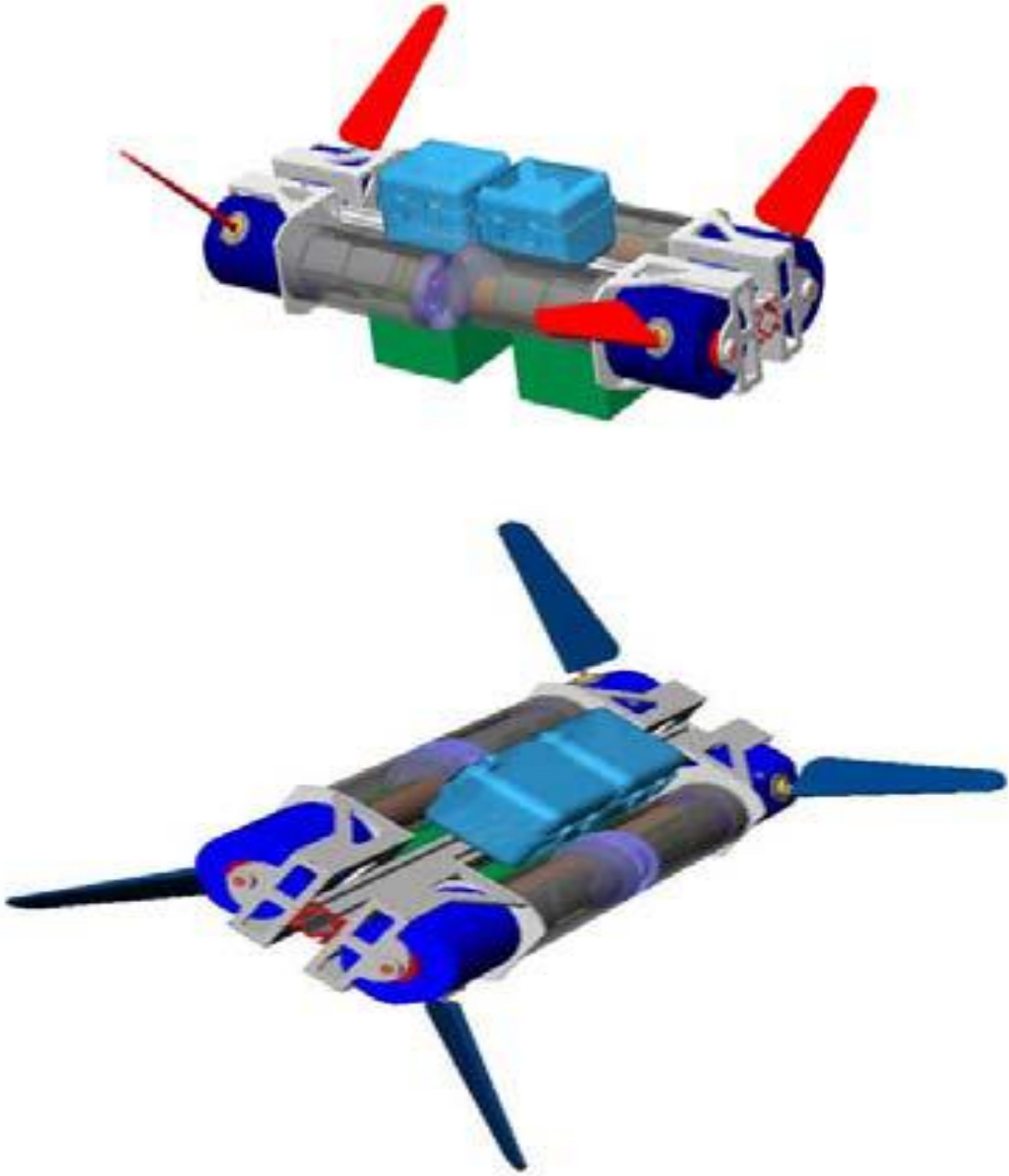
Alexandra H. TECHET ve arkadaşlarının, balıkların kuyruk salınımı hareketlerinin analizi yapılırken kabul gören Reynold sayılarıyla girdapların hesaplarını yaptıkları görülmektedir. Girdapların sinüsoydal periyodik fonksiyon olarak hareket ettiklerini ortaya koymuşlardır [7].

Triantafyllou Michael.S. ve arkadaşları çalışmalarında deniz canlılarının hareketlerinin incelenmesi konusunda yaptıkları çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak RoboTuna isimli bir proje geliştirmiş ve bu projede sualtı robotu geliştirerek test havuzlarında robot sualtı aracının analizlerini yapmışlardır. Şekil 1.7’de Triantafyllou Michael.S. ve arkadaşlarının geliştirdikleri robot balık modeli görülmektedir. MIT RoboTuna, sekiz bağlantı, tendon ve kasnaklardan oluşan robot balık şeklindedir. Bir Orkinos yüzme hareketi taklit yeteneğine sahip robottur. Çalışmalarında deniz canlılarındaki ritmik veya düzensiz gibi görülen hareketlerin onlara üstün manevra ve çeviklik sağladığını kanıtlamışlardır. Kuyruk haricinde göğüs ve sırt yüzgeçleri de hareket için aktif olarak kullanılabilirliği üzerinde durmuşlardır. Sualtı robotunun girdaplarda ve türbülanslarda iyi kontrol edilmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir [7].



Şekil 1.7. MIT'de geliştirilen robot balık modeli

Stephen LICHT ve arkadaşları deniz kaplumbağası benzeri sualtı robotu tasarımı yapmışlardır. Şekil 1.8’de tasaralanan robot sualtı kaplumbağasının 3D Modeli görülmektedir. Boyutları 0.5m x 0.5m x 2 m olan 24 V DC Fırçalı motorlardan oluşan simetrik yerleşimli dört modüllü kanatçıkları bulunan araçları sualtında 2 m/sn hızla gitmesi için tasarlanmıştır. Çalışmalarında askeri ve ticari hedefler gözetilmiştir [11].

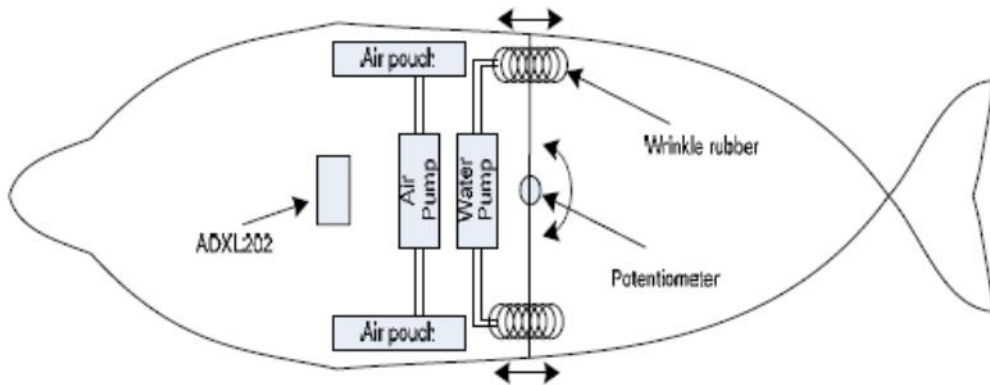


Şekil 1.8. Stephen LICHT ve arkadaşlarının robot sualtı kaplumbağası modeli

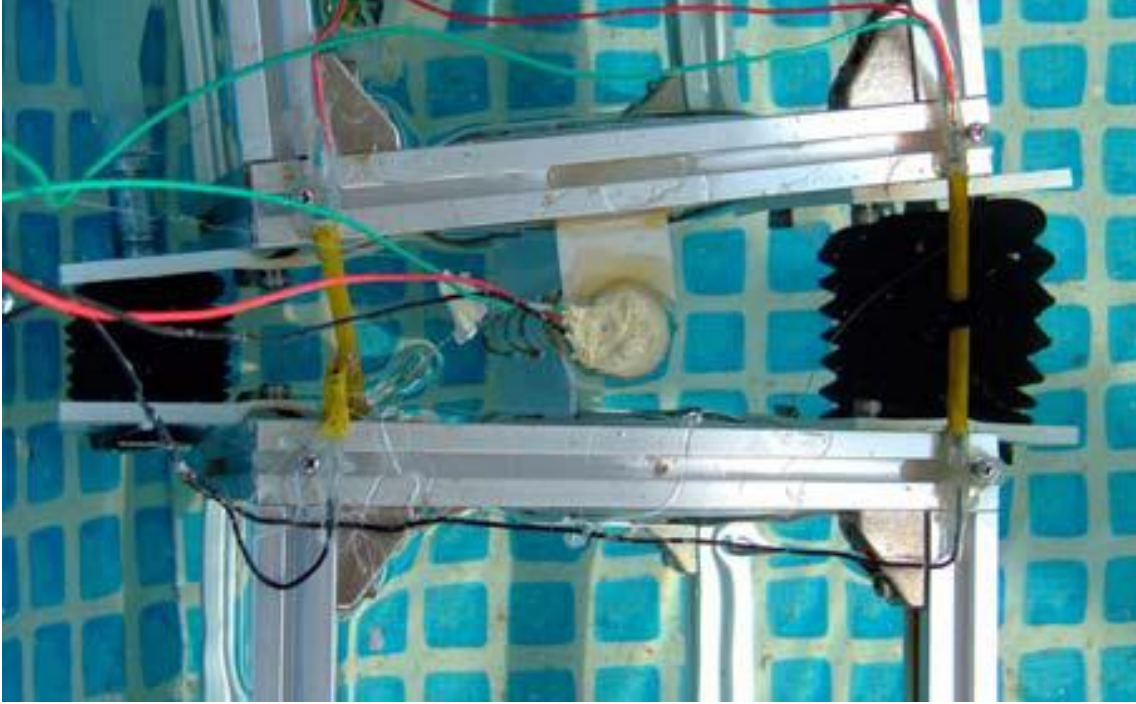
Daejung SHIN ve arkadaşları eğlence sektörü için yunus balığı taklidi sualtı robotu tasarımı yapmışlardır. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığı modelinin kalıbı Şekil 1.9'da , şematik diyagramı da Şekil 1.10'da gösterilmektedir. Tasarımını yaptıkları sualtı robotunun hareket aktuatörleri Şekil 1.11'de görüldüğü üzere pünomatik aktuatörlü olarak tasarlanmıştır. Eğlence amaçlı olduğu için seslere tepki vermekte, dokunma algılayıcılarıyla da çevresine tepki vermektedir. Tasarımını yaptıkları sualtı robotu kızılötesi mesafe sensörleri yardımı ile yönünü bulmaktadır. Eğlence ve film sektörüne yönelik tasarıma odaklanarak gerçek hayattaki yunus balığının bire bir boyutlarında modeller üretmektedirler [12].



Şekil 1.9. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığı



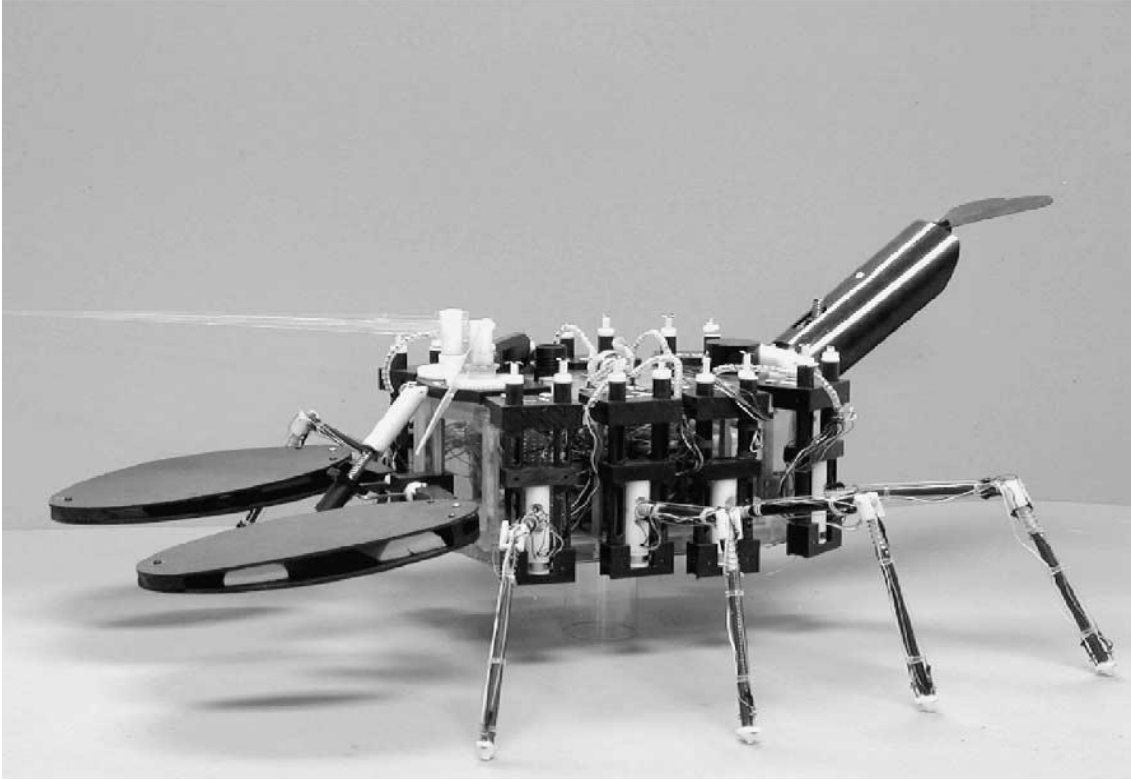
Şekil 1.10. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığının şematik diyagramı



Şekil 1.11. Daejung SHIN ve arkadaşlarının robot yunus balığının pnömomatik hareket körükleri

Kuzucu ve arkadaşları yatay kuyruklu yunus türü bir su altı gözlem ve keşif robotunun ilk tasarım çalışmalarını yaparak, bir prototip üretmişlerdir. Aracın gövdesi, kuyruğu, sırt ve yan yüzgeçleri türleri arasında en çok bilinen şişe burunlu yunus türünün anatomik yapısı esas alınarak tasarlanmıştır. Prototipin boyu, doğadaki yetişkin yunus balığı boyunun %30 ölçekli küçültülmesiyle elde edilen 1300 mm'dir. Üretilen bu prototipin hareketi pnömomatik körüklerle tahrik edilen üç eklemlilik gövde ve kuyrukla sağlanmaktadır. Yüzme hareketi sinüs dalgası üzerine oturtulacağı için prototipin tasarım ve imalatı üç eklemlilik olarak yapılmıştır. Üç eklemlilik tasarım ile üretilen prototipin kuyruğunun gerek düşük, gerekse yüksek hızlarda suya gövde boyunca itme kuvveti uygulayacak şekilde hareket edeceği öngörülmüş ve bu metoda "hareketli dalga" yaklaşımı denilmiştir [14].

Koray ŞAFAK ve arkadaşları Nitinol tel tarafından sergilenen şekil belleği etkisi ile yapay kas oluşturmak için kullanılabilirliği üzerinde durmuşlardır. Bu sistemde yapay kas elektrik akımı ile aktive edilir, yapay kas üzerinde akımın etkisi ile ısı üretilir ve bir faz dönüşümü başlatılır. Başlayan döngüsel hareketlerle de hareket elde edilmiş olur. Ürettikleri yapay kasın gerilme-şekil-güç ilişkisini deneylerle belirlemişler, bir matematiksel model geliştirmişler ve bunu yapay kas modeli ile biyomimetik sualtı robotunun duruş kontrolü için kullanmışlardır. Daha sonra tasarımını yaptıkları sualtı robotunun simülasyon sonuçları ile deneylerde elde ettikleri sonuçların uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında yaptıkları sualtı robotu Şekil 1.12’de görüldüğü üzere istakoz benzeri 8 ayaklı yapıdan oluşmakta ve bacak başına 3-derece serbestlik hareketi yapabilmektedir. Robotun her bir bacak eklemi için nitinol yapay kas modüllü kullanmışlardır [5].



Şekil 1.12. Koray ŞAFAK ve arkadaşları tarafından geliştirilen Lobster robotu

1.2.Çalışmanın Amacı

Bu tezde biyolojik doğal kas hareketini taklit eden SMA aktuatör ile hareket edebilen sualtı robotunun doğal balığı taklit ederek biyomekanik hareket elde edebilmesi hedeflenmektedir. Bu tez kapsamında SMA aktuatörlü alternatif hareket sistemine sahip ve doğal balık hareketini taklit ederek her yönüyle doğadan ilham alınmış sistem tasarımı yapılması planlanmıştır. Tasarım ve imalat aşamaları tez süreci içerisinde tamamlanan sualtı robotunun uzaktan kumanda yöntemiyle sualtında hareket edebilmesi sağlanmıştır. Tasarlanan sualtı robotunun SMA aktuatör gruplarıyla kuyruk salınım hareketi yaparak sualtında hareket edebilmesi hedeflenmektedir. Sualtında hareket eden robotun SMA aktuatörlerinin sualtında akustik iz bırakmadan hareket etmesi planlanmaktadır. SMA aktuatörler, ağırlığı 1,3 Kg olan sualtı robotuna itki sağlayacaktır. Tasarımı yapılan sualtı robotunun içerisine uzaktan kumanda alıcısı, SMA aktuatörlerin sürücülerini ve pilleri alacak şekilde tasarlanmaktadır. Sualtı robotu içerisinde su ile temas etmemesi gereken elektronik elemanlar bulundurduğundan tasarımı yapılan sualtı robotunun su sızdırmazlığının sağlanması önemlidir.

Sualtında akustik iz bırakmadan hareket edebilen sualtı robotunun doğal ortamda balık ve habitatların gözlemlenmesi çalışmalarında ve askeri amaçlı kullanılarak ülkemize ve literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

1.3.Güncel Teknolojide Kullanılan Aktuatörler

1.3.1. İçten Yanmalı Makineler

Benzin, dizel, etanol, lpg ,cng vs. sıvı ya da gaz yakıtın motor içinde yanma odası adı verilen sınırlı bir alan içinde yakılması ile oluşan basıncın, piston denen parçayı hareket ettirmesi ile oluşan makinedir.

Bu motorlara içten yanmalı motor adının verilmesinin sebebi ,yanma olayının motor içerisinde gerçekleşmesidir. Bu makinelere örnek olarak benzin motoru, dizel motor, wankel motor ve gaz türbinleri verilebilmektedir.

Yakıt, karbüratör veya yakıt enjeksiyonu sistemiyle belli bir oranda hava ile karıştırılarak yanma odası denilen silindirin içine gönderilir. Karışım piston tarafından

sıkıştırılarak buji yardımıyla ateşlenir. Dizel motorlarda ateşleme buji yerine yüksek basınç altında sıkıştırmayla yapılır. Karışım CO₂ ve CO'e dönüşür. Bu reaksiyon hacim ve ısı yaratır. Pistonların salınım hareketinin Krank mili yardımıyla mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle iş yapılmış olur. Yakıt olarak önceleri gazyağı kullanılmıştır. Günümüzde ise benzin, mazot, fueloil ve doğal gaz kullanımı oldukça yaygındır.

Enerji verimi, tüketilen yakıtın kimyasal enerjisinin üretilen mekanik enerjiye oranı olarak tanımlanır. Modern turboşarjlı motorların yaklaşık verimi %20 dir. İçten yanma termodinamik olayının teorik maksimum veriminin %35 olduğu göz önüne alınırsa, geri kalan %15 lik enerji kaybı yakıtın sıkıştırılmasında, pistonların sürtünmesinde ve diğer işlemlerin gerçekleştirilmesinde harcanır [17,18].

1.3.2. Dıştan Yanmalı Makineler

Dıştan yanmalı motor; sıvı, katı, gaz ya da toz haldeki yakıtın yanması ile sistemde çalışacak olan farklı bir akışkanı ısıtarak, ısınan akışkan aracılığı ile enerji dönüşümünü yapan bir motordur. Bu makinelere örnek olarak buhar makineleri ve stirling makineleri verilebilir.

Dıştan yanmalı motorlar, içten yanmalı motorlardan daha düşük güçte ve daha çok yer kaplayan bir yapıdadır, fakat bazen daha verimli ve yanma sonucu daha az zararlı partikül içeren durumlarda olabilirler. Düşük yanma sıcaklığı ve basınçları nedeni ile daha az zararlı egzoz gazı çıkarması nedeni ile daha çevreci olmaya meyillidirler.

Mekanik enerji ile ısı enerjisi birbiri ile bağlantılıdır. Örneğin, makinenin hareketli parçaları arasındaki sürtünme ile mekanik enerji, ısı enerjisine dönüşür. Isı enerjisi de, ısı motorları ile mekanik enerjiye dönüşebilir [19,20].

1.3.3. Elektrik Makineleri

1881 yılında Michael Faraday'ın elektrik ve mekanik enerjiler arasındaki ilişkiyi keşfine kadar sadece kimyasal yollarla elde edilen elektrik enerjisi, Ampere ve Bio'Savart gibi bilim adamları tarafından ortaya konulan elektrik ve manyetik alanlarla ilgili diğer çalışmalar sonunda mekanik enerjiden elde edilmeye başlanmıştır. Böylece ortaya çıkan

elektromekanik enerji dönüşümü, elektrik generatör ve motorlarının ve mikrofon gibi aynı ilkelere göre işlev gören cihazların gündeme gelmesine yol açmıştır.

Enerji dönüşümünü dönme hareketi ile yaparak, girişindeki elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalara elektrik motorları, girişindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinalara da elektrik generatörleri denir. Bir makinanın motor ya da generatör olarak çalışması için, başka bir deyimle elektromekanik enerji dönüşümü yapabilmesi için hareket eden bir parçası olması gereklidir.

Motor ve generatörlerden başka, hareket eden hiçbir parçası olmayan, girişindeki elektrik enerjisinin türünü değiştirmeyen, buna karşılık gerilim, akım gibi bileşenlerini değiştiren makinalar vardır. Bu makinalara da transformatör adı verilir [21,22].

1.3.4. Hidrolik Aktuatörler

Hidrolik, Yunanca su anlamına gelen hydro ile boru anlamına gelen aulos kelimelerinden türetilmiştir. Elektrik motorunun tahrik ettiği hidrolik pompa ile akışkanın belirli basınçta ve debide basıldığı ve bu hidrolik enerji ile doğrusal, dairesel ve açılma hareketin üretildiği sistemdir [23,24].

1.3.5. Pnömatik Aktuatörler

Pnömatik Yunanca bir kelime olan pneuma (hava, rüzgar) kelimesinden türetilmiştir. Önceleri sadece havanın basıncından yararlanılarak çalışan birçok makine, araç ve gereç vardı. Diğer enerji çeşitlerine göre dar ve kısa alanda daha hızlı, kolay elde edilen, ucuz olan hava enerjisi son zamanlarda durumu değiştirilerek kullanılmaya başlamıştır. Özellikle otomasyon ile üretimde durum değişikliğinden fazlaca yararlanılmaktadır. Hava atmosferde bol miktarda bulunmaktadır. Uygun yöntemlerle alınıp, depolanabilir, basınç kazandırılabilir. Her durumda değişim gösterir. Bu değişimler ne olursa olsun tekrar atmosfere bırakılabilir. Tehlikeli gazlarla çalışan sistemlerde gazın atmosfere salınımı söz konusu değildir. Bunun yerine, iş yaparak basıncı azalan tehlikeli gazın tekrar basıncı artırılarak kapalı çevrim olarak kullanılmalıdır. Havanın atmosferde bol miktarda bulunması, elde edilmiş (hammadde) maliyetinin düşük olmasını sağlar. Havanın depolanması da mümkündür. Depolanması sırasında basınçlı, basınçsız her

türlü kapta depolanabilir. İstenildiği an kullanıma hazırdır. Kullanım hızı da çok yüksektir. Basınçlı havanın bir enerji olarak kullanılması çok eski yıllara rastlar.

Pnömatik basıncını doğrusal veya dairesel hareket [enerjisine çeviren sistemlere pnömatik aktuatör denir](#) [23,24,25].

1.3.6. Piezoelektrik Aktuatörler

Piezoelektrik aktuatörler aktif madde olarak piezoelektrik malzemeler kullanılarak %1'lik gerginlik farkıyla hareket enerjisi elde edilebilen sistemlerdir [26,27,28].

1.3.7. SMA (Shape Memory Alloy) Aktuatörler

SMA aktuatör yapıya gelen enerji, SMA aktuatörün aktif kısmını ısıtarak soğuk fazdaki yapısal duruma geçmeye zorlamakta ve mekanik hareket enerjisi sağlamaktadır [15,16,17].

1.4 Sualtı Robotu (Denizaltı)

Denizlerin altına dalmak, deniz içi ve deniz dibi nimetlerinden yararlanmak düşüncesinin insan hayallerini törpüleyen binlerce yıllık bir geçmişi vardır. Denizaltı aracı, sualtında ve yüzey seviyesinde bağımsız şekilde hareket edebilen bir deniz aracıdır.

Klasik dizel denizaltının itici gücü,1890'larda geliştirilmiş Ward-Leonard sistemine dayanır. AC Motor-Jeneratör-DC Motor, bu sistemin orijinal halidir. Sistem, motor verimindeki en az kayıp üzerine kurulmuştur. Denizaltıda uygulaması; Dizel-jeneratör-batarya-DC elektrik motoru şeklindedir. Denizaltılarda itici güç için dizel motorundan elde edilen elektrik enerjisi kullanılır. Elektrik enerjisi bataryalarda toplanır ve elektrik motorlarına iletilir. Su altında dizel motor çalışmayacağı için (dizel motorun çalışması için ihtiyaç duyulan hava yüzünden) elektrik motorları ile hareket sağlanır. Bataryalar tasarıma göre değişen çok sayıda pilden oluşur. Öyle ki bazı dizaynların dalış tonajının üçte birini bataryalar oluşturmaktadır.

Yüzeye çıkıldığı zaman dizel motorlar çalıştırılır. Böylelikle bataryalar yüklenir. Aynı zamanda dizel motor gücüyle denizaltı hareket ettirilir. Bu seyir kademesine de yastıklama seyri denir. Hem bataryalar şarj olur, hem de elektrik motorları çevrilir.

Daha farklı olan nükleer denizaltılarda, reaktörde açığa çıkan ısı ile yüksek basınçlı buhar üretilir. Bu basınçlı buhar, türbinleri ve bunlara bağlı olan jeneratörleri çevirerek itici gücü oluşturur [29].

1.5. Aktif Sonar

Su altındaki her türlü sesi dinlemeye imkân veren cihazdır. Tekne dışındaki Hydrophone denilen algıçlarına gelen ses titreşimlerinin, düşük voltajlarda elektrik enerjisine dönüşmesi esasına göre çalışır. Yakın tarihe kadar operatörlerin kulak hassasiyeti ve tecrübesi ile etkili bir şekilde kullanılabilen bu cihaz; frekans bandının genişletilmesi ve kütüphanesine, su altında duyulabilecek sesleri tanıma için karşılaştırma yapabileceği örnekler kaydedilmesi sayesinde, operatöre net analiz sonuçları vermekte ve tespitinde yardımcı olmaktadır [29].

1.6. Pasif Sonar

Radarla aynı esasa göre çalışan sonarlar, elektromanyetik dalga yerine ses dalgası gönderir. Gönderilen "Ping" in frekansı arttıkça hedefe çarpıp dönme mesafesi kısalır. Bu frekansın "Kesinliği" fazladır ve cihazları az yer kaplar. Tabakası fazla denizlerde yüksek frekansın etkinliği iyice azalır. Alçak frekans uzak mesafelere gidebilir fakat bu frekansın seçiciliği azdır ve cihazları çok yer kaplar. Denizaltı Harekatı bölümünde incelenen ortam şartlarına bağlı olarak çok uzak mesafelerden duyulabilir. Su altındaki her türlü sesi dinlemeye imkan veren cihazdır. Tekne dışındaki Hydrphone denilen sensörlerine-alınacağına gelen ses titreşimlerinin, düşük voltajlarda elektrik enerjisi dönüşmesi esasına göre çalışır. Yakın tarihe kadar operatörlerin kulak hassasiyeti ve tecrübesi ile etkinleşen bu cihaz; frekans bandının genişletilmesi ve kütüphanesine, su altında duyulabilecek sesleri tanıma için karşılaştırma yapabileceği örnekler

kaydedilmesi sayesinde, operatöre net analiz sonuçları vermekte ve tespitinde yardımcı olmaktadır [29]

1.7. Lithium-iyon piller

Enerjinin istendiği zaman ve istenilen yerde kullanılmaya hazır olması istenir. Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya depolama denir. Bu depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir. Elektrik enerjisinin tekrar kullanılmak üzere kontrollü olarak depolanması pillerle sağlanır. Bir depoda aranan özellikler; yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj/deşarj verimi, kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması, uzun ömür, ucuzluk, enerji yoğun olmasıdır.

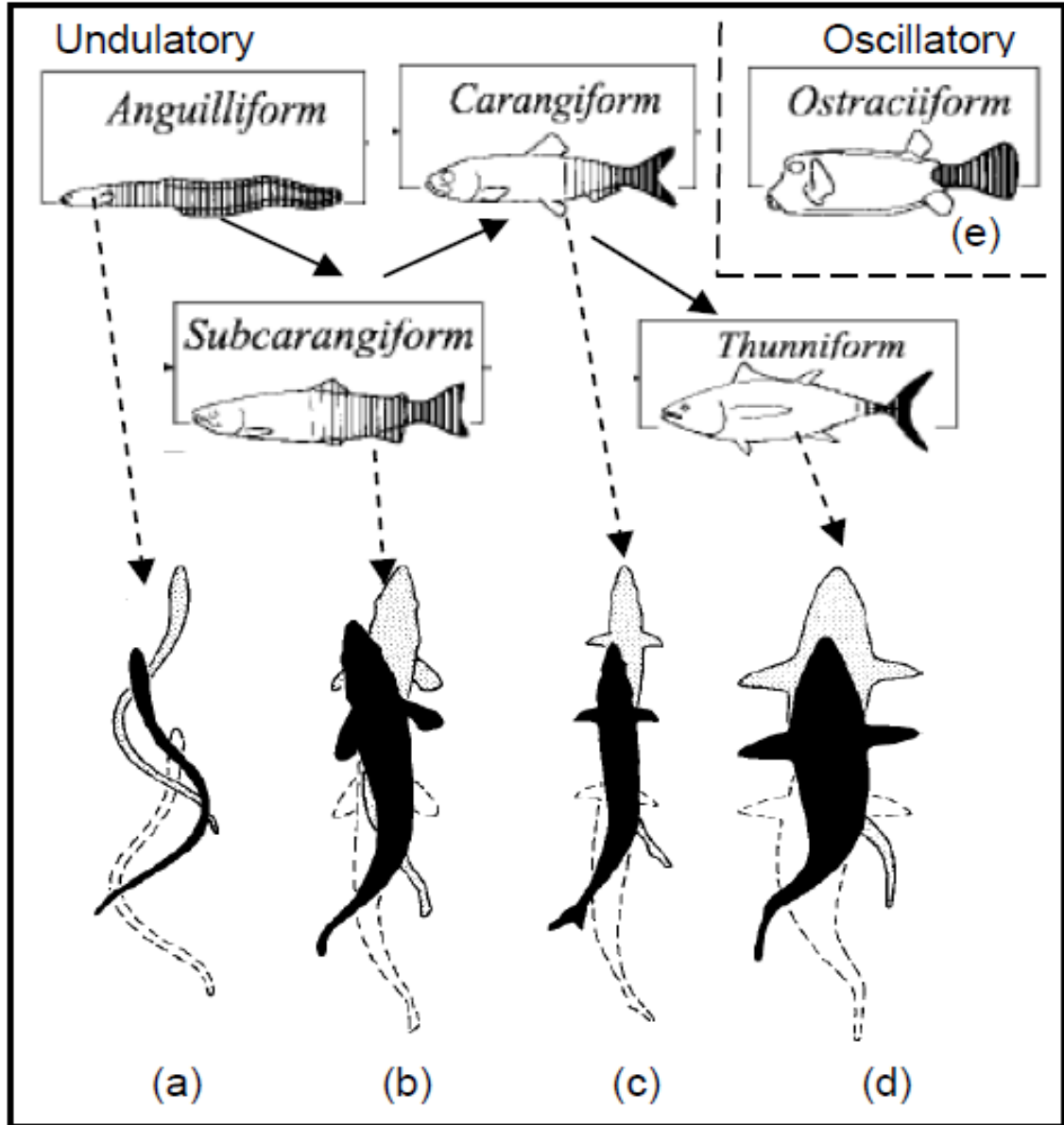
Tekrar şarj edilebilir piller ikincil piller olarak bilinirler. Deşarj olduktan sonra tekrar şarj edilerek kullanılabilen elektrokimyasal hücrelerdir. İkincil (tekrar şarj edilebilir) lityum iyon piller üzerine yapılan araştırma geliştirme faaliyetleri taşınabilir elektrik ve elektronik cihazlara artan talebin yanı sıra elektrikli arabaların taşıma sektöründeki öneminin artmasıyla da gün geçtikçe değer kazanmaktadır. Lityum iyon piller sergiledikleri yüksek enerji yoğunlukları ve toksik olmamaları nedeniyle cep telefonu, diz üstü bilgisayarlar ve küçük ev aletlerinde ve salgıladıkları düşük seviyedeki CO₂ gazı salınımı sebebiyle de çevre bilincine sahip tasarımcılar ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedirler [30].

1.8. Balık Yüzme Stilleri

Sualtı robotu tasarımı konusunda araştırmaların başında, doğal balık anatomisi ve hareket kinematiği üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda yapılan araştırmalarda balıkların memeli ya da amfibik olmalarına göre kuyruklarının yatay ya da dikey olma durumunun varlığı tespit edilmiştir. Kuyruk yapısı dikey olan balıklar hızlı ve kısa mesafede yüzen balıklar olmaktadır. Kuyruk yapısı yatay olan balıklar dikey olanlara göre daha yavaş ama uzun mesafe yüzmeye elverişli balıklar olmaktadır. Balıkların kuyruk salınımı ile hareket etmesini sağlayan en önemli parametre her salınım esnasında sürüklediği su kütlesidir. Sürüklenen su kütlesinin hareketlendirilmesi sonucu hareketlenen su kütlesi

nispetince ileri yönlü itki hareketine çevrilmektedir. Balıkların hareket kinematiği incelendiğinde Tablo 1.2’de görüldüğü üzere başlıca dört tip salınım tahrik metodu vardır [7,8,9]. Balıkların kuyruk ve vücut yapıları, hangi tipte yüzme stiline sahip olduklarına göre farklılık gösterir.

Tablo 1.2. Balık Yüzme Stilleri Tablosu

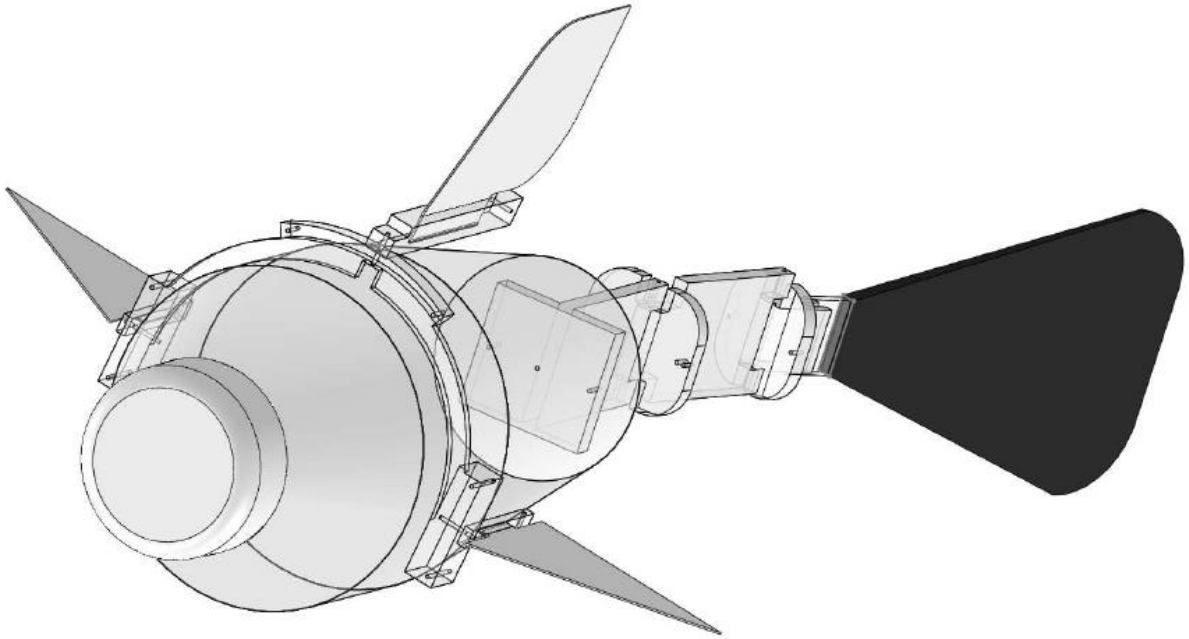


2 MATERYAL VE YÖNTEM

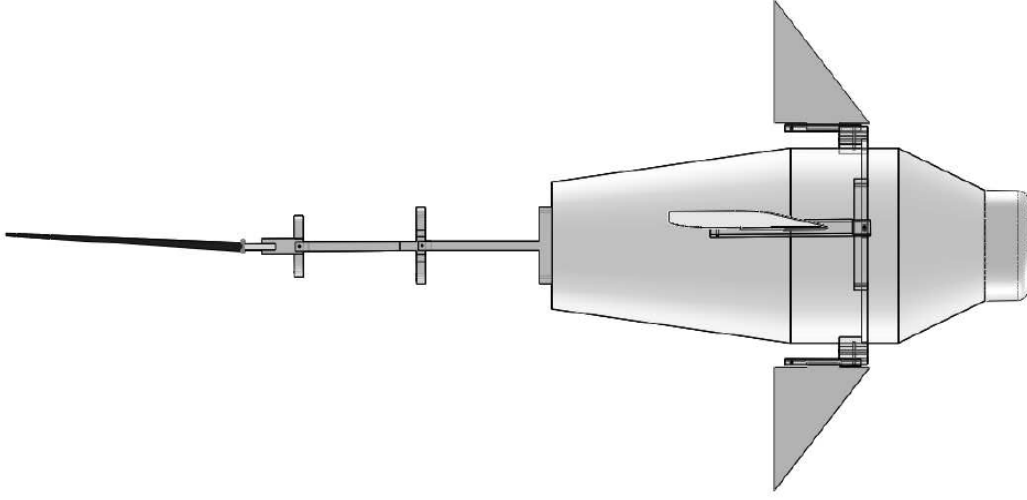
Tezin uygulama aşamasında sualtı robotunun itki sistemleri ve gövdesinin tasarımı için Solid Works 3D modelleme programı kullanılmıştır. Tasarımı yapılan Aktuaor grupları National Instrument DAQCard-6036E veri toplama kartı yardımıyla denemeler yapılarak optimizasyonları sağlanmıştır.

2.1. Sualtı Robotu Modelinin Üretimi

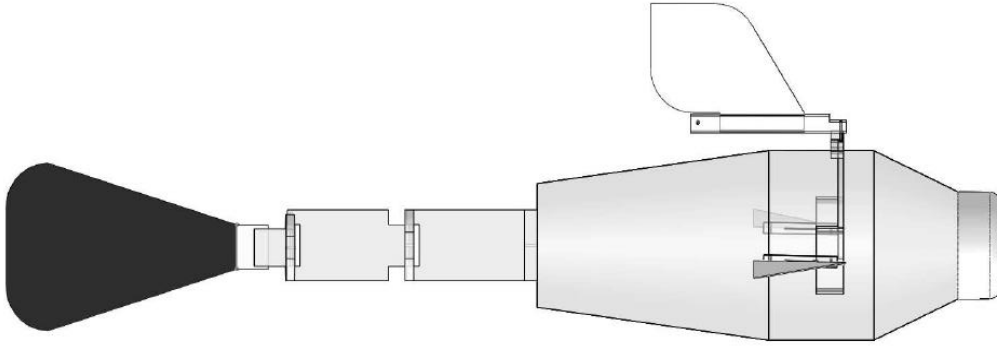
Yapılan literatür çalışmaları değerlendirilerek sualtı robotunun yunus balığı benzeri yapıya sahip olması sağlanarak, carangiform yüzme stiline sahip olabilmesi için 2 eklemlili tasarlanmasına karar verilmiştir. Tasarımı yapılan sualtı robotunun toplam boyu 45 cm ve kuyruk mekanizması ile gövdenin boy oranı carangiform yüzme stiline uygun olması için 8/3 oranlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımı yapılacak sualtı robotunun 3D bilgisayar modeli Şekil 2.1’de ,3D modelin üstten görünümü Şekil 2.2’de 3D modelin yandan görünümü Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Sualtı Robotunun 3D Modeli



Şekil 2.2. Sualtı Robotunun 3D Modelinin Üstten Görünüşü



Şekil 2.3. Sualtı Robotunun 3D Modelinin Yandan Görünüşü

Kuyruk, mekanizmasının ucuna monte edilen ve değişik kuyruk tiplerinin denenebileceği şekilde kuyruk uç kısmı montajı yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sağ ve sol manevra mekanizmaları, balıkların sırt yüzgeci olarak kullandıkları bölüme yerleştirilerek SMA aktuatörlerle hareket edebilmesi tasarlanmıştır. Dalış ve çıkış manevrası mekanizmaları, balıkların göğüs yüzgeci olarak kullandıkları bölüme yerleştirilerek SMA aktuatörlerle hareket edebilmesi tasarlanmıştır.

Tezin uygulama aşamasında sualtı robotunun itki sistemlerini oluşturan SMA aktuatör gruplarının temel gövde bileşenleri pleksi malzemeden üretilmiştir. Üretilen pleksi kuyruk mekanizmasına 0.03 mm çapında yay genişliği 0.12 mm olan yay formundaki

SMA tellerden ileri yönlü, sağ sol yönlendirici ve dalma çıkma yönlendirici aktuatör grupları uygun şekilde yerleştirilmiştir.

Tasarımı yapılan sualtı robotunun içine bir uzaktan kumanda modülü yerleştirilmiş ve bu modülün su altında çalışabilir olmasına dikkat edilmiştir.

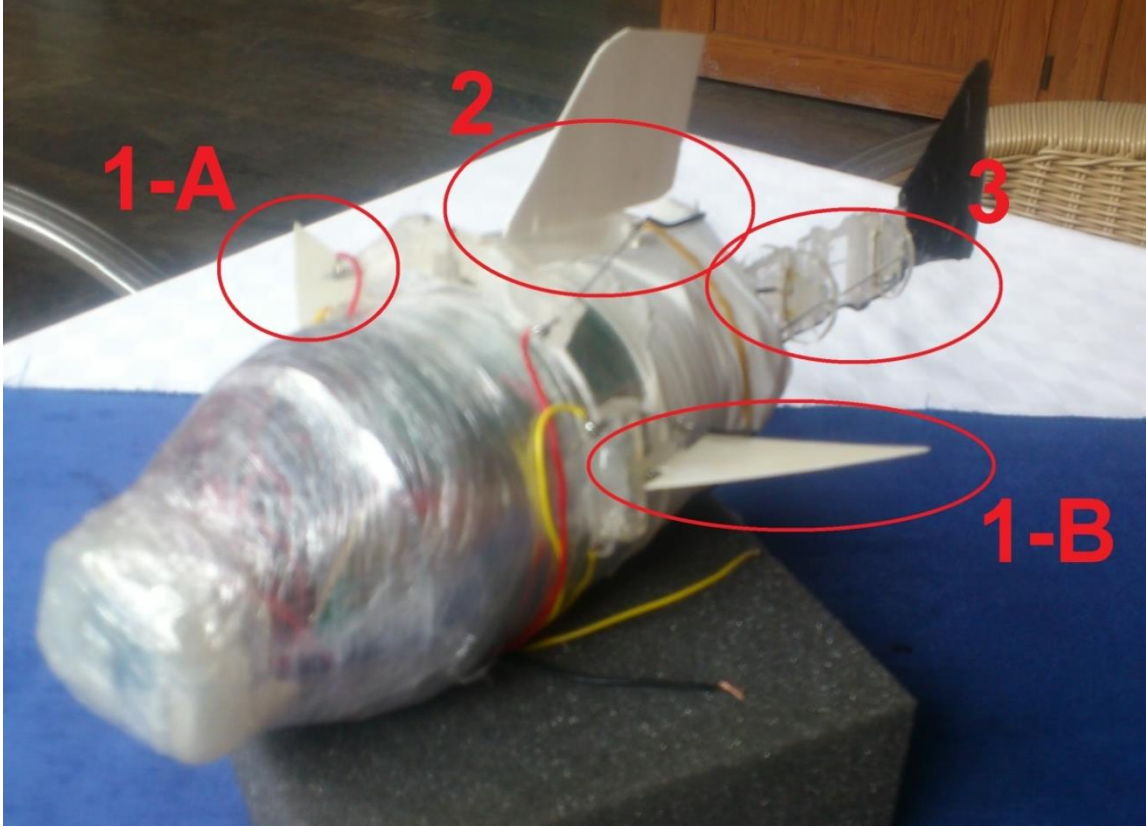
Bahsedilen uzaktan kumanda sualtı robotunun gövde kısmında bulunan ve yaklaşık 1300 cm³ hacime sahip olarak tasarlanmış olan balığın gövdesine SMA aktuatörlerin sürücü kartları ve pilleri ile beraber yerleştirilmiştir. Sürücü kartları, uzaktan kumanda modülü ve pillerin toplam ağırlığı 1,3 Kg'dır. Sualtı robotunun gövde kısmında bulunan uzaktan kumanda devresi ve sürücü kartları Şekil 2.7'de görülmektedir.

Tasarımı tamamlanan Aktuatör grupları National Instrument DAQCard-6036E veri toplama kartı yardımıyla denemeler yapılarak aktuatör gruplarının optimizasyonları sağlanmıştır. SMA aktuatörlerin optimizasyonu yay gerginlikleri ayarlanılarak sağlanmaktadır. Gerginliği sağlanmadan yerleştirilen SMA yayların enerjilenmesinin hareket eldesi sağlamadığı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

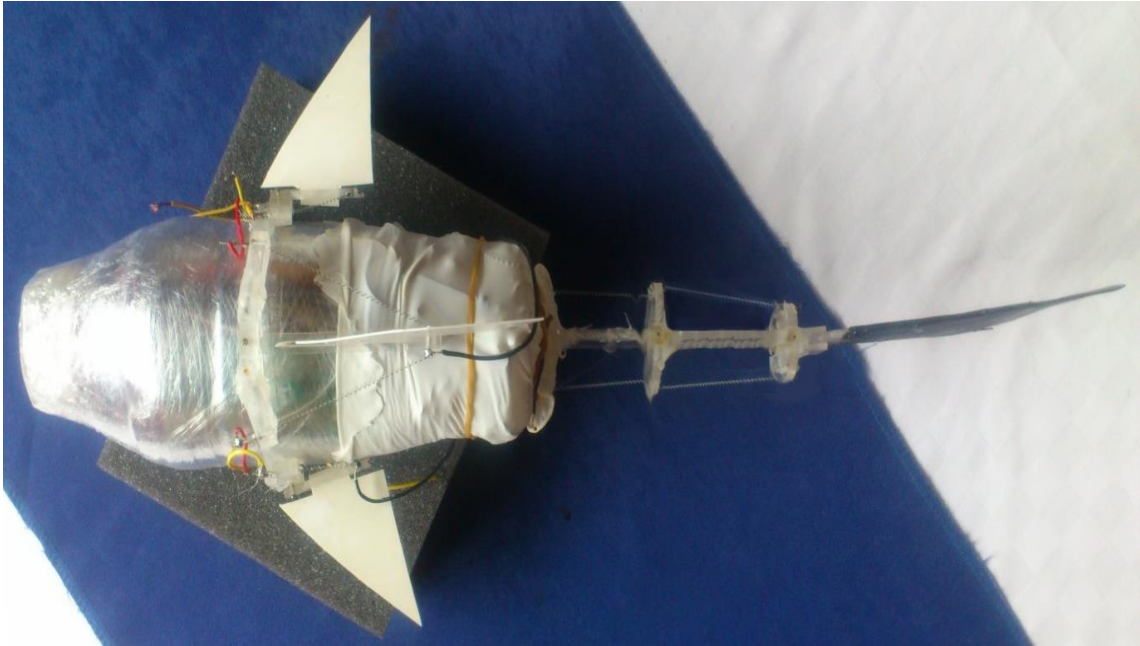
Yapılan denemelerde kuyruk salınım hızı artması ve azaltılmasının sualtı aracının hızını düşürdüğü tespit edilmiştir. Kuyrukta bulunan SMA aktuatörlerin hareket kabiliyetini optimum düzeyde kullanılabilmesi için kuyruk çırpma hızının 2,5 Hz lik salınımla çalışması gerektiği tespit edilmiştir. Göğüs ve sırt yüzgeçlerindeki SMA aktuatör grupları üretim aşamasında sürücü kartının ısısı ve tüketeceği akım göz önünde bulundurularak istenen yönlü çırpınma hareketi için 10Hz'lik %50 modülasyonlu darbelerle sürülmesinin etkili olacağı tespit edilmiştir.

Kuyruk mekanizmasının ucuna yerleştirilecek uç kuyruk mekanizması, farklı tip kuyrukların denenebilmesi için değiştirilebilir olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Tezde kullanılmak üzere 2 adet kısa geniş ve uzun ince yapılı esnek kuyruklar imal edilmiştir.

Tasarımı tamamlanan sualtı robotunun göğüs yüzgeçleri, sırt yüzgeci ve kuyruk yüzgeci Şekil 2.4'de görülmektedir. Tasarlanan sualtı robotunun Şekil 2.5'de üstten görünüşü Şekil 2.6'da yandan görünüşü görülmektedir.



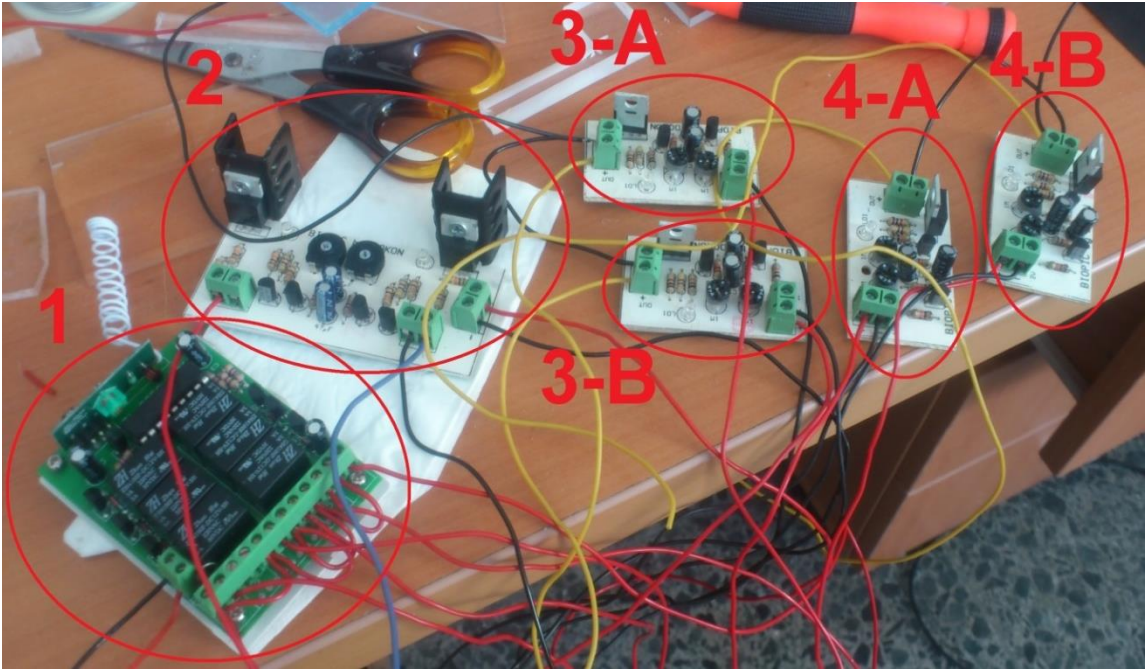
Şekil 2.4. Sualtı Robotu; 1-A 1.Göğüs Yüzgeci, 1-B 2.Göğüs Yüzgeci, 2 Sırt Yüzgeci, 3 Kuyruk Yüzgeci



Şekil 2.5. Sualtı Robotunun Üstten Görünüşü



Şekil 2.6. Sualtı Robotunun Yandan Görünüşü



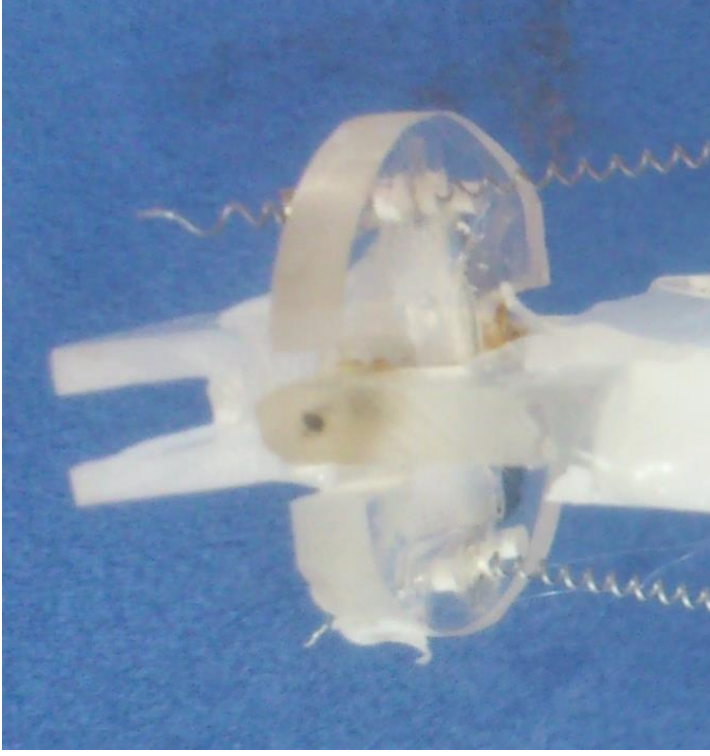
Şekil 2.7. Sualtı Robotu İçerisindeki Elektronik Bileşenler ; 1 uzaktan Kumanda Alıcısı , 2 Kuyruk Yüzgeci Sürücüsü , 3-A Göğüs Yüzgeci Dalma Sürücüsü , 3-B Göğüs Yüzgeci Çıkma Sürücüsü , 4-A Sırt Yüzgeci Sağ Yönelme Sürücüsü , 4-B Sırt Yüzgeci Sol Yönelme Sürücüsü

Sualtı robotunun kuyruk mekanizmasının ucundaki silikondan yapılmış iki tip kuyruk Şekil 2.8’de görülmektedir. İki tip silikon kuyruk tarafımızdan üretilmiş olup farklı tipte kuyrukların davranışlarının incelenmesi amacıyla kullanılabilir. Bahse konu kuyruk uç kısımları, değiştirilebilir olması için kuyruk mekanizmasının ucuna monte ve demonte edilebilir şekilde tasarlanmış ve Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

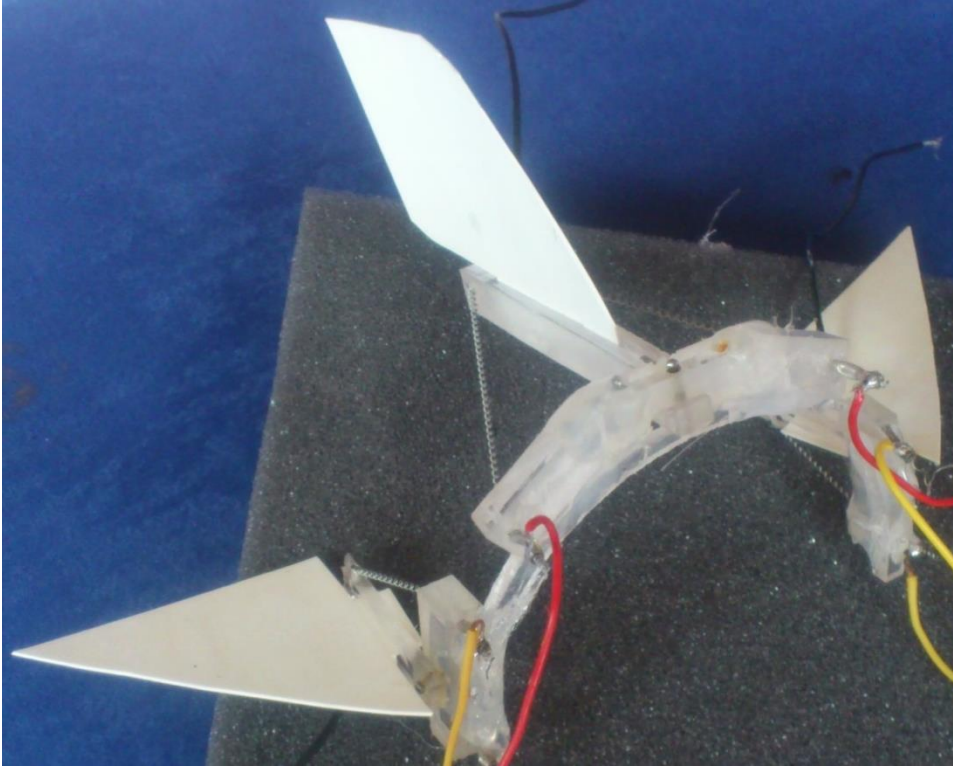
Tasarımımızın esnek yapıda olabilmesi için göğüs yüzgeçleri ve sırt yüzgeçlerinin olduğu mekanizma istendiğinde çıkarılabilir olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan mekanizmanın resmi Şekil 2.10’da ve 3D modeli ise Şekil 2.11’de verilmiştir. Bahse konu mekanizmanın sualtı robotuna istendiğinde pratik olarak montajı ve demontajı yapılabilmektedir.



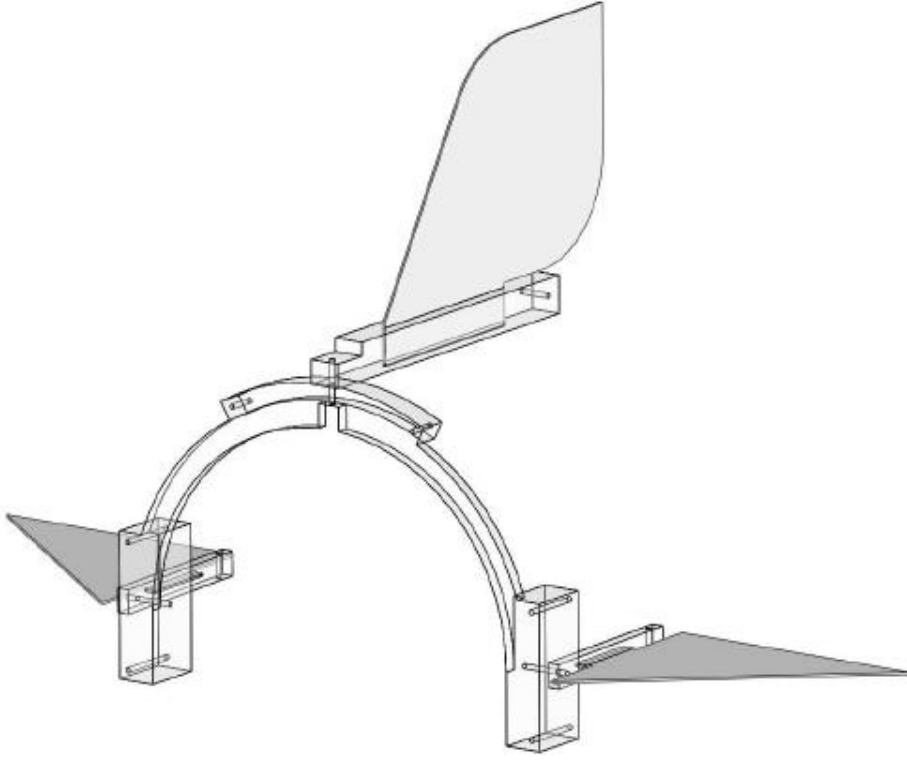
Şekil 2.8. Sualtı Robotu ince uzun ve kısa kalın kuyruk uçları



Şekil 2.9. Sualtı Robotu kuyruk uçları bağlantı noktası



Şekil 2.10. Sualtı Robotu kuyruk ve sırt yüzgeçlerinin olduğu mekanizma



Şekil 2.11. Sualtı Robotu kuyruk ve sırt yüzgeçlerinin olduğu mekanizmanın 3D modeli

2.2. Sualtı Robotunda Kullanılan SMA Aktuatör Gruplarının Çalışması

Sualtı robotunda kuyruk salınım hareketi için çift taraflı 2 eklemlili SMA aktuatör tasarlanmıştır. Tasarım sırasında çeşitli ebat ve özelliklerde SMA tel ve yaylarla yapılan testlerde SMA aktuatörler için kullanılacak SMA telin düz tel olarak kullanılması durumunda aktuatörün hareketinin sınırlı kalacağı değerlendirilerek yay kullanmanın daha verimli olacağı değerlendirilmiştir.

Yapılan denemelerde tel çapı 0,012 mm ve yay çapı 0,4 mm olan %50 nikel %50 titanyum alaşıma sahip SMA yayın kullanılmasının verimli olacağı değerlendirilmiştir. Aktuatörün verimli çalışabilmesi için yapılan testler sonucunda SMA yayın yerleşiminin önemli olduğu görülmektedir. Bu kapsamda SMA yayın ilgili mekanizmaya yerleştirilirken %125 uzatılarak yerleştirilmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Nikel ve titanyum oranı farklı olan SMA'lerin hareket kabiliyetlerinin farklı olduğu anlaşılmıştır.

SMA aktuatörlerin çalışması için sürücü kartında SMA aktuatörün birincil kısmına gelen enerji SMA malzemenin ısınması sonucu büzülerek mekanizmayı hareket ettirmekte ve birincil tarafa çekmesini sağlamaktadır. Enerjinin kesilmesiyle beraber, ikincil kısma gelen enerjinin SMA malzemenin ısınması sonucu büzülerek mekanizmayı ikincil tarafa çekmesi sağlanmaktadır. Döngüsel olarak kuyruk ucundaki elastik kuyruk bölümü toplam 20 derecelik bir alanı tarayarak arada kalan su kütlelerinin basıncını artırır. Basıncı artan su kütlesi yüksek basınçlı su kütlesi durumuna geçer. Sualtı robotu alçak basınçlı olan su kütlelerine doğru akma hareketi yapmaya başlayarak öne doğru hareket eder.

Sualtı robotunun göğüs yüzgeçleri sayesinde sualtı robotu dalma çıkma yönlü hareket etmektedir. Göğüs yüzgeçleri olarak tasarlanan mekanizma sualtı robotunun iki yanına ayrı ayrı tasarlanarak üretilmiştir. Sualtı robotunun dalma çıkma yönlü hareket etmesi için sürücüden gelen 12 V DC gerilimin % 40 PWM'li darbelerle ilgili SMA aktuatörün hareket etmesi sağlanmıştır.

Sualtı robotunun sırt yüzgeçleri sayesinde sağ sol yönlü hareket etmesi sağlanmaktadır. Sırt yüzgeçleri olarak tasarlanan mekanizma sualtı robotunun üst kısmına yerleştirilmiştir. Sualtı robotunun sağ sol yönlü hareket etmesi için sürücüden gelen 12 V DC gerilimin % 40 PWM'li darbelerle ilgili SMA aktuatörün hareket etmesi sağlanmıştır.

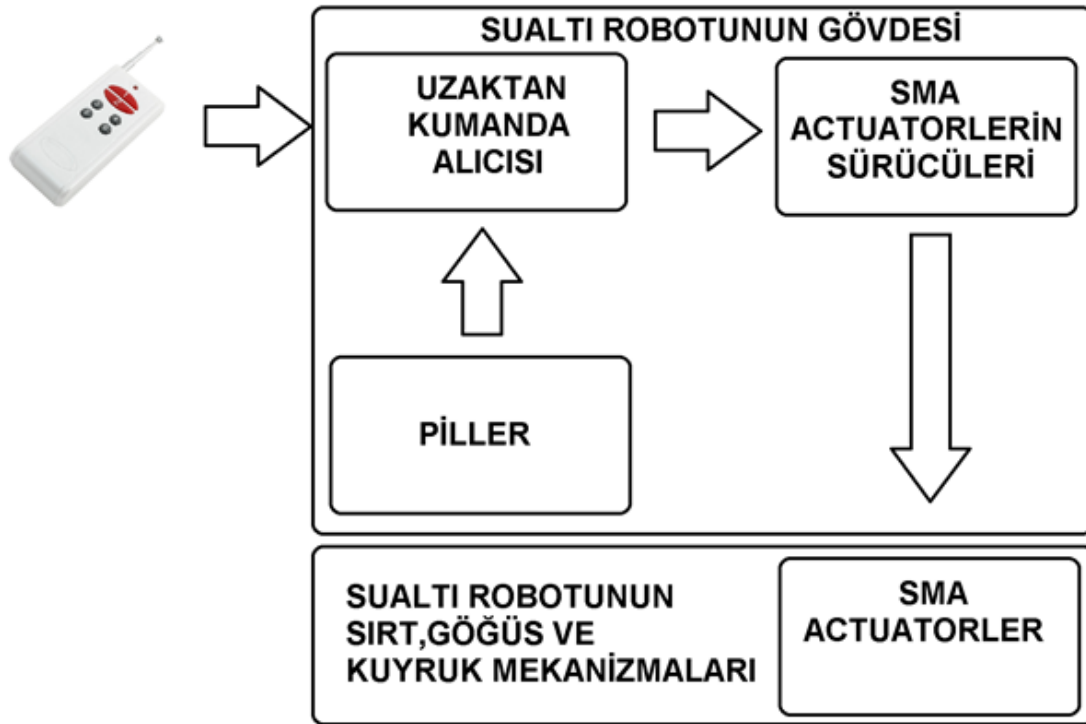
Sualtı robotu üretim ve test aşamasında kullanılan kuyruk uc kısmı için çeşitli materyellerle kuyruk tasarlanarak denenmiştir. Proje kapsamında sert ve esnek olmayan materyellerin sualtı robotununa itki sağlamadığı tespit edilmiştir. Balıkların doğal mekanizmalardan etkileşim sağlanarak kuyruk uç kısımlarının esnek yapıda olması gerekliliği tespit edilmiştir. Tasarım aşamasında kuyruk uç kısmı için iki titanyum çubuk isketine sahip silikon kuyruklar imal edilmiştir. Şekil 2.8'de görülen silikon kuyruklar esnek yapısı ile sualtı robotunun uç kuyruk kısmını oluşturmaktadır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarımı yapılan sualtı robotunun elektronik ve mekanik bileşenlerinin ayrıntıları açıklanarak sualtı robotunun sualtında hareket kabiliyetleri hakkında yapılan testlerin sonucu ve elde edilen veriler sunulmuştur.

3.1. Sualtı Robotunun Bileşenleri

Yapılan çalışmada AK-12-6 model numaralı uzaktan kumandadan gelen 5 ayrı komuta göre AK-RK06S model numaralı uzaktan kumanda alıcısında işlenen veriyi SMA aktuatör sürücülerine tetik sinyali gönderilerek ilgili SMA aktuatör grubun tahrik edilmesi ile sualtı robotun hareket etmesi sağlanmıştır. Sualtı robotunun uygulama şeması Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Sualtı Robotunun Uygulama Şeması

Sualtı robotunun hareket edebilmesi için gerekli enerjiyi model kodu 18650 olan 3.7 V 2500 mAh kapasiteye sahip 8 adet şarj edilebilen Lithium-iyon pillerden sağlamaktadır. Yeniden şarj edilebilir Lithium-iyon pillerin seçilmesindeki amaç düşük ağırlık, düşük hacim, yüksek kapasite ve düşük CO₂ salınımına sahip olarak sualtı robotumuz için gerekli enerjiyi verebilmeleridir.

Tasarımı yapılan sualtı robotunun sualtında çalışabilen uzaktan kumanda ile donatılması amacıyla aktarım frekansı 315MHz / 433MHz arasında 6 kanallı uzaktan kumanda modülü kullanılmıştır. Uzaktan kumanda modülünün açık havadaki menzili 200 metre olup sualtında yapılan denemelerde 4 metre derinliğinde sualtında modülünün sinyalleri doğru olarak algıladığı tespit edilmiştir. Uzaktan kumanda modülü sualtında 1 metre derinlik ile 15 metre mesafeden kumanda modülünün sinyalleri doğru olarak algıladığı tespit edilmiştir. Uzaktan kumanda modülünün nominal çalışma akımı 6 mA'dir.

Uzaktan kumanda modülü 6 kanallı olup proje kapsamında 5 kanalı kullanılmıştır. Uzaktan kumanda modülünün 1 no'lu tuşuna sürekli basılmasıyla sualtı robotunun ileri yönlü hareket etmesi sağlanmaktadır. Sualtı robotunun sağ yönlü hareketi için 3 no'lu tuşa sürekli basılması gerekmektedir. Sualtı robotunun sol yönlü hareketi için 4 no'lu tuşa sürekli basılması gerekmektedir. Sualtı robotunun aşağı yönlü hareketi için 5 no'lu tuşa sürekli basılması gerekmektedir. Sualtı robotunun yukarı yönlü hareketi için 6 no'lu tuşa sürekli basılması gerekmektedir. Uzaktan kumanda alıcısına gelen sinyal ile uzaktan kumanda devresi ilgili rölesini enerjilemekte ve enerjilenen rölenin kontak uçlarına bağlanan mosfet sürme devresine enerji iletimi sağlanmaktadır. Mosfet sürme devreleri yalıtımlı olduğu için istem dışı çalışmasına imkan olmamaktadır.

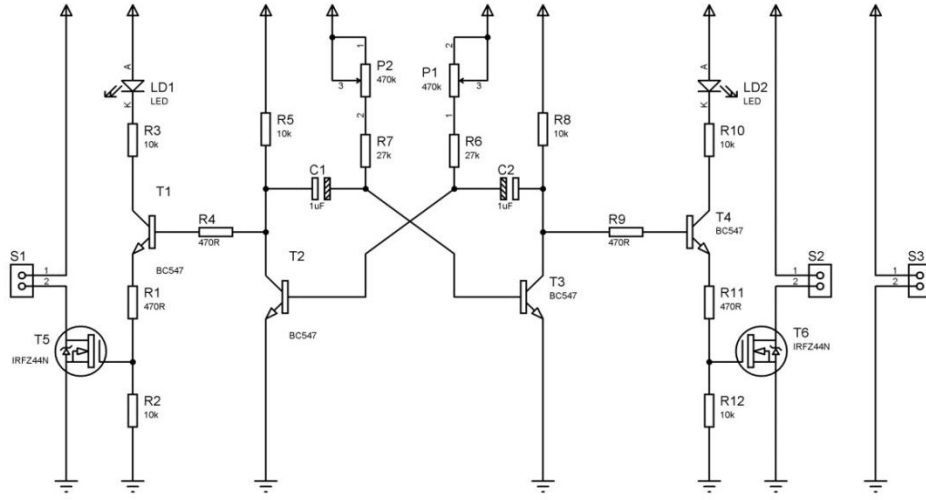
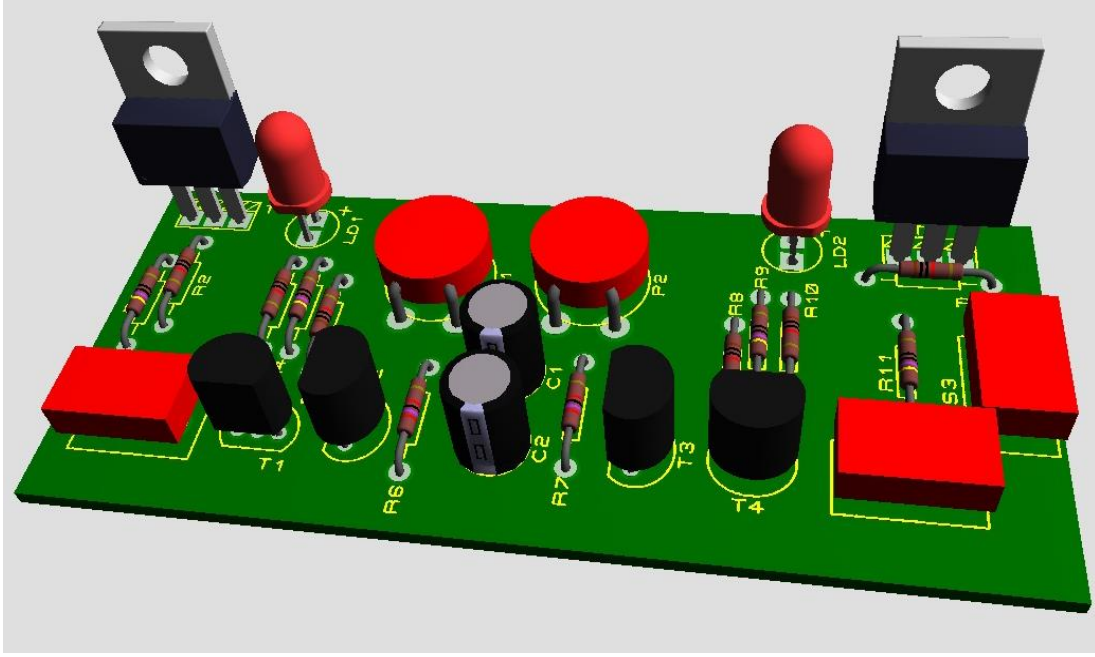
Uzaktan kumanda modülünün 9.70mm x 50mm x 18mm ebatlarında ağırlığı 40 gramdır.

Mühendislik tasarımlarında pratik, ucuz, dayanıklı ve işlevsel olması ilkeleri göz önünde bulundurularak kullanılacak kartların tasarımı yapılmıştır. Tasarım yapılan sualtı robotunun tez amacı olan sualtında akustik ses çıkarmadan ilerlemesi için sürücü kartları dahil hiçbir akustik ses çıkarmaması sağlanmalıdır. Bu kapsamda test aşamalarında sürücü kartları için kullanılan PWM sinyallerinin aratması sonucu güç elemanlarından tiz bir ses çıktığı tespit edilmiştir. Sualtı robotunun sualtında çalışması

sırasında gövdesi içerisinde bulunan SMA sürücü kartlarından ses çıkarmaması gerekliliği göz önünde bulundurularak SMA sürücü kartları tasarımı yapılmıştır.

Tasarımı yapılan sürücü kartlarının düşük frekanslı çalışması sağlanarak akustik ses çıkarmaması sağlanmıştır. Tasarımı yapılan kartların frekansının düşmesi sonucu güç elemanı olarak IRFZ44 mosfetleri kullanılmaktadır. Kullanılan mosfetler düşük iç dirençleri sayesinde yüksek akımlarda ısınmadan çalışmaya imkan tanımaktadır. Tasarlanan sürücü devrelerinin üzerlerindeki potansiyometrelerle çalışma frekansları ayarlanarak ayrıca bir mosfet sürme devresine ihtiyaç kalmamıştır.

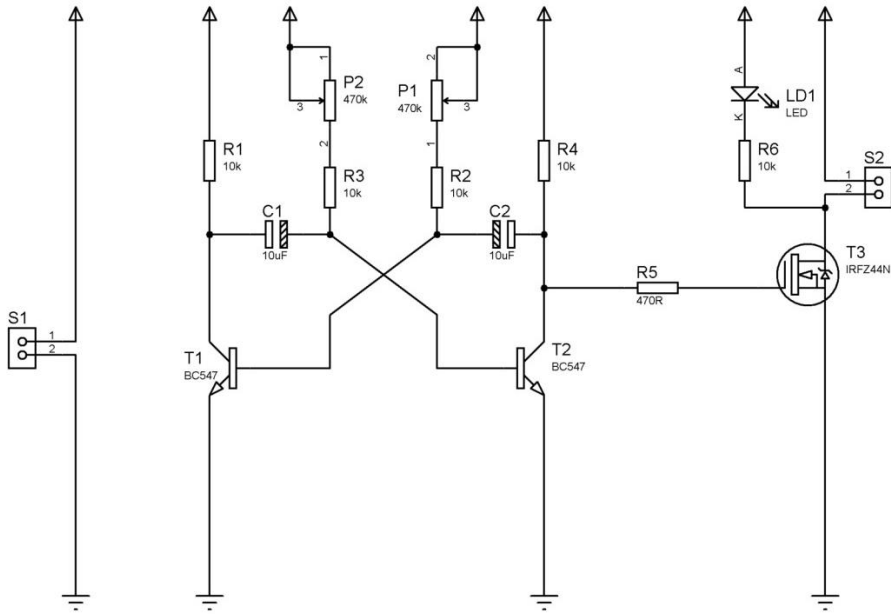
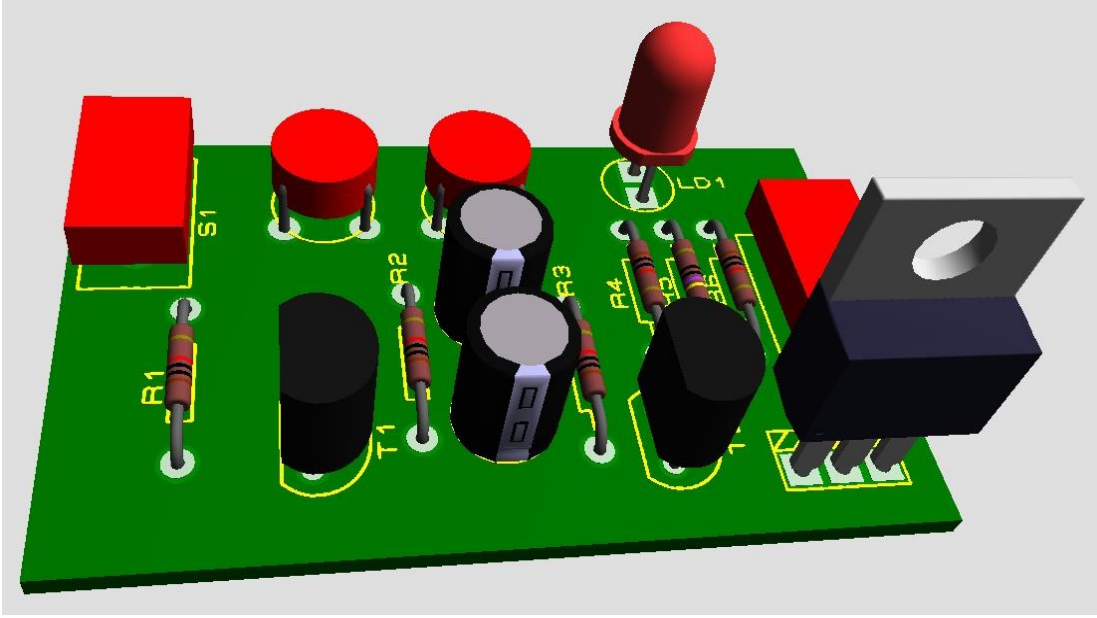
Sualtı robotunun uzaktan kumandanın 1 nolu tuşuna basılarak yalnızca ileri yönlü hareket etmesi sağlanmıştır. Sualtı robotunun ileri yönlü hareket edebilmesi çift yönlü yerleştirilmiş SMA aktuatör gruplarına Şekil 3.2’de görülen sürücü kartından sırayla 15 V DC 2.5 Hz’lik darbeler gönderilerek her darbenin SMA aktuatörün ilgili kısmını ısıtarak büzülmesine sonra diğer kısmın aynı darbe ile ısıtılarak büzülmesine ve bu şekilde devam ederek sürekli ısıtma darbeleriyle SMA aktuatörlerin kuyruğu salınım hareketi yapmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 3.2’de görülen SMA sürücü kartı üzerinde bulunan P1 ve P2 potansiyometreleri yardımıyla frekans ayarlaması yapılabilmektedir.



Şekil 3.2. Kuyruk Hareketi İçin Sürücü Kartı

Sualtı robotunun 3 ve 4 nolu tuşları sualtı robotunun sağa ve sola yönlendirilmesini sağlamaktadır. Sualtı robotu sağ ya da sol yönlü hareketi için sırt yüzüne yerleştirilen SMA aktuatör gruplarına Şekil 3.3’de görülen sürücü kartlarından iki adet kullanılmış olup bu kartlardan 15 V DC %50 PWM’li 10Hz’lik darbelerle sağ ya da sola yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Sağ ya da sola yönlendirme esnasında kuyruk

mekanizmasının da aktif hale getirilerek sırttaki yöne göre sualtı robotunun istenilen yöne hareket etmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.3’de görülen SMA sürücü kartı üzerinde bulunan P1 ve P2 potansiyometreleri yardımıyla frekans ayarlaması yapılabilmektedir.



Şekil 3.3. Yönlenme Hareketi İçin Sürücü Kartları

Sualtı robotunun 5 ve 6 nolu tuşları sualtı robotunun dalma ve çıkma yönlü hareket etmesini sağlamaktadır. Sualtı robotu dalma ya da çıkma yönlü hareketi için her iki göğüste bulunan yüzgeçlerine yerleştirilen eş yapılı SMA aktuatör gruplarına Şekil 3.3’de görülen sürücü kartlarından iki adet kullanılmış olup bu kartlardan 15 V DC %40 PWM’li 10Hz’lik palslerle dalma ya da çıkma yönlü hareketi sağlanmaktadır. Dalma ya da çıkma yönlü hareket esnasında kuyruk mekanizmasında aktif hale getirilerek sualtı robotunun dalma ya da çıkma yönlü hareket etmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.3’de görülen SMA sürücü kartı üzerinde bulunan P1 ve P2 potansiyometreleri yardımıyla frekans ayarlaması yapılabilmektedir.

3.2. SMA Aktuatörlerin Performansları

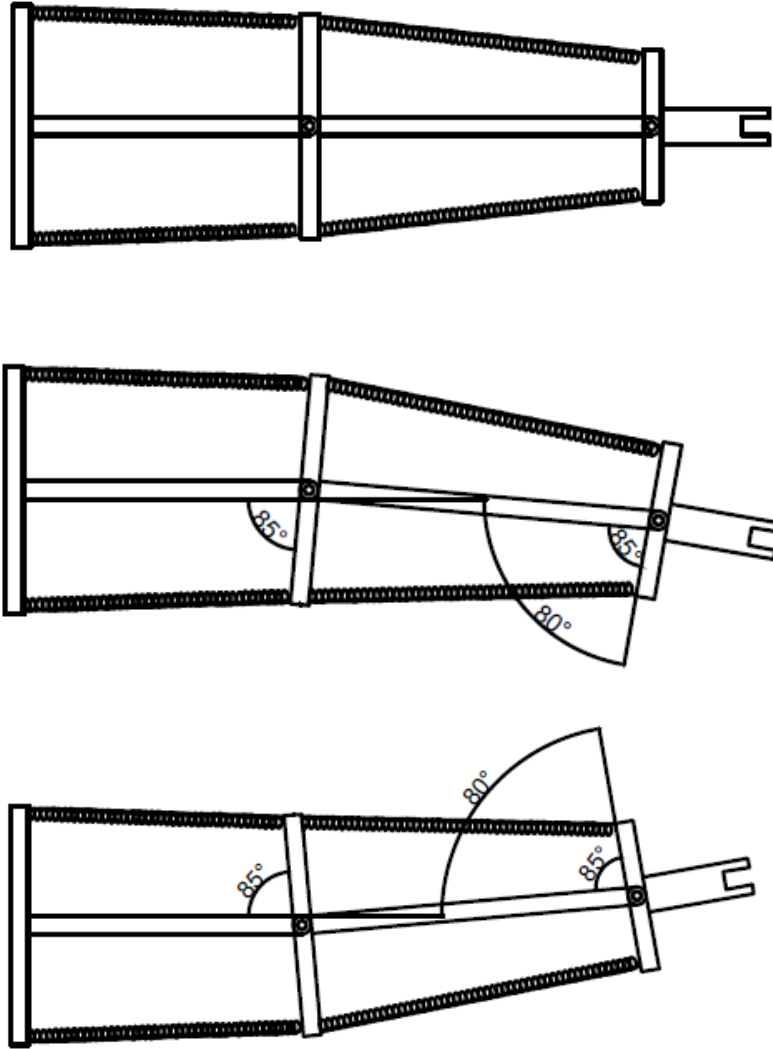
SMA Aktuatörlerin Performans testleri için kullanılan havuzun sıcaklığı 26°C sıcaklığa sahiptir. SMA aktuatörlerinin soğuması sırasında mevcut ısılarını suyuna aktardığı için SMA aktuatörlerin performansına maruz kaldığı ortamdaki suyu sıcaklığı etki etmektedir. Su sıcaklığının soğuk olması durumunda SMA aktuatörlerin çalışma performansları düşmektedir. Üretimini gerçekleştirdiğimiz SMA aktuatörlerin su sıcaklığının 10°C ‘nin altına düşen sıcaklıklarda çalışmadığı tespit edilmiştir. Su sıcaklığının yüksek olması durumunda SMA aktuatörlerin çalışma performansları düşmektedir. Üretimini gerçekleştirdiğimiz SMA aktuatörlerin su sıcaklığının 45°C ‘nin üstündeki sıcaklıklarda çalışmadığı tespit edilmiştir.

3.2.1. Kuyruk Mekanizmasındaki SMA Aktuatör

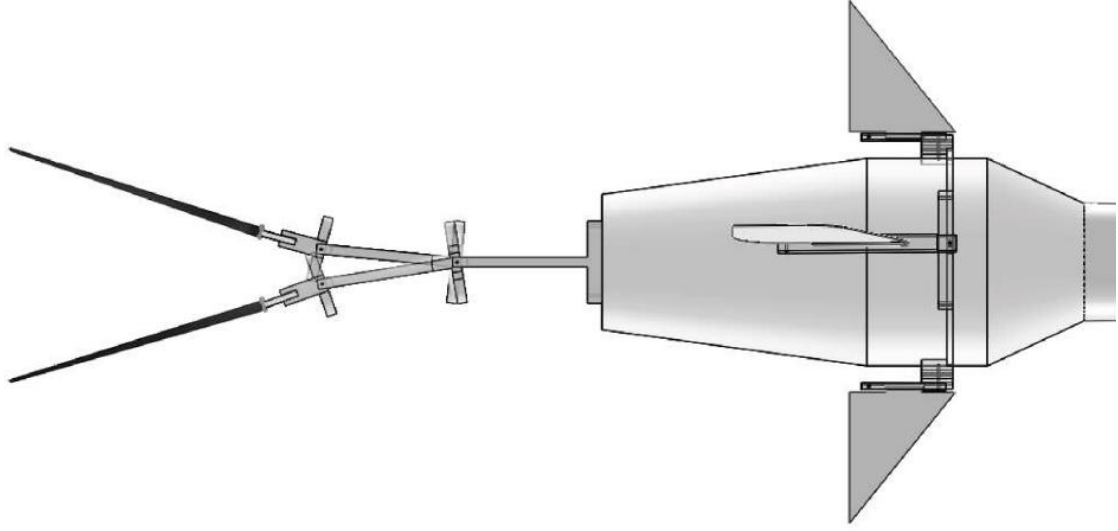
Sualtı robotunun kuyruk mekanizması için 2 eklemlilik kuyruk mekanizması kullanılmıştır. Kuyruk mekanizmasına yerleştirilen SMA aktuatörlerin sürücülerinden gelen enerjiye göre SMA tellerin üzerine 15 V DC 1 A ile tahrik edilmektedir. 1. Bölüm SMA aktuatörler enerjilenecek tellerin 26°C sıcaklıktan 65°C sıcaklığa yükselmesi sonucu tellerin %3 büzülmesine neden olarak her iki eklemlide +5 derece hareket ederek kuyruğun uç kısmının gövdeye göre +10 derece hareket etmesi sağlanır. 2. Bölüm SMA aktuatörler enerjilenecek tellerin 26°C sıcaklığından 65°C sıcaklığına yükselmesi sonucu tellerin %3 büzülmesine neden olarak her iki eklemlide -5 derece hareket ederek

kuyruğun uç kısmının gövdeye göre -10 derece hareket etmesi sağlanır. Döngüsel saniyede 3 Hz karşılıklı itme çekme yapan kuyruk ucundaki elastik kuyruk bölümü toplam 20 derecelik bir alanı tarar. Kuyruk mekanizmasındaki SMA aktuatör hareketleri Şekil 3.4’de gösterilmektedir.

Yapılan testlerde sualtı robotunun 2.5 hz lik kuyruk salınımı sayesinde 3Km/h’lik hızla ileri yönlü hareket ettiği tespit edilmiştir. Sualtı robotunun kuyruk salınımının 3D model üzerinde animasyon görüntüsü Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



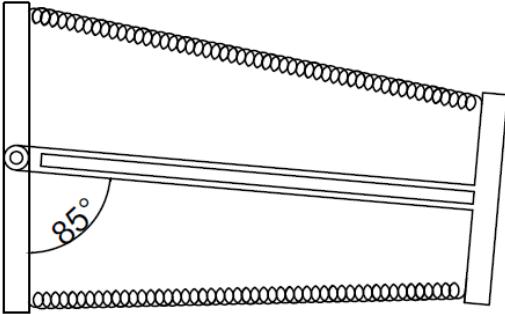
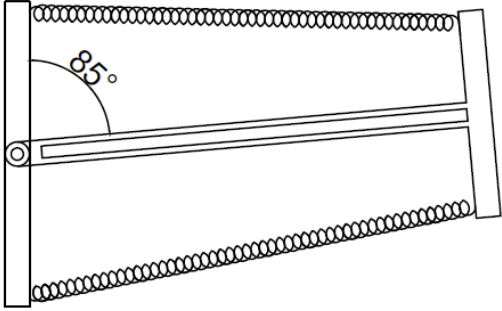
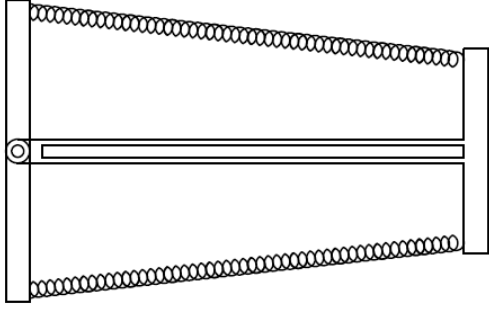
Şekil 3.4. Kuyruk mekanizmasındaki SMA aktuatör hareketleri



Şekil 3.5. Kuyruk Mekanizmasının Salınımı

3.2.2. Sırt Yüzgecindeki SMA Aktuatörler

Sualtı robotunun sırt yüzgeçleri sayesinde sağ sol yönlü hareket etmesi sağlanmaktadır. Sualtı robotunun sağ sol yönlü hareket etmesi için sürücüden gelen 12 V DC % 40 PWM'li darbelerle ilgili SMA aktuatörün yalnızca tek yöndeki SMA tellerin enerjilenmesini sağlamaktadır. İlgili SMA tellerin 12 V DC 0.7 A ile tahrik edilmektedir. Yapılan testlerde mekanizmanın tahrik edilen yönde 5 derecelik açı yaparak sualtında hareket eden sualtı robotunu ilgili yöne yönelmesi sağlanmıştır. Sırt yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri Şekil 3.6'de gösterilmektedir.

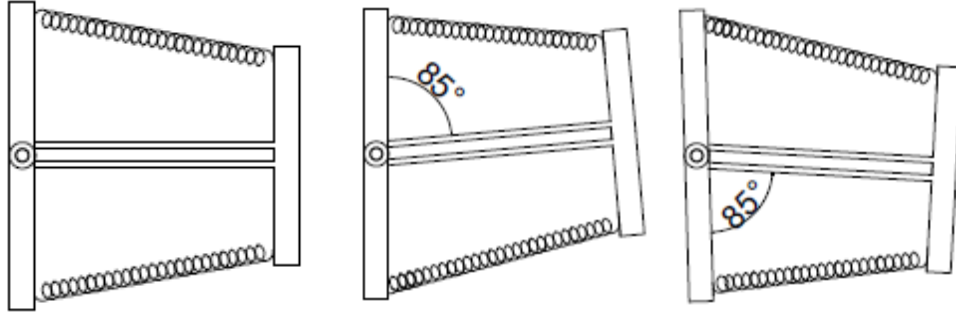


Şekil 3.6. Sırt yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri

3.2.2. Göğüs yüzgeçlerindeki SMA aktuatörler

Sualtı robotunun göğüs yüzgeçleri sayesinde sualtı robotu dalma çıkma yönlü hareket etmektedir. Göğüs yüzgeçleri olarak tasarlanan mekanizma sualtı robotunun her iki yanına birbirinin aynısı olan SMA aktuatör grupları tasarlanarak monte edilmiştir. Sualtı robotunun dalma çıkma yönlü hareket etmesi için sürücüden gelen 12 V DC % 40 PWM'li darbelerle ilgili SMA aktuatörün hareket etmesi sağlanmıştır. İlgili SMA tellerin 12 V DC 0.65 A ile tahrik edilmektedir. Yapılan testlerde mekanizmanın tahrik

edilen yönde 5 derecelik açı yaparak sualtında hareket eden sualtı robotunu dalma ya da çıkma yönlü hareket yapması sağlanmıştır. Göğüs yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Göğüs yüzgecindeki SMA aktuatör hareketleri

Sualtı robotunun sualtında hareketi sırasında yönlenebilmesi için yönlenme yüzgeçleri aktif olduğu sırada sualtı robotu kuyruk salınımı hareketine devam ederek yönlenme hareketi sağlamaktadır.

4 SONUÇLAR

SMA aktuatörler son yıllarda alternatif yollarla hareket elde etmek için kullanılmaya başlanmış olup halen geliştirme aşamasında olan bir aktuatör çeşididir. Söz konusu SMA aktuatörler klasik aktuatörlere göre sessiz çalışma ve ağırlık güç oranları olarak avantaj sağlar, ancak ihtiyaç görüldüğü yere göre tasarlanmaları gerekmektedir.

Sualtı robotları konusunda çeşitli üniversitelerde ve ülkelerin araştırma ofislerinde çeşitli tasarımlar yapılmaktadır. Klasik pervaneli sualtı araçlarına göre kuyruk salınımı yaparak ilerleyen sualtı robotları sağladıkları enerji verimliliği ve sessizlik avantajlarına karşın büyük çapta üretilmemesi dezavantajıyla karşı karşıyadır.

Çalışmamız kapsamında su altında uzaktan kumanda ile hareket edebilen sualtı robotunun planlama, tasarım, üretim , test ve uygulama aşamaları tamamlanmıştır.

Çalışmalarımızın ileriki aşamalarında bulanık mantık (FL), yapay sinir ağları (ANN) ve genetik algoritma (GA) ile belirlenecek alanlarda otonom çalışma yapabilecek kapasitede insansız sualtı aracı geliştirilmesi planlanmaktadır.

Çalışmamız kapsamında yapılan sualtı robotunun performansı ve tezin kapsamı içinde sağlanan diğer sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- SMA aktuatörlerin sualtında hareket edebilecek 1,3 Kg ağırlığına sahip sualtı robotunun 3 Km/h süratle sualtında hareket ettiği tespit edilmiştir. SMA aktuatörlerin sualtı robotlarına itki sağlayabileceği ortaya konmaktadır. SMA aktuatörlerin çalışması sırasında herhangi bir ses çıkarmadıkları tespit edilmiştir. SMA aktuatörlü sualtı robotu tasarımlarının sualtında akustik iz çıkarmayarak pasif sonar tarafından tespit edilmeden sualtında hareket edebilecekleri ortaya konmaktadır.
- Sualtı robotunu gövde kısmında yer alan pil, alıcı modül ve SMA aktuatör sürücülerinin suya maruz kalmaması gerekmektedir. Sualtı robotu yapımının en zorlu bölümünün gövde kısmının sızdırmazlığının sağlanması olduğu değerlendirilmektedir.

- Sualtı robotu tasarımı aşamasında karşılaşılabilecek en önemli engellerden biri sualtında kullanılan cihaz ve materyallerin sualtının elverişsiz ortamına dayanım sağlayamaması olduğu değerlendirilmektedir.
- Sualtı robotu araştırmalarının gelişmekte olduğu düşünüldüğünde tasarımı gerçekleştirilen sualtı robotunun ülkemize ve literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.
- SMA aktuatör tasarımında karşılaşılan en büyük problem; enerjilenerek ısınan SMA tellerin enerjinin kesilmesiyle birlikte mevcut ısınıncı dış ortama aktarması ve soğumasının ısınırken ki kadar olmamasıdır.
- SMA aktuatörlerin çalışma prensipleri ısı olarak ilk geometrisine dönmeye çalışan malzemenin gerilme ile hareket enerjisi çıkarmaya çalışmasıdır. Hareket için en önemli parametre sıcaklıktır. SMA aktuatörün kullanılacağı ortam sıcaklığı aktuatörün soğuma performansını etkiler ve sonuç olarak SMA aktuatörün etkin ve hızlı kullanımı kısıtlar. Aynı zamanda ortam ısıncı SMA aktuatörün aktif hale gelebilmesi için gerekli sıcaklığa ulaşma hızını da etkilemektedir.
- Sualtı habitatlarının incelenmesi için doğal ekosisteme zarar vermeyecek ve sualtı canlıları tarafından tehdit olarak algılanmayacak yapıda sualtı robotlarının kullanımının etkili olacağı değerlendirilmektedir. İleriki çalışmalarda otonom olarak hareket edebilen, yerleştirilecek algılayıcılarla doğal balık habitatlarının incelenmesinde kullanılabilir sualtı robotları tasarlanıp üretilmesi söz konusu olacaktır.
- Askeri amaçlı kullanılacak sualtı robotlarının sualtında fark edilmeden ilerleyerek gerekli hedef noktalardan veri ve görüntü aktarımı yapabilmesi gerekmektedir. Sualtında fark edilmeden hareket edebilmek askeri strateji açısından önemi görülmektedir. SMA aktuatörlerin ileriki çalışmalarda daha aktif kullanılmasıyla birlikte sualtında fark edilmeden hareket kabiliyetine sahip sualtı robotları üretilebilecektir.
- İleriki çalışmalarda SMA aktuatörlerin farklı ısı aralıklarında çalışabilmeleri için farklı kimyasal bileşikler denenenebilir. Söz konusu araştırmalar uzun zaman alan ve yüksek bütçeler gerektiren çalışma alanları olup ileriki yıllarda öneminin artacağı değerlendirilmektedir.

- SMA aktuatörler güncel teknolojiye küçük çaplı çalışmalarda kullanılmakta olup ileriki zamanlarda kullanım alanlarının artacağı değerlendirilmektedir.
- Son yıllarda biomimetik olgusu ile ortaya çıkan ve doğal mekanizmalardan esinlenip daha sonra bunları mühendislik çalışmalarında kullanmak önemli bir problem çözme tekniği olarak görülmektedir. Günümüzde çözümü zor gibi görülen problemlere farklı bakış açılarıyla bakarak, alternatif çözümler üretmek arzusu doğal mekanizmaları daha iyi tahlil etme zorunluluğu doğurmaktadır. Doğayı daha iyi tahlil eden insanoğlu sayesinde doğayla barışık, verimli, esnek, geliştirilebilir ürün ve sistemler ortaya konulabileceği gerçeğini tasarımcı ve mühendislerin dikkate alması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ding, R., Junzhi, Y., Qinghai Y., Min, T., Jianwei, Z., (2011) Dolphin-like Swimming Modeling for a Biomimetic Amphibious Robot Preprints. 18th IFAC World Congress, August 28 - September 2, 2011, Milano, ITALY
- [2] Gorbet, R. B., Wang, D. W. L., Morris, K. A., (1998) Preisach model identification of a two-wire SMA aktuatör, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leuven, NJ, USA
- [3] Koji, I., Tsukamoto, M., Hirose, S., (1988) Shape memory alloy servo aktuatör system with electric resistance feedback and application for active endoscope IEEE International Conference on Robotics and Automation , Philadelphia, PA,USA
- [4] Kaplanoglu, E., Ayırğa H., Küçük, H., (2013) Artificial Tendon Driving System Using Skin Effect. World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II WCECS 2013, 23-25 October 2013, San Francisco, USA
- [5] Safak, K., Adams, G., (2002) Modeling And Simulation Of An Artificial Muscle And Its Application To Biomimetic Robot Posture, Control Robotics and Autonomous Systems 41 225–243
- [6] Sabancı, K., (2005) Yapay Kas Kullanılarak Örümcek Robot Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE
- [7] Techet, A.H.,(2001) Experimental Visualization Of The Near-Boundary Hydrodynamics About Fish-Like Swimming Bodies doktora tezi MIT, Cambridge, MA, USA
- [8] Zhou, C., Tan1, M., Gu, N., Cao1 Z., Wang1 S., Wang, L., (2008) The Design and Implementation of a Biomimetic Robot Fish, International Journal of Advanced Robotic Systems Vol. 5 No. 2 185-192
- [9] Liu, J., Hu, H., (2010) Biological Inspiration: From Carangiform Fish to Multi-Joint Robotic Fish, Journal of Bionic Engineering 7 35–48

- [10]Pi, L., (2009) Attitude Control Of A Bio-Inspired Robotic Fish With Flexible Pectoral Fins, Yüksek Lisans Tezi University of Delaware, Newark, DE, USA
- [11]Licht, S., Polidoro, V., Flores, M., Hover, F. , Triantafyllou M.,(2003) Design and Projected Performance of a Flapping Foil AUV, Proceedings of the International Symposium on Unmanned Untethered Submersibles Technology (UUST), Durham, NH, August, 2003.
- [12]Daejung, S., Seung, Y., Jin, Y., Chonnam, L., (2008) Development of bio-mimetic entertainment dolphin robots National University 300, Issue 10, Volume 7, October 2008 Gwangju, SOUTH KOREA
- [13]Sohn, J. W., (2009) Vibration and position tracking control of a flexible beam using SMA wire aktuatörs, Journal of Vibration and Control 15.2 263-281
- [14]Kuzucu, A., Doğangil, G., Özçiçek, E., (2005). Bir Robot Yunusun Tasarımı ve Geliştirilmesi, TOK'05 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, İ.T.Ü. İstanbul, 2-3 Haziran 2005 , 273-278.
- [15]Uysal, H., Tuncay, C., (2008) Akıllı Malzemeler Ve Havacılıkta Kullanımı, VII. Havacılık Sempozyumu 15-16 Mayıs 2008 Kayseri, TÜRKİYE
- [16]Piccirillo, V., Carlos, L., Goes, S., Balthazar, M., (2011) Aeroelastic Analysis Of A Typical Section Using Of Shape Memory Wire Aktuatör, Mathematics In Engineering, Science And Aerospace MESA Vol.2 No.4 ,355-370
- [17]Sugözü, İ., Aksoy, F., Baydır, Ş.A. (2009) Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi, Electronic Journal of Machine Technologies 6.2, 49-56
- [18]Genç, F. D. (2001) Oksijence Zenginleştirilmiş Hava İle Çalışan İçten Yanmalı Benzin Motorunda Performans Analizi , İTÜ, Makine Fakültesi, İstanbul, TÜRKİYE
- [19]Meijer, R.J., (1970) Prospects of the Stirling engine for vehicular propulsion, Philips Techn. Rev., 31, 168-85

- [20]Çınar, C. (2011) Hava Şarjlı Küçük Güçlü Bir Stirling Motorunun Deneysel Olarak İncelenmesi, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 10.1 21-32
- [21]Güzelbeyoğlu, N., (2005) Elektrik Makinaları I-II. Birsen Yayınevi, İstanbul, TÜRKİYE
- [22] Çanakoğlu, İ., Ünsal, A., Tunaboşlu, N.S., (2012) Elektrik Makinaları, 1. Baskı, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2619, ESKİŞEHİR
- [23]Aytaç, G., BAŞER, Ö., (2008) İdeal Mekatronik Mühendisliği Eğitimi ve Hidrolik–Pnömatik. V. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi 23-26 Ekim 2008. İzmir, TÜRKİYE
- [24]Varseveld, V., Robert, B., Gary, M. (1997) Accurate position control of a pneumatic aktuatör using on/off solenoid valves, IEEE/ASME Transactions on 2.3 195-204.
- [25]Medrano, C., Gustavo A., Colin J. B., Darwin, G. C., (1995) Adaptive position control of antagonistic pneumatic muscle aktuatörs, IEEE/RSJ International Conference on. , Pittsburgh, PA, USA
- [26]Wu, Y., Qingze, Z., (2007) Iterative control approach to compensate for both the hysteresis and the dynamics effects of piezo aktuatörs, , IEEE Transactions on Control Systems Technology 15.5 936-944.
- [27]Topsakal, S. (2005) Fen ve Teknoloji Öğretimi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, TÜRKİYE
- [28]Tekin, Y., Karabulut, H., (2007) Piezoelektrik aktuatörler için analog kayan kipli denetleyici, TOK'07 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Sabancı Üniversitesi, Tuzla, İstanbul, TÜRKİYE
- [29] Odabaşı, Y., (2010) Sualtı Gürültüsü: Kaynaklar, Yöntemler ve Önlemler Gemi ve Deniz Teknolojisi, Sayı: 183, 7-14
- [30]KOZAK, M, (2012) Enerji Depolama Yöntemleri. SDU International Journal of Technological Science 4.2 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan Yunus AYIRGA
Doğum Yeri ve Tarihi : SAKARYA 03.08.1981
Yabancı Dili : İngilizce
E-Posta : hakanayirga@gmail.com

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Elektrik Bölümü	Fatih Teknik Lisesi SAKARYA	1999
Üniversite	Elektrik Eğitimi	Marmara Üniversitesi İSTANBUL	2012

İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2000- devam temekte	Deniz Kuvvetleri Komutanlığı	Deniz Kuvvetleri Komutanlığına bünyesinde çeşitli askeri gemilerde Elektrik Astsubayı olarak görev almaktadır

Bilimsel Eserler:

Kaplanoglu, E., Ayirga H., Küçük, H., (2013) Artificial Tendon Driving System Using Skin Effect. World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II WCECS 2013, 23-25 October 2013, San Francisco, USA

Projelerde Yaptığı Görevler:

Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler:

Ödüller: