

**UZAKTAN KONTROLLÜ BİR ROBOT BALIĞIN
TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ**

Deniz KORKMAZ

Yüksek Lisans Tezi

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Z. Hakan AKPOLAT**

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
(FÜBAP) KOORDİNASYON BİRİMİ FÜBAP 2095 NOLU PROJE
YÜKSEK LİSANS TEZİ PROJESİ SON RAPORU**

ARALIK-2011

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN KONTROLLÜ BİR ROBOT BALIĞIN
TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz KORKMAZ

08131103

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29 Kasım 2011
Tezin Savunulduğu Tarih: 21 Aralık 2011**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Z. Hakan AKPOLAT (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Hanifi GÜLDEMİR (F.Ü)
Doç Dr. Hüseyin ALTUN (F.Ü)**

ARALIK-2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Z. Hakan AKPOLAT' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, robot balık prototipinin tasarımında ve deneysel çalışmalarda bana fazlasıyla destek olan Sayın Arş. Gör. Ümit BUDAK' a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cafer BAL' a, Sayın Arş. Gör. Dr. Gonca ÖZMEN KOCA' ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR' a, Sayın Arş. Gör. Ömer Faruk ALÇİN' e, Sayın Uzm. Korhan KAYIŞLI' ya ve Sayın Aykut DİKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Her yönde ve her an desteklerini hissettiğim, birlikte fikir alışverişinde bulunduğum tüm arkadaşlarıma ve çalışma süresince üzerimden desteğini esirgemeyen aileme gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Koordinasyon Birimi'ne (FÜBAP 2095 Nolu Proje) katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Deniz KORKMAZ

ELAZIĞ- 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Yöntem.....	3
1.2. Tezin İçeriği	3
2. BALIK YÜZME HAREKETLERİ VE KUVVETLER	5
2.1. Kuvvetler ve Hareket.....	7
2.2. Yüzme Hareketlerinin Sınıflandırılması	9
2.2.1. Vücut / Kuyruk Yüzgeci ile Hareket (BCF).....	11
2.2.2. Orta / Çift Yüzgeç ile Hareket (MPF)	12
3. ROBOT BALIĞIN MATEMATİKSEL MODELİ	15
3.1. Bir Robot Balığın Matematiksel Modeli	15
3.2. Kuyruğun Kinematik Modeli	16
3.3. Hidrodinamik Model	18
3.4. Kinematik Model.....	19
4. BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	21
5. ROBOT BALIK PROTOTİPİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ	29
5.1. Robot Balığa ait Yüzme Hareketleri	29
5.1.1. Vücut ve/veya Kuyruk ile Hareket	29
5.1.2. Orta ve/veya Çift Yüzgeç ile Hareket	30
5.2. Mekaniksel Tasarım	31
5.2.1. BCF Mekaniği Tasarımı	31
5.2.2. MPF Mekaniği Tasarımı	33
5.2.3. Eklem Uzunluk Oranı Tanımı	34

5.2.4.	Kuyruk ve Göğüs Yüzgeci Özellikleri	35
5.2.5.	Gövde Yapısı ve Kaplaması	36
5.3.	Elektronik Sistemlerin Tasarımı.....	38
5.3.1.	Denetleyici Kartı	40
5.3.2.	Algılayıcı Kartı.....	41
5.3.3.	R/C Servo Motorlar	42
5.3.4.	Kablosuz CCD Kamera	44
5.3.5.	GP2D120XJ00F Mesafe Algılayıcı.....	45
5.3.6.	RF Uzaktan Kumanda Seti	47
5.3.7.	Programlama Bağlantısı ve Algoritması	48
5.4.	Robot Balık Prototipinin Gerçeklemesi	51
6.	ROBOT BALIK PROTOTİPİNİN DENEYSEL ÇALIŞMALARI	53
6.1.	Deneysel Kurulum.....	53
6.2.	Hareket Kabiliyeti	54
6.2.1.	İleri Yön Hareket.....	57
6.2.2.	Sağa ve Sola Dönüş Hareketleri	60
6.2.3.	Engellerden Sakınma.....	65
6.2.3.	Uzaktan Kontrol	68
6.2.4.	Kablosuz Kamera ile Görüntü Alma	72
7.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	73
	KAYNAKLAR.....	75
	EKLER.....	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÖZET

Balıklar, binlerce yıldır süren evrimleri sayesinde su altında oldukça rahat şekilde hareket edebilmektedir. Hareket kabiliyeti, hızlı yüzebilme ve ani yön değiştirebilme gibi özellikleri ile doğadaki en iyi yüzücülerdir.

Bu tez çalışmasında, vücut yapısı ve hareket kabiliyeti açısından çok verimli bir yapıya sahip olan Carangiform türü balıklar incelenmiş ve bu türlere ait yüze hareketlerinin kinematik ve hidrodinamik modellerini içeren bir dinamik model oluşturulmuştur. Oluşturulan dinamik model kullanılarak, *MATLAB/Simulink* ortamında robot balığın hareketi için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçlarında elde edilen eklemlere ait açı değerleri, deneysel çalışmalarda robot balık prototipine uygulanmıştır.

Oluşturulan dinamik model dikkate alınarak, Carangiform türünde yüzebilen 4-eklemlili bir robot balık tasarımı önerilmiştir. Bu tasarım modeli kullanılarak, otonom bir şekilde yüzebilen ve karar verme yeteneğine sahip bir robot balık prototipi oluşturulmuştur. Robot balık engellerden sakınarak serbest bir şekilde yüzebilmektedir. Ayrıca kullanıcının komutlarını algılayarak uzaktan kumanda vasıtasıyla da kontrol edilebilmektedir. Deneysel çalışmalarda elde edilen görüntü verileri fotoğraf görüntüsü şeklinde sunulmuş, robot balığın hareket kabiliyeti ve yüze yetenekleri incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar irdelenerek, bir robot balığın tasarımı ve hareket koordinasyonunun belirlenebilmesi amacıyla ileride yapılabilecek çalışmalara zemin oluşturması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biomimetik Robot Balık, Robot Balık Tasarımı, Uzaktan Kontrol,
Çok - Eklemlili Robot

SUMMARY

Design and Implementation of a Remote-Controlled Robotic Fish

Fish have amazing swimming ability in the water for thousands years of evolution. In nature, they are the best swimmers with features of mobility, fast swimming and sudden change of direction.

In this thesis, Carangiform fish having astonishing swimming ability and efficiency is investigated, and the dynamic model of swimming movements of these species is established including kinematic and hydrodynamic models. Using the derived dynamic model, simulations is performed for the movement of the robotic fish in *MATLAB/Simulink* environment. The joint angles, obtained from the simulation results, are applied to the prototype of the robotic fish in experimental studies.

By using the proposed dynamic model, design of a 4-joint robotic fish which can swim in a Carangiform mode is proposed. By using the design model, a robotic fish prototype which has decision-making and autonomous swimming capabilities is designed. The robotic fish can swim autonomously avoiding obstacles. In addition, it can be controlled by remote controller detecting the user's commands. Experimental studies are presented in the form of photo images by using the video data, and mobility and swimming capabilities of the robotic fish have investigated. In this study, by analyzing obtained results, it is aimed to create a basis to future studies in order to determine robotic fish design and fish-like motion.

Key Words: Biomimetic Robotic Fish, Robotic Fish Design, Remote-Control, Multi-Joint Robot

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Bir balığın temel morfolojik yapısı	5
Şekil 2.2. Sapma, Yunuslama ve yalpa hareketleri	6
Şekil 2.3. Farklı balık türlerine ait kuyruk yüzgeçleri	6
Şekil 2.4. Farklı türlere ait vücut şekilleri	7
Şekil 2.5. Yüzen bir balığa etki eden sürüklenme kuvvetleri	8
Şekil 2.6. Yüzen bir balığa etki eden fiziksel kuvvetler	8
Şekil 2.7. Reynolds Sayısına bağlı sürüklenme kuvvetleri	9
Şekil 2.8. İtici kuvvet türleri ile yüzme hareketleri arasındaki ilişki	10
Şekil 2.9. Temel BCF ve MPF hareketlerine dayanan yüzme modelleri (a) BCF ile hareket (b) MPF ile hareket	11
Şekil 2.10. BCF yüzme hareketlerinin sınıflandırılması: (a) anguilliform (b) subcarangiform (c) carangiform (d) thunniform	12
Şekil 3.1. Carangiform türü bir balığın fiziksel yapısı	15
Şekil 3.2. Carangiform türü bir balığın enine hareket sinyali	16
Şekil 3.3. Robot balık kuyruğunun bir periyoduna ait hareketler	17
Şekil 4.1. Robot balığın dinamik modeli	22
Şekil 4.2. Kuyruğun çırpınma frekansı ile robot balık ileri yön hızı arasındaki ilişki	22
Şekil 4.3. Robot balığın sabit ekseninde ileri yön hareketini gösteren açık çevrim hız cevabı	23
Şekil 4.4. Robot balığın 2-boyutlu ekseninde ileri yön hareketi	23
Şekil 4.5. Robot balığın ileri yön hareket için esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri	24
Şekil 4.6. Robot balığın ileri yöne ait açısal hızı $f=2Hz$	24
Şekil 4.7. Robot balığın 2-boyutlu ekseninde sola dönüş hareketi $f=2Hz$	25
Şekil 4.8. Robot balığın dönüş hareketi için esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri ...	25
Şekil 4.9. Robot balığın dönüş yönü açısal hızı $f=2Hz$	26
Şekil 4.10. Robot balığın 2-boyutlu ekseninde otonom yüzme hareketi	26
Şekil 4.11. Robot balığın otonom hareketi için esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri $f=2Hz$	27
Şekil 4.12. Robot balığın otonom hareket anındaki açısal hızı $f=2Hz$	27
Şekil 5.1. Dönme hareketine ait açılar	30

Şekil 5.2. Robot balık prototipine ait blok şema	31
Şekil 5.3. Robot balığın mekaniksel yapısı: (a) Genel görünüm (b) Yandan görünüş (c) Üstten görünüş	32
Şekil 5.4. Göğüs Yüzgecine ait mekaniksel görünüm: (a) Genel görünüm (b) Önden görünüm (c) Yandan görünüm (d) Üstten görünüm	34
Şekil 5.5. Robot balık kuyruğunun bir eklemi	35
Şekil 5.6. Kuyruk yüzgeci	36
Şekil 5.7. Göğüs yüzgeçleri.....	36
Şekil 5.8. Robot balığın ön gövde yapısı.....	37
Şekil 5.9. Robot balığa ait 4 eklemli omurga yapısı.....	37
Şekil 5.10. Robot balık üzerindeki elektronik sistemin blok diyagramı	39
Şekil 5.11. Denetleyici kartının görünümü (a) Üstten görünüm (b) Altan görünüm	40
Şekil 5.12. Algılayıcı kartının görünümü (a) Üstten görünüm (b) Altan görünüm.....	41
Şekil 5.13. Hitec HS-5245MG Dijital mini R/C servo motor	42
Şekil 5.14. R/C servo motora ait PWM kontrol sinyali	44
Şekil 5.15. HV-919 Kablosuz CCD Kamera Seti.....	44
Şekil 5.16. HV-919 Kablosuz CCD Kameranın ön gövdeye bağlantısı.....	45
Şekil 5.17. Mesafe algılayıcılarının ön gövdeye bağlantısı.....	46
Şekil 5.18. GP2D120XJ00F analog mesafe algılayıcı	46
Şekil 5.19. GP2D120XJ00F algılayıcıya ait gerilim/mesafe eğrisi	46
Şekil 5.20. Hitec Aurora 9 RF Kumanda Seti	47
Şekil 5.21. Deneysel çalışmalarda kullanılan <i>PIC C Compiler</i> programlarının ara yüzü ...	49
Şekil 5.22. Robot balığa ait program algoritması	50
Şekil 5.23. Robot balık prototipinin fotoğraf görüntüsü	51
Şekil 6.1. Deneysel çalışma blok şema.....	53
Şekil 6.2. Deneysel çalışma ortamına ait fotoğraf görüntüsü.....	54
Şekil 6.3. Ayırıklaştırılmış enine hareket sinyali.....	55
Şekil 6.4. Esnek kuyruktaki dönen eklemler	55
Şekil 6.5. Eklem açılarının elde edilmesi	56
Şekil 6.6. <i>MATLAB/Guide</i> ile hazırlanan ara yüz.....	56
Şekil 6.7. Eklemlere ait açı değerleri (a) $f=1Hz$ (b) $f=2Hz$	57
Şekil 6.8. Esnek kuyruğa ait eklemlerin ileri yön hareketi için bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü.....	58

Şekil 6.9. Robot balığın ileriye doğru yüzüşü	59
Şekil 6.10. Robot balık prototipinin ileri yön hızı $f=2Hz$	60
Şekil 6.11. Bir balığa ait bir yöne dönüş hareketi	60
Şekil 6.12. Dönüş hareketi için enine kuyruk hareketi sinyali	61
Şekil 6.13. Eklemlere ait dönüş açıları: (a) $f=1Hz$ (b) $f=2Hz$	62
Şekil 6.14. Esnek kuyruğa ait eklemlerin dönüş hareketi için bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü	63
Şekil 6.15. Robot balığın dönerek yüzüşü	64
Şekil 6.16. Engele göre döneceği yön bilgisi	65
Şekil 6.17. Algılayıcı ile denetim kartının ürettiği elektriksel sinyaller.....	66
Şekil 6.18. Robot balığın engellerden sakınarak yüzüşü.....	67
Şekil 6.19. Uzaktan kontrol için kullanılan kumanda kolları	68
Şekil 6.20. Uzaktan kumanda vericisinden elde edilen PWM sinyalleri	69
Şekil 6.21. Uzaktan kumanda ile göğüs yüzgeçlerinin kontrolü	70
Şekil 6.22. Robot balığın uzaktan kumanda ile sola dön komutu için kontrol edilmesi	71
Şekil 6.23. Elde edilen sualtı görüntüsü	72

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Benzetim parametreleri	21
Tablo 5.1. HS-5245MG R/C servo motora ait genel özellikler.....	42
Tablo 5.2. HV-919 Kablosuz kameraya ait genel özellikler	45
Tablo 5.3. Robot balığa ait teknik özellikler	52

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Kuyruk sinyalinin tepeden tepeye genliği
AR	: Kuyruk yüzgecinin en boy oranı
a_t	: Robot balığın ivmesi (m/s^2)
A_ϕ	: Yunuslama açısına ait genlik değeri
A_ψ	: Sapma açısına ait genlik değeri
b	: Yüzgecin dikey uzunluğu (cm)
c_1	: Lineer dalga genliği
c_2	: Karesel dalga genliği
C_f	: Reynolds sayısına bağlı sürüklenme kuvveti
D	: Dönüş yönündeki eksenin çapı (m)
D_v	: Suyun viskozite kuvveti ($gcm^{-1}s^{-1}$)
f	: Kuyruğun çırpınma frekansı (Hz)
F_{thrust}	: Robot balığın maksimum itici kuvveti (Newton)
F_{ty}	: Robot balığın hareket eksenindeki itici kuvveti (Newton)
$\dot{I}$	: Osilasyon döngü sayısı
k	: Vücut dalga katsayısı
L	: Balık kuyruk uzunluğu (m)
l_j	: j . dönen ekleme ait uzunluk oranı
M	: Ayrıklaştırılmış kuyruk hareketine ait örnek sayısı
m	: Robot balığın ağırlığı (kg)
N	: Eklem sayısı
Re	: Reynolds Sayısı
R_l	: Eklem uzunluk oranı
S_a	: Suyun yüzey alanı (m^2)
S_c	: Yüzgecin alanı (cm^2)
S_t	: Strouhal Sayısı
t	: Zaman (s)
V	: Robot balığın hızı (m/s)
V_{ref}	: Kapalı çevrim referans giriş değeri (m/s)
w	: Kuyruk hareketi sinyalinin açısal hızı (rad/s)

x	: Gerçek eksen boyunca yer değişim (m)
x_j	: j . eklemin x düzlemindeki koordinatı
y_{body}	: Kuyruğun enine hareket sinyali
$y_{body-turning}$	: Kuyruğun enine dönüş hareketi sinyali
y^e, x^e	: Ana eksenlere ait koordinat çifti
y_j	: j . eklemin y düzlemindeki koordinatı
λ	: Kuyruk hareketi sinyalinin dalga uzunluğu (s)
ρ	: Su yoğunluğu (g/cm)
ν	: Suyun kinematik viskozitesi (m ² /s)
φ	: Balığın yunuslama açısı (°)
ψ	: Balığın sapma açısı (°)
θ_d	: Robot balığın ön gövde ile ana eksen arasındaki sapma açısı (°)
θ_j	: j . ekleme ait dönme açısı (°)

KISALTMALAR LİSTESİ

BCF	: Vücut ve/veya Kuyruk ile Hareket
CCD	: Işığa Duyarlı Objektif
ICPF	: İyonik İletkenli Polimer Film
ICSP	: Devre Üzerinde Seri Programlama
MPF	: Orta ve/veya Çift Yüzgeçler ile Hareket
NiMh	: Nikel-Metal-Hidrür Bileşik
PCM	: Darbe Kod Modülasyonu
PPM	: Darbe Konum Modülasyonu
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
RF	: Radyo Frekansı
SHA	: Şekil Hafızalı Alaşım

1. GİRİŞ

Doğada var olan sistemleri inceleyerek insan problemlerine çözüm getirmeyi amaçlayan ve bu sistemlerin yapılarını araştırarak mühendislik sistemleri ile mühendislik tasarımlarında kullanan bilim dalı biomimetik olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemlere olan ilginin giderek artması, doğal yaşam ve mühendislik alanları arasındaki teknoloji transferini daha cazip bir hale getirmektedir. Günümüzde, tabiattaki canlı formlar örnek alınarak robot teknolojisi, yapay zeka ve nano-teknoloji gibi birçok alanda bu bilgilerden faydalanılmaktadır. Böylece yüzen bir robottan uçan bir araca kadar birçok teknolojik çalışma yapılmaktadır [1-8].

Balıkların biyolojik yapıları incelendiğinde, pek çok teknolojik alan için yaratıcı fikirler elde edilebilir [4-6]. Balıklar insanı hayrete düşüren yüzme yetenekleri sayesinde, su altında çok rahat şekilde hareket edebilmektedir. Hareket kabiliyeti, hızlı yüzebilme ve ani yön değiştirebilme gibi özellikleri ile doğadaki en iyi yüzücülerdir. Balığın suda hareketi vücutlarının ve/veya kuyruklarının kıvrılmasıyla gerçekleşir. Bu özelliklerinden ötürü, balığın yüzüşü birçok bilim adamının bu alanda robotik çalışmalara yönelmesine neden olmuştur [9-15].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan klasik su altı araçları yerine, yüzme hareketinin pervaneler yardımıyla sağlanmadığı balık türü bir su altı robotu, pervaneli bir su altı aracına göre daha hızlı, çevik, sessiz ve düşük güç tüketimi ile yüzebilmektedir [5-7]. Tong'a göre normal bir balık yüzde 80'nin üzerinde yüzme verimliliğine sahip iken, Carangiform türü bir balık yüzde 90'nın üzerinde yüzme verimliliğine sahiptir [16]. Ancak klasik pervaneli bir su altı aracında bu verimlilik yüzde 40 ile 50 arasında değişmektedir [17]. Balıklar kuyruklarını kullanarak ürettikleri itici güç ile hızlı ve yüksek manevra kabiliyeti elde ederler. Bir balık vücut uzunluğunun yüzde 10 ile 30'u oranında bir yarıçap ile hızlı bir şekilde manevra kabiliyetine sahiptir. Gemiler ya da su altı araçları ise uzunluklarının üç katına ait yarıçapı ile yavaşça yön değiştirebilirler [18]. Bir mühendislik alanı açısından bakıldığında, balıklar, otonom su altı robotu tasarımlarında en uygun yapıya sahiptir.

Robot balık sistemlerinde ilk araştırmalar 1990'lı yıllarda Triantafyllou [18] tarafından başlatılan ve daha sonra Hirata [19] tarafından devam edilen çalışmalar ile başlatılmıştır. Bu çalışmalar robotik, hidrodinamik ve kontrol teknolojileri yardımı ile desteklenmiştir.

Daha sonra mevcut araştırmalar giderek robot balık tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır [2]. RoboTuna olarak adlandırılan ilk robot balık, 1994 yılında MIT tarafından balık yüzüşündeki hidrodinamiği anlayabilmek ve araştırmak için geliştirilmiştir. Bu robot balık alüminyum iskelete sahip 8–eklemlili esnek bir kuyruk ve çeşitli verilerin elde edilmesi için birden fazla algılayıcının tasarımı ile geliştirilmiştir [2,8]. Bu çalışmadan esinlenen Draper Laboratuar’ı, 1998 yılında insansız bir su altı aracı olan VCUUV’yi tasarlamıştır. Bu araç, engellerden sakınarak yukarı aşağı hareket yeteneğinden ötürü en çok bilinen robotik su altı çalışmalarından biridir [13,20]. Bu çalışmalardan sonra araştırmacılar farklı özelliklere sahip birçok robot balık geliştirmiştir. North-Western Üniversitesi şekil Hafızalı Alaşımlar (SHA) kullanarak farklı türde bir robot balık geliştirerek bu alanda yeni bir yaklaşım getirmiştir [21]. Daha sonra Japonya’daki birçok Üniversite İyonik İletkenli Polimer Film (ICPF) aktuatörleri kullanarak küçük boyda robot balıklar üretmiştir [22-25]. Yapılan birçok çalışmadan sonra, Essex Üniversitesi tarafından Carangiform türünde, en iyi yüzme kabiliyetine ve hızına sahip olan tuna balığı model alınarak üretilen G9 (9. Nesil) isimli bir robot balık geliştirilmiştir. Bu robot balık şuanda Londra’daki County Hall Akvaryumu’nda sergilenmektedir [10,26].

Yapılan bu çalışmalar ile üretilen su altı araçları robot balık olarak isimlendirilmektedir. Yapay eklemlerden oluşan kuyruk yapıları ile klasik su altı araçlarının ulaşamadığı yerlerde robot balıklar kullanılabilir. Ayrıca üzerlerinde bulunan çeşitli algılayıcılar yardımı ile engellerden sakınarak ve gerçek bir balığın hareketlerini taklit ederek su altında kolayca hareket edebilmektedir [4,5].

Balık tipi su altı robotlarının birçok kullanım alanları mevcuttur. Robot balıklar su altı araştırma, keşif ve gözlemde, askeri alana kadar birçok alanda kullanılabilir [12,13,27]. Özellikle klasik su altı araçlarının gidemediği çok derin ya da sığ sularda bile robot balıklar kolayca hareket ederek otonom hareket ya da uzaktan kontrol yardımı ile gerekli verileri toplayarak görevlerini yerine getirebilmektedir. Dönel pervaneli su altı araçları, pervane izi nedeniyle kolayca izlenebilmektedir. Yüzen bir robot balığın kuyruğu ise suda kuyruk izi bırakmaması ile mevcut pervaneli su altı araçlarına göre avantaj sağlamakta ve özellikle askeri alanda rahatça kullanılabilir [5].

1.1. Tezin Amacı ve Yöntem

Bu tez çalışmasının amacı, 4–eklemlı kuyruk yapısına sahip, su altı gözlem ve araştırmalarında kullanılabilirliğı yüksek, RF uzaktan kumanda yardımı ile kontrol edilebilen, karar verme yeteneğıne sahip yeni bir robot balık tasarı geliştirmektir.

Vücut yapısı ve hareket türleri açısından çok verimli bir yapıya sahip olan Carangiform türü bir balık örnek alınarak, bu türlere ait kinematik ve hidrodinamik matematiksel modeller oluşturulmuştur. Elde edilen ifadeler yardımı ile robot balığa ait dinamik model için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçları ile robot balığın 2-boyutlu ekseninde hareket kabiliyeti incelenmiştir. Benzetim sonuçlarında, esnek kuyruğa ait eklemlerin alması gereken açı değerleri, tasarlanan robot balık prototipine uygulanarak tasarımın etkinliğı gösterilmiştir.

Yüzme hareketlerinin gerçekleştirilebilmesi için servo motorlar kullanılarak 4–eklemlı bir kuyruk yapısı oluşturulmuştur. Robot balığa ait göğüs yüzgeçleri için bir servo motor yardımı ile hareket edebilen simetrik bir yapıda tasarım modeli sunulmuştur. Tasarlanan bu prototip ile bir robot balık dinamiğinin araştırılması ve kontrolü için kullanılabilecek bir deneysel sistem oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar $305 \times 183 \times 56 \text{ cm}$ boyutlarında bir yüzme havuzunda gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan robot balık hem engellerden sakınarak yüzebilen otonom hareket kabiliyetine hem de Radyo Frekanslı (RF) kumanda yardımı ile uzaktan kontrol edilerek hareket edebilen yüzme yeteneğıne sahiptir. Üzerinde bulunan kablosuz kamera sayesinde su altı araştırmaları için gerekli görüntü verileri uzakta bir bilgisayara gönderebilmektedir. Bu hedefler doğrultusunda, karar verme yeteneğıne sahip 4-eklemlı bir robot balık tasarımı oluşturularak hareket kabiliyetleri benzetim ve deneysel çalışmalarda incelenecektir.

1.2. Tezin İçeriğı

Bu tez çalışması yedi bölüm olarak düzenlenmiştir. Yukarıda verilen amaç ve yöntemlere uygun olarak;

Bölüm 1’de, biomimetik su altı robotları hakkındaki çalışmalardan bahsedilmiş ve literatürdeki robot balık çalışmalarından bazıları irdelenmiştir.

Bölüm 2’de, balık yüzme hareketleri ve türlerine ait morfolojik yapılar verilmiş ve yüzen bir balığa etki eden kuvvetler incelenmiştir.

Bölüm 3’de, Carangiform türü bir balığın hareket türleri incelenmiş ve bu balık türüne ait kinematik ve hidrodinamik modelleri içeren matematiksel model oluşturulmuştur.

Bölüm 4’de, *MATLAB/Simulink* blokları kullanılarak bir robot balığın dinamik modeli oluşturularak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Böylece deneysel çalışmalarda robot balığa ait eklemlere uygulanacak eklem açısı değerleri elde edilmiş ve doğruluğu benzetim çalışmalarında sınanmıştır.

Bölüm 5’de, uzaktan kontrollü bir robot balık tasarımının yapılabilmesi için gerekli aşamalar ve çalışmalar verilerek bir robot balık tasarımı ve gerçekleştirilmesi elde edilmiştir.

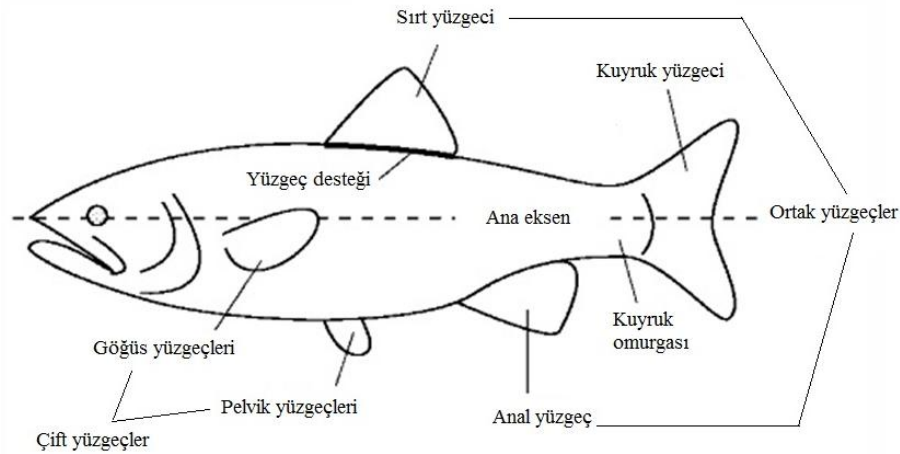
Bölüm 6’da, yapılan deneysel çalışmalardan ve benzetim sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Bölüm 7’de, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilen yöntemin uygunluğu tartışılmıştır.

2. BALIK YÜZME HAREKETLERİ VE KUVVETLER

Bir hareket ortamı olan suyun sıkışmazlık ve yüksek yoğunluk gibi temel özellikleri, balık gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Deniz hayvanlarının vücut ağırlıklarından kaynaklanan yerçekimi kuvveti, suyun yoğunluğu ile neredeyse dengelenmektedir. Böylece çeşitli su altı robotları tasarlanabilir ve ilk aşamada ağırlık desteği birincil öneme sahip değildir [1].

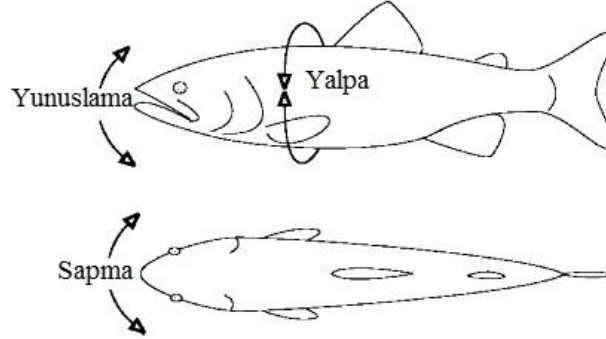
Bir balığın su içerisindeki hareketine yardımcı olan organlar yüzgeçlerdir. Balığın su içerisindeki yüzme hareketi ise kaslarla sağlanır. Her bir yüzgeç hareket anında farklı görevlere sahiptir [2]. Balıklara ait yüzme mekanizmalarının morfolojik yapısı Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Bir balığın temel morfolojik yapısı [1]

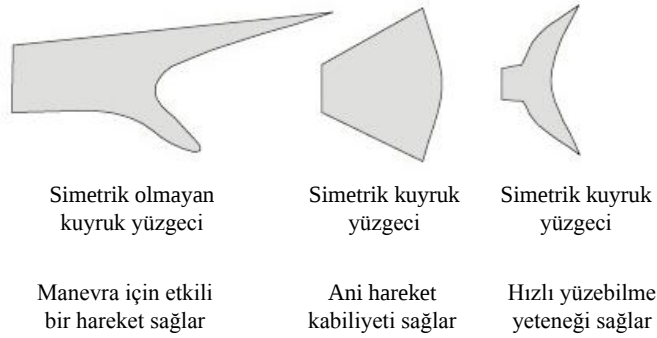
- **Kuyruk yüzgeci:** Su içerisinde ileriye doğru hareket için itici kuvvet sağlar. Ayrıca, balığın hangi yönde hareket edeceğini kontrol eder.
- **Göğüs yüzgeçleri:** Aşağı yukarı hareket (yunuslama) ile dönme (sapma) hareketlerini kontrol eder. Ayrıca sürüklenme kuvvetini kullanarak hızlanma ve yavaşlamayı sağlar.
- **Pelvik yüzgeçleri:** Genellikle aşağı yukarı harekete yardımcı olur.
- **Sırt ve anal yüzgeçler:** Balığın su içerisindeki yalpa hareketlerini kontrol eder [1,28].

Sapma, yunuslama ve yalpa hareketleri, Euler açılarına ait dönme hareketleri olarak bilinmektedir [29]. Belirtilen bu hareketler Şekil 2.2.'de verilmiştir.



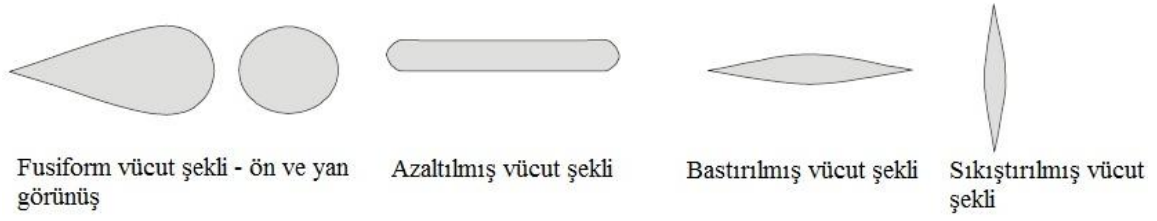
Şekil 2.2. Sapma, Yunuslama ve yalpa hareketleri

Bir balığın itici kuvvetini morfolojik yapısına göre en çok kuyruk yüzgeci oluşturmaktadır. Farklı şekil ve türlere ait bazı kuyruk yüzgeçleri Şekil 2.3.'de gösterilmiştir [30].



Şekil 2.3. Farklı balık türlerine ait kuyruk yüzgeçleri

Ayrıca, balıklar farklı vücut şekillerine de sahiptir. Bazı vücut şekilleri kısaca Şekil 2.4.'de verilmiştir [30]. Fusiform vücut şekli özellikle hava ya da su direncine karşı gelişmiş ve diğer vücut şekillerine göre daha hızlı yüzebilme kabiliyeti sağlayan bir vücut şeklidir. Füze ya da su damlası şeklinde olan bu vücut şekli, özellikle kuşlar ve balıklarda uçuş, yüzebilme ve dalma sırasında oluşacak sürtünme direncini azaltmak için vücudu en uygun yapı halini almaktadır. Bu vücut şekli, sürtünmeyi azalttığı için uçakların ve denizaltı araçlarının yapımında çoğunlukla tercih edilmektedir [31].



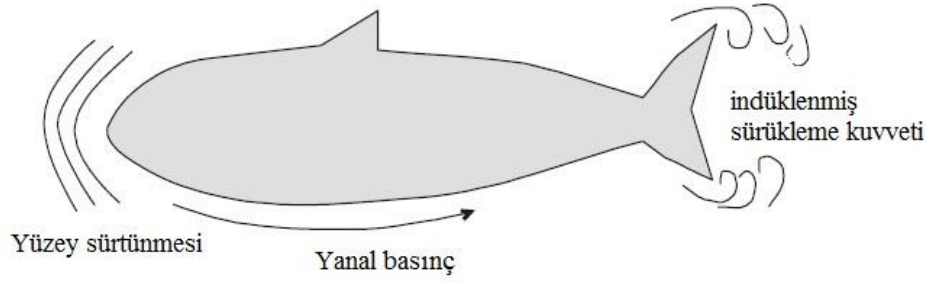
Şekil 2.4. Farklı türlere ait vücut şekilleri [31]

Azaltılmış vücut şekli daha iyi bir manevra kabiliyetine sağlarken, bastırılmış vücut şekli hızlanma ve derinlerde gezinme özelliği göstermektedir. Sıkıştırılmış vücut şekli ise daha iyi manevra ve hızlanma kabiliyetine sahiptir [30].

2.1. Kuvvetler ve Hareket

Yüzme Hareketi, balık ve onu çevreleyen su arasındaki moment transferini içerir. Temel moment transferi kuvvetleri Newton'un Hareket Yasasına eşit olup, sürüklenme, kaldırma ve ivme tepki kuvvetlerinden oluşur. Yüzme anındaki sürüklenme kuvveti üç şekilde oluşur ve Şekil 2.5.'de gösterilmiştir [1,2].

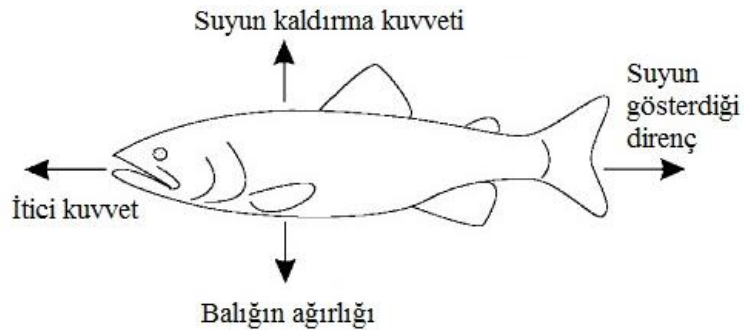
- **Balık ile su arasındaki yüzey sürtünmesi:** Viskozite ve sürtünme kuvvetlerinden oluşur. Sürtünme kuvveti, su alanına ve balığın ileri yön yüzme hızına bağlıdır.
- **Sudaki itme kuvvetine bağlı olarak balığa uygulanan yanal basınç:** Katı cisim etrafında akışkandaki bozulmadan dolayı meydana gelen basınç dağılımıdır ve balığın şekline bağlı olarak değişir.
- **İndüklenmiş sürüklenme kuvveti:** Kuyruk veya yanal yüzgeçler tarafından üretilen itici kuvvetten dolayı meydana gelen girdaplarda enerji kaybı oluşur. Bu kayıplar indüklenmiş sürüklenme kuvvetlerine sebep olur. Genellikle yüzgeçlerin şekline bağlı olarak değişir.



Şekil 2.5. Yüzen bir balığa etki eden sürüklenme kuvvetleri

Yanal basınç ve indüklenmiş sürüklenme kuvveti, akışkan elemanına etkiyen basınç kuvvetleri olarak da bilinir. Bir akışkana kayma gerilmesi uygulandığında, akışkan viskozite katsayısı olarak adlandırılan bir özelliği ile ters orantılı bir şekil değiştirme hızında hareket etmeye başlar [32,33]. Akışkan, bir cismi geçerken cismin bir yanındaki basınç diğer yanındakinden daha büyüktür. Böylece akış yönüne dikey yönde bir kaldırma kuvveti oluşur. İvme tepkisi, su hızı değiştiğinde balığın çevresini saran su direncinden dolayı oluşan atalet kuvvetidir. İvme tepki kuvveti, sürüklenme ya da kaldırma kuvvetine göre daha büyüktür ve değişken akışkanda ve balık hareketinde daha önemlidir [1].

Yüzen bir balığa etki eden fiziksel kuvvetler Şekil 2.6.'da verilmiştir. Bu kuvvetler, balığın ağırlığı, suyun kaldırma kuvveti, suyun gösterdiği direnç ve balığın hareket mekanizmalarına ait itici kuvvetlerdir. Balığın ağırlığından dolayı oluşan yerçekimi kuvvetine karşı, hidrodinamik bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Balıklar bu hidrodinamik kaldırma kuvvetini yanal yüzgeçlerinin hareketi ile sağlarlar [1].



Şekil 2.6. Yüzen bir balığa etki eden fiziksel kuvvetler [1]

Bir balığın sabit bir hızda yüzebilmesi için, itici kuvvetin en az suyun gösterdiği direnç kuvvetine eşit olması gerekmektedir. Böylece, balığa etkiyen kuvvet ve momentler denge halinde olur. Basınç kuvveti, kaldırma kuvveti ve ivme tepki kuvveti hem itici kuvvete

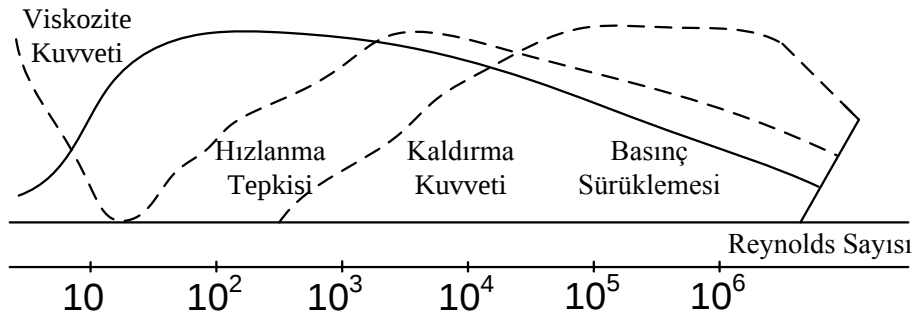
hem de su direncine etki etmektedir. Ayrıca, suyun viskozite kuvveti her zaman suyun direnç kuvvetiyle aynı yöndedir. Bir balığın hareketini etkileyen itici kuvvet ile su direncinin temel etkenleri aşağıdaki gibidir [1]:

- Reynolds Sayısı
- İndirgenmiş frekans
- Balığın şekli

Reynolds sayısı, bir akışkanın atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranıdır ve

$$Re = LV/\nu \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır [1]. Burada L balık kuyruk uzunluğu, ν suyun kinematik viskozitesi ve V balığın ileri yön hızıdır. Bu değer, iki tip kuvvetin belli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini verir [32]. Bu aralıktaki sürüklenme kuvvetleri Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Reynolds Sayısına bağlı sürüklenme kuvvetleri [1]

Yüzen bir balıkta $10^3 < Re < 10^6$ aralığındaki Reynolds sayısına bağlı olarak, atalet kuvvetleri baskın iken viskozite kuvvetleri ihmal edilir [1,33].

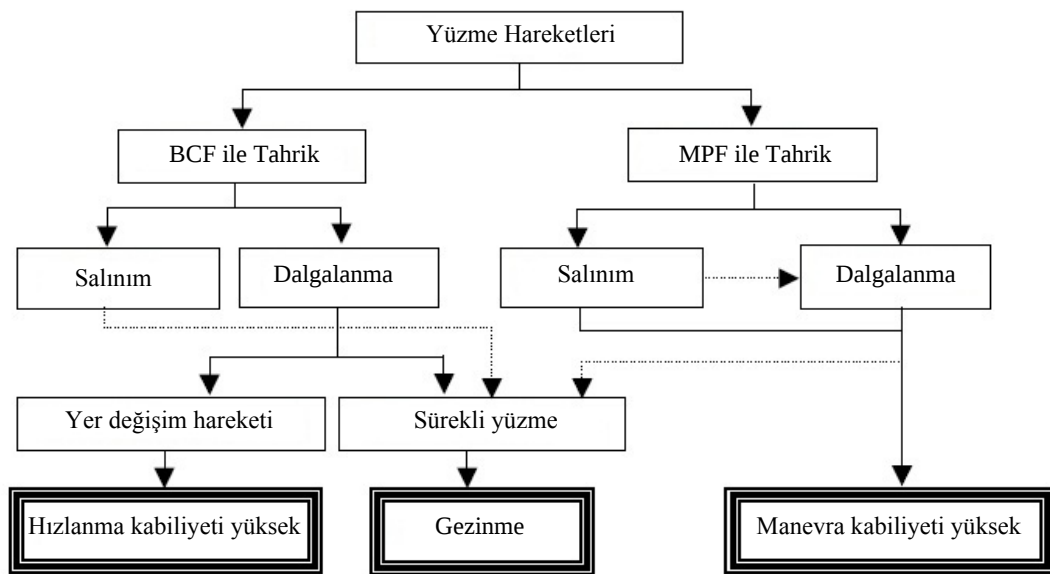
2.2. Yüzme Hareketlerinin Sınıflandırılması

Balıkların sudaki hareketi vücutlarının ve/veya kuyruklarının kıvrılmasıyla (Body and/or Caudal Fin - BCF) gerçekleşir. Bazı balıklar ise alternatif bir yüzme hareketi geliştirerek, sudaki hareketlerini orta ve/veya çift yüzgeçlerinin hareketi (Median and/or

Paired Fin - MPF) ile sağlarlar [1,21]. Hareketi sağlayan çift yüzgeçler göğüs ve pelvik yüzgeçlerini tanımlamaktadır. Pelvik yüzgeçleri su içerisindeki denge ve çok yönlülüğü sağlarlar nadiren itici kuvvete de destek olmaktadır [2]. Balıklar suyun içerisinde hareket etmek için tek bir yüzme hareketinden yararlanmadıkları halde BCF tip yüzme yanak yüzgeçlerin kullanıldığı MPF tipine göre manevra kabiliyeti açısından zayıf olsa da ileri hareketlenmede daha verimli olduğu için balık türlerinde en çok görülen yüzme şeklidir. Balık türlerinin %15'i MPF hareketi ile yüzerken %85'i BCF hareketi ile yüzerler.[4]. [1]'e göre BCF ve MPF hareketlerine ait diğer bir sınıflandırma aşağıda verilmektedir.

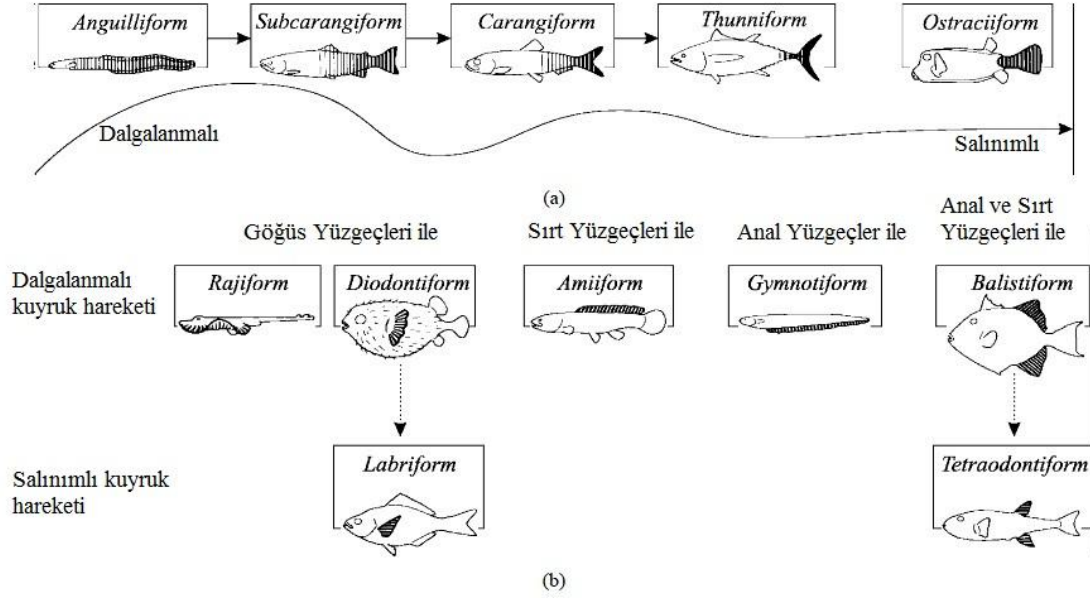
- Dalgalanma
- Salınım

Dalgalanma hareketleri, balığın itici yapısı boyunca bir dalga geçişini içerirken, salınım hareketlerinde balığın itici yapısı, bir dalgalanma sergilemeden dönme hareketlerini içerir. Dalgalanma hareketinde balıklar, vücutlarını bükerek genliği burundan kuyruğa kadar artan bir sinüs sinyaline benzetirler. Salınım hareketinde de dalgalanma dalga boyu giderek artmaktadır [1]. Genellikle, balıklar benzer morfolojilerde aynı hareket türleri ile hareket ederler. Ancak, Webb [34] hızlanma, gezinme ve manevra kabiliyetine göre balık morfolojisi için üç temel yüzme hareketini türetmiştir. İtici kuvvet türleri ile yüzme hareketleri arasındaki ilişki Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. İtici kuvvet türleri ile yüzme hareketleri arasındaki ilişki [1]

Balıklar aynı anda farklı yüzme hareketlerini kullanabilmektedir. Hem BCF hem de MPF hareketine ait temel yüzme modellerinin sınıflandırılması Şekil 2.9.'da gösterilmiştir [1].

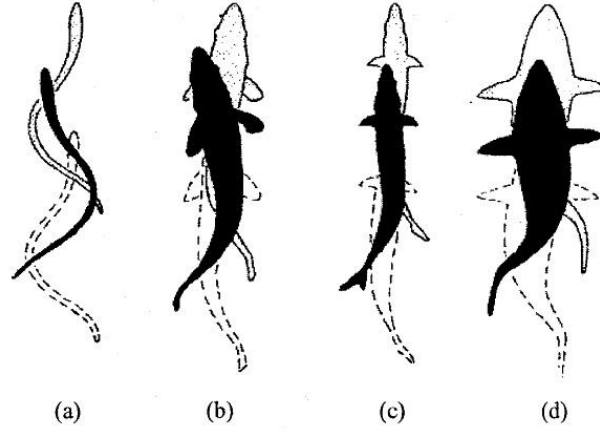


Şekil 2.9. Temel BCF ve MPF hareketlerine dayanan yüzme modelleri (a) BCF ile hareket (b) MPF ile hareket [1]

MPF hareket türü daha iyi manevra kabiliyeti sağladığı için genellikle balıklar yiyecek ararken bu hareket türünü kullanmaktadır [2].

2.2.1. Vücut / Kuyruk Yüzgeci ile Hareket (BCF)

Dalgalandırma BCF hareketinde, itici kuvvet balık hareketinin tersi yönünde genliği giderek artan bir sinüzoidal şekil alır [2]. İtici hareket, sinyalinin değişen dalga boyu ve genliğine göre dörde ayrılmaktadır [35]. Dört temel dalgalandırma BCF yüzme hareketi Şekil 2.10.'da verilmiştir.



Şekil 2.10. BCF yüzme hareketlerinin sınıflandırılması: (a) anguilliform (b) subcarangiform (c) carangiform (d) thunniform [2]

Dört temel BCF yüzme hareketi aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [2]:

- **Anguilliform:** Canlının vücut kasları, burundan kuyruğa kadar genliği giderek artan bir sinüs dalga şeklini alır. Genel olarak yılan balıkları bu yüzme hareketini kullanmaktadır.
- **Subcarangiform:** Anguilliform hareketine göre daha az sayıda kas kullanılmaktadır. Vücut kaslarının $1/2$ 'si ile $2/3$ 'ü arasında kas kullanılarak dalgalanma hareketi üretilir. Alabalıklar bu yüzme hareketini kullanan en iyi yüzücülerden birisidir.
- **Carangiform:** Alabalıklar, somon balıkları, ton balığı ve kılıç balıkları kuyruk sapı ve kuyruk yüzgeçlerini kullanarak bu yüzme hareketini üretirler.
- **Thunniform:** Yüzme hızı, dönüş manevraları ve hızlanma açısından verimsiz bir yapıya sahiptir. Köpek balıkları ve orkinoslar tarafından kullanılmaktadır [1,2].

2.2.2. Orta / Çift Yüzgeç ile Hareket (MPF)

Yüzgeç titreşimleri genellikle orta veya çift yüzgeçler ile sağlanmaktadır. Dalgalanma hareketi ise kuyruk yüzgeci tarafından üretilir [2]. Orta veya kuyruk yüzgeçleri ile dalgalanma hareketi aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [1,2]:

- **Amiiform:** Bu yüzme formunda, turna balığı gibi balıklar sırt yüzgeci boyunca oluşan hareket dalgalarını kullanarak yüzerler. Amiiform yüzücüler 200 milyon yıldan beri yüzme formlarını değiştirmemiştir.
- **Gymnotiform:** Bu formdaki yüzücülerde pelvik ve sırt yüzgeçleri bulunmamaktadır. Dalgalanma hareketi sağlamak için anal yüzgeçler bulunur ve oldukça uzundur. Kuyruk yüzgeçleri ya yoktur ya da apteronotid gibi bu hareket şeklini kullanan balık türlerinde bulunur. Bu formdaki balıklar sert bir bedene sahiptir. Güney Amerika bölgesindeki elektrikli balıklar ve Amerika bölgesindeki kılıç balıkları bu formda hareket eden balıklardır.
- **Balistiform:** Çotira balığı gibi bu formdaki yüzücüler aynı anda hem sırt hem de anal yüzgeçlerini dalgalandırırlar.
- **Rajiform:** Bu formdaki yüzücüler, kedi balığı ve kılıç balıkları gibi vücut uzunluğu boyunca uzanan yüzgeçlere sahiptir. Ayrıca su altındaki derinliklerde iyi bir takip yeteneğine sahiptirler.
- **Diodontiform:** Yüzme hareketi, geniş bir yapıya sahip göğüs yüzgeçlerinden başlayarak aşağıya doğru geçen dalgalanmalar ile oluşur. Ayrıca, dalgalanmalar yüzgeçteki salınım hareketleri ile birleşerek tek bir itici kuvvet oluşturmaktadır. Bu form yüzücülere en iyi örnek kirpi balıklarıdır [1,2].

Orta veya kuyruk yüzgeçleri ile salınım hareketi de aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [2]:

- **Tetraodontiform:** Bu formdaki balıkların vücudu sert bir yapıya sahip olduğu için dalgalanma hareketi kuyruk yüzgeçleri ile sınırlıdır. Dalgalanma hareketleri sadece kuyruk yüzgeçlerine ve göğüs yüzgeçlerine bağlı olduğu için su altında oldukça yavaş şekilde hareket ederler. Ancak, yüzme hareketleri oldukça hassastır ve yüksek manevra kabiliyetine sahiptirler. Bu formdaki yüzücülere en iyi örnek, kutu balıklarıdır.

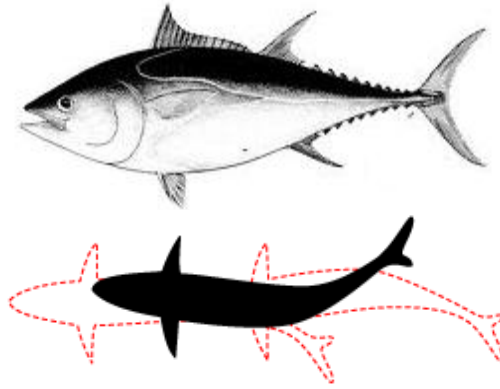
- **Labriform:** Göğüs yüzgeçleri kürek çekmeye benzer şekilde hareket ederek suyu iten balık türlerinde görülür. Örnek olarak tropikal mercan balıkları bu formda hareket etmektedir [1,2].

3. ROBOT BALIĞIN MATEMATİKSEL MODELİ

Bir balığın kas yapısı, sinir sistemi ve vücut dokusu ile onu çevreleyen akışkan arasındaki etkileşimlerin tamamı balığın su içerisindeki hareketlerini oluşturmaktadır [36,37]. Carangiform yüzücüler yüksek manevra kabiliyeti, ani yön değiştirebilme ve ileri hareketlenmede daha verimli olduğu için [1,38], Carangiform türü bir yüzücünün hareketleri dikkate alınarak bir robot balık modeli oluşturulmaktadır.

3.1. Bir Robot Balığın Matematiksel Modeli

Şekil 3.1.'de verilen Carangiform türü bir balığın fiziksel yapısı dikkate alınarak tasarlanan robot balık, sert bir gövde ve 4 eklemlilik esnek bir kuyruk olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Robot balığın ileri yön hızı kuyruğun çırpınma frekansı ve eklem motorlarına uygulanan açılar ile kontrol edilmektedir [13].

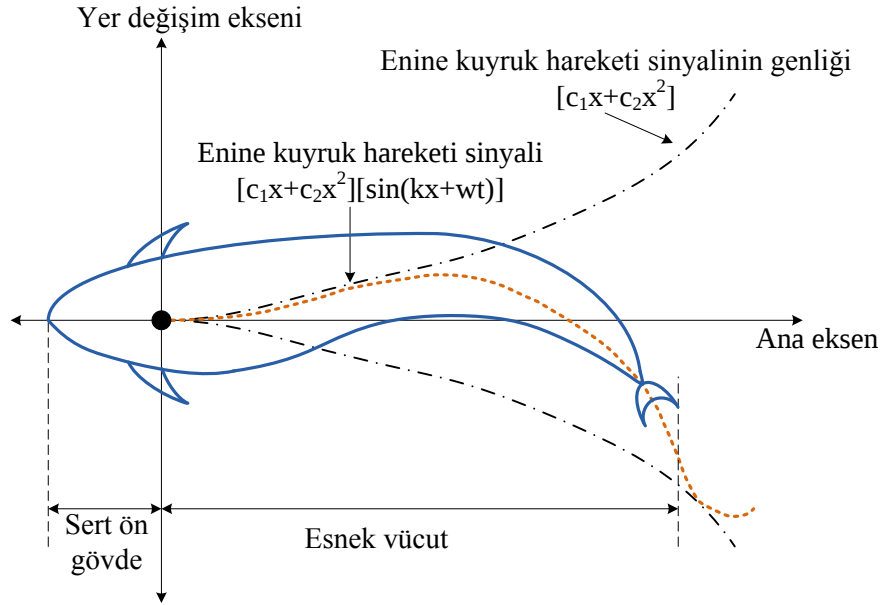


Şekil 3.1. Carangiform türü bir balığın fiziksel yapısı

Yüzen bir balıkta itme kuvveti, suyun gösterdiği direnç ve balığın ağırlığı dikkate alınarak matematiksel modeller oluşturulmuştur. Bunlar kuyruğun kinematik modeli, balığın hidrodinamik modeli ve balığın kinematik modelidir [13,39].

3.2. Kuyruğun Kinematik Modeli

Robot balığın hareketi genel olarak kuyruğun oluşturduğu hareket sinyaline bağlıdır [37]. Bu hareket sinyali Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Carangiform türü bir balığın enine hareket sinyali

Bu hareket esnasında balığın gövdesinden başlayarak esnek kuyruk boyunca enine bir hareket sinyali oluşur. Sinyalin genliği burundan başlayarak kuyruk boyunca artar [1]. Bu enine hareket sinyali Denklem (3.1) ile ifade edilir [13,40]:

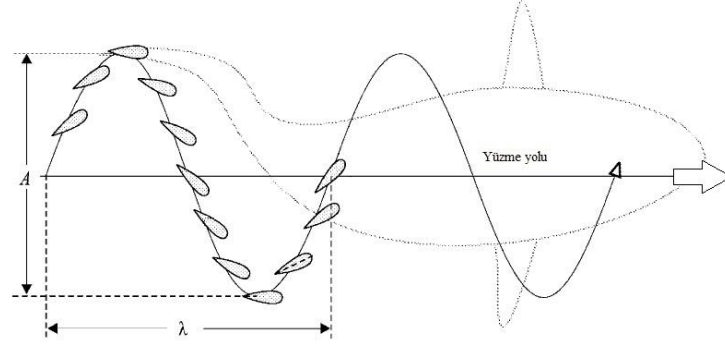
$$y_{body}(x,t) = (c_1x + c_2x^2) \sin(kx + wt) \quad k = 2\pi/\lambda \quad (3.1)$$

Burada; y_{body} kuyruğun enine hareket sinyali, x gerçek eksen boyunca yer değişim, t zaman, c_1 lineer dalga genliği, c_2 karesel dalga genliği, k vücut dalga katsayısı, λ kuyruk hareket sinyalinin dalga uzunluğu, $w = 2\pi f$ kuyruk hareket sinyalinin açısal hızı ve f kuyruğun çarpınma frekansıdır.

Enine hareket sinyalini gerçekleştirmek için robot balığın esnek kuyruk kısmında 4 adet servo motor kullanılmıştır [13]. Buna göre, Denklem (3.1) kuyruğa ait servo motor açılarını elde etmek için ayrık formda tekrar düzenlenebilir [13,39]:

$$y_{body}(x,i) = (c_1x + c_2x^2) \sin(kx - \frac{2\pi}{M}i) \quad i \in [0,1,...,M-1] \quad (3.2)$$

Burada; M ayrılaştırılmış kuyruk hareketine ait örnek sayısını temsil etmektedir. Denklem (3.2) zamandan bağımsız ve zamana bağlı olmak üzere iki farklı kısımdan oluşur. $y_{body}(x,i) (i=0, 1, \dots, M-1)$ zamandan bağımsız bir osilasyon döngüsüdür. Zamana bağlı osilasyon frekansı f ise, $y_{body}(x,i)$ ve $y_{body}(x,i+1)$ arasındaki zaman aralığını değiştirerek kontrol edilir [13]. Şekil 3.3.'de enine hareket sinyalinin bir periyodundaki her bir örneğine ait fiziksel yapısı verilmiştir.



Şekil 3.3. Robot balık kuyruğunun bir periyoduna ait hareketler

Robot balığın esnek kuyruğu dönen eklemlerden oluşmaktadır. Bu eklemler, ana eksen boyunca düzlemsel olarak $[l_1, \dots, l_j]$ $l_j; (j=1,2,...,N)$ gibi dört adet bağlantı ile modellenebilir. Böylece eklemler arasında $[l_1, \dots, l_4]$ olmak üzere dört adet bağlantı oluşur. Burada; l_j eklem uzunluk oranını, N eklem sayısını ifade etmektedir. l_{j-1} eklemi ile l_j eklemi arasındaki her bir açı ise $\theta_j (j=1,2,...,N)$ ile temsil edilir. Ayrıca (x_{j-1}, y_{j-1}) ve (x_j, y_j) olmak üzere her bir eklem arasında koordinat çiftleri belirlenir. Böylece, Denklem (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) ifadeleri yardımıyla i . örnekteki j . ekleme ait servo motor açıları kolayca hesaplanabilir [29]:

$$x_0 = y_0 = 0 \quad (3.3)$$

$$\theta_1 = \arctan \left(\left(\frac{dy_{body}}{dx} (l_1, t) \right) \right) \quad (3.4)$$

$$x_i = x_{i-1} + l_i \cos(\theta_i) \quad (3.5)$$

$$y_i = y_{i-1} + l_i \sin(\theta_i) \quad (3.6)$$

$$\theta_{i+1} = \arctan \left(\left(\frac{dy_{body}}{dx} (x_i + l_{i+1} \cos \theta_i, t) \right) \right) \quad (3.7)$$

Robot balığın itici kuvveti dalgalanan esnek kuyruk ile gerçekleşir. Carangiform, Subcarangiform ve Thunniform türüne ait balıklar bu yöntem ile hareket ederler [6,26]. Böylece robot balığın ileri yön hızı, kuyruğun çırpınma frekansı f ile kontrol edilmektedir.

3.3. Hidrodinamik Model

Balıkların yüzme yöntemlerinin sınıflandırılması kullanılarak, Carangiform türüne ait bir balığın hidrodinamik modeli elde edilebilir [1]. Bu modele göre robot balığın maksimum itici kuvveti F_{thrust} suyun viskozite kuvvetine eşit olduğunda, balık sabit hızda hareket eder. Viskozite kuvveti;

$$D_v = \frac{1}{2} C_f S_a V^2 \rho \quad (3.8)$$

olarak hesaplanır [14]. Burada, C_f Reynolds Sayısına bağlı sürüklenme katsayısı, S_a suyun yüzey alanı, V robot balığın hızı ve ρ su yoğunluğudur. Reynolds Sayısı [32];

$$R_e = \frac{LV}{\nu} \quad (3.9)$$

olarak tanımlanır. Burada, L robot balığın kuyruk uzunluğu, ν suyun kinematik viskozitesidir ($\nu=1.12mm^2/s$). Sürüklenme katsayısı;

$$C_f = 1.328 R_e^{-0.5} + 0.074 R_e^{-0.2} \quad (3.10)$$

olarak elde edilir [41]. Dinamik model için Strouhal Sayısı [13];

$$S_t = \frac{fA}{V} \quad (3.11)$$

olarak bulunur. Burada, f kuyruğun çırpınma frekansını, V ileri yön hızı, A kuyruk sinyalinin tepeden tepeye genliğini ifade eder. Böylelikle denklem (3.11) yardımıyla maksimum hız elde edilir:

$$V_{max} = \frac{fA}{S_t} \quad (3.12)$$

Denklem (3.8) yardımıyla maksimum viskozite kuvveti hesaplanır. İtici kuvvet, maksimum viskozite kuvvetine eşit olduğunda;

$$F_{thrust} = \frac{1}{2} C_{fmax} S_a V_{max}^2 \rho \quad (3.13)$$

olarak tanımlanır. Böylece robot balığın ileri yön hız ifadesi elde edilir. Burada maksimum sürükleme katsayısı;

$$C_{fmax} = 1.328 \left(\frac{LV_{max}}{v} \right)^{-0.5} + 0.074 \left(\frac{LV_{max}}{v} \right)^{-0.2} \quad (3.14)$$

olarak tanımlanır [13].

3.4. Kinematik Model

Robot balığın kinematik modeli Newton'un 2. yasasına göre elde edilmiştir. Balığın ivmesi;

$$a_t = \frac{F_{ty} - D_v}{m} \quad (3.15)$$

olarak hesaplanır [13]. Burada, m robot balığın ağırlığıdır. Bileşke kuvvet;

$$F_{ty} = F_{thrust} \cos(\theta_d) \quad (3.16)$$

olarak elde edilir. θ_d robot balığın başı ile ana eksen arasındaki sapma açısıdır. Robot balığın iki boyutlu ekseninde hareketi;

$$\dot{y}^e - \dot{x}^e \tan \theta_d = 0 \quad (3.17)$$

olarak tanımlanır. Burada y^e ve x^e ana eksenlere ait koordinat çiftini ifade etmektedir. Denklem (3.17) holonomik olmayan bir ifade olduğu için tekrar düzenlenebilir. Böylece robot balığın iki boyutlu ekseninde hareketi;

$$\begin{bmatrix} \dot{x}^e \\ \dot{y}^e \\ \dot{\theta}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_d & 0 \\ \sin \theta_d & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

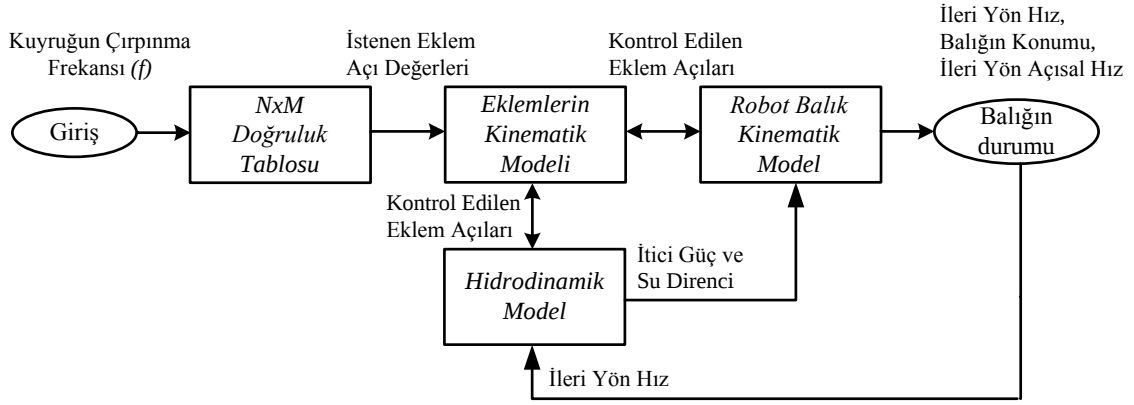
olarak elde edilir.

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, Carangiform türü bir balığın hareketi için *MATLAB/Simulink* blokları kullanılarak Bölüm 3’de elde edilen kinematik ve hidrodinamik modeller yardımı ile robot balığın dinamik modeli oluşturulmuştur. Benzetim çalışmalarında robot balığın giriş değişkeni kuyruğun çırpınma frekansı (f), açık çevrim çıkış değişkenleri balığın konumu ve ileri yön hızı (V)’dir. Benzetim, $0.01s$ örnekleme periyodu ile *Runge Kutta*’nın dördüncü derece integrasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Benzetimde kullanılan robot balık modeline ait parametreler Tablo 4.1.’de verilmiştir. Robot balığın dinamik modelini gösteren blok diyagram Şekil 4.1.’de verilmiştir. Dinamik modele ait alt bloklar EK-1, EK-2, EK-3, EK-4 ve EK-5’de verilmiştir.

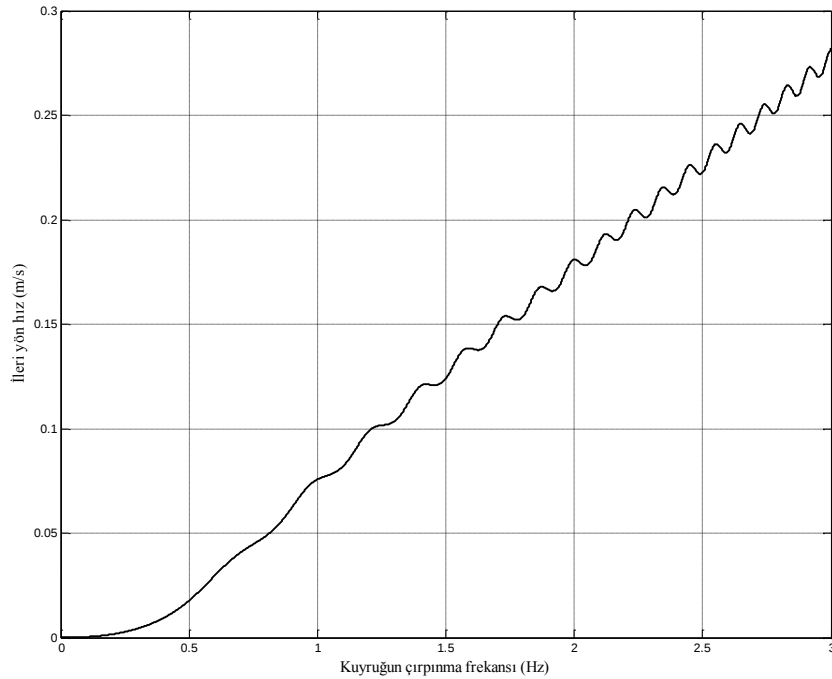
Tablo 4.1. Benzetim parametreleri

Parametreler	Değerler
Su yüzey alanı (S_a)	$6 m^2$
Su yoğunluğu (ρ)	$1000 kg/m^3$
Robot balığın ağırlığı (m)	$2.4 kg$
Robot balık kuyruk uzunluğu (L)	$0.3 m$
Lineer dalga genliği (c_1)	0.3
Dönüş için lineer dalga genliği (c_1)	0.05
Karesel dalga genliği (c_2)	0
Dönüş için karesel dalga genliği (c_2)	0.09
Kuyruk hareketi örnek sayısı (M)	18
Vücut dalga katsayısı (k)	13.6
Dönüş için vücut dalga katsayısı (k)	1



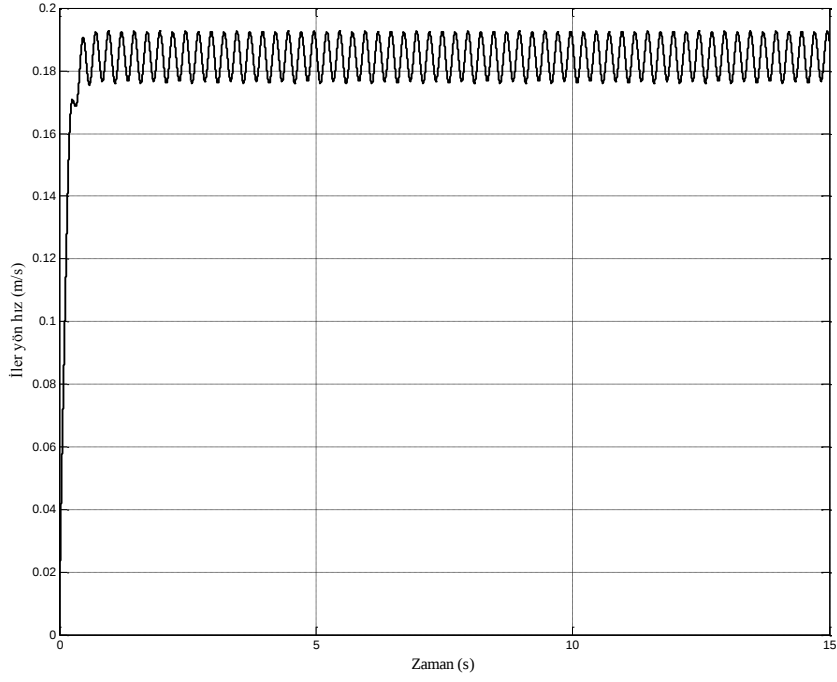
Şekil 4.1. Robot balığın dinamik modeli

Şekil 4.2. kuyruğun çırpınma frekansı ile robot balığın ileri yön hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Robot balığın ileri yön hızı, kuyruğun çırpınma frekansı arttıkça artmaktadır.



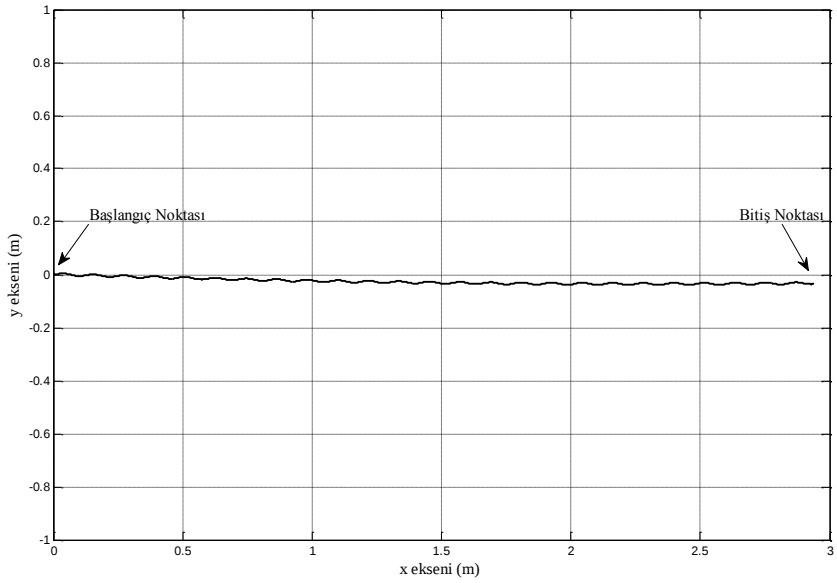
Şekil 4.2. Kuyruğun çırpınma frekansı ile robot balık ileri yön hızı arasındaki ilişki

Robot balığın sabit eksende ileriye doğru hareketi için açık çevrim hız cevabı Şekil 4.3.'de verilmiştir. Burada açık çevrim sisteme $f=2Hz$ 'lik bir basamak giriş sinyali uygulanmıştır.



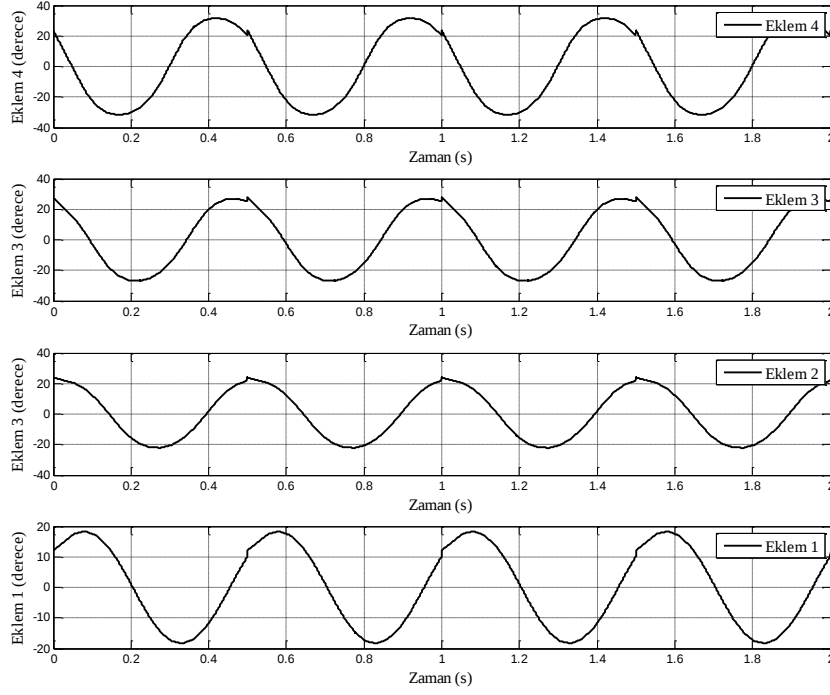
Şekil 4.3. Robot balığın sabit eksende ileri yön hareketini gösteren açık çevrim hız cevabı

Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi $2Hz$ 'lik kuyruk çarpınma frekansında robot balığın ileri yön kalıcı durum hızı $0.18m/s$ civarına ulaşmaktadır. $2Hz$ frekans girişi için robot balığın 2-boyutlu eksende, ileri yön hareketi Şekil 4.4.'de verilmiştir.

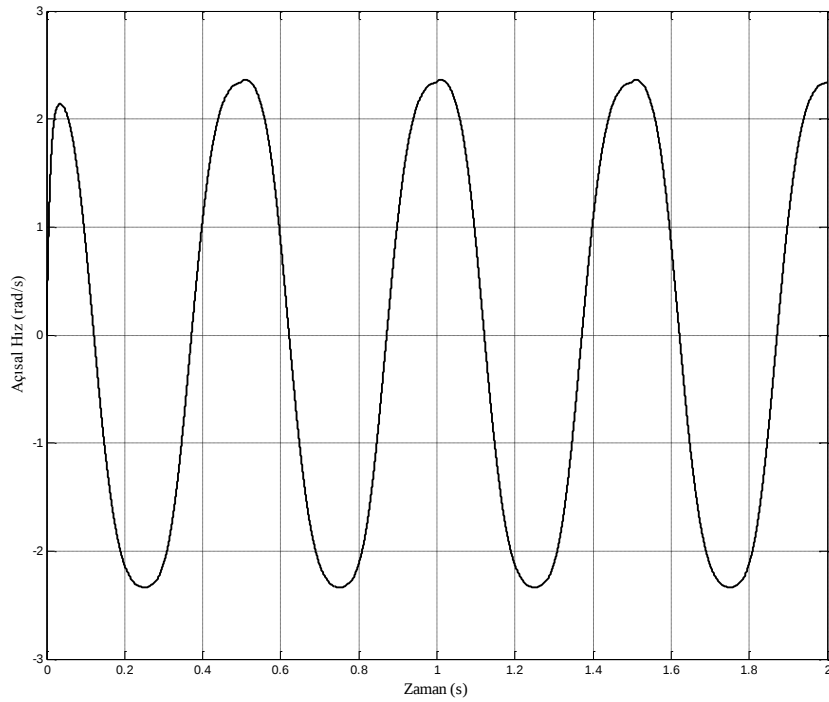


Şekil 4.4. Robot balığın 2-boyutlu eksende ileri yön hareketi

Robot balığın ileri yön hareketi için esnek kuyruğa ait eklemlerin alması gereken açı değerleri $f=2Hz$ için Şekil 4.5.'de verilmiştir. Şekil 4.6. Robot balığın ileri yöne ait açısal hızını göstermektedir.

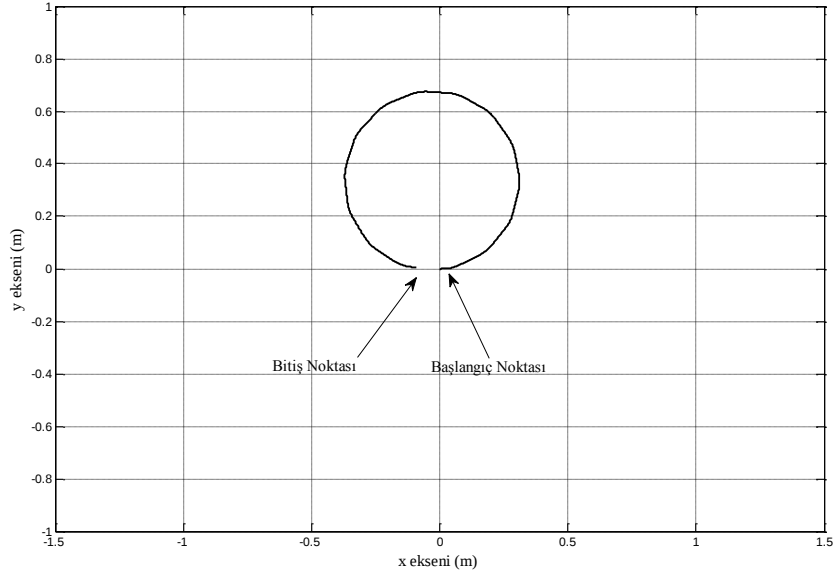


Şekil 4.5. İleri yön hareket için robot balığın esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri

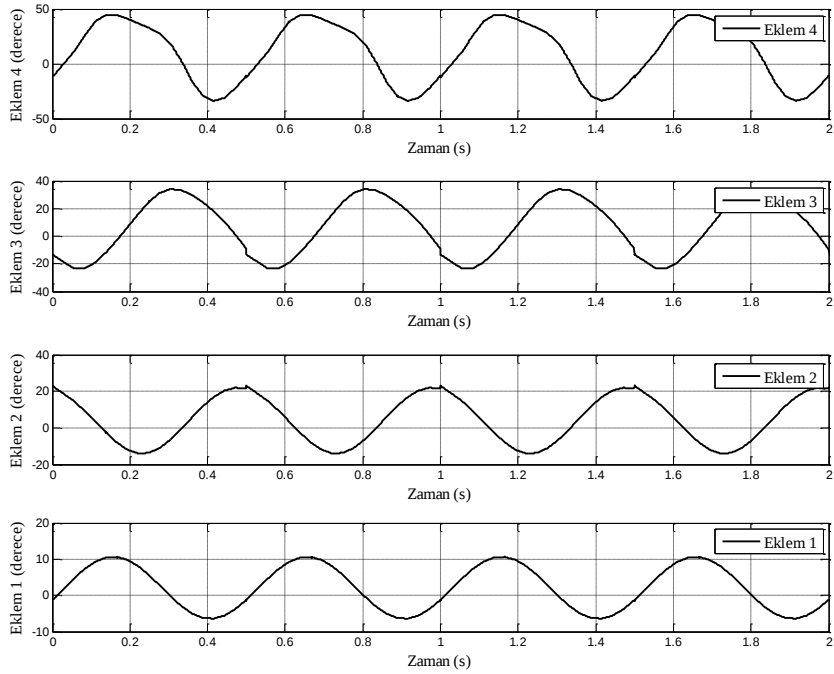


Şekil 4.6. Robot balığın ileri yöne ait açısal hızı $f=2Hz$

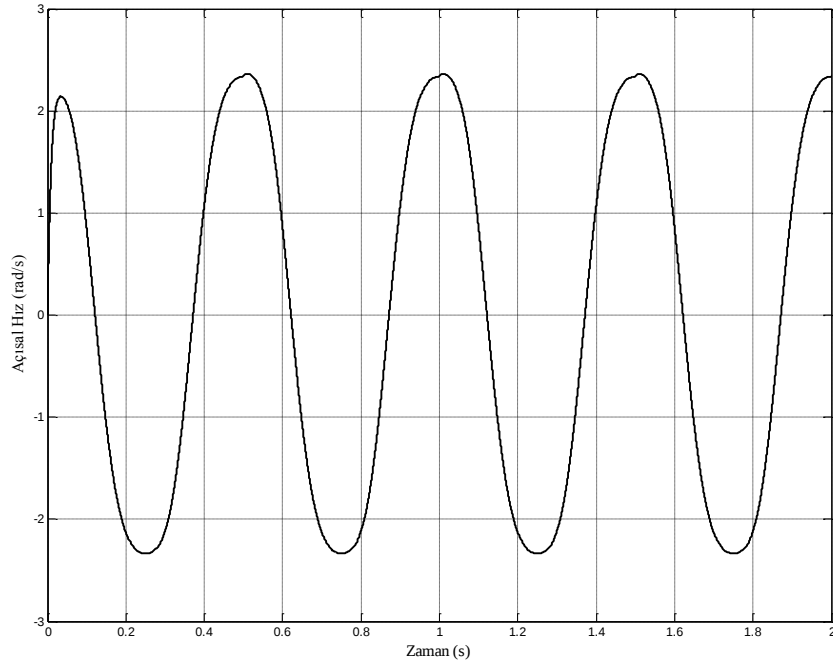
Robot balığın sola dönüş hareketi Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Robot balığın dönüş hareketi için esnek kuyruğa ait eklemlerin alması gereken açı değerleri $f=2Hz$ için Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.9. dönüş yönündeki açısal hızını vermektedir.



Şekil 4.7. Robot balığın 2-boyutlu ekseninde sola dönüş hareketi $f=2Hz$

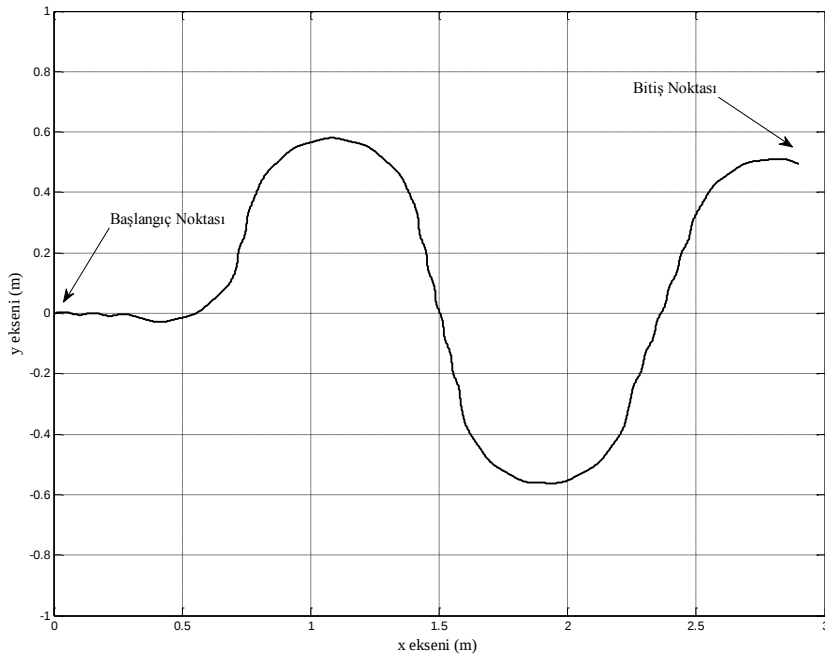


Şekil 4.8. Robot balığın dönüş hareketi için esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri

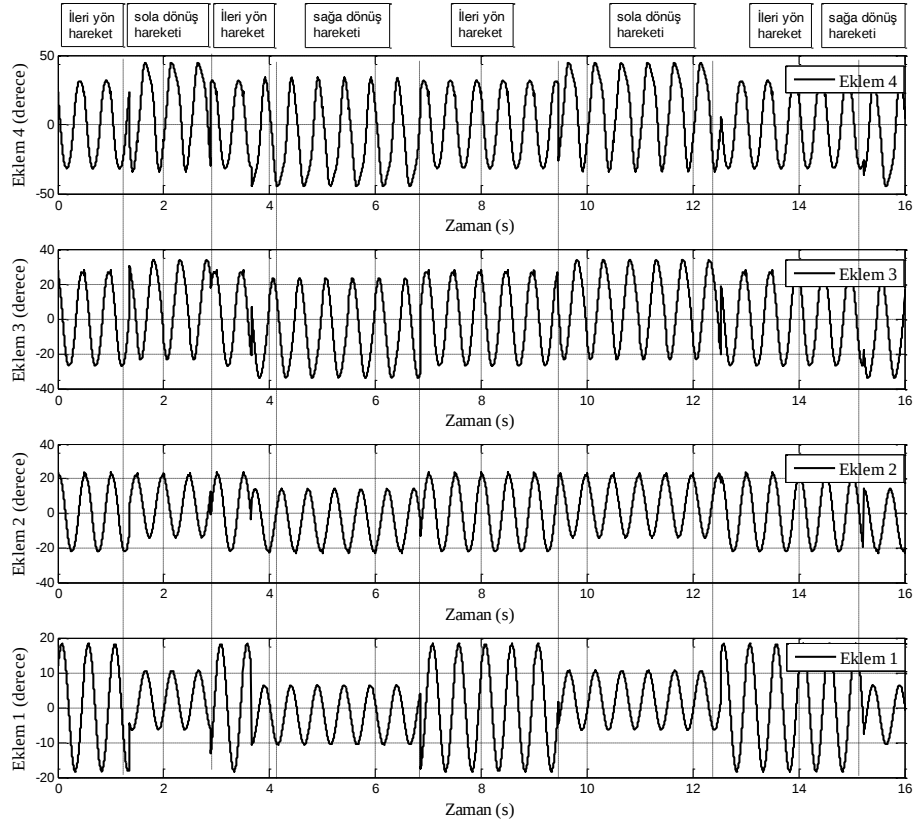


Şekil 4.9. Robot balığın dönüş yönü açısal hızı $f=2Hz$

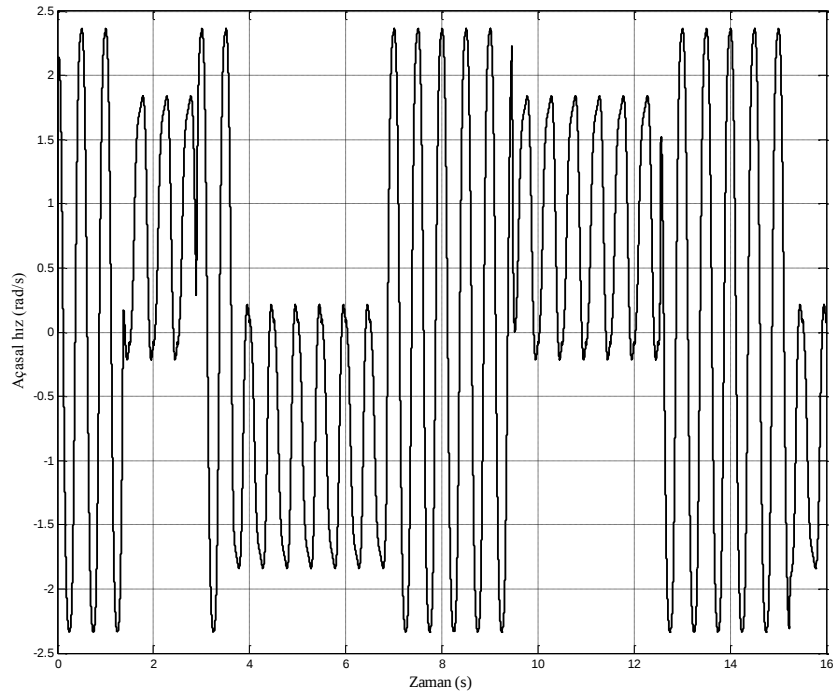
Robot balığın ileri yön ve dönüş hareketlerini içeren otonom yüzme davranışı Şekil 4.10.'da verilmiştir. Şekil 4.11. robot balığın otonom yüzme hareketi için esnek kuyruğa ait eklemlerin alması gereken açı değerlerini göstermektedir. Otonom yüzme hareketi anında robot balığa ait açısal hız Şekil 4.12.'de sunulmuştur.



Şekil 4.10. Robot balığın 2-boyutlu eksende otonom yüzme hareketi



Şekil 4.11. Robot balığın otonom hareketi için esnek kuyruk eklemlerine ait açı değerleri $f=2Hz$



Şekil 4.12. Robot balığın otonom hareket anındaki açısal hızı $f=2Hz$

Bu bölümde, robot balığı temsil eden dinamik model benzetim çalışmaları ile oluşturulmuş ve böylece uygulamada kullanılmak üzere prototipin ileri yön hareketi ve dönüş hareketleri için gerekli olan kuyruk eklemlerine ait açı değerleri elde edilmiştir.

5. ROBOT BALIK PROTOTİPİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

Bu çalışmada, hem BCF hem de MPF manevra kabiliyetlerine sahip, karar verme yeteneği sayesinde ileri ve dönüş hareketleri ile yüzebilen, uzaktan kontrollü bir robot balık prototipi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde tasarımın ve gerçeklemenin detayları anlatılacaktır.

5.1. Robot Balığa ait Yüzme Hareketleri

5.1.1. Vücut ve/veya Kuyruk ile Hareket

Bir balığın hareketi Bölüm 3.'de Şekil 3.2.'de verilen kuyruğun oluşturduğu enine hareket sinyaline bağlıdır. Bu hareket esnasında balığın gövdesinden başlayarak esnek kuyruk boyunca enine bir hareket sinyali oluşur. Sinyalin genliği burundan başlayarak kuyruk boyunca artar. Bu enine hareket sinyali Denklem (3.1) ile ifade edilmektedir [1,13].

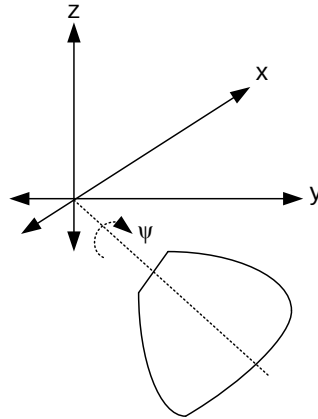
Birçok omurgaya sahip gerçek bir balıkta, her omur yaklaşık enine hareket sinyalini oluşturmak için birer eklem olarak düşünülebilir. Böylece oldukça iyi bir yaklaşım sağlanmaktadır. Ancak, bir robot balık gerçek bir balığın ürettiği enine hareket sinyalini üretebilmesi için sınırlı sayıda eklem sahiptir. Bu eklemler yardımı ile gerçek bir balığın ürettiği enine hareket sinyalinin sınırlı sayıda eklemler ile nasıl üretilmesi gerektiği, robot balık araştırmacıları için temel zorluklardan biri haline gelmiştir [2]. Eğer balık vücudunun salınım bölgesinin dönen birçok eklemde oluştuğu düşünülürse, bu eklemler vücudun eksenini boyunca seri düzlemsel bir bağlantı zinciri olarak modellenenebilir. Böylece her eklem için en uygun konumlar sayısal eğri uydurma yöntemleri ile elde edilebilir. Bu hesaplamalar ışığında tasarlanan robot balığın şekli istenildiği gibi değiştirilebilmektedir. Elde edilen bu açılar robot balığın 4-eklemlilik kuyruğunu oluşturmak için kullanılan servo motorlara uygulandığında, robot balık gerçek bir balık gibi yüzecektir [37]. Daha fazla eklem kullanılarak daha gerçekçi bir yaklaşım elde edilecektir. Ancak her eklem için suyun etkileşimi ile oluşan dinamikler gerçek bir tasarımın yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu tez çalışmasında, prototipte kullanılan servo motorlar bu etkileşimi dengeleyebildiği kabul edilerek, bu dinamiklerin etkisi ihmal edilmiştir.

5.1.2. Orta ve/veya Çift Yüzgeç ile Hareket

Çift yüzgeçler olarak da bilinen göğüs yüzgeçleri, aşağıda belirtilen dört temel hareket oluşturmaktadır [2]:

- Dikey düzlemde çırpınma hareketi
- Yatay düzlemde ileri – geri hareket
- Yatay düzlemde dönme hareketi
- Büzülerek ve uzayarak oluşan yayılım hareketi

Bu tez çalışmasında, göğüs yüzgeçleri sadece iki boyutlu eksenle dönme hareketini gerçekleştirmektedir ve Şekil 5.1.'de verilmiştir [2]. Böylece oluşacak tasarım karmaşıklığından kaçınılmıştır.



Şekil 5.1. Dönme hareketine ait açılar [2]

Göğüs yüzgeçleri fiberglas malzemeden üretilmiştir. Her bir yüzgecin kanatçık uzunluğu 6.5cm ve kalınlığı 0.6cm'dir. Sahip olduğu açılara atan sinüzoidal eşitlikler Denklem (5.1) ve (5.2)'de verilmektedir [2]:

$$\psi = A_{\psi} \cos(2\pi ft) \quad (5.1)$$

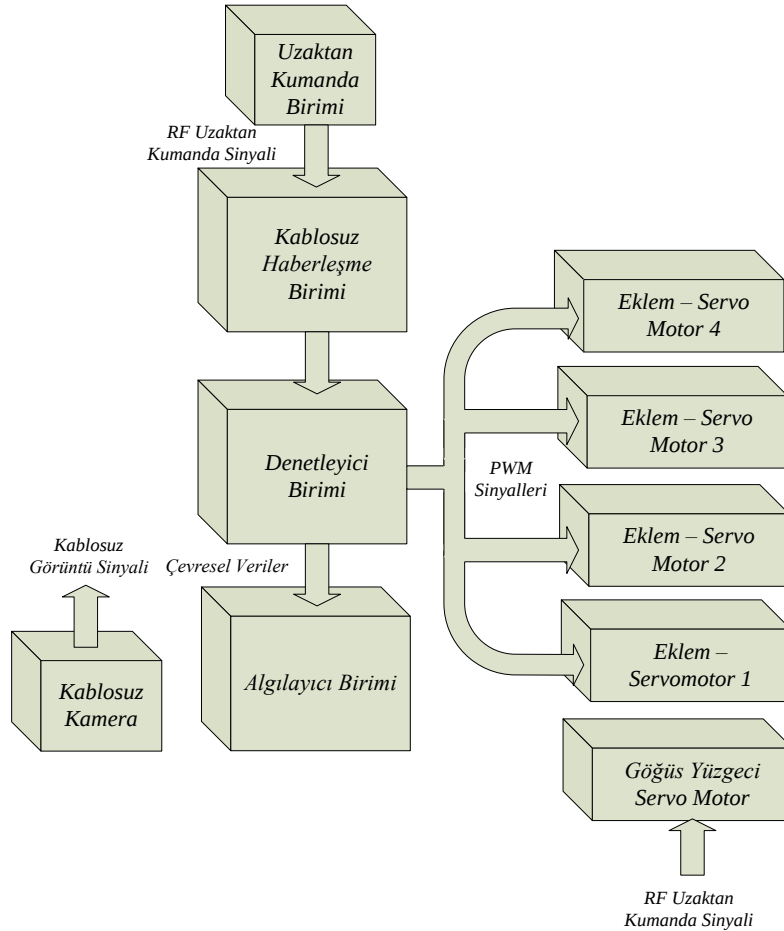
$$\phi = A_{\phi} \cos(2\pi ft + a) \quad (5.2)$$

Burada, ψ balığın sapma açısını, ϕ yunuslama açısını, A_{ψ} ve A_{ϕ} , de sırasıyla sapma ve yunuslama açılarına ait genlik parametrelerini ifade etmektedir.

5.2. Mekaniksel Tasarım

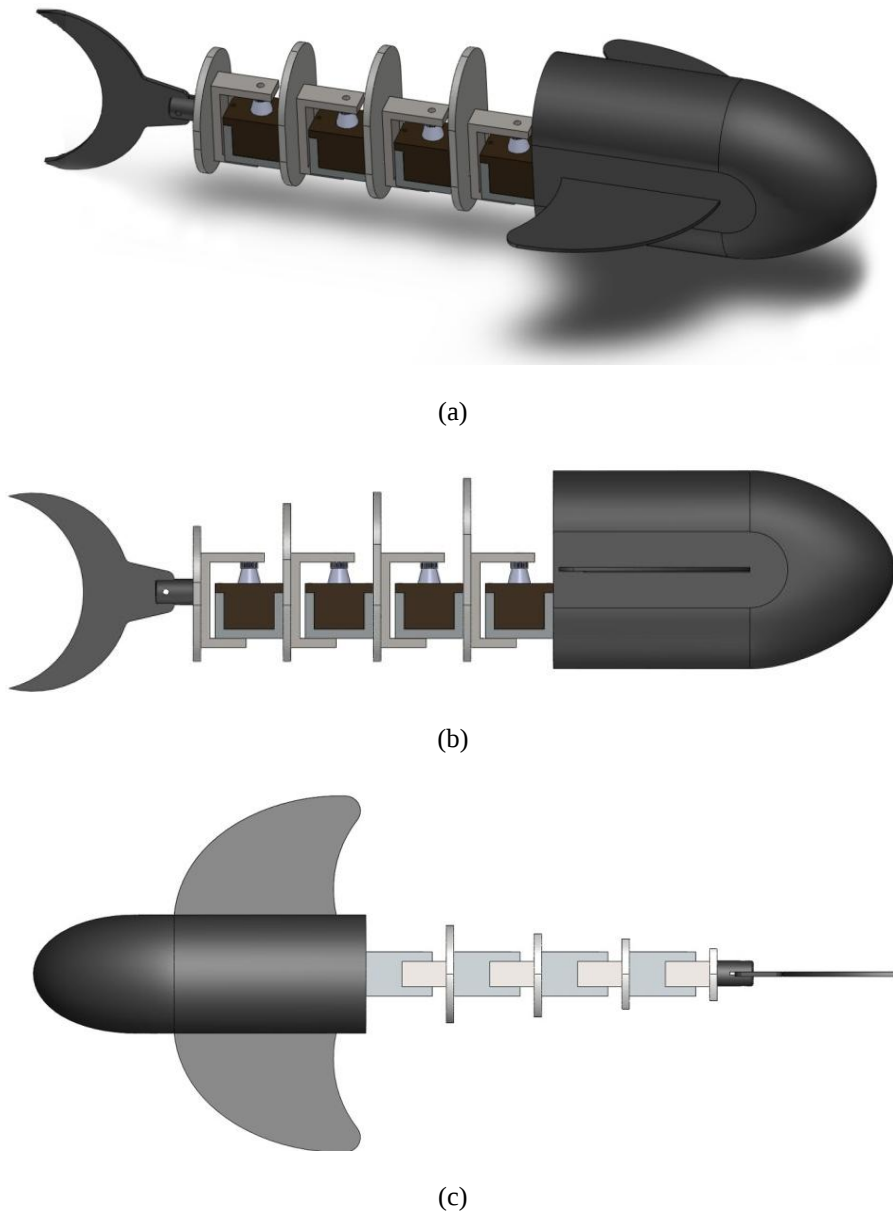
5.2.1. BCF Mekanikçi Tasarımı

Oluşturulan robot balık prototipine ait blok şema Şekil 5.2.'de verilmiştir. Kablosuz Haberleşme Birimi olarak 2.4GHz HITEC – AURORA 9 Uzaktan Kumanda Alıcı – Verici seti kullanılmıştır [42]. Denetleyici Birimi için PIC16F877 mikrodenetleyici [43], MAX232 entegresi [44] ve LM311 Op-amp entegreleri ile bir denetleyici kart tasarlanmıştır [45]. Gövde ve kuyruk yüzgeci ile göğüs yüzgecinde, Hitec firmasına ait 5 adet HS-5245MG servo motor kullanılmıştır [46]. Robot balığın üzerinde, su içerisindeki görüntüyü gönderebilmesi için 1.2GHz Kablosuz CCD (Charge Coupled Device) Kamera Seti bulunmaktadır [47]. Robot balık su içerisinde engellerden sakınarak yüzebilmektedir. Bunun için robot balık üzerinde 2 adet GP2D120XJ00F mesafe algılayıcısı bulunmaktadır [48]. Algılayıcı birimleri LM311 Op-amp entegresi ile kontrol edilmektedir.



Şekil 5.2. Robot balık prototipine ait blok şema

Gerçek bir balık hareketinin sağlanabilmesi için, robot balığın mümkün olduğunca eklem motoruna sahip olması gerekmektedir [36]. Ancak, 4 eklemlili bir kuyruk yapısı oluşturularak daha basit ve uygulanabilirliği yüksek bir tasarım sağlanmıştır. Böylece, Şekil 5.3.'de verilen robot balık prototipinde, 4 eklemlili kuyruk ve göğüs yüzgeçlerinin oluşturulması için 5 adet servo motor kullanılmıştır. 4 eklemlili kuyruk yapısı robot balığın kuyruğunu oluşturarak kuyruk yüzgecini kontrol ederken, bir servo motor da göğüs yüzgeçlerini kontrol etmektedir. Eklem ve kuyruk boyutları ile montaj pozisyonları biyolojik bir Carangiform balık türü dikkate alınarak tasarlanmıştır.

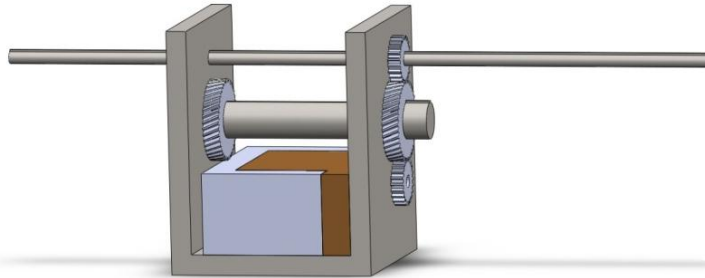


Şekil 5.3. Robot balığın mekaniksel yapısı: (a) Genel görünüm (b) Yandan görünüş (c) Üstten görünüş

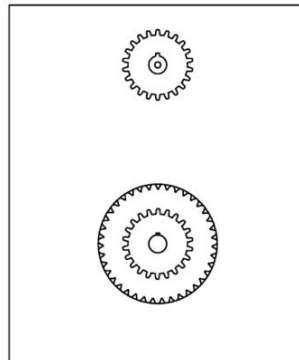
Alüminyum malzemeden oluşturulan kuyruğa ait balık kaburgaları, yapay deriyi desteklemek ve kuyruk yapısını güçlendirmek için kullanılır. Tüm alüminyum kaburga yapıları motor bağları ile birbirine bağlanmaktadır ve kuyruk serbestçe dönebilmektedir. Robot balık ön gövde yapısı fiberglas sert malzemeden oluşmaktadır. Esnek kauçuktan oluşan kuyruk yüzgeci son eklem motoru ile bağlanarak robot balığın kuyruğunu oluşturmaktadır. Kuyruk, streç film ile kaplanarak esnek bir kuyruk yüzeyi ile balığa ait yapay deri sağlanmaktadır.

5.2.2. MPF Mekanîği Tasarımı

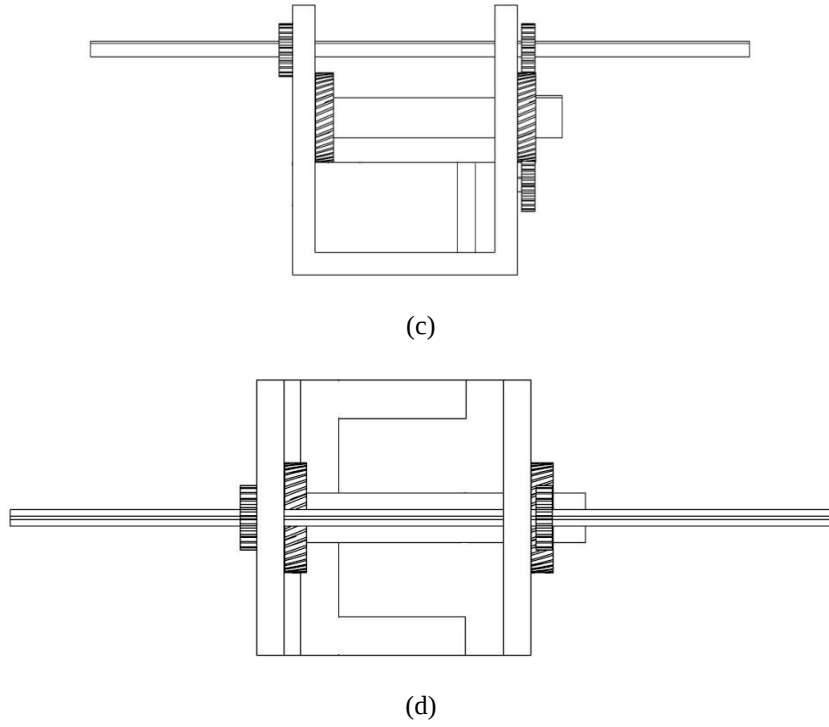
Robot balığa ait göğüs yüzgeçleri bir servo motor ile kontrol edilmektedir. Şekil 5.4.'de verilen çift göğüs yüzgeçleri simetrik olarak birbirine bağlanarak robot balığın ön gövdesine monte edilmiştir. Servo motor mekanizması yardımı ile göğüs yüzgeçleri yatay düzlemde dönme hareketi sağlayarak hem robot balığın dengesine yardımcı olmakta hem de yukarı/aşağı hareketi sağlamaktadır.



(a)



(b)

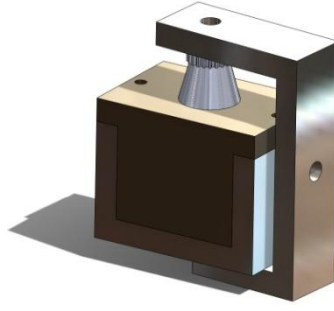


Şekil 5.4. Göğüs Yüzgecine ait mekaniksel görünüm: (a) Genel görünüm (b) Önden görünüm (c) Yandan görünüm (d) Üstten görünüm

Oluşturulan mekaniksel tasarım ile kullanılan servo motor dişli mekanizmaları yardımı ile her iki göğüs yüzgecinin de simetrik olarak hareket etmesini sağlamaktadır. Servo motorun kontrol sinyali uzaktan kumandanın gönderdiği Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyalleri ile elde edilir [15,21].

5.2.3. Eklem Uzunluk Oranı Tanımı

Eklem Uzunluk Oranı R_l , balığın kuyruk kısmındaki her bir eklem uzunluğu olarak tanımlanır [15,49,50]. R_l 'nin farklı değerlerine bağlı olarak, robot balık Carangiform, Anguilliform veya Thunniform yüzme türlerinde yüzebilmektedir. R_l değerinin artması ile yüzme hızı ve verimliliği artarken, manevra kabiliyeti azalmaktadır. Bu tez çalışmasında R_l eklem uzunluk oranı $R_l=[l_1: l_2: l_3: l_4]$ olarak tanımlanmaktadır. Robot balığa ait eklem uzunlukları eşit uzunluklarda oluşturularak esnek ve yüksek bir hareket kabiliyeti yapısı oluşturulmuştur. Yu'ya göre her bir ekleme ait uzunluk oranı burundan başlayarak kuyruğa kadar küçülerek tasarlanmalıdır [50]. Böylece kuyruk salınım genliği giderek artarak kuyruk yüzgecinde maksimum değere ulaşmaktadır [50,51]. Önerilen robot balık tasarımında servo motorlar ile oluşturulan bir eklem Şekil 5.5.'de verilmektedir.



Şekil 5.5. Robot balık kuyruğunun bir eklemi

5.2.4. Kuyruk ve Göğüs Yüzgeci Özellikleri

Kuyruk yüzgecinin en boy oranı AR , itici güç verimliliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu oran aşağıdaki denklem yardımı ile tanımlanır [1]:

$$AR = \frac{b^2}{s_c} \quad (5.3)$$

burada; b yüzgecin dikey uzunluğunu, s_c yüzgecinin alanını ifade etmektedir. Büyük değerlerdeki en boy oranında yüzgeçler verimliliğin artmasını sağlar. Çünkü kaldırma kuvvetinde birim başına düşen sürüklenme kuvveti daha az seviyede olmaktadır [1]. Ayrıca kuyruk yüzgecinin şekli balığın itici gücünde oldukça fazla etki etmektedir. Geniş bir alana sahip kuyruk yüzgeci bir balığın daha hızlı yüzmesini sağlamaktadır. Önerilen robot balık tasarımında kuyruk yüzgecinin dikey uzunluğu $20cm$, alanı ise yaklaşık $70cm^2$ 'dir. Böylece en boy oranı 5.7142 olarak hesaplanır. Kuyruk yüzgecine ait fotoğraf görüntüsü Şekil 5.6.'da verilmektedir.

Şekil 5.7.'de verilen göğüs yüzgeci sert fiberglas malzemedan yapılmıştır. Göğüs yüzgecinin yatay uzunluğu $6.5cm$, dikey uzunluğu $9cm$ ve alanı yaklaşık $58.5cm^2$ 'dir. Böylece en boy oranı 1.3846 olmaktadır.



Şekil 5.6. Kuyruk yüzgeci



Şekil 5.7. Göğüs yüzgeçleri

Bu tez çalışmasında hem göğüs yüzgecinde hem de kuyruk yüzgecinde en boy oranları büyük değerlerde seçilerek yüzme hareketinin verimliliğinin artması sağlanmıştır.

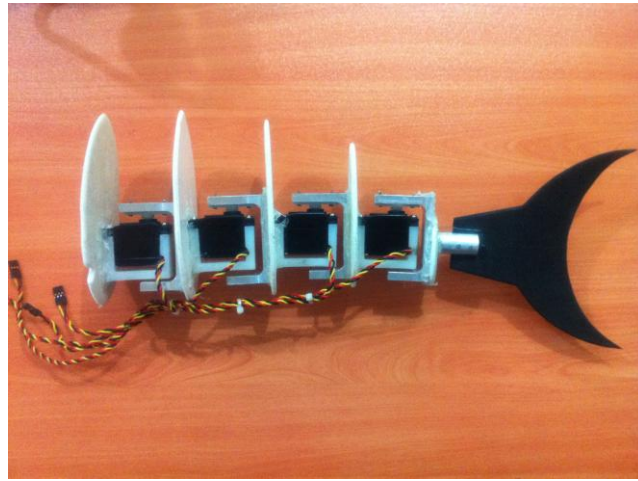
5.2.5. Gövde Yapısı ve Kaplaması

Bu çalışmada, hidrodinamik ilkelere dayanarak içi boş sert fiberglas malzeme kullanarak robot balığın ön gövdesi, streç film kaplama ile hareketli esnek kuyruk bölgesi oluşturulmuştur. Fiberglas malzemeden oluşan ön gövde Şekil 5.8.'de verilmektedir. Robot balığın ön gövdesinde göğüs yüzgeci mekanizması, denetleyici kartları, kablosuz kamera, bataryalar, algılayıcılar ve *RF* kumanda alıcısı bulunmaktadır. Hareketli esnek kuyruğu ise 4 adet servo motor ve 1 adet kuyruk yüzgeci oluşturmaktadır. Kaldırma kuvveti ile yerçekimi kuvvetini dengelemek için demir denge ağırlıkları robot balığın ön gövdesinde bulunmaktadır. Kuyrukta ise ön gövde ağırlığını dengelemek için, her bir eklem birbirine alüminyum elipsler ile bağlanmıştır. Böylece su yüzeyine yakın iki-boyutlu robot balık hareketi sağlanmıştır. Robot balığın ön gövdesi ile kuyruk arasında fiberglas bir elips parça

kullanılarak su yalıtımı sağlanmaktadır. Şekil 5.9.'da verilen alüminyum elips parçaları ön gövde ile ağırlığı dengelerken aynı zamanda Carangiform türü bir balıkta bulunan omurga yapısını da oluşturmaktadır.



Şekil 5.8. Robot balığın ön gövde yapısı



Şekil 5.9. Robot balığa ait 4 eklemlilik omurga yapısı

Kaplamada kullanılacak robot balık derisi için malzeme seçimi önemli bir sorundur. Çünkü Seçilen malzeme oldukça esnek, su geçirmez ve kuyruğun hareket etmesine yardımcı olmalıdır. Yapılan çalışmalarda balon, kauçuk, plastik ve silikon gibi birçok malzeme test edilmiştir. Sonuç olarak esnek ve su geçirmez bir özelliğe sahip streç film robot balığın derisi olarak kaplanmıştır.

5.3. Elektronik Sistemlerin Tasarımı

Bu çalışmada önerilen robot balık tasarımında, mikrodenetleyici devresi ve algılayıcı devresi olmak üzere 2 adet elektronik denetleyici kartı bulunmaktadır. Ön gövde içerisinde denetleyici kartları ile birlikte 2 adet mesafe algılayıcı, kablosuz kamera, göğüs yüzgeci mekanizması ve bataryalar bulunmaktadır. Denetleyici kartları bir adet *4.8V NiMh* batarya ile beslenmektedir [15]. Ön gövdede bulunan kablosuz kamera ise bir adet *9V NiMh* batarya ile beslenmektedir. Elektronik kartlarının tasarlanmasında bazı önceliklere dikkat edilmelidir [20].

Robot balığa ait elektronik devrelerin ön gövdeye yerleştirilmesinde, birbirleri arasındaki yalıtım çok önemlidir. Ayrıca bu devrelerin gürültü etkisi oluşturacak sinyallerden etkilenmemesi için besleme için kullanılacak bataryaların özenle seçilmesi ve devrelere bağlanması gerekmektedir. Son olarak ise robot balık prototipi kurulumunda ön gövde içerisinde bulunması gereken bütün eleman ve kartlar özenle yerleştirilmeli ve robot balığın hareketinden etkilenmemesi için mutlaka sabitlenmelidir.

Prototip içerisinde kurulan sistem için gerekli bataryalar özenle seçilmeli ve bütün elemanların besleme gerilimlerini üretmesi gerekmektedir.

Tasarlanan kontrol sistemi ile Carangiform türü gerçek bir balığın hareket kabiliyetlerinin taklit edilebilmesi gerekir. Amaçlanan tasarım yüksek manevra kabiliyetine sahip, engellerden sakınarak bağımsız bir şekilde yüzebilen, RF kumanda yardımı ile uzaktan kontrol edilebilen bir robot balık prototipi oluşturmaktır.

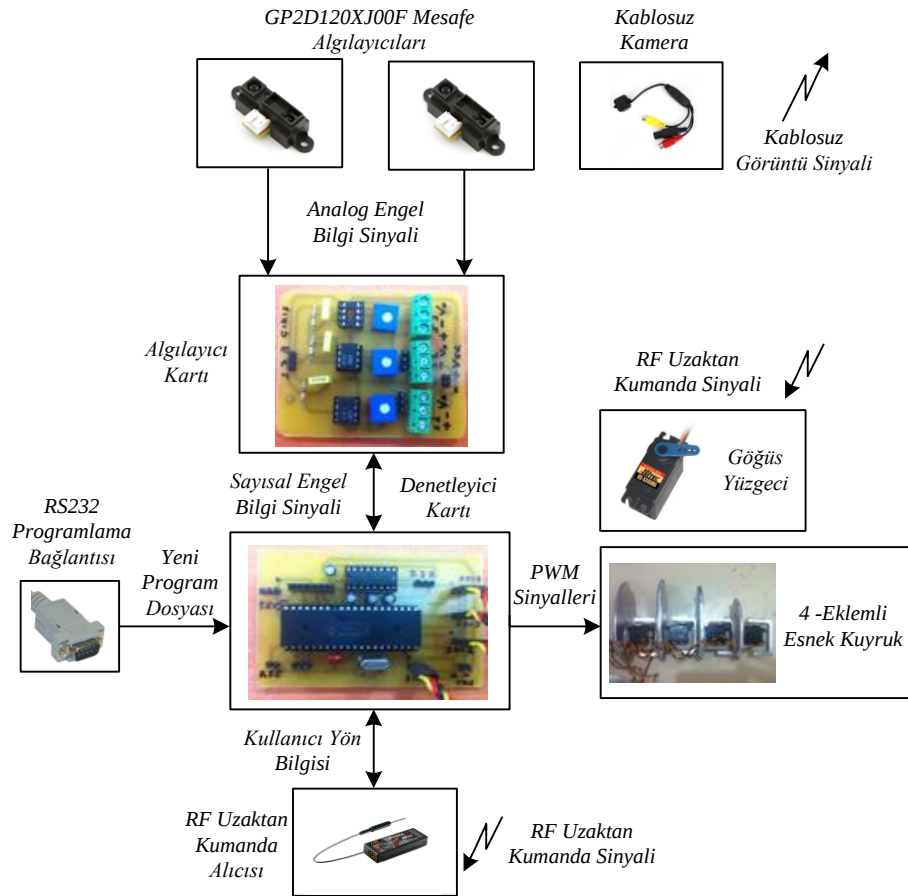
Tasarlanan denetleyici kartı üzerindeki mikrodenetleyicinin prototip kurulduktan sonra tekrar programlanması gerekebilir. Fakat mikrodenetleyicinin devre üzerinden çıkartılabilmesi mümkün değildir. Bunun için Devre Üzerinde Seri Programlama (*ICSP*) haberleşme yöntemlerinden birinin seçilerek robot balık tasarımında kullanılması gerekmektedir.

Tasarımda, robot balık için iki ayrı hareket kabiliyeti oluşturulmuştur. Bunlardan birisi otonom hareket, diğeri ise *RF* uzaktan kumanda ile uzaktan kontroldür. Böylece, *RF* uzaktan kumanda alıcı sinyalleri kontrol programı oluşturulurken dikkate alınmalıdır.

Şekil 5.10.'da robot balık üzerinde bulunan elektronik sistemin blok diyagramı verilmiştir. Robot balık otonom hareket ve uzaktan kontrol olmak üzere iki farklı yüzme kabiliyetine sahiptir.

Otonom harekette, algılayıcılardan gelen analog engel bilgi sinyali algılayıcı kartında sayısal sinyallere dönüştürülür ve denetleyici kartına aktarılır. Denetleyici kartındaki mikrodenetleyici bu bilgileri değerlendirerek, kuyruk eklemlerinde bulunan R/C servo motorlara istenilen açı değerlerini alması için PWM sinyalleri gönderir. Robot balık gönderilen PWM sinyalleri ile gerçek bir balığın hareketlerini taklit ederek yüzmektedir.

Uzaktan kontrol ile harekette, kullanıcı tarafından RF uzaktan kumandadan gelen yön bilgisi denetleyici kartına aktarılır. Mikrodenetleyici öncelikle istenilen yönde herhangi bir engel olup olmadığını kontrol eder. Eğer bir engel var ise engel aşılıncaya kadar kullanıcının istediği yönde hareketini dikkate almaz. Engel yok veya aşılmış ise gelen yön bilgisi değerlendirilerek, robot balığın istenilen yönde hareket edebilmesi için gerekli PWM sinyalleri denetleyici kartı tarafından eklemlerde bulunan servo motorlara gönderilir. Böylece, robot balık kullanıcı tarafından RF uzaktan kumanda yardımı ile kontrol edilebilmektedir. Göğüs yüzgeci mekanizmasında bulunan servo motor, kontrol sinyallerini doğrudan RF uzaktan kumanda alıcısından almaktadır.

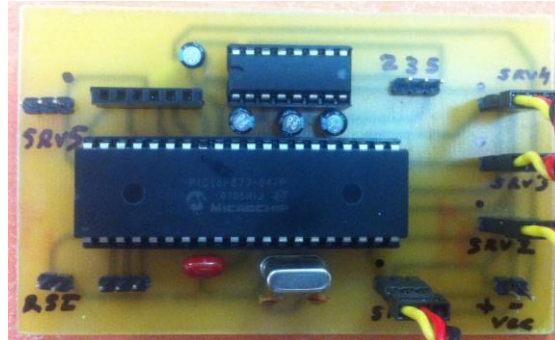


Şekil 5.10. Robot balık üzerindeki elektronik sistemin blok diyagramı

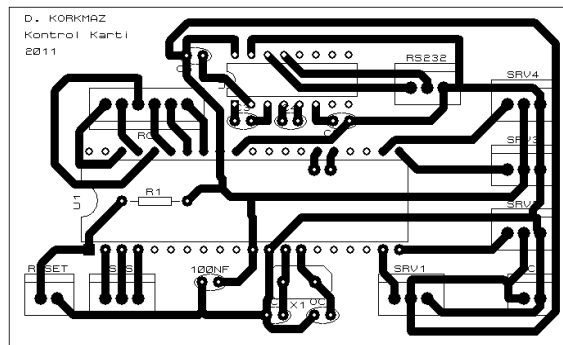
Ön gövdede bulunan kablosuz kamera ise elde ettiği görüntü bilgisini kablosuz görüntü sinyali olarak deneysel çalışmada kullanılan kişisel bilgisayara aktarmaktadır. Robot balık üzerinde yüklü programda herhangi bir değişiklik yapmak istenirse seri port (RS232) bağlantısı ile yeni bir program dosyası yüklenebilir.

5.3.1. Denetleyici Kartı

Şekil 5.11.'de verilen denetleyici kartı, *PIC16F877* mikrodenetleyici ve *MAX232N* seri haberleşme entegrelerinden oluşmaktadır [43,44]. Mikrodenetleyici gerçek bir balığın hareketlerinden esinlenerek oluşturulan program ile yüklenmiştir. Program ileriye doğru hareket, sağa dönüş ve sola dönüş hareketlerini içeren davranışlardan oluşmaktadır. Bu program yardımı ile kuyruk eklemlerini oluşturan servo motorlara PWM sinyalleri gönderilir. Servo motorlar gönderilen PWM sinyalleri ile istenilen açı değerlerini alarak 4 eklemlili kuyruk hareketini sağlar. Böylece robot balık gerçek bir balık gibi hareket edebilmektedir.



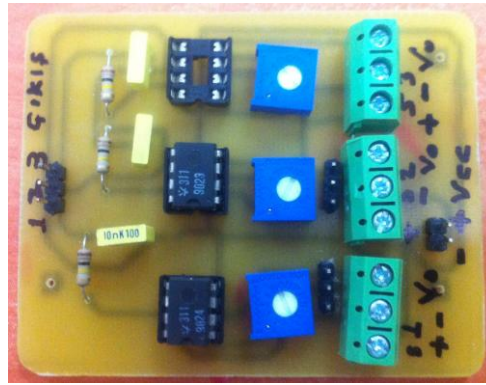
(a)



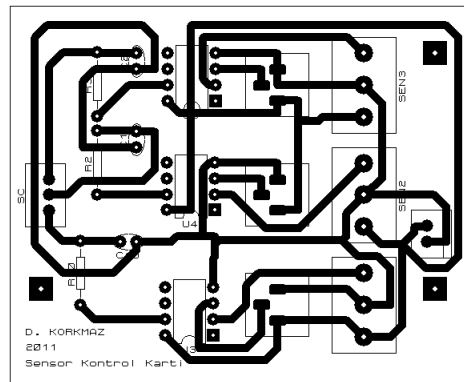
MAX232N seri haberleşme entegresi ile kişisel bir bilgisayarın seri haberleşme portuna bağlı RS232 bağlantısından gelen sinyaller mikrodenetleyicinin algılayabileceği seviyelere getirilir. RS232 bağlantısı robot balığın ön gövdesine yalıtımlı bir şekilde yerleştirilmiştir. Böylece denetleyici içerisindeki programda herhangi bir değişiklik yapmak istenilirse kolayca tekrar programlanabilir. Ayrıca, denetleyici kartı üzerinde her bir eklem için kullanılan servo motorlar için bağlantı noktaları bulunmaktadır.

5.3.2. Algılayıcı Kartı

Şekil 5.12.'de verilen algılayıcı kartı ön gövdede bulunan 2 adet GP2D120XJ00F mesafe algılayıcılarından gelen verilerin işlenerek mikrodenetleyiciye gönderilmesini sağlamaktadır.



(a)



(b)

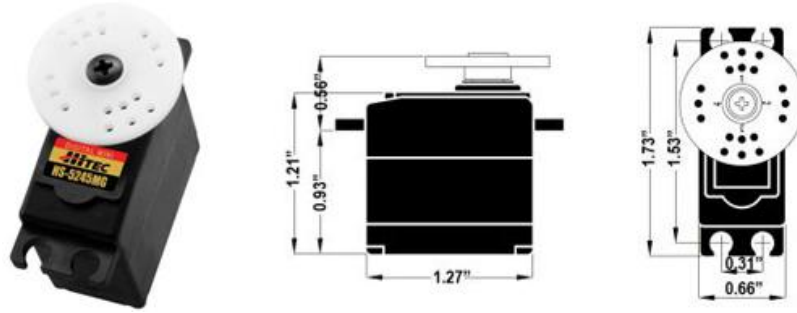
Şekil 5.12. Algılayıcı kartının görünümü (a) Üstten görünüm (b) Altan görünüm

Kullanılan algılayıcılar analog sinyal üretir ve mikrodenetleyici bu sinyalleri algılayamaz. Bunun için, algılayıcılardan gelen analog sinyaller LM311 Op-amp entegreleri ile sayısal

sinyallere dönüştürülerek kontrol kartına aktarılır. Ayrıca, algılayıcıların hangi mesafe aralığında engeli algılayacağını ayarlamak için her bir algılayıcı birer potansiyometre ile kontrol edilmektedir [45,48].

5.3.3. R/C Servo Motorlar

Bu tez çalışmasında kullanılan servo motorlar şekil 5.13.'de verilen Hitec firmasına ait HS-5245MG dijital mini R/C servo motorlardır [46]. Robot balık üzerinde 1 adet göğüs yüzgeci mekanizmasında, 4 adet kuyruk eklemine olmak üzere 5 adet servo motor kullanılmıştır. Bu motorlara ait genel özellikler Tablo 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.13. Hitec HS-5245MG Dijital mini R/C servo motor

Tablo 5.1. HS-5245MG R/C servo motora ait genel özellikler

<i>Motor Tipi</i>	<i>3 Kutuplu</i>
<i>Bilye Tipi</i>	<i>Çift Rulmanlı</i>
<i>Hız s./60° (4.8V - 6V)</i>	<i>0.15 - 0.12</i>
<i>Tork kg/cm (4.8V - 6V)</i>	<i>4.4 - 5.5 (0.43Nm – 0.54Nm)</i>
<i>Boyutlar (mm)</i>	<i>32.26 x 16.76 x 30.73</i>
<i>Ağırlık (gr)</i>	<i>31.75</i>

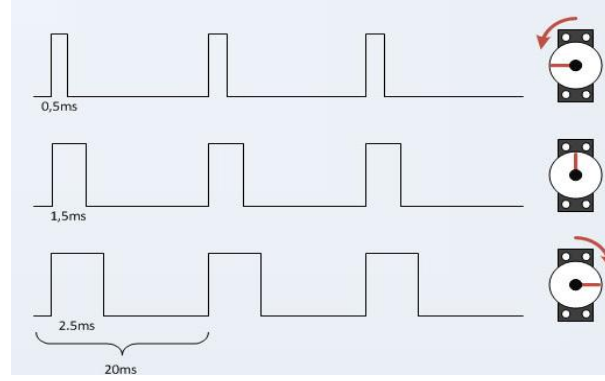
Servo motorlar DC motorların temel yapısından ve birkaç temel bileşenden oluşmaktadır. Bir servo motora ait bileşenler aşağıda verilmektedir [52,53].

- DC motor
- Torku arttırmak için dişli sistemi (redüktör)
- Elektronik mil (şaft) pozisyon ve denetleyici devresi

Servo motorlar milin kaç derece ve hangi hızda döndüğünü algılayarak girişe geri besleme sinyali olarak bildirir. Böylece girişte istenen durum ile çıkış arasında bir hata sinyali oluşur. Bu hata sinyaline göre servo motor mili döndürerek istenen pozisyon ve hızı sağlar. Bu algılama işi için servo motorlarda rotora takılı bir kodlayıcı veya pozisyon algılayıcı potansiyometre bulunmaktadır. Kodlayıcı bulunan servo motorlarda, kodlayıcı belirli sayıda boşluktan oluşmaktadır. Mil döndükçe deliklerin sayısı pozisyon devresi tarafından sayılarak milin kaç tur atacağı sayısal bilgi olarak servo motora bildirilir. Böylece pozisyon denetleyici devresi kaç tur atılacağını algılayarak milin konumunu ayarlar [52].

R/C servo motorlarda ise kodlayıcı yerine mile bağlanmış ve dönüşün algılayan bir potansiyometre bulunmaktadır. Bu motorlarda üç adet bağlantı pini bulunmaktadır. Bu pinlerden ikisi besleme, diğeri ise kontrol sinyali girişi için kullanılmaktadır. Bu tip servo motorlar PWM tekniği ile çalışmaktadır. R/C servo motor, kontrol ucuna gelen PWM sinyalinin görev oranına göre belli açılarda dönme yaparlar. Bu tip servo motorlara R/C servo motor denilmesinin nedeni genelde radyo frekansı ile uzaktan kontrol edilebilmesidir. Bu motorlar derece birimine göre dönerler. PWM sinyallerini algılayarak gerekli dönme derecesi hesaplanır ve o değer kadar dönme yaparlar. Kontrol sinyali aynı kaldığı sürece o andaki konumlarını korurlar [53].

R/C tipi servo motorlar 0 – 180 derece aralığında dönüş gerçekleştirebilirler. Bu dönüş dereceleri PWM sinyalinin görev oranının genişliğine bağlıdır. 0 – 180 derece arasındaki dönüş dereceleri PWM sinyalinin görev oranının 1050us ile 1950us arasında değiştirilmesi ile elde edilir. PWM sinyalinde 1500us'lik görev oranı servo motoru başlangıç pozisyonu olan 0 derece konumuna, 1050us'lik görev oranı tam sol (90 derece sol) konuma ve 1950us'lik görev oranı ise tam sağ (90 derece sağ) konumuna getirmektedir. Eğer servo motora herhangi bir kontrol sinyali gönderilmez ve besleme pinlerinden enerji uygulanırsa mil başlangıç pozisyonuna gelmektedir. Servo motorlarda görev oranına ait her 10us, 1 dereceye karşılık gelmektedir [53]. Şekil 5.14.'de R/C servo motora ait PWM kontrol sinyali verilmektedir. R/C servo motorlar genellikle model uçak, tekne, araba ve düşük güçlü robot uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu motorlar genellikle merkezde, tam sağda ya da tam sol konumda olacak şekilde kullanılırlar. Çünkü ara açılarının bu motorlarda çok hassas olarak elde edilmesi zordur.



Şekil 5.14. R/C servo motora ait PWM kontrol sinyali [53]

Fakat R/C servo motorların dijital olanları da bulunmaktadır. Dijital R/C servo motorlar ise normal servo motorlara göre daha hassas yapıda çalışabilir ve istenilen ara açılar değerlerinde dönüş gerçekleştirebilirler [52,53].

5.3.4. Kablosuz CCD Kamera

Şekil 5.15.'de, bu tez çalışmasında kullanılan HikVision firmasına ait HV-919 kablosuz CCD kamera seti verilmiştir. CCD, Charge Coupled Device kelimelerin baş harflerinden oluşan bir objektif teknolojisidir. Dijital fotoğraf makinelerinde ve video kameralarda ışığa duyarlı yüzey olarak bilinir. Bir tabakanın üstüne dizilmiş ışığa duyarlı foto diyotlardan oluşur. Düşen ışık demetini, elektriksel sinyale dönüştürür. Böylece ne kadar aydınlık bir olursa, ışık hücresinde biriken gerilim de o kadar yüksek olur. Son olarak, oluşan gerilim bir analog-sayısal dönüştürücü ve işlemci vasıtası ile resim parçacıkları ve görüntüye dönüştürülür. HV-919 Kablosuz kameraya ait genel özellikler Tablo 5.2.'de verilmiştir [47]. Kameranın ön gövde üzerine yerleştirilmesine ait fotoğraf görüntüsü Şekil 5.16.'da verilmiştir.



Şekil 5.15. HV-919 Kablosuz CCD Kamera Seti



Şekil 5.16. HV-919 Kablosuz CCD Kameranın ön gövdeye bağlantısı

Tablo 5.2. HV-919 Kablosuz kameraya ait genel özellikler [47]

<i>Algılayıcı</i>	<i>SONY 1/3 CCD</i>
<i>Sinyal Türü</i>	<i>PAL</i>
<i>Yatay Çözünürlük</i>	<i>380 TVL</i>
<i>Parlaklık Ayarı</i>	<i>Otomatik</i>
<i>Video Çıkış Sistemi</i>	<i>1.0 Vp-p / 75Ω</i>
<i>Ses Çıkışı</i>	<i>Var</i>
<i>Gama Oranı</i>	<i>0.45</i>
<i>En Düşük İlüminasyon</i>	<i>0 Lux</i>
<i>Adaptör Girişi</i>	<i>DC 12 V</i>
<i>Frekans</i>	<i>1.2 GHz</i>
<i>Ağırlık</i>	<i>232 gr.</i>

5.3.5. GP2D120XJ00F Mesafe Algılayıcı

Bu tez çalışmasında, robot balığın çevresindeki engelleri algılayabilmesi için ön gövdede 2 adet *SHARP* firmasına ait *GP2D120XJ00F* analog mesafe algılayıcısı kullanılmıştır. Ön gövde üzerindeki bağlantı şekline ait fotoğraf görüntüsü Şekil 5.17.'de verilmiştir.

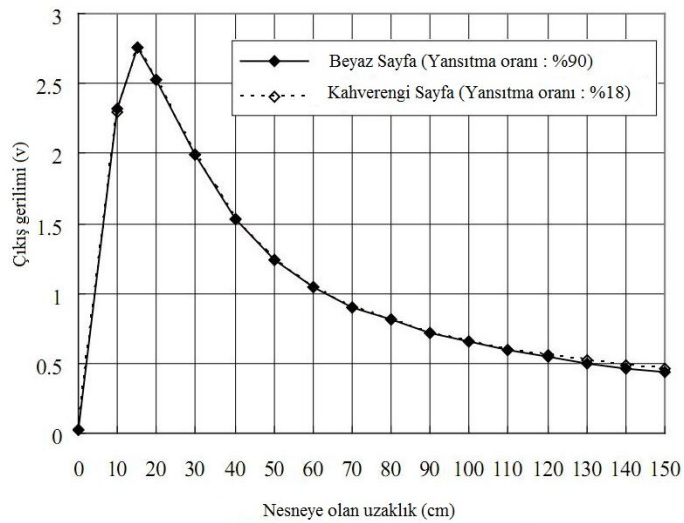


Şekil 5.17. Mesafe algılayıcılarının ön gövdeye bağlantısı

Şekil 5.18.'de verilen algılayıcılar ilgili bağlantılar yapıldığında, mesafe bilgisi analog sinyal olarak üretilmektedir [48]. Algılayıcıdan gelen engel bilgisi analog sinyal olduğu için algılayıcı kartına aktarılarak sayısal bilgi sinyaline dönüştürülerek, denetleyici kartına aktarılır. Ayrıca engel bilgisinin hangi mesafe aralığında tanımlanılacağı algılayıcı kartı yardımı ile ayarlanmaktadır. Şekil 5.19.'da algılayıcıya ait gerilim/mesafe eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.18. GP2D120XJ00F analog mesafe algılayıcı[48]



Şekil 5.19. GP2D120XJ00F algılayıcıya ait gerilim/mesafe eğrisi [48]

5.3.6. RF Uzaktan Kumanda Seti

Bu tez çalışmasında, Hitec firmasına ait 2.4GHz, 9 kanallı, AURORA 9 RF kumanda seti kullanılmıştır. Şekil 5.20.'de fotoğraf görüntüsü verilen kumanda setine ait genel özellikler aşağıda verilmiştir [42].

- 5.1 inch aydınlatmalı dokunmatik LCD ekran
- Kapsamlı ve kolay menü
- Telemetri özelliği ile alıcı batarya gerilimini ekranda görebilme ve düşük seviye için uyarı sinyali
- 30 Model hafızası
- Alıcı üzerindeki kanallara istenilen kanal ve butonu atayabilme
- 2.4GHz radyo frekansı
- Dijital 9 kanallı alıcı verici sistemi
- PWM, Darbe Konum Modülasyonu (PPM) ve Darbe Kod Modülasyonu (PCM) sinyalleri desteği
- 2 Km kumanda mesafesi



Şekil 5.20. Hitec Aurora 9 RF Kumanda Seti

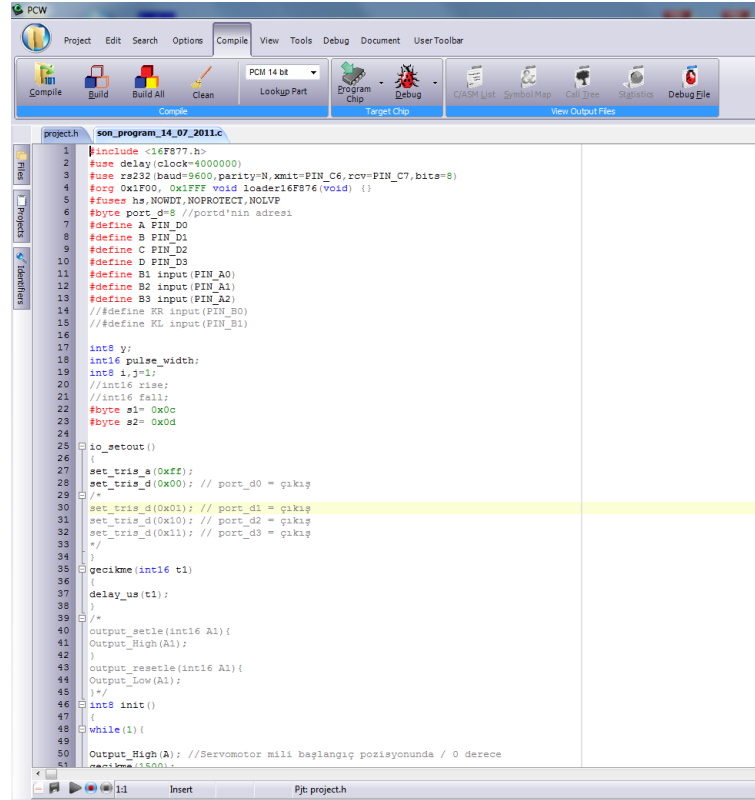
Aurora 9 kumandası, alıcının doğrudan servo motorları kontrol edebilmesi için, alıcıya PWM sinyalleri göndermektedir. Ancak robot balık üzerindeki servo motorlar doğrudan denetleyici kartı ile kontrol edildiği için alıcı kanallarından alınan sinyaller denetleyici kartına aktarılmıştır. Böylece, denetleyici kartı kumandadan gelen PWM sinyallerini yön bilgisine dönüştürerek, balığın hangi yönde hareket etmesi gerektiğine karar verir ve servo motorlara o yönde kontrol sinyalleri gönderir.

5.3.7. Programlama Bağlantısı ve Algoritması

Robot balığa ait programlama bağlantısı, ön gövde üzerine bir RS232 seri port yerleştirilerek oluşturulmuştur. Balığın programlanabilmesi için ICSP haberleşme yöntemleri kullanılmıştır. ICSP ile haberleşme, mikrodnetleyicinin bulunduğu devre kartı üzerinden çıkartılmadan programlanabilmesini sağlar. Bu tez çalışmasında, ICSP haberleşme yöntemlerinden önyükleyici uygulaması seçilmiştir. Önyükleyici uygulaması kullanılarak bir mikrodnetleyicinin programlanabilmesi için bootloader programı olarak bilinen bir yazılım kullanılır. Bootloader programı, mikrodnetleyiciye ilk seferde herhangi bir programlayıcı ile yüklenen özel bir programdır. Bu yazılım, PIC mikrodnetleyiciye yüklendikten sonra, devre kartı üzerindeki mikrodnetleyici bir programlayıcı kullanımına gerek kalmadan, sadece seri port bağlantısı ile istenilen program yüklenebilir.

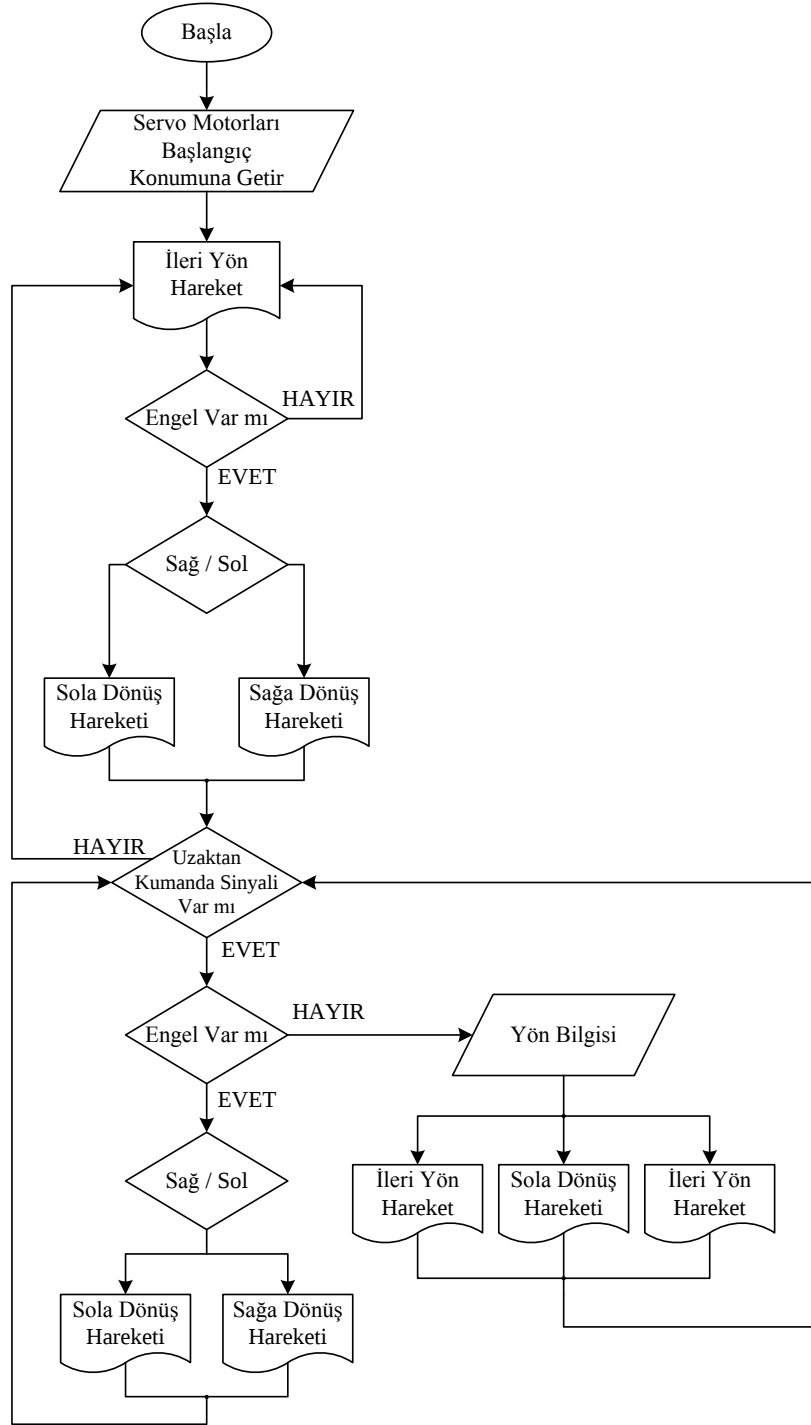
Ancak her mikrodnetleyici önyükleyici ile çalışma özelliğine sahip değildir. Bootloader, bootstrap loader ya da bootstrapping adı verilen bu özellik, PIC mikrodnetleyicilerinden 16F87X, 16F88, 18 ve 30F serisi modellerde bulunur. PIC mikrodnetleyiciye yüklenen önyükleyici ise program hafızasına yüklendiğinde, program hafızasının ilk 256byte'ını işgal eder. Kendisi çok küçük olduğu için PIC mikrodnetleyicide çok uzun programlar kullanılmadığı sürece hiçbir sorun oluşturmaz. Ancak ilk 256byte'ın dolu olmaması oldukça önemlidir. Bunun sebebi, herhangi bir program kullanarak derlenen programın bootloader ile yüklenmesi istenirse, yeni gelen bilginin bu 256byte'ın üzerine yazılmaya başlamasıdır. Bu da bootloader'la yükleme yapmaya çalışılan programa göre, ya önyükleyici yazılımının silinmesine ya da yazılan programın çalışmamasına sebep olacaktır. Bu sorunu engellemek için yazılan programda bulunan bootloader komutlarını, ana programa eklemektir [54,55]. Mikrodnetleyiciye önyükleyici yazılımı yüklendikten sonra istenilen program bootloader ile yüklenebilir [54].

Bu tez çalışmasında, *PIC DOWNLOADER* isimli bir bootlader programlayıcı yazılımı kullanılmıştır. Şekil 5.21.'de deneysel çalışmalarda kullanılan *PIC C Compiler* derleyici ara yüzü verilmiştir.



Şekil 5.21. Deneysel çalışmalarda kullanılan *PIC C Compiler* programlarının ara yüzü

Deneysel çalışmalarda, robot balık programı *PIC C Compiler* programı ile *PIC C* dilinde yazılıp derlenmiştir. Şekil 5.22.'de robot balık için hazırlanmış program algoritması verilmiştir. Program algoritmasına göre, robot balık karar verme yeteneği sayesinde otonom bir şekilde hareket edebilmektedir. Ayrıca bir kullanıcı tarafından uzaktan kumanda yardımı ile de istenilen yönde hareket etmektedir.



Şekil 5.22. Robot balığa ait program algoritması

5.4. Robot Balık Prototipinin Gerçekleşmesi

Bu çalışmada önerilen robot balık tasarıma ait fotoğraf görüntüsü Şekil 5.23.'de verilmiştir. Robot balık iki farklı hareket kabiliyetine sahiptir. RF kumanda yardımı ile uzaktan kontrol sağlanırken, kumanda sinyali gönderilmediğinde robot balık bağımsız olarak engellerden sakınarak yüzebilmektedir. Ayrıca RF kumandadan herhangi bir yöne dönmesi için sinyal geldiğinde, öncelikle o yönde bir engel varsa, engeli algılayarak hareket etmektedir.

Robot balık temel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- Elektronik Denetleyici Kartları
- İletişim Birimi (RF Alıcı ve Verici)
- Mekanik Yapı (Fiberglas Malzeme, Alüminyum Omurga)
- Aktüatör birimi (5 adet DC Servo Motor, 2 adet Mesafe algılayıcı 1 adet Kablosuz Kamera ve 2 adet Şarj Edilebilir Batarya)
- Kuyruk yüzgeci ve göğüs yüzgeçleri
- Su geçirmez kaplama

Ayrıca, deneysel çalışmalar için yüzme havuzu, bir kişisel bilgisayar, kablosuz kamera alıcısı ve görüntü bilgisinin elde edilmesi için bir adet video kamera kullanılmıştır. Robot balığa ait teknik özellikler Tablo 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.23. Robot balık prototipinin fotoğraf görüntüsü

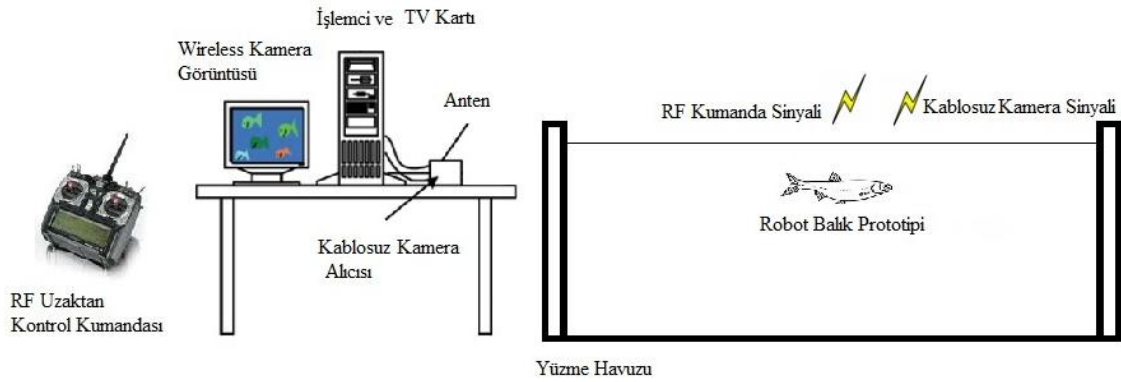
Tablo 5.3. Robot balığa ait teknik özellikler

<i>Boyutlar</i>	<i>~0.615x0.09x0.15m</i>
<i>Ağırlık</i>	<i>~2.42kg</i>
<i>Ekleme Adedi</i>	<i>4</i>
<i>DC Servo Motorlar</i>	<i>Hitec HS5245-MG</i>
<i>Adet (1 adet göğüs yüzgeci, 4 adet kuyruk eklemi)</i>	<i>5</i>
<i>Maksimum Tork</i>	<i>5.5Nm</i>
<i>Maksimum Hız</i>	<i>~0.13m/s (f=2Hz)</i>
<i>Batarya</i>	<i>4.8V NiMh şarj edilebilir batarya</i>
<i>Wireless Kamera için Batarya</i>	<i>9V NiMh şarj edilebilir batarya</i>
<i>RF Alıcı Verici</i>	<i>Hitec Aurora 9 Digital RF Kumanda Seti</i>
<i>Radyo Frekansı</i>	<i>2.4GHz</i>
<i>Modülasyon Türü</i>	<i>PWM / PPM / PCM</i>
<i>Kablosuz Kamera</i>	<i>KablosuzSpy CCD Kamera Seti 1.2GHz</i>
<i>Mesafe Algılayıcılar</i>	<i>GP2D120XJ00F</i>
<i>Adet</i>	<i>2</i>
<i>Mikrodenetleyici</i>	<i>PIC16F877</i>
<i>Adet</i>	<i>1</i>
<i>Algılayıcı Denetim</i>	<i>LM311</i>
<i>Adet</i>	<i>2</i>
<i>Programlama</i>	<i>ICSP</i>
<i>Programlama Bağlantısı</i>	<i>RS232 Seri Haberleşme</i>

6. ROBOT BALIK PROTOTİPİNİN DENEYSEL ÇALIŞMALARI

6.1. Deneyisel Kurulum

Deneyisel çalışmalarda; robot balık prototipi, video kamera, RF uzaktan kumanda seti, Kablosuz kamera alıcısı, yüzme havuzu ve TV Kart [56] ile birlikte kişisel bir bilgisayar kullanılmıştır. Deneyisel çalışmalara ait blok şema Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Video kamera, kişisel bilgisayardaki TV Kartı bağlantısı ile robot balığın yüzme havuzu içerisindeki görüntü bilgisini elde etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca robot balık üzerinde bulunan kablosuz kamera ile bilgisayar ekranından su altı görüntüsü alınabilmektedir. Robot balık, aşağıda belirtilen iki farklı yüzme yeteneğine sahiptir.

- **Otonom Hareket:** Robot balık, sahip olduğu karar verme yeteneği ile engellerden sakınarak yüzebilmektedir.
- **Uzaktan Kontrol:** RF Uzaktan Kontrol Kumandası yardımı ile robot balığın sağ/sol/ileri ve yukarı/aşağı hareketleri kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, uzaktan kumandadan gönderilen herhangi bir yön sinyali geldiğinde, öncelikle algılayıcılar yardımı ile engelin olup olmadığı kontrol edilir. Eğer engel var ise öncelikle engelin aşılması sağlanır. Robot balık daha sonra kumanda sinyaline göre yön değiştirmektedir.

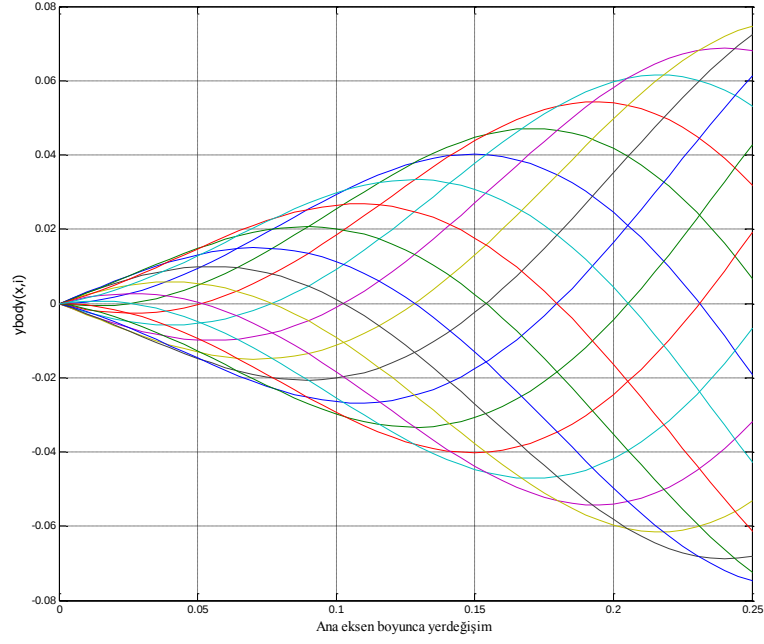
Bu tez çalışmasında, robot balığa ait matematiksel denklemler *MATLAB/Guide* ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları video kamera yardımı ile video formatında çekilip kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler fotoğraf görüntüleri şeklinde deneysel sonuçlarda sunulmuştur. Deneysel çalışma ortamına ait fotoğraf görüntüsü Şekil 6.2.'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Deneysel çalışma ortamına ait fotoğraf görüntüsü

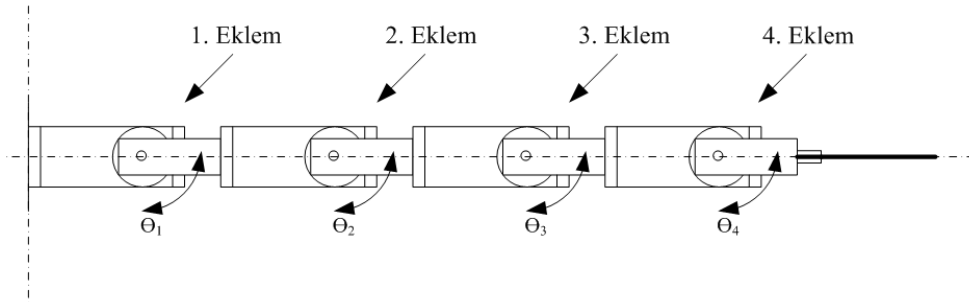
6.2. Hareket Kabiliyeti

Robot balık; ileri yön hareket, sağa dönüş ve sola dönüş hareketleri olmak üzere 3 farklı yönde yüzebilmektedir. Robot balığın hareketi genel olarak kuyruğun oluşturduğu hareket sinyaline bağlıdır. Bu hareket esnasında balığın gövdesinden başlayarak esnek kuyruk boyunca enine bir hareket sinyali oluşur. Enine hareket sinyaline ait matematiksel ifade Bölüm 3. Denklem (3.2)'de verilmiştir [13]. Şekil 6.3.'de enine kuyruk hareket sinyali verilmiştir.



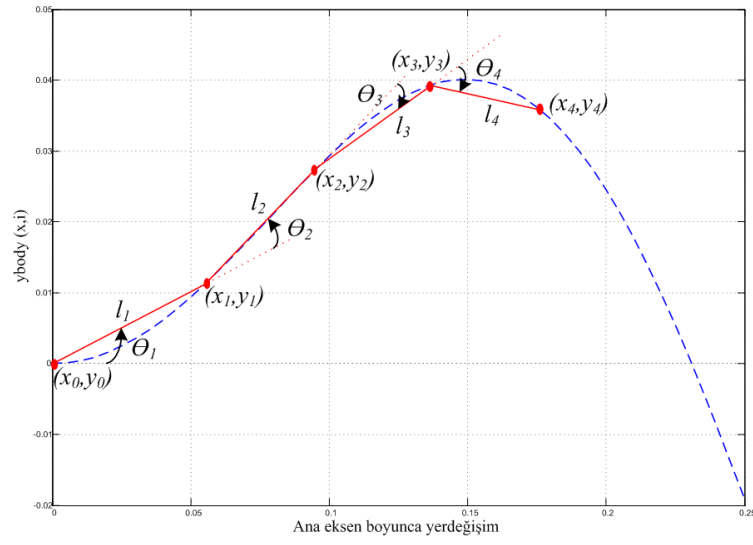
Şekil 6.3. Ayrılaştırılmış enine hareket sinyali

Robot balığın esnek kuyruğu dönen eklemlerden oluşmaktadır (Şekil 6.4.). Bir örnekteki her bir ekleme ait servo motor açı değerleri $4 \times M$ doğruluk tablosu şeklinde gruplandırılabilir [57]. Şekil 6.5.'de verilen ayrılaştırılmış enine hareket sinyaline ait her bir örnekteki enine hareket fonksiyonları oluşturularak, robot balığın hareketi sağlanmaktadır.

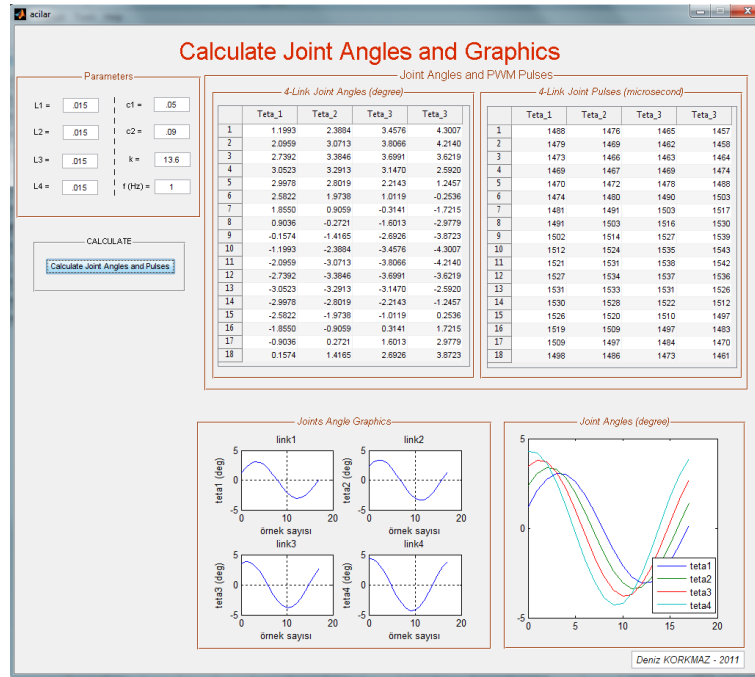


Şekil 6.4. Esnek kuyruktaki dönen eklemler

Şekil 6.6.'da, yukarıdaki denklemler kullanılarak *MATLAB/Guide* ortamında hazırlanmış bir ara yüz verilmiştir.



Şekil 6.5. Ekleme açılarının elde edilmesi

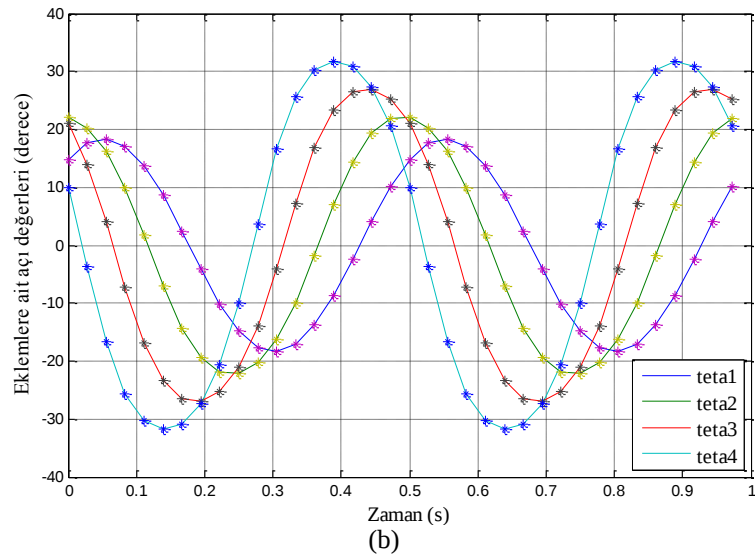
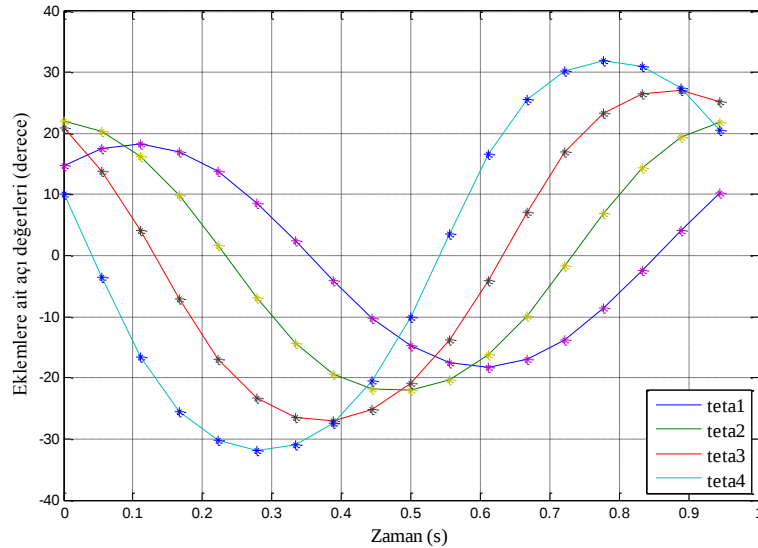


Şekil 6.6. MATLAB/Guide ile hazırlanan ara yüz

Bu ara yüz yardımı ile gerekli parametre değerleri girilerek, her bir servo motorun alması gereken açı değerleri, mikrodenetleyicinin üretmesi gereken PWM görev oranları ve her bir ekleme ait açıların grafikleri elde edilebilmektedir.

6.2.1. İleri Yön Hareket

Şekil 6.3.'de verilen ayırıklaştırılmış enine hareket sinyali, robot balığın ileri yön hareketini göstermektedir. Robot balığın kuyruk çırpınma frekansı f ile ifade edilmektedir. İleri yön hareket için deneysel çalışmalarda $M=18$, $c_1=0.3$, $c_2=0$, $k=13.6$ ve eklem uzunluk oranı $R_l=[0.35:0.35:0.35:0.35]$ olarak seçilmiştir. Bu parametre değerleri manevra kabiliyeti ve seyir yeteneğini dengelemek açısından uygun bir oran olarak kabul edilmiştir. Kullanılan bu parametreler ile elde edilen eklemlere ait açı değerleri Şekil 6.7.'de verilmiştir. Robot balık prototipine ait esnek kuyruk eklemlerinin bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü Şekil 6.8.'de sunulmuştur.



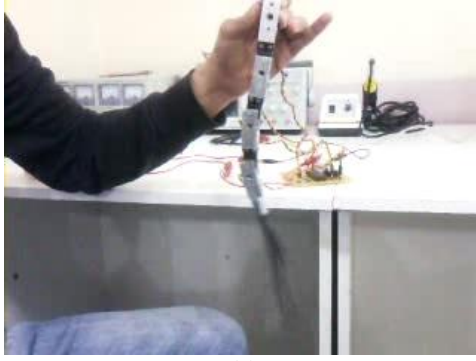
Şekil 6.7. İleri yön hareket için eklemlere ait açı değerleri (a) $f=1\text{Hz}$ (b) $f=2\text{Hz}$



(a)



(b)



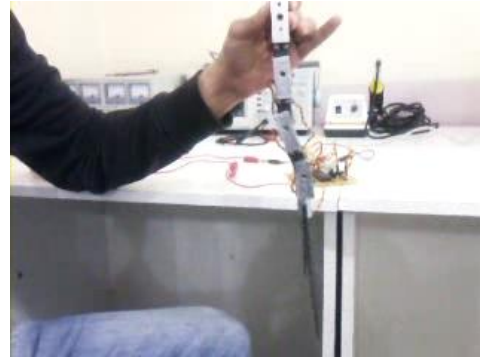
(c)



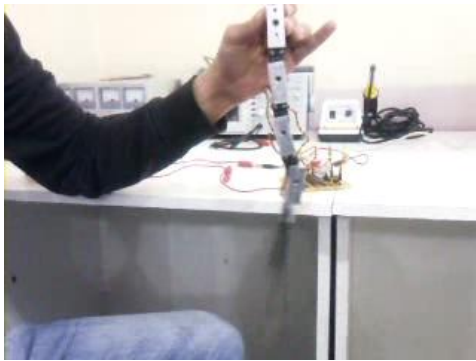
(d)



(e)



(f)



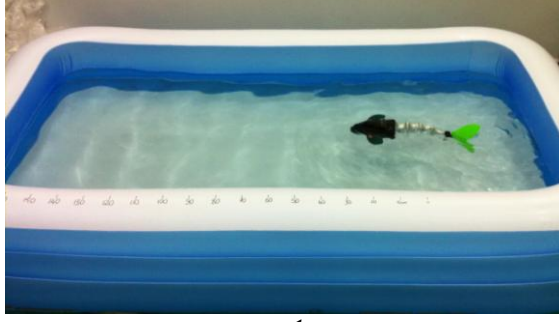
(g)



(h)

Şekil 6.8. Esnek kuyruğa ait eklemlerin ileri yön hareketi için bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü

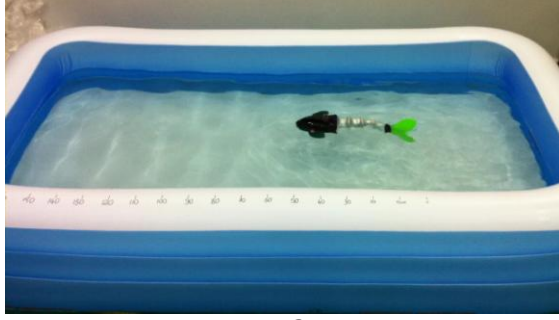
Yüzme havuzu ortamında $f=2Hz$ için elde edilen açılar robot balık prototipine uygulanmış ve fotoğraf görüntüsü Şekil 6.9.'da sunulmuştur.



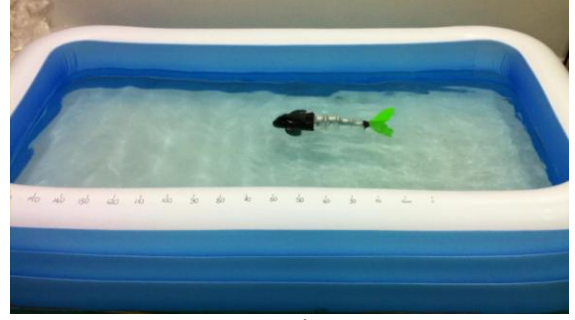
$t = 1s$



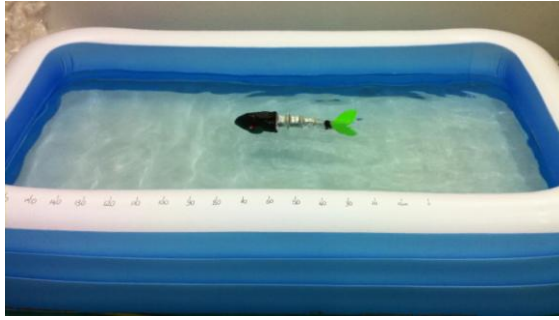
$t = 2s$



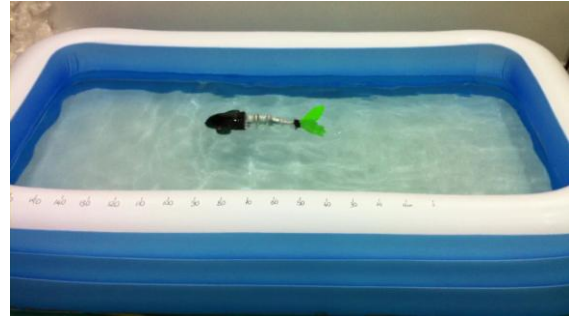
$t = 3s$



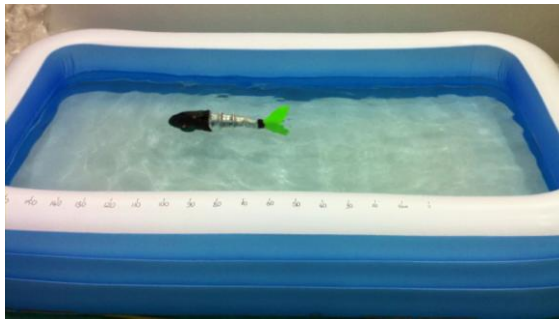
$t = 4s$



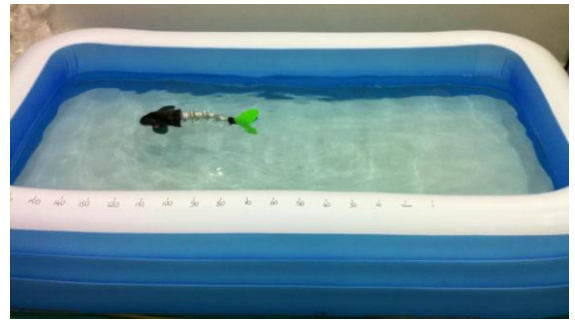
$t = 5s$



$t = 6s$



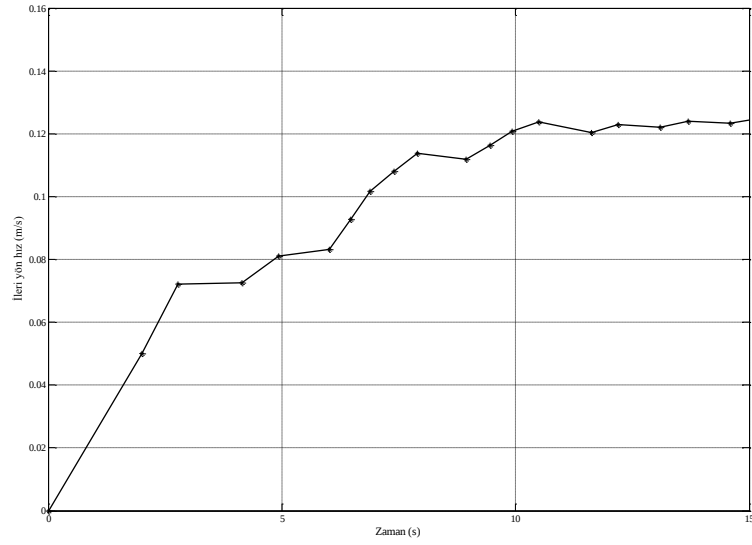
$t = 7s$



$t = 8s$

Şekil 6.9. Robot balığın ileriye doğru yüzüşü

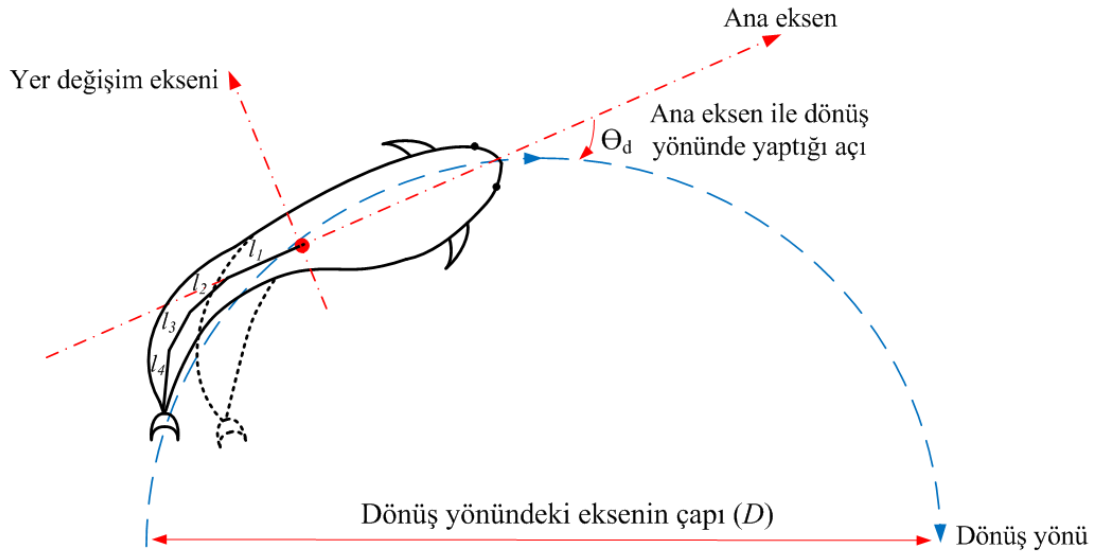
Şekil 6.10. Robot balık prototipinin deneysel çalışmalarda elde edilen ileri yön hızını göstermektedir. Robot balığın ileri yön kalıcı durum hızı yaklaşık 11s sonunda 0.13m/s civarında olmaktadır.



Şekil 6.10. Robot balık prototipinin ileri yön hızı $f=2Hz$

6.2.2. Sağa ve Sola Dönüş Hareketleri

Gerçek bir balığın yüzme yönü değiştiğinde, balık kuyruğunu o yönde hareket ettirerek yüzer. Şekil 6.11.'de dönüş manevra kabiliyetine ait sistem modeli verilmiştir.

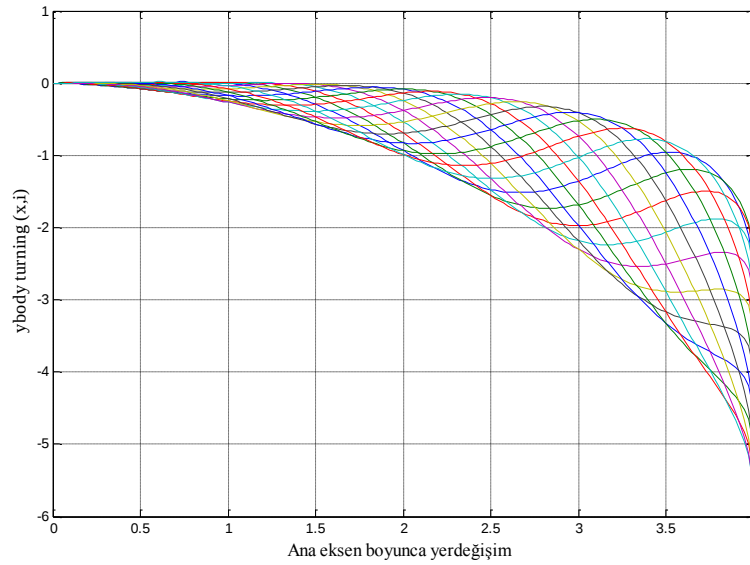


Şekil 6.11. Bir balığa ait bir yöne dönüş hareketi

Robot balığın herhangi bir yöne dönebilmesi için enine hareket sinyali tekrar düzenlenebilir [58,59].

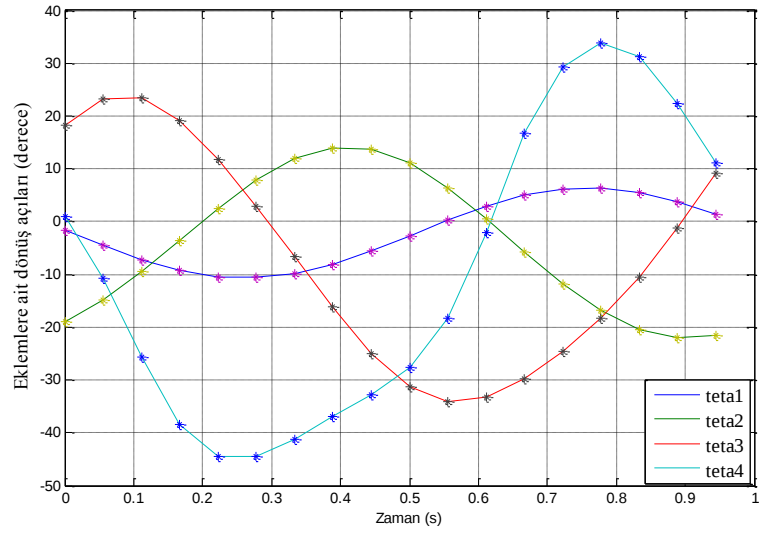
$$y_{body-turning}(x,i) = (c_1 + c_2 x^2) \sin(kx - \frac{2\pi}{M}i) + \sqrt{\frac{1}{4}D^2 - x^2} - \frac{1}{2}D \quad (6.1)$$

Burada, $y_{body-turning}$ kuyruğun enine dönüş hareketi sinyali, x gerçek eksen boyunca yer değişim, c_1 lineer dalga genliği, c_2 karesel dalga genliği, k vücut dalga katsayısı, M ayrıklaştırılmış kuyruk hareketine ait örnek sayısı ve D dönüş yönündeki eksenin çapını temsil etmektedir. Şekil 6.12.'de dönüş hareketleri için enine hareket sinyali verilmiştir.

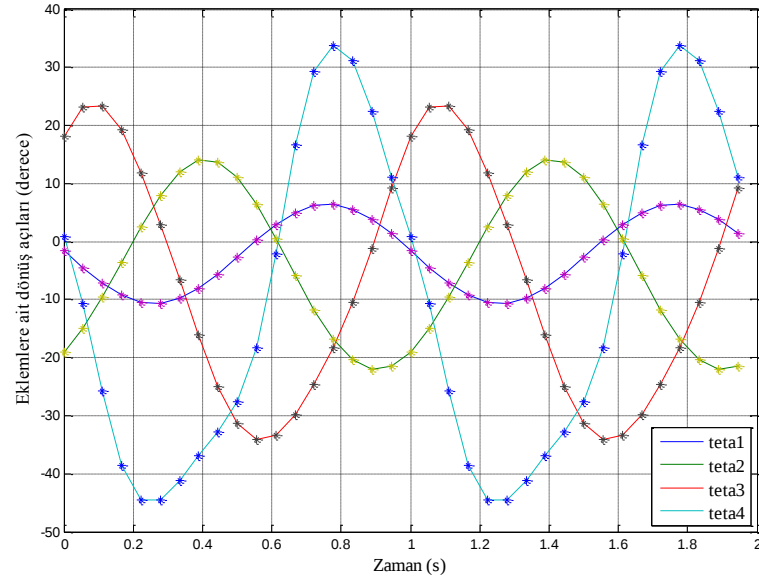


Şekil 6.12. Dönüş hareketi için enine kuyruk hareketi sinyali

Sağa ve sola dönüş hareketleri için deneysel çalışmalarda $M=18$, $c_1=0.05$, $c_2=0.09$, $k=13.6$, $D=8$ ve eklem uzunluk oranı $R_l=[0.15:0.15:0.15:0.15]$ olarak seçilmiştir. Kullanılan bu parametreler ile elde edilen eklemlere ait açı değerleri Şekil 6.13.'de verilmiştir. Robot balık prototipine ait esnek kuyruk eklemlerinin bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü Şekil 6.14.'de sunulmuştur. Yüzme havuzu ortamında $f=2Hz$ için elde edilen açılar robot balık prototipine uygulanmış ve fotoğraf görüntüsü Şekil 6.15.'de sunulmuştur.



(a)



(b)

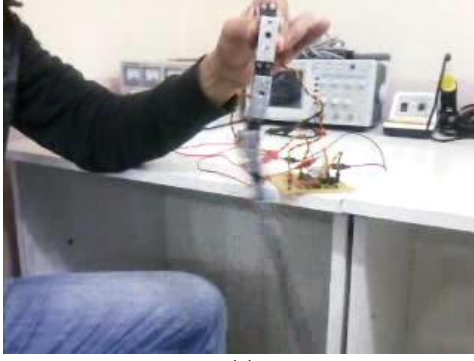
Şekil 6.13. Eklemlere ait dönüş açıları: (a) $f=1\text{Hz}$ (b) $f=2\text{Hz}$



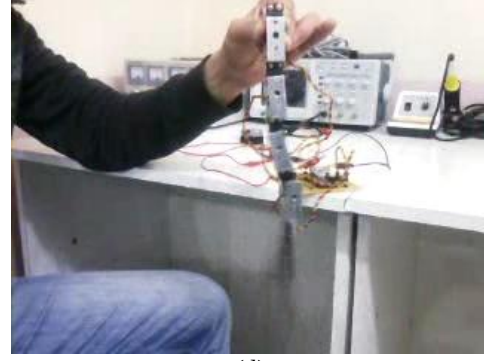
(a)



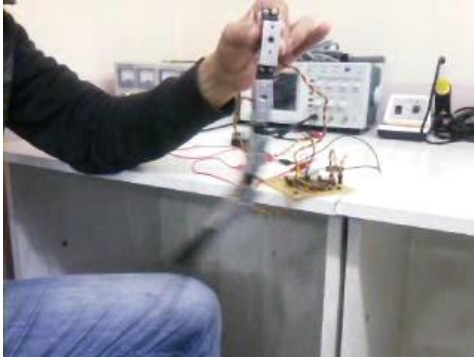
(b)



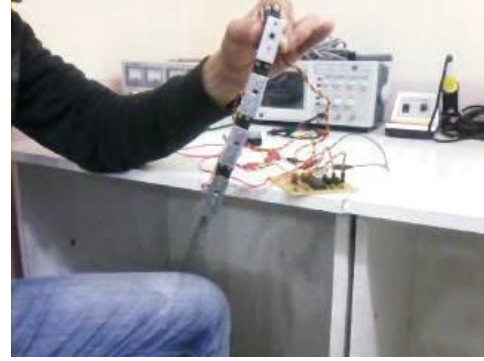
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 6.14. Esnek kuyruğa ait eklemlerin dönüş hareketi için bir periyoduna ait fotoğraf görüntüsü



$t = 1s$



$t = 4s$



$t = 5s$



$t = 6s$



$t = 7s$



$t = 8s$



$t = 9s$

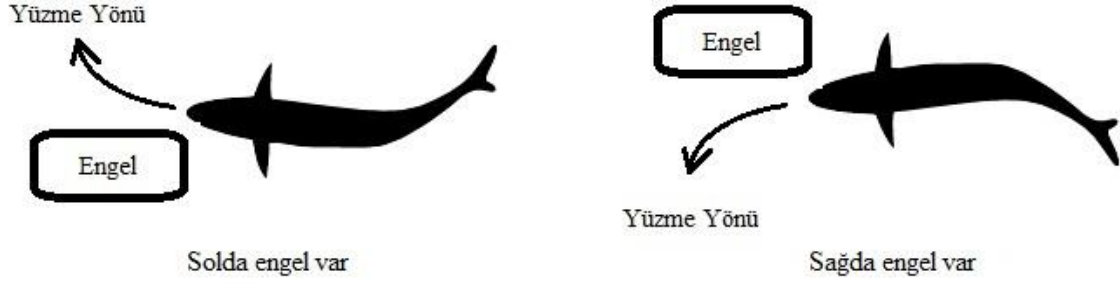


$t = 10s$

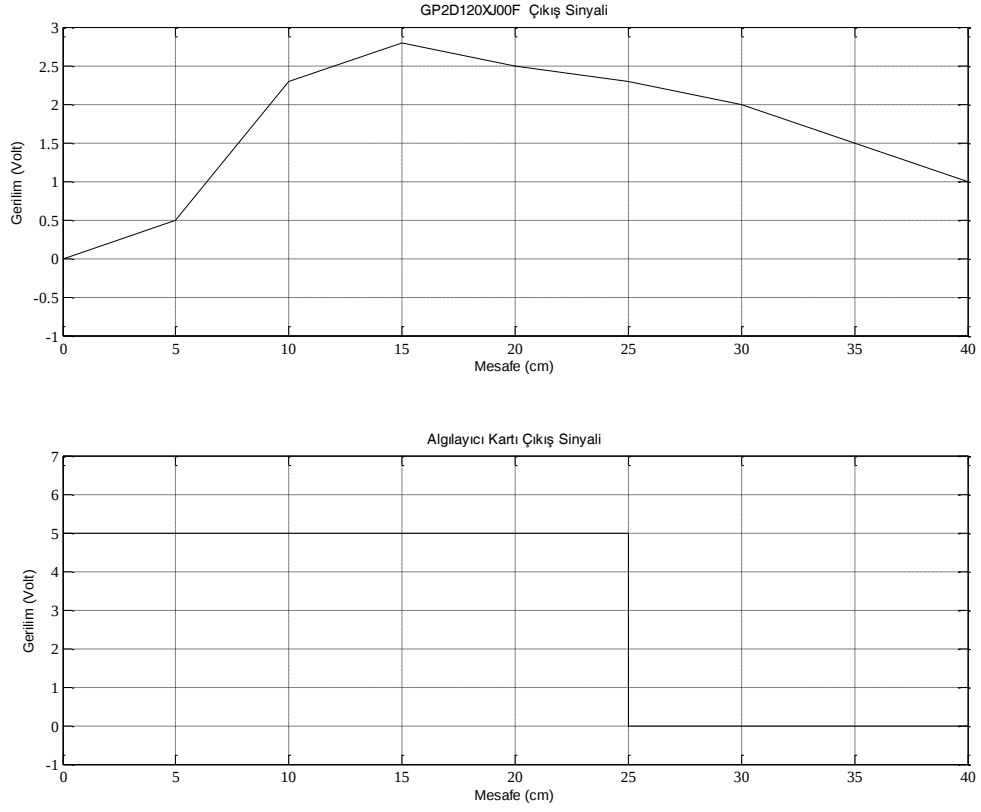
Şekil 6.15. Robot balığın dönerek yüzüşü

6.2.3. Engellerden Sakınma

Robot balığın çevresindeki engelleri algılayabilmesi için ön gövdede 2 adet algılayıcı bulunmaktadır [48]. Şekil 6.16.'da robot balığın herhangi bir engel ile karşılaşırsa hangi yönde döneceği belirtilmiştir.



Algılayıcı kartı ile engelin yaklaşık 25cm mesafede algılaması sağlanmıştır. Algılayıcı ile algılayıcı kartının ürettiği elektriksel sinyaller Şekil 6.17.'de sunulmuştur. 25cm'ye kadar robot balık çevresindeki engelleri algılamaz. 25cm ve daha küçük mesafelerde çevresinde herhangi bir engel varsa, dönüş hareketi ile engellerden sakınarak yüzmektedir.



Şekil 6.17. Algılayıcı ile denetim kartının ürettiği elektriksel sinyaller

Algılayıcılar analog gerilim değerleri ürettiği için mikrodenetleyici o sinyalleri algılayamaz. Üretilen bu analog sinyaller, algılayıcı kartında sayısal değerlere dönüştürülür. Eğer bir engel var ise denetim kartından gelen 5V sayısal sinyal işlenerek, robot balığın dönüş hareketini gerçekleştirmesi sağlanır. Robot balık yüzme havuzunda, kenar bölgelere geldiğinde o bölgeleri engel olarak algılayarak yön değiştirmektedir. Robot balığın engellerden sakınarak yaptığı yüzme hareketlerine ait fotoğraf görüntüsü Şekil 6.18.'de sunulmuştur. Burada, manevra kabiliyetini arttırmak için, birinci ve ikinci eklemlere sabit 30° 'lik açılar uygulanmıştır.



$t = 1s$



$t = 1.5s$



$t = 2s$



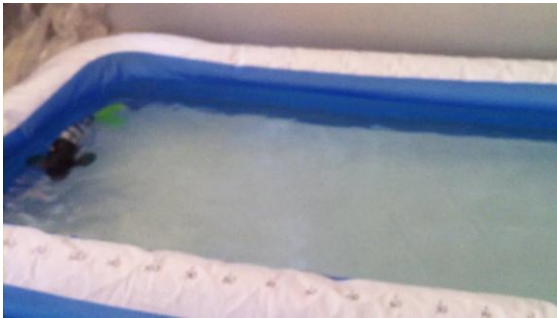
$t = 2.5s$



$t = 3s$



$t = 3.2s$



$t = 3.8s$



$t = 4.5s$

Şekil 6.18. Robot balığın engellerden sakınarak yüzüşü

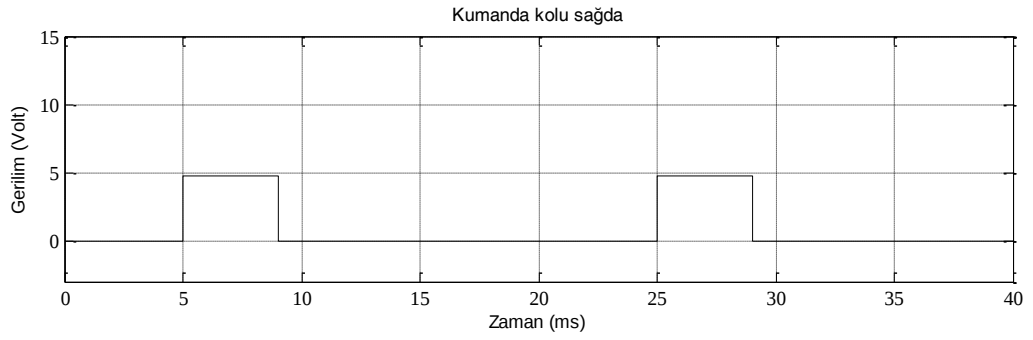
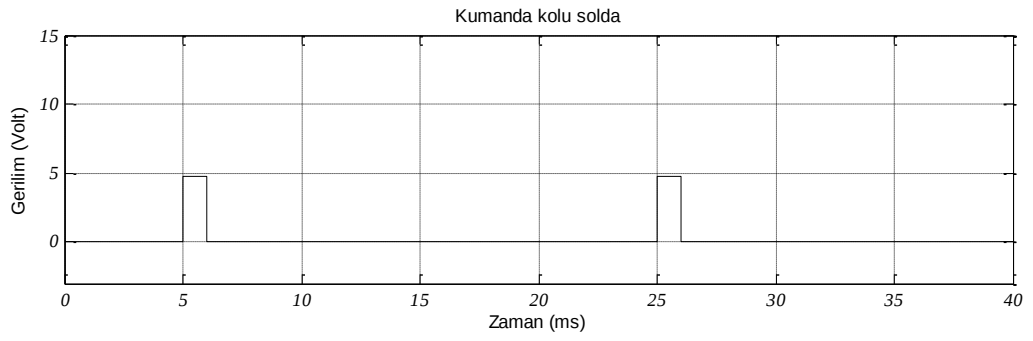
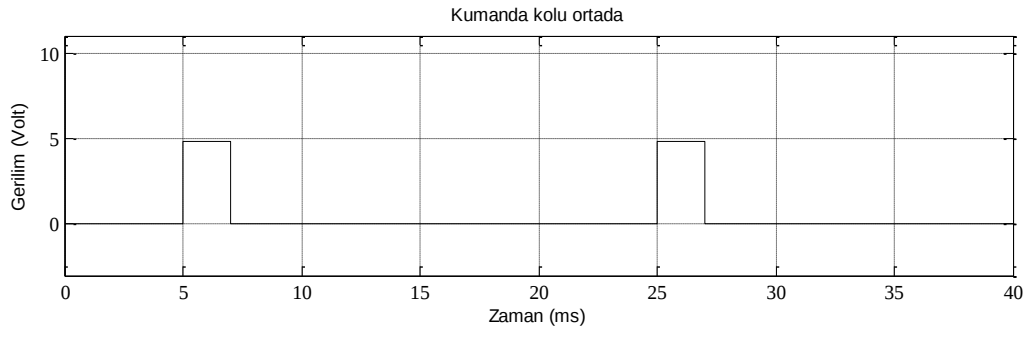
6.2.3. Uzaktan Kontrol

Robot balık Hitec Aurora 9 Uzaktan kumanda seti ile kullanıcı tarafından uzaktan kontrol edilebilmektedir [42]. Balığın uzaktan kontrol edilebilmesi için kullanılan kumanda üzerindeki kumanda kolları Şekil 6.19.'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Uzaktan kontrol için kullanılan kumanda kolları

Kumanda üzerindeki *J1 kumanda kolu* robot balığın göğüs yüzgeçlerini kontrol etmek için, *J2 kumanda kolu* ise robot balığa yön vermek için kullanılır. Uzaktan kumanda vericisinin ürettiği PWM sinyalleri *J2 kumanda kolu için* Şekil 6.20.'de verilmiştir. Şekil 6.21.'de robot balığa ait göğüs yüzgeçlerinin hareketi sunulmuştur.



Şekil 6.20. Uzaktan kumanda vericisinden elde edilen PWM sinyalleri



Şekil 6.21. Uzaktan kumanda ile göğüs yüzgeçlerinin kontrolü

Şekil 6.22.'de uzaktan kumanda ile sola dön komutu (*J2 kumanda kolu* solda) için robot balığın kontrol edilmesine ait fotoğraf görüntüsü sunulmuştur. Eğer uzaktan kumandadan gönderilen yön bilgisinin bulunduğu konumda herhangi bir engel varsa, robot balık engeli geçene kadar kumanda sinyalini dikkate almadan hareket etmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

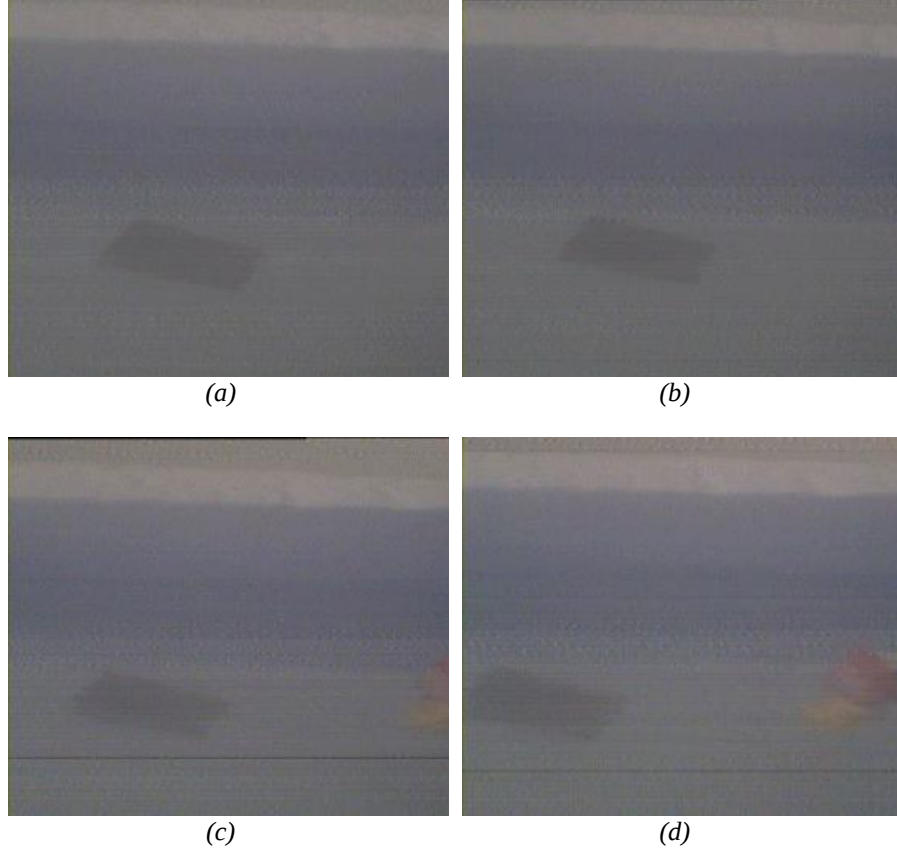


(f)

Şekil 6.22. Robot balığın uzaktan kumanda ile sola dön komutu için kontrol edilmesi

6.2.4. Kablosuz Kamera ile Görüntü Alma

Robot balık prototipinden alınan görüntü sinyallerine ait fotoğraf görüntüleri Şekil 6.23.'de sunulmuştur.



Şekil 6.23. Elde edilen su altı görüntüsü

Robot balık üzerinde bulunan kablosuz kameranın elde ettiği görüntü verileri kamera vericisi aracılığı ile kişisel bir bilgisayara gönderilebilmektedir. Kişisel bilgisayarda bulunan TV Kartı yardımı ile bu görüntüler hem ekranda izlenebilmektedir hem de video formatında kaydedilebilmektedir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Balıklar diğer su altı araçlarına göre vücut yapıları ve hareket tipleri açısından çok verimli bir yapıya sahiptir. Hareket kabiliyeti, hızlı yüzebilme ve yüksek manevra yeteneği gibi özellikleri ile doğadaki en iyi yüzücülerdir. Böylece su altında oldukça rahat bir şekilde hareket edebilir ve sığ sularda bile yüzebilmektedirler.

Bu tez çalışmasında, bir robot balık tasarımına ışık tutacak şekilde balık yüzme hareketleri incelenmiş ve matematiksel modeller yardımı ile robot balığın dinamik modeli oluşturulmuştur. Elde edilen tasarım yöntemi ile hem BCF (Vücut ve/veya Kuyruk ile Hareket) hem de MPF (Orta ve/veya Çift Yüzgeç ile Hareket) hareket tiplerinde yüzebilen ve uzaktan kumanda yardımı ile kontrol edilebilen 4-eklemlili Carangiform türü bir robot balık prototipi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan prototip üzerinde bulunan kablosuz kamera yardımı ile uzakta bir bilgisayara su altı görüntüsü gönderebilmektedir. Ayrıca, robot balık üzerinde bulunan algılayıcılar yardımı ile engellerden sakınarak otonom yüzme yeteneğine sahiptir. Robot balık prototipi, Carangiform türü bir balığa ait kinematik ve hidrodinamik modeller yardımı ile elde edilen tasarım yönteminin doğruluğunu gösteren ve performans analizinin yapılabileceği bir yüzme havuzu ortamında video kamerası ve kişisel bir bilgisayar yardımı ile test edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler karşılaştırıldığında, robot balık yalpa hareketleri yapmadan ileri yön, sağa ve sola dönüş hareketleri ile su yüzeyine yakın bir şekilde yüzebilmektedir. Kumandadan gönderilen yön bilgisi değerlendirildiğinde, istenilen yönde bir engel var ise öncelikle engeli geçmekte daha sonra istenilen yönde hareket etmektedir. Benzetim çalışmalarında elde edilen eklemlere ait açı değerleri deneysel çalışmalarda prototipe uygulanarak istenilen yönde hareketin sağlandığı görülmüştür. Deneysel olarak, robot balık prototipinin ileri yön kalıcı durum hızı $f=2Hz$ 'lık çırpınma frekansı için yaklaşık $0.13m/s$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, benzetim çalışmalarında yaklaşık olarak $0.18m/s$ olarak belirlenmiştir. Uygulama ve benzetim çalışmaları arasındaki bu farkın, modellenmemiş dinamiklerden ve uygulamadaki parametre belirsizlikleri ile ölçüm hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen prototip ile deneysel gözlemlere dayanarak, yeni nesil bir robot balığın tasarımı ve modellenmesi konusunda bilimsel bir zemin oluşturulmuştur.

Oluřturulan robot balık prototipinin tasarım modelinin basit, geliştirilebilir ve uygulanabilirliğinin yüksek olması nedeniyle, ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturabileceği dűřünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sfakiotakis, M., Lane, D.M., and Davies, J.B.C.,** 1999, Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion, *IEEE Journal of Ocean Eng.*, **24 (2)**, 237-252.
- [2] **Wang, H.,** 2009, Design and Implementation of a Biomimetic Robotic Fish, *Ms Thesis*, Concordia University, Montreal.
- [3] http://www.harunyahya.org/bilim/biyomimeti/Biyomimetik_01.html/, Biomimetik, 26 Eylül 2011.
- [4] **Vepa, R.,** 2009, Biomimetic Robotics Mechanisms and Control, Cambridge University Press, New York.
- [5] **Karaca, B.,** 2006, Yunus Yüzme Hareketinin Modellenmesi ve Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Yu, J., Wang, L. and Tan, M.,** 2005, A Framework for Biomimetic Robot Fish's Design and Its Realization, *American Control Conference*, Portland, June 8-10, 1593-1598.
- [7] **Yu, J., Wang, S. and Tan, M.,** 2003, Design of a Free-Swimming Biomimetic Robot Fish, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Port Island, Kobe, Japan, July 20-24, 95-100.
- [8] **Yu, J., Tan, M., Wang, S., Chen, E.,** 2004, Development of a Biomimetic Robotic Fish and Its Control Algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, **34 (4)**, 798-1810.
- [9] **Qiu, W., Liu, J. and Hu, H.,** 2007, A Methodology of Modelling Fish-like Swim Patterns for Robotic Fish, *Proceedings of IEEE 2007 International Conference on Mechatronics and Automation*, Harbin, China, August 5-8, 1316-1321.
- [10] **Hu, H.,** 2006, Biologically Inspired Design of Autonomous Robotic Fish at Essex, *Proceedings of the IEEE SMC UK-RI Chapter Conference on Advances in Cybernetic Systems*, Sheffield, September 7-8, 1-8.
- [11] **Liu, J. and Hu, H.,** Biological Inspiration: From Carangiform Fish to Multi-Joint Robotic Fish, *Journal of Bionic Engineering*, **7 (1)**, 35-48.

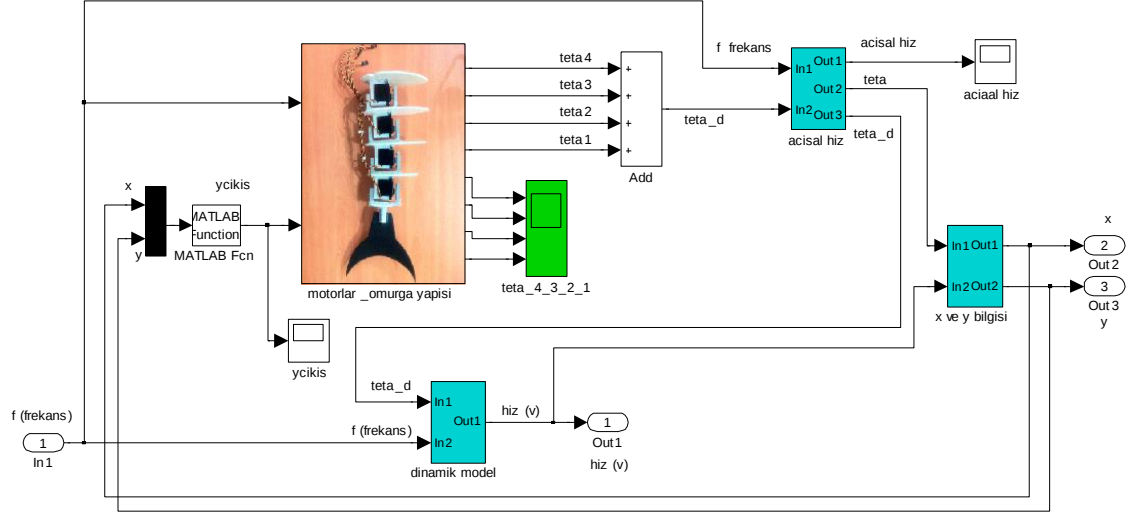
- [12] **Liu J., Dukes, L., Knight, R. and Hu, H.,** 2004, Development of Fish-Like Swimming Behaviours for An Autonomous Robotic Fish, *Proceedings of Control*, University of Bath, September, 6-9.
- [13] **Liu, J. and Hu, H.,** 2004, A 3D Simulator for Autonomous Robotic Fish, *International Journal of Automation and Computing* 1, **1 (1)**, 42-50.
- [14] **Zhang, L., Zhao, W., Hu, Y., Zhang, D., and Wang, L.,** 2007, Development and Depth Control of Biomimetic Robotic Fish, *Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Diego, CA, USA., Oct 29-Nov 2, 3560-3565.
- [15] **Yu, J., Wang S. and Tan, M.,** 2005, A Simplified Propulsive Model of Biomimetic Robot Fish and Its Realization, *Robotica*, **23**, 101-107.
- [16] **Tong, B. G.,** 2000, Propulsive Mechanism of Fish's Undulatory Motion, *Mechanic in Engineering*, **22 (3)**, 69-74.
- [17] **Cheng, J. Y. and Blickhan, R.,** 1994, Note On The Calculation of Propeller Efficiency Using Elongated Body Theory, *Journal of Experimental Biology*, **192**, 169-177.
- [18] **Triantafyllou, M. S. and Triantafyllou, G. S.,** 1995, An Efficient Swimming Machine, *Scientific American*, **272**, 64-70.
- [19] **Hirata, K.,** Design and Manufacturing of a Small Fish Robot, *Processing of Japan Society for Design Engineering*, No 99, 29-32.
- [20] **Cho, J. L.,** 1997, Electronic Subsystems of a Free-Swimming Robotic Fish, Ms Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- [21] **Zhou, C., Tan, M., Gu, N., Cao, Z., Wang, S. and Wang, L.,** 2008, The Design and Implementation of a Biomimetic Robot Fish, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, **5 (2)**, 185-192.
- [22] **Chen, Z., Shatara, S. and Tan, X.,** 2009, Modeling of Biomimetic Robotic Fish Propelled by An Ionic Polymer-Metal Composite Caudal Fin, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 1-12.
- [23] **Zhang, Z. G., Yamashita, N., Gondo, M. Yamamoto, A. and Higuchi, T.,** 2008, Electrostatically Actuated Robotic Fish: Design and Control for High-Mobility Open-Loop Swimming, *IEEE Transactions on Robotics*, **24 (1)**, 118-129.

- [24] **Ye, W. X., Su, Y., Guo, S. and Wang, L.,** 2008, Design and Realization of a Remote Control Centimeter-Scale Robotic Fish, *Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, July 2-5, Xian, China, 25-30.
- [25] **Ye, X., Su, Y. and Guo, S.,** 2007, A Centimeter-Scale Autonomous Robotic Fish Actuated by IPMC Actuator, *International Conference on Robotics and Biomimetics*, December 15-18, Sanya, China, 262-267.
- [26] **Liu, J. D. and Hu, H.,** 2006, Biologically Inspired Behaviour Design for Autonomous Robotic Fish, *International Journal of Automation and Computing* 4, 336-347.
- [27] **Liu, J. and Hu, H.,** 2003, Building a Simulation Environment for Optimising Control Parameters of an Autonomous Robotic Fish, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, September 20, Luton, England, 317-322.
- [28] http://tr.wikipedia.org/wiki/Kategori:Bal%C4%B1k_morfolojisi/, Balık Morfolojisi, 26 Eylül 2011.
- [29] **Liu, L., Yu, J. and Wang, L.,** 2006, Dynamic Modeling of Three-Dimensional Swimming for Biomimetic Robotic Fish, *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, October 9-15, Beijing, China, 3916-3921.
- [30] <http://biyopedi.com/?tag=vucut-sekilleri/>, Balık Vücut Şekilleri, 16 Eylül 2011.
- [31] <http://www.tr.wikipedia/wiki/fusiform/>, Fusiform, 20 Eylül 2011.
- [32] **White, F. M., Kırkköprü, K. ve Ayder, E.,** 2004, Akışkanlar Mekaniği, *Literatür Yayıncılık ve Dağıtım*, İstanbul.
- [33] **George, V. L., Peter, G. and Madden A.,** 2007, Fish Locomotion: Kinematics and Hydrodynamics of Flexible Foil-Like Fins, *Springer-Verlag*, **43**, 641-653.
- [34] **Webb, P. W.,** 1988, Simple Physical Principles and Vertebrate Aquatic Locomotion, *Amer. Zool.*, **28**, 709-725.
- [35] **Lindsey, C. C.,** 1978, Form, Function and Locomotory Habits, *Fish Physiology*, Vol.VII Locomotion, *Academic Press*, New York, **7**, 1100-1978.
- [36] **Yu, J., Liu, L. and Wang, L.,** 2006, Dynamic Modeling and Experimental Validation of Biomimetic Robotic Fish, *American Control Conference*, June 14-16, Minneapolis, Minnesota, USA, 4129-4134.

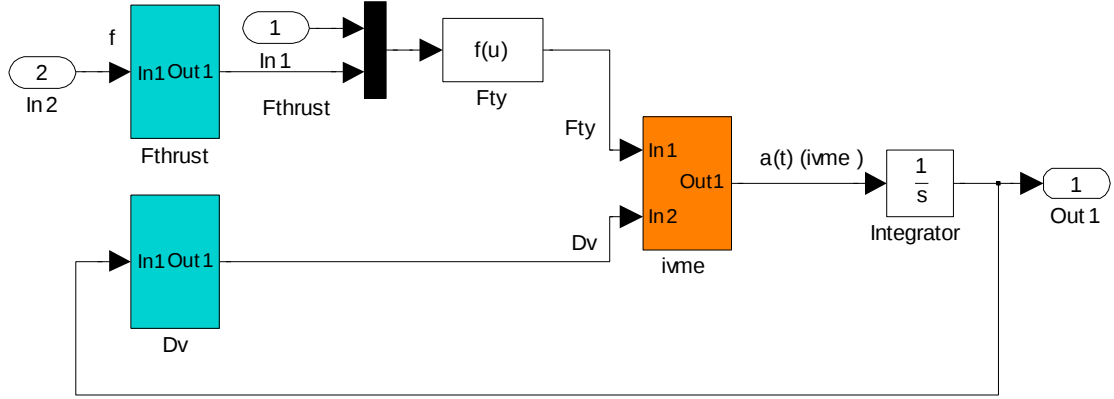
- [37] **Yu, J., Liu, L., Tan, M.,** 2008, Three-Dimensional Dynamic Modeling of Robotic Fish: Simulations and Experiments, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, **30 (3/4)**, 239-258.
- [38] **Liu J. and Hu, H.,** 2010, Biological Inspiration: From Carangiform Fish to Multi-Joint Robotic Fish, *Journal of Bionic Engineering*, **7 (1)**, 35-48.
- [39] **Yu, J., Liu, L. and Wang, L.,** 2006, Dynamic Modeling of Robotic Fish Using Schiehlen's Method, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, December 17-20, Kunming, China 457-462.
- [40] **Wu, T. Y.,** 1961, Swimming of a waving plate, *J. Fluid Mech.*, **10**, 321-344.
- [41] **Yu, J. Z., Chen, E. K., Wang, S. and TAN, M.,** 2002, Research Evolution and Analysis of Biomimetic Robot Fish, *Control Theory and Application*, accepted in Chinese.
- [42] http://www.hitecrd.com/products/aircraft-radios-receivers-and-accessories_/aircraft/aurora9/aurora-9-2-4ghz.html/, Hitec Aurora 9, 18 Temmuz 2010.
- [43] <http://www.microchip.com/wwwproducts/devices.aspx?ddocname=en010241/>, PIC Katalog Bilgileri, 18 Temmuz 2010.
- [44] <http://www.ti.com/product/max232/>, Max232 Katalog Bilgileri, 25 Temmuz 2010.
- [45] <http://www.national.com/mpf/LM/LM311.html/>, Katalog Bilgileri, 10 Eylül 2010.
- [46] <http://www.hitecrd.com/products/digital/digital-micro-mini/hs-5245mg.html/>, Model Bilgisi, 5 Temmuz 2010.
- [47] <http://www.panabilisim.com/120-hikvision-hv919-1-3-380-tvl-36mm-sesli-kablosuz-mini-telsiz-guvenlik-kamerasi.html/>, Kablosuz Kamera, 10 Ocak 2011.
- [48] <http://www.sharpsma.com/optoelectronics/sensors/distance-measuring-sensors/GP2D120XJ00F/>, 18 Temmuz 2010.
- [49] **Zhou, C., Cao, Z., Wang, S. and Tan, M.,** 2006, The Posture Control and 3-D Locomotion Implementation of Biomimetic Robot Fish, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, October 9-15, Beijing, China, 5406-5411.
- [50] **Yu, J., Wang, L., Zhao, W. and Tan, M.,** 2008, Optimal Design and Motion Control of Biomimetic Robotic Fish, *Science in China Series F: Information Science*, **51 (5)**, 535-549.

- [51] **Yu, J. and Wang, L.**, 2005, Parameter Optimization of Simplified Propulsive Model for Biomimetic Robot Fish, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April, Barcelona, Spain, 3317-3322.
- [52] **Şahin, H., Dayanık, A. ve Altınbaşak, C.**, 2006, PIC Programlama Teknikleri ve PIC16F877A, *Altaş Yayıncılık*, İstanbul.
- [53] **Çiçek, S.**, 2007, CCS C ile PIC Programlama, *Altaş Yayıncılık*, İstanbul.
- [54] <http://www.microchip.com/PIC16bootload/>, Bootloader ile PIC Programlama, 20 Mayıs 2011.
- [55] <http://www.best-microcontroller-projects.com/pic-icsp.html/>, ICSP Programlama, 10 Ekim 2011.
- [56] <http://www.avermedia.com/avertv/Upload/SDK/index.html/>, Görüntü Yakalama, 18 Temmuz 2010.
- [57] **Liu, J., Hu, J.**, 2007, A Methodology of Modelling Fish-like Swim Patterns for Robotic Fish, *Proceedings of IEEE 2007 International Conference on Mechatronics and Automation*, August 5-8, Harbin, China, 1316-1321.
- [58] **Yu, J., Liu, L., Wang, L., Tan, M. And Xu, D.**, 2008, Turning Control of a Multilink Biomimetic Robotic Fish, *IEEE Transactions on Robotics*, **24 (1)**, 201-206.
- [59] **Yu, J., Wang, M., Tan, M. and Li, Y. F.**, 2009, Step Function Based Turning Maneuvers in Biomimetic Robotic Fish, *IEEE International conference on Robotics and Automation*, May 12-17, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, 3431-3436.

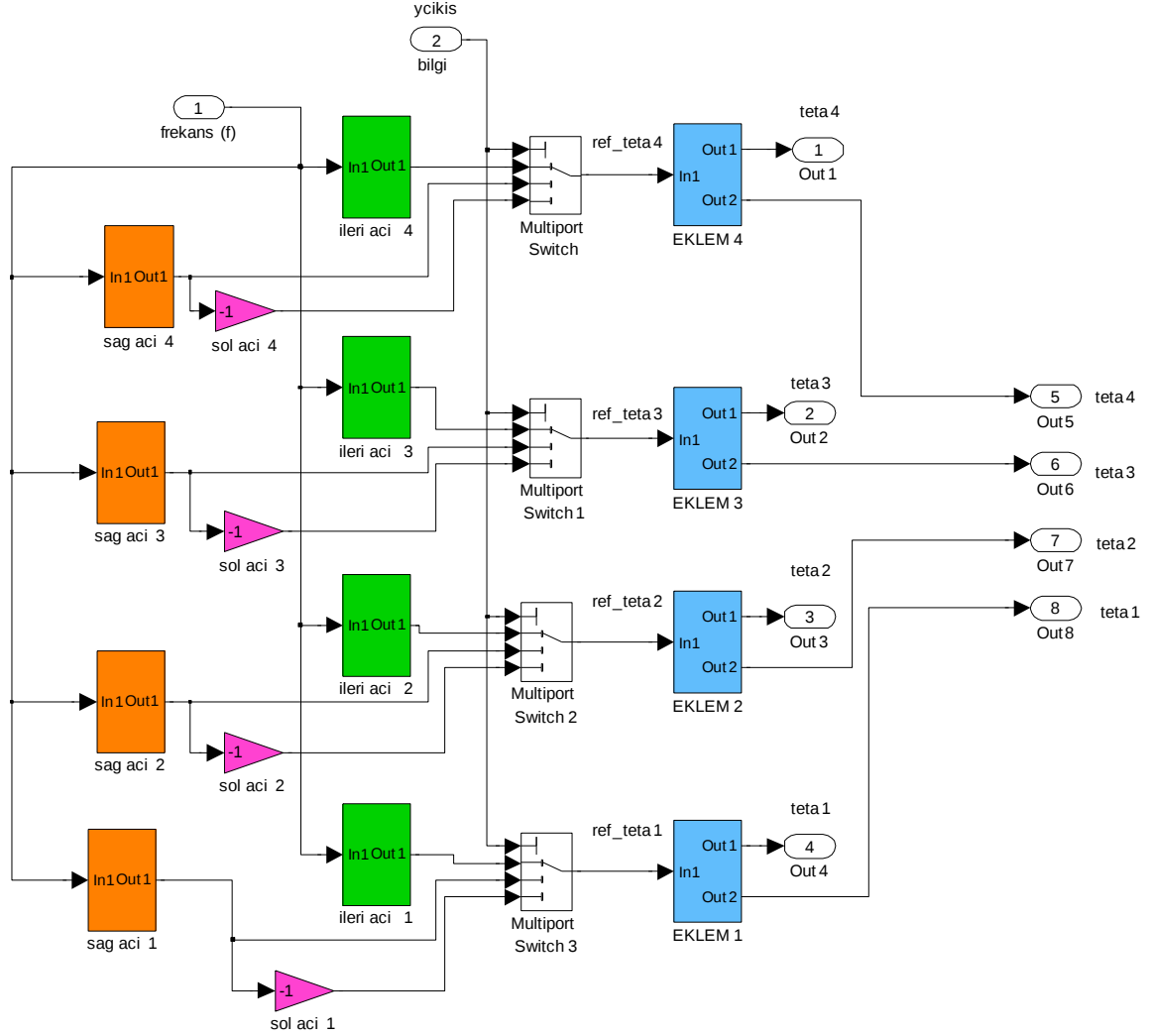
EK-1 Robot Balığın Dinamik Sistemi için Oluşturulan MATLAB/Simulink Modeli



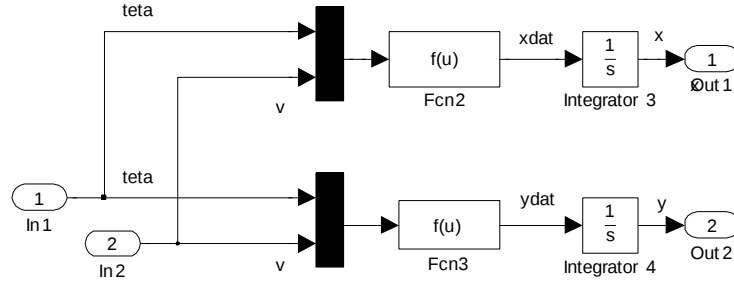
EK-2 Robot Balığın Kinematik ve Hidrodinamik Modelleri için Oluşturulan MATLAB/Simulink Modeli



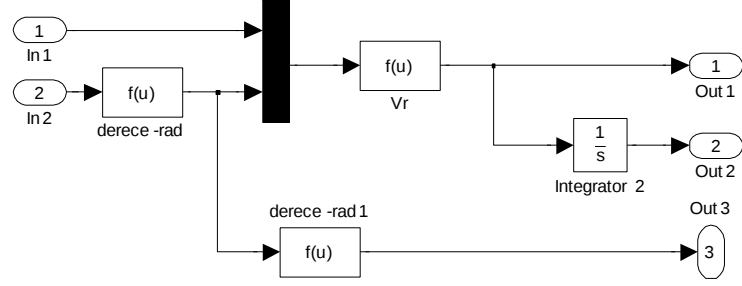
EK-3 Robot Balık Eklem Modeli için Oluşturulan MATLAB/Simulink Modeli



EK-4 Robot Balığın 2-Boyutlu Eksende Hareket Modeli için Oluşturulan MATLAB/Simulink Modeli



EK-5 Robot Balığın Açısal Hız Modeli için Oluşturulan MATLAB/Simulink Modeli



ÖZGEÇMİŞ

Deniz KORKMAZ

dkorkmaz@firat.edu.tr

Tlf: +90 424 2370000 / 4317

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü

ELAZIĞ

1985 yılında Çanakkale’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çanakkale’de, lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nü kazandı. 2008 yılında bu bölümden mezun oldu. Bir dönem sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında aynı bölümde açılan Araştırma Görevliliği sınavını kazanarak göreve başladı. Halen bu görevi sürdürmektedir. Yabancı dili İngilizce’dir.