

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HIZLI BİR FERİBOTUN DÜŞEY İVMELENMESİNİN T-FOİL VE TRİM TAB
SİSTEMLERİ İLE AKTİF KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Müh. Ömer Sinan ŞAHİN

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

**HIZLI BİR FERİBOTUN DÜŞEY İVMELENMESİNİN T-FOİL VE TRİM TAB
SİSTEMLERİ İLE AKTİF KONTROLÜ**

Ömer Sinan ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
YÜKSEK LİSANS (MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 04 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 13 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet İTİK

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

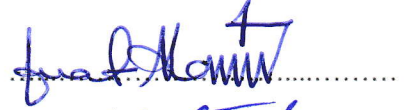
**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Ömer Sinan ŞAHİN Tarafından Hazırlanan**

**HIZLI BİR FERİBOTUN DÜŞEY İVMELLENMESİNİN T-FOİL VE TRİM TAB
SİSTEMLERİ İLE AKTİF KONTROLÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 30 / 04 / 2019 gün ve 1802 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fuat ALARÇİN



Üye : Doç. Dr. Mehmet İTİK



Üye : Doç. Dr. Murat ÖZKÖK



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Deniz araçları inşa edilmeye başlandığından beri sürekli gelişmeler kaydedilmiş ve bu gelişmeler beraberinde performans, operasyon kabiliyeti, yakıt tasarrufu, konfor gibi kriterlerin iyileştirilmesi için beklentiler doğurmuştur. Zamanla bu beklentilerin karşılanması için tasarlanan sistemler ve cihazlar denizcilik sektörünün vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Stabilite artırıcı sistemler de bu uygulamalardan biridir. Gemilerde düşey ivmelenmelere yol açan dalgalar, potansiyel olarak deniz tutmasına da neden olur. Bu durum yolcular için en büyük dezavantajdır. Ek olarak, geminin aşırı düşey hareketleri çarpma, savrulma veya güvertenin ıslanması gibi tehlikelere neden olabilir. Dalgaların neden olduğu düşey hareketi yumuşatmanın birçok yolu vardır. Bu yöntemlerden biri de gelen dalgalara karşı koymak için aktif eklentileri kullanmaktır. Bu eklentiler, hareketsiz sistemler olabildiği gibi verimliliği en üst düzeye çıkarmak için otomatik kontrol edilebilen hareketli sistemler de mevcuttur. Son yıllarda hızlı feribotların kullanımındaki artışla, hareketli eklentilerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmuş ve sürüş kontrolü sorunu ortaya çıkmıştır. Yapılan bu tezde, stabilite artırıcı eklenti olarak kullanılan trim tab ve T-foilin hızlı bir feribota uygulanması ile dalıp çıkma ve baş kıç vurma hareketlerine etkisi incelenmiştir.

Öncelikle, çalışmalarım boyunca desteğini benden esirgemeyip bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Mehmet İTİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman yanımda olup emeklerini esirgemeyen babam Prof. Dr. Temel ŞAHİN'e, annem Behiye ŞAHİN'e, eşim Sacide ŞAHİN'e teşekkürü borç bilir, minnetlerimi sunarım.

Ömer Sinan ŞAHİN

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hızlı Bir Feribotun Düşey İvmelenmesinin T-Foil ve Trim Tab Sistemleri ile Aktif Kontrolü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mehmet İTİK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2019

Ömer Sinan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IIX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Gemilerde Kullanılan Stabilite Yöntemleri.....	6
1.2.1. Yalpa Omurgaları.....	7
1.2.2. Yalpa Önleyici Tanklar.....	7
1.2.3. Cayro (Gyro) Stabilizatörler.....	9
1.2.4. Yalpa (Fin) Kanat Sistemleri.....	11
1.2.5. Trim Tablar.....	13
1.2.5.1. Sabit Trim Tablar.....	14
1.2.5.2. Aktif Trim Tablar.....	14
1.2.6. İnterseptörler.....	14
1.2.7. T-foiller.....	16
1.2.7.1. Geri Çekilemeyen T-foiller.....	17
1.2.7.2. Geri Çekilebilir T-foiller.....	18
1.3. Gemilerde Aktif Kontrol.....	19
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	22
2.1. Hızlı Feribot Dalıp Çıkma ve Baş Kıç Vurma Dinamiğinin Modellenmesi.....	22
2.2. Savitsky Metodu.....	27
2.3. Trim Tab Modeli ve Dinamiği.....	29

2.4.	T-foil Modeli ve Dinamiği	33
2.5.	Düzensiz Dalga Modeli	34
2.6.	Kontrol Yöntemleri ve Kontrolcü Tasarımı	37
2.6.1.	PID Kontrolcü	37
2.6.2.	LQR Kontrolcü	38
3.	BULGULAR VE İRDELEME	40
3.1.	Hızlı Feribot Modelinin Kontrolsüz Cevabı	40
3.2.	Hızlı Feribot Modelinin Kontrollü Cevabı	43
3.2.1.	PID Kontrolcü Cevabı	43
3.2.2.	LQR Kontrolcü Cevabı	45
3.3.	Kontrolsüz ve Kontrollü Cevapların Karşılaştırılması	46
3.4.	Kontrolcülerin Karşılaştırılması	49
3.5.	Deniz Tutması Oranı (MSI) Değişimi	51
4.	SONUÇLAR	53
5.	ÖNERİLER	54
6.	KAYNAKLAR	55
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

HIZLI BİR FERİBOTUN DÜŞEY İVMELLENMESİNİN T-FOİL VE TRİM TAB
SİSTEMLERİ İLE AKTİF KONTROLÜ

Ömer Sinan ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet İTİK
2019, 59 Sayfa

Deniz yolu taşımacılığında önemli bir konu olan hız, hızlı feribotların geliştirilmesinde temel sorundur ve bir takım zorlukları da beraberinde getirir. Bu zorluklardan bazıları geminin düşey ivmelenmesine neden olan baş kış vurma, dalıp çıkma hareketleri ile mekanik yorulma, deniz tutması, yolcu ve yük güvenliğinin tehlikeye girmesi vb. etkilere neden olan sorunlardır. Günümüzde denizcilik kabiliyetinin iyileştirilmesi ve konforun artırılması ile ilgili olarak farklı türde eklentilerin tasarımı ve kullanımında artan bir eğilim söz konusudur. Gemilerde meydana gelen istenmeyen etkileri sönmölemek için gemi hareketlerinin kontrol edilmesi tercih edilen bir yöntemdir. Bu nedenle gemi inşa mühendisleri de dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin neden olduğu düşey ivmelenmenin sönmölenmesi için stabilite artırıcı sistemlerin tasarımı, geliştirilmesi ve kontrolü üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışma hızlı bir feribotta meydana gelebilecek olumsuzlukları azaltmak amacıyla kontrolcü tasarlanarak düşey hareketlerin incelenmesi ile ilgilidir. Problemi çözmek için sönmöleyici eklentiler olarak trim tab ve T-foil sistemleri ve bu sistemlerin kontrol yöntemleri üzerinde çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hızlı feribot, Trim tab, T-foil, Baş kış vurma Dalıp çıkma, PID kontrol, LQR kontrol, Deniz tutması oranı

Master Thesis

SUMMARY

ACTIVE CONTROL OF VERTICAL ACCELERATION WITH T-FOIL AND TRIM
TAB SYSTEMS IN A FAST FERRY

Ömer Sinan ŞAHİN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet İTİK
2019, 59 Pages

Speed is an important issue in maritime transport and it is the main problem in the development of fast ferries and brings with it a number of challenges. Some of these challenges are those that lead to vertical movement of the ship, such as pitching, heave, mechanical fatigue, seasickness, danger to passengers and cargo safety. Today, there is an increasing trend in the design and use of different types of add-ons to improve maritime capability and to increase comfort. It is a preferred method to control ship movements to dampen the undesirable effects on ships. Therefore, shipbuilding engineers also work on the design, development and control of stability enhancing systems for damping the vertical acceleration caused by dipping and head stroke movements. This study deals with the examination of vertical movements in order to reduce the possible negative consequences of a fast ferry. In order to solve the problem, trim tab and T-foil systems as damping inserts and control methods of these systems were studied.

Key Words: Fast ferry, Trim tab, T-foil, Pitch, Heave, PID control, LQR control, Motion sickness index

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yalpa omurgası yapısı	7
Şekil 1.2. U tipi yalpa tankı yapısı	9
Şekil 1.3. Cayro stabilizatör kontrol blok diyagramı	10
Şekil 1.4. Bir yalpa (fin) kanat sisteminin şematik gösterimi	11
Şekil 1.5. Hidrolik yalpa kanat sistemi diyagramı	12
Şekil 1.6. Trim tab yapısı	14
Şekil 1.7. İnterseptörün tekneye yerleşimi	15
Şekil 1.8. İnterseptörün tekne gövdesinde etkili olduğu fiziksel olayların gösterimi	15
Şekil 1.9. T-foil yapısı	17
Şekil 1.10. Cıvata bağlantılı T-foil ve döner T-foil yapısı	18
Şekil 1.11. Gemi boyunca çekilebilir T-foil ve dikey yönde çekilebilir T-foil yapısı	18
Şekil 1.12. Fin yalpa stabilizasyon kontrol blok diyagramı	20
Şekil 2.1. Savitsky kayıcı tekne üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi	27
Şekil 2.2. Trim tab eklentili bir tekne altında oluşan basınç dağılımı	30
Şekil 2.3. Trim tab eklentili bir kayıcı tekne üzerindeki kuvvetlerin gösterimi	31
Şekil 2.4. Trim tab geometrisi	32
Şekil 2.5. T-foil geometrisi	33
Şekil 2.6. Düzensiz dalganın zamana bağlı dalga spektrumunun değişimi	35
Şekil 2.7. Düzensiz dalganın zamana bağlı dalga yüksekliğinin değişimi	36
Şekil 2.8. PID kontrolcü şematik gösterimi	37
Şekil 2.9. LQR kontrol sistemi şematik gösterimi	38
Şekil 3.1. Dalgasız denizde 40 knot hızda hızlı feribotun dalıp çıkma hareketi	41
Şekil 3.2. Dalgasız denizde 40 knot hızda hızlı feribotun baş kış vurma hareketi	41
Şekil 3.3. Dalıp çıkma hareketinin düzensiz dalgalar altında değişimi	42
Şekil 3.4. Baş kış vurma hareketinin düzensiz dalgalar altında değişimi	43
Şekil 3.5. Dalıp çıkma hareketinin PID kontrolcü cevabı	44
Şekil 3.6. Baş kış vurma hareketinin PID kontrolcü cevabı	44
Şekil 3.7. Dalıp çıkma hareketinin LQR kontrollü cevabı	45
Şekil 3.8. Baş kış vurma hareketinin LQR kontrollü cevabı	46

Şekil 3.9. Dalıp çıkma hareketinin kontrolsüz ve PID kontrollü cevaplarının karşılaştırılması.....	47
Şekil 3.10. Baş kış vurma hareketinin kontrolsüz ve PID kontrollü cevaplarının karşılaştırılması	47
Şekil 3.11. Dalıp çıkma hareketinin kontrolsüz ve LQR kontrollü cevaplarının karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.12. Baş kış vurma hareketinin kontrolsüz ve LQR kontrollü cevaplarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.13. LQR ve PID kontrolcülerinin dalıp çıkma hareketi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.14. LQR ve PID kontrolcülerinin baş kış vurma hareketi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.....	50



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Altı serbestlik derecesi hareketleri tanım ve gösterimleri.....	24
Tablo 2. Silvia Ana hızlı feribotunun boyut ve özellikleri.....	27
Tablo 3. Trim tab karakteristiği.....	33
Tablo 4. T-foil karakteristiği	34
Tablo 5. Kontrolsüz ve kontrollü durumlarda MSI değişimi	52



SEMBOLLER DİZİNİ

X	: Boyuna öteleme kuvveti
Y	: Yan öteleme kuvveti
Z	: Dalıp çıkma kuvveti
K	: Yalpa momenti
M	: Baş kış vurma momenti
N	: Savrulma momenti
u	: Boyuna öteleme doğrusal hızı
v	: Yana öteleme doğrusal hızı
w	: Dalıp çıkma doğrusal hızı
p	: Yalpa açısal hızı
q	: Baş kış vurma açısal hızı
r	: Savrulma açısal hızı
x	: Boyuna öteleme konumu
y	: Yana öteleme konumu
z	: Dalıp çıkma konumu
\dot{u}	: Boyuna öteleme ivmesi
\dot{v}	: Yana öteleme ivmesi
\dot{w}	: Dalıp çıkma ivmesi
\dot{p}	: Yalpa ivmesi
\dot{q}	: Baş kış vurma ivmesi
\dot{r}	: Savrulma ivmesi
φ	: Yalpa açısı
θ	: Baş kış vurma açısı
ψ	: Savrulma açısı
ω	: Açısal hız vektörü
v_0	: Doğrusal hız vektörü
I_0	: Atalet momenti
m	: Kütle
r_G	: Ağırlık merkezi

$\dot{\omega}_0$: Gemiye bağlı referans ekseninde ω 'nın zamana bağlı turevi
U_0	: Gemiye bağlı referans ekseninde ktle merkezinin ivmesi
m_0	: Dış kuvvetlerden kaynaklanan moment
ρ	: Deniz suyu yoğunluğu
CP	: Center of pressure
CG	: Center of gravity
ρ_w	: Hava yoğunluğu
L	: Geminin tam boyu
V	: Geminin hızı
ϕ_i	: Faz açısı
g	: Yerçekimi ivmesi
N	: Basınç kuvveti
τ	: Trim açısı
T_t	: Pervane itki kuvveti
f	: Pervane itki kuvveti doğrultusunun ağırlık merkezine uzaklığı
ε	: Omurga hattı ile itki doğrultusu arasındaki açđ
D_f	: Sürtünmeden kaynaklanan sürüklenme kuvveti
a	: Sürüklenme kuvveti bileşeninin ağırlık merkezine uzaklığı
T_f	: Pervane itişinden kaynaklanan sürtünme kuvveti
$C_{L\beta}$: Kalkıntı açısı ile birlikte kaldırma katsayısı
β	: Kalkıntı açısı
b	: Tekne genişliği
C_{L0}	: Kalkıntı açısının sıfır olduğu durumda kaldırma katsayısı
λ	: Ortalama ıslak uzunluk-genişlik oranı
C_v	: Hız katsayısı
V_m	: Tekne altındaki ortalama hız
L_m	: Ortalama ıslak uzunluk
α_t	: Trim tab açısı
L_t	: Trim tab uzunluğu
$S(\omega)$: Spektral dalga fonksiyonu
ω	: Açısal frekans
α_p	: Philips sabiti

$U_{19.4}$: Okyanus yüzeyinden 19.4 metre yükseklikteki rüzgâr hızını
c	: Basınç merkezinin ağırlık merkezine uzaklığı
D_p	: Basınç kuvvetinden kaynaklanan direnç bileşeni
MSI	: Motion sickness indeks
α_v	: Düşey ivmelenmenin ortalama değeri
ω_e	: Karşılaşma frekansı
L_{WL}	: Su hattı uzunluğu
L_{CG}	: Longitudinal distance to center of gravity
V_{CG}	: Vertical distance to center of gravity
T	: Draft
A_{33}	: Dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan ek su kütlesi
A_{55}	: Baş kıç vurma hareketinden kaynaklanan ek kütle atalet momenti
B_{33}	: Dalıp çıkma hareketi sönüm kuvveti katsayısı
B_{55}	: Baş kıç vurma hareketi sönüm momenti katsayısı
C_{33}	: Dalıp çıkma doğrultucu kuvvet katsayısı
C_{55}	: Baş kıç vurma doğrultucu moment katsayısı
I_5	: Baş kıç vurma hareketinin atalet momenti
F_3	: Dalıp çıkma hareketinin kuvveti
F_5	: Baş kıç vurma hareketinin momenti
β_3	: Dalıp çıkma kuvveti faz farkı
β_5	: Baş kıç vurma momenti faz farkı
\ddot{x}_3	: Dalıp çıkma hareketin ivmesi
\dot{x}_3	: Dalıp çıkma hareketin hızı
x_3	: Dalıp çıkma hareketi
\ddot{x}_5	: Baş kıç vurma hareketinin ivmesi
\dot{x}_5	: Baş kıç vurma hareketinin hızı
x_5	: Baş kıç vurma hareketi
F_{Tab}	: Trim tabın meydana getirdiği kuvvet
M_{Tab}	: Trim tabın meydana getirdiği moment
A_{Tab}	: Trim tabın yüzey alanı
C_{LTab}	: Trim tabın kaldırma katsayısı
δ_{Tab}	: Trim tab kanat açısı

l_{Tab}	: Trim tabın CG'ye uzaklığı
F_{Foil}	: T-foilin meydana getirdiği kuvvet
M_{Foil}	: T-foilin meydana getirdiği moment
A_{Foil}	: T-foilin yüzey alanı
C_{LFoil}	: T-foilin kaldırma katsayısı
δ_{Foil}	: T-foilin kanat açısı
l_{Foil}	: T-foilin CG'ye uzaklığı
M_{CG}	: Ağırlık merkezi etrafında oluşan moment



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Gemiler gerek seyir halinde gerekse durağan haldeyken rüzgâr, dalga, akıntı, yolcu veya yüklerden kaynaklanan dengesizlik gibi etkilere maruz kalırlar. Bu anlamda gemi, maruz kaldığı etkilere rağmen kendisinden beklenen performansını kaybetmemeli, yolcu güvenliğini sağlayarak ve rotasını koruyarak görevini yerine getirmelidir. Bu sebeplerden dolayı bir gemi dizayn aşamasında iyi modellenmeli ve gerekli denizcilik özellikleri analiz edilmelidir.

Gemi hareketlerinin matematiksel modellemesi geminin dinamik stabilitesini analiz etmek ve dinamik stabilitesini iyileştirmek amaçlı yalpa kanadı, trim tab, interseptör, T-foil gibi sistemler tasarlamak için yapılabilir. Böylece geminin operasyonel performansını en iyi şekilde sürdürmesi sağlanarak, yolcu ve personelin emniyetli; gemideki yük ve donanımların ise hasarsız şekilde seyri sağlanır. Gemilerden beklenen bir diğer özellik de gemi kontrol edilebilirliği olarak da adlandırabileceğimiz manevra kabiliyetine sahip olmalarıdır. Manevra kabiliyeti temel olarak geminin kontrollü bir şekilde dönme, rota tutuşu, hızlanma, yavaşlama ve geriye hareket etme performansı konularından oluşmaktadır. Geminin manevra kabiliyetini simüle etmek ya da gemi için kontrolcü tasarımı yapmak için de matematik modelden yararlanılır. Elde edilen matematik model üzerinden yapılan kontrolcü tasarımı ile gemiye etkiyen bozucu unsurların etkileri azaltılarak sistem dinamiğinin daha kararlı hale gelmesi sağlanır.

Teknolojinin gelişmesi ve otomasyonun yaygınlaşmasıyla beraber gemilerde otomatik kontrol sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Farklı türde otomatik kontrolcüler gemi stabilitesini artıran, istenmeyen bozucuları sönmüleyen çeşitli sistemlere uygulanmaktadır. PID kontrol, optimal kontrol, adaptif kontrol, doğrusal kuadratik kontrol, bulanık mantık ve yapay sinir ağı kontrolü gemilerde kullanılan başlıca kontrol modelleridir.

Gemi hareketleri konusunda kayda değer ilk çalışmalar W. Froude (1861) ve R. E. Froude (1896) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda gemilerin ince ve uzun yapılar olduğu varsayılarak bordadan gelen dalgalar için yalpa hareketini incelemişlerdir. Gelen dalgaların gemi üzerindeki etkisi ihmal edilerek gemi yüzeyinde meydana gelen dinamik basınç alanını sadece bu dalgaların potansiyelinden yararlanarak hesaplamışlardır. Daha sonraki yıllarda

Krylov (1896) bu teori üzerinde çalışmalar yaparak gelişmesine katkıda bulunmuş ve teoriye baş kış vurma hareketini de ekleyerek bugün de kullanılan Froude-Krylov teorisini oluşturmuştur.

Bu çalışmalarla başlayan gemi hareketleri analizleri zamanla farklı parametreler, dış etkiler ve kuvvetlerin de eklenmesiyle devam etmiştir. Grim (1952) dalgalar arasındaki bir geminin doğrultma momenti değişiminin stabilite üzerindeki etkisini göstermiştir. Mathieu denkleminde yola çıkarak dalgalar arasındaki bir geminin hareketinin denklemini oluşturmuş ve daha sonra 1954 yılında bu denkleme “GZ” doğrultma moment kolu değişimi, “M” zorlama terimlerini de ilave ederek genelleştirmiştir (Grim, 1954).

Altı serbestlik dereceli harekete sahip olan gemilerin her bir hareketi için matematik modeller geliştirilmeye devam edilmiştir. Böylece farklı hareket karakteristiklerinin tek tek ele alınması kolaylaşmıştır. Nomoto vd. (1957) çalışmalarında savrulma hareketi için Newton yasasından yararlanarak ikinci dereceden hareket modeli oluşturulmuş ve bu modelin altı serbestlik dereceli hareket modeline göre daha basit ve kullanışlı olduğunu göstermiştir. Paulling ve Rosenberg (1959) teorik ve deneysel çalışmalarında dalgalar altındaki gemi hareketlerini üç serbestlik derecesinde incelemiştir. Çalışmalarında stabilite kayıplarının doğal frekansın zorlama frekansına oranının yaklaşık olarak yarısı civarında olduğu noktada gerçekleştiğini göstermişlerdir. Abkowitz (1964), boyuna öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketlerinin bir gemi üzerinde etkili olan kuvvetlerinin önemli bir gelişimini sunmuştur. Hidrodinamik kuvvetlerin Taylor serisi açılımını seyir hızı için test etmiş ve kuvvetlerin rastgele bir doğruluk derecesinde modellenebileceği formül elde etmiştir. Böylece modeli doğrusal hareket denklemlerine indirgeyebilme imkânı tanımıştır. Son ve Nomoto (1982), yalpa hareketinin gemi üzerinde etki ettiği kuvvetleri ve momentleri türetmek için Abkowitz modelini geliştirmiştir.

Altı serbestlik dereceli hareketler doğrusal olmayan terimler içerdiği için çalışmalarda zorluklar gösterir. Sabuncu (1985), belirli bir rota üzerinde ilerleyen geminin davranışını inceleyebilmek için doğrusal olmayan gemi hareket denklemlerini basite indirgeme yoluna gitmiştir. Geminin hareketinde referans alınan eksenin başlangıç noktasının ağırlık merkezinde olduğunu kabul ederek ve gemide enine boyuna simetri olarak hesaplamalarda kolaylık sağlamıştır.

Birçok araştırmacı serbestlik derecesi, lineer olmayan terimlerin sayısı ve niteliği bakımından birbirinden farklı modeller oluşturmuştur. Neves vd. (1999; 2003; 2006) boyuna

dalgalar arasındaki yalpa hareketini incelerken yanal öteleme, savrulma ve boyuna öteleme hareketlerini ihmal ederek üç serbestlik dereceli modeller oluşturmuşlardır.

Modelleme, zamanla farklı gemi tiplerine, boyutlarına ve operasyon kabiliyetlerine göre yapılmaya başlamıştır. Kaplan vd. (1969) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalar ile bir hücumbotun eğimli bir kumsala girişi ve geri çekilişi için altı serbestlik dereceli hareket modelini çıkarmışlardır. Bu çalışma ile hücumbotun altı serbestlik derecesi hareketini etkileyen dalga ortamının değişken özelliklerini veren denklemler elde edilmiştir. Bu formüller, veriler ve fikirler dalgalarda iniş teknesi davranışının gerçek zamanlı bir bilgisayar simülasyonunun geliştirilmesinde kullanılabilir niteliktedir. Browning (1990) çeşitli boyutta ve formda tekneler olduğu için büyük gemilere uygun olan modellerin bu teknelere uygun olmadığını göz önünde bulundurarak küçük tekne hareketleri için matematik model oluşturmuştur. Oluşturulan model teknelerin oto pilot uygulamalarının tasarımında ve testinde kolaylık sağlamıştır.

Fossen ve Fjellstad (1995) gerçeğe daha yakın matematik model elde edebilmek için geminin içinde bulunduğu ortamın hidrodinamik ek su kütle, coriolis ve atalet kuvvetlerini de hesaba katarak çalışmalar yapmıştır. Berge ve Fossen (2000) bu kuvvetlere ek olarak vorteks, yüzey sürtünmesi, potansiyel sönüm nedeniyle oluşan doğrusal ve doğrusal olmayan etkileri de hareket denklemlerine ilave edilerek doğru modelleme yapılabileceğini ifade etmişlerdir.

Perez ve Blanke (1998), hesap yükünden kurtulmak için geminin yapısı gereği üç veya dört serbestlik dereceli modelin (yan öteleme, savrulma ve yalpa hareketleri) yapılacak çalışmalar için yeterli olduğuna karar vermiştir. Bu hareketleri inceleyebilmek için dalgaların gemiye tam olarak yan taraftan geldiğini kabul etmiştir.

Haddara (1995), çalışmalarını deneysel verilere dayandırarak seyir halindeki bir geminin ölçülen yalpa açıları verileri ile istatistik analizindeki rastgele azalan ve yapay sinir ağları yöntemleri ile tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin katsayılarını hesaplamıştır. Bu yöntem ile sınır şartlarına bağlı olasılık yoğunluğu fonksiyonunu elde etmek için Markov yöntemini ve karışık deniz şartlarında doğrusal olmayan yalpa açısı ve yalpa açısı hızı verilerini kullanmıştır. Son olarak elde ettiği fonksiyona, Fokker-Plank eşitliğini uygulayarak doğrusal olmayan hareketin sapma ve tahmin edilen değer olasılığını veren diferansiyel denklemi ortaya koymuştur.

Ross (2008), Kirchhoff'un eklenen kütle integral formülünü kullanarak dalgalar yoluyla bir gemi manevrasında doğrusal olmayan hareket denklemlerini

geliştirmiştir. Kirchhoff denklemleri, sistem kinetik enerjisinin türevlerinden hareket denklemlerini elde etmek için kullanılan bir dizi ilişkidir. Euler-Lagrange denklemlerinin özel durumlarıdır. Elde edilen denklemler coriolis ve merkezci kuvvetleri de verir.

Peşman (2011) düzenli dalgalar için, doğrusal olmayan doğrultma ve sönüm momenti terimlerini içeren 1 serbestlik dereceli “parametrik yalpa hareketi modeli” oluşturmuştur. Elde ettiği modele, zaman ve anlık yalpa açısına bağlı olarak değişkenlik gösteren analitik doğrultma momentini kullanarak dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin yalpa hareketi üzerindeki etkisini ilave etmiştir. Çalışmasında oluşturduğu bilgisayar koduyla sönüm katsayılarının, zamana bağlı olarak hesaplanabildiğini ifade etmiştir. Ayrıca bu çalışmada, başlangıç şartlarının yalpa hareketi üzerindeki etkisi de incelenmiş olup, karışık deniz durumu için yalpa hareketi analizi yaparak, sonuçların düzgün deniz için yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırmış, özellikle baştan gelen dalgalar durumunda sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Gemi hareketleri ve gemilerin maruz kaldığı bozucu etkiler üzerine yapılan birçok çalışmanın yanı sıra söz konusu bozucu etkileri yok etmeye yönelik çalışmalar da yürütülmüştür. Hem teorik hem de deneysel yürütülen bu çalışmalar ile beraber gemi stabilitesini artırmaya yönelik birçok sistem geliştirilmiştir. Bu sistemler yalpa omurgaları, pasif yalpa tankları, sabit kanat sistemleri gibi pasif yapılar ile cayro stabilizatör, aktif yalpa tankları, hareketli yalpa kanatları, trim tablalar, interseptörler, T-foiller gibi aktif yapılardan oluşur. Pasif sistemler, ek bir tahrik sistemine ve özel bir kontrol aygıtına ihtiyaç duymayan yapılardır. Gemi hareketlerinden dolayı oluşan etkiye karşı direnç göstererek istenmeyen hareketi sönümlemeye çalışırlar. Aktif sistemler ise dalga, rüzgâr, akıntı gibi çevre koşullarına, gemi üzerindeki insan ve yük hareketlerine göre değişken etkiler gösteren ve bir kontrol mekanizmasına sahip sistemlerdir. Aktif sistemlerin çalışma prensibi bozucu etkiye zıt bir moment oluşturarak sönümleme esasına dayanır. Gemiler için ilk olarak pasif stabilite artırıcı sistemler tasarlanmış ve uygulanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ve gemilerden beklenen performans, konfor, rota tutuşu, yakıt tasarrufu gibi kıstasların önem kazanmasıyla aktif kontrollü sistemler ortaya çıkmıştır. Aktif sistemlerin kontrolü gemilerin maruz kaldığı bozucu etkilerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir.

Amerongen (1981) bir geminin rota kontrolünün sağlamak için model referans adaptif kontrolü kullanmıştır. Bu çalışmasını deneysel uygulamaya döken Amerongen, tasarladığı kontrolcünün güvenilirliğini ve yakıt tasarrufuna etkisini incelemiştir. Hatta deneysel

çalışmasını geleneksel PID kontrolcü ile kıyaslayınca model referans adaptif kontrol ile %5 daha fazla yakıt tasarrufu sağlandığını ortaya koymuştur.

Alarçin (2005), gemilerin dalgaların karakteristiklerine ve gemiye geliş yönlerine göre hem savrulma ve hem de yalpa hareketini diğer hareketlere göre daha belirgin yaptığını vurgulamış, çalışmasında aynı anda hem savrulma hareketi ve hem de yalpa hareketinin sönümlenmesi için dümen ve yalpa kanat kontrol sistemlerine Dâhili Model Kontrol (DMK) metodunu uygulamıştır. Bu kontrol metodu için bulanık mantık ayarlama mekanizmasının geliştirildiğini ve model alınan gemide kullanılmak üzere Bulanık Ayarlamalı Dâhili Model Kontrol (BA-DMK) metodunun iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Ertoğan (2012) çalışmasında doğrusal olmayan altı serbestlik dereceli gemi dinamiğini inceleyerek sisteme en uygun aktif fin kanat yalpa sönümleyici tasarımını yapmıştır. Yalpa sönümleyici hidrolik fin sisteminin gerçek zamanda bilgisayarla kontrolünü gerçekleştirerek sistemi tam ölçekli test edebilmek için İ.T.Ü.'ye ait Martı Gemisi'ne montajı yapılmıştır. Martı Gemisi'nde yapılan ölçümlerden alınan sonuçlar ile benzetim çalışmaları gerçekleştirmiştir. Böylece gemilerde kullanılan eyleyici sistemlerinden biri olan aktif fin kanat eyleyicisi, gerçek zamanlı olarak uygulanabilirliği ile Türkiye'de ilk defa geliştirmiştir.

Ghassemi vd. (2011) yüksek hızlı teknelerde hidrodinamik interseptörün etkilerini, sayısal yöntemlere dayalı optimum geometrik karakterlerini bulmak için bir çalışma yapmıştır. Sonuçlar, interseptörün tekneye bağlantı noktasında yoğun bir basınç oluşturduğunu ve bu basıncın tekne gövdesine kaldırma kuvveti uygulayarak trim açısını azalttığını göstermiştir.

Seo vd. (2013) yaptıkları çalışmada V formunda bir katamarana interseptör, trim tab, ayna kış takozu uygulamalarının dinamik trim kontrolü ve yakıt tasarrufu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda söz konusu donanımların tekneye etkileyen direnci %4-5 oranında, teknenin maksimum hızını %7-7,5 oranında artırdığı, trim açısını ise 15 knot hızla giderken 1,2 derece azalttığı görülmüştür.

Esteban vd., (2000) baştan gelen dalgaların etkisi ile oluşan baş kış vurma ve dalıp çıkma hareketleri ile sınırlandırdığı çalışmasında bir feribotun, flap ve T-foilden oluşan aktif kontrol yüzeylerini modellemiştir. Elde ettiği model kontrol çalışmaları için bir simülasyon ortamı sağlamak adına geminin SIMULINK modeli ile kolayca birleştirilebilir nitelikte olmuştur. Eklentileri, PID kontrol yöntemi ile kontrol etmiştir.

Aranda vd. (2001) farklı ve çok değişkenli klasik kontrolörler (PD, birinci mertebeden filtre ve ikinci mertebeden filtre) kullanarak yüksek hızlı feribotta deniz tutması oranının azaltılması üzerine karşılaştırmalı bir çalışma sunmuştur.

Cruz vd. (2004) baştan gelen dalgalarda geminin seyri üzerine odaklandıkları çalışmasında, geminin kıç tarafında eklenti ile hareket ettirilebilen iki tane flap ve pruvaya yakın bir T-foil ele alınmıştır. Çalışmanın birinci kısmında, bilgisayar tabanlı bir simülasyon şeklinde kontrol tasarımı için bir model geliştirilmiş, ikin kısmında ise bu modeli tatmin edici kontrolörler geliştirmeye çalışmışlardır. Simülasyon, geminin matematiksel modellerine, eklentilere, dalgalara ve deniz tutması etkisine dayanmaktadır. Ayrıca geminin dikey hareketlerinin bir modelini oluşturmak ve aktif kontrolden kaynaklanan gelişmeleri doğrulamak için deneysel çalışmalar da yapılmıştır.

1.2. Gemilerde Kullanılan Stabilite Sistemleri

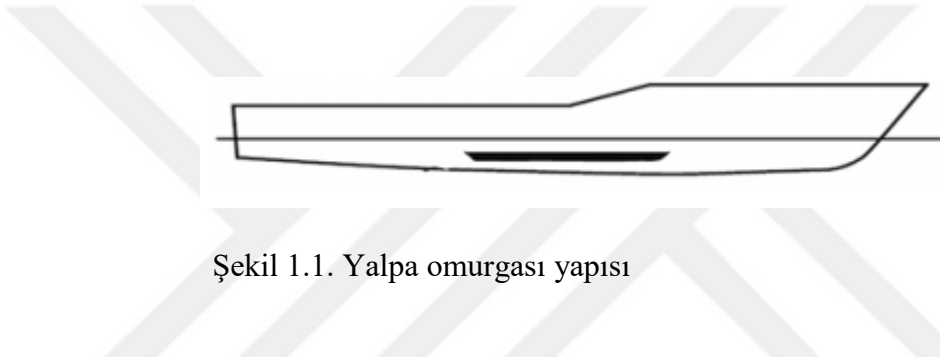
Denge konumunda yüzmekte olan bir gemi geçici bir tesir altında mevcut konumunu terk edip denge konumu etrafında salınım yaparak bir süre sonra ilk konumuna ulaşıyorsa bu durum geminin denge konumuna kararlı olduğunu gösterir (Özkan, 1977). Şayet, bir gemi denge konumunu bozan süresiz etkiler yerine dalga ve rüzgâr gibi periyodik bozuculara maruz kalıyorsa geminin ilk konumuna dönmesi söz konusu değildir. Bu durum göz önüne alınarak geminin dış etkilere karşı denge konumunda daha kararlı durabilmesi için stabilite sistemlerinin tasarımı ortaya çıkmıştır.

Stabilite sistemleri bir geminin başlangıç koşullarını en ideal şekilde korumasını sağlayan ya da maruz kaldığı bozucu etkiler karşısında geminin tekrar eski konumuna dönme kabiliyetine katkıda bulunan sistemlerdir. Gemi mühendisliğindeki teknolojik ilerlemeler, geminin gövdesindeki dalga hareketlerinin incelenmesine ve gemi üzerindeki etkileri en aza indirecek şekilde önlemler alınmasına imkân sunmuştur. Dalga hareketlerinin sorunlara neden olabileceğine dair artan farkındalık, bu hareketlerin etkilerini azaltmak için bir dizi yenilikçi gelişmeye yol açmıştır. Bu farkındalığın oluşturduğu çözüm üretme çabaları 19. yüzyılda başlamış ve kendini sürekli geliştirerek günümüzde kullanılan stabilite sistemlerin ortaya çıkmasına kadar süregelmiştir. Stabilite sistemleri, sistemin hareketli ya da sabit olma durumuna göre aktif ve pasif sistemler, gemi stabilitesine etki etme durumuna göre ise dinamik ve durağan halde etkili sistemler olarak sınıflandırılabilir. Gemilerde kullanılan

yalpa omurgaları, yalpa önleyici tanklar, cayro stabilizatörler, yalpa (fin) kanatları, trim tablalar, interseptörler, T-foiller gibi çeşitli stabilite sistemleri mevcuttur.

1.2.1. Yalpa Omurgaları

Yalpa omurgaları, sönümlemeyi artırmak ve dalgalar altında bir geminin maruz kaldığı yalpa hareketlerinin şiddetini azaltmak için önemli bir gövde formu özelliği taşımaktadır. Yalpa omurgası kullanma fikri 19. yüzyılın ortalarında Froude tarafından ileri sürülmüştür (Froude, 1871). Şekil 1.1’de gemilerde kullanılan bir yalpa omurga eklentisi gösterilmiştir (Zihnioğlu, 2016).



Şekil 1.1. Yalpa omurgası yapısı

Yalpa omurgaları teknenin iki yanında, sintine dönümüne yakın kısımda baştan kıçta uzanan omurga şeklindeki yapılardır. Bir tekne için yalpa omurgası dizayn edilirken seyir halinde en az direnci gösterecek şekilde tasarlanmalarına dikkat edilir. Yalpa omurgaları pasif yapılar oldukları için teknenin durgun halindeki yalpa hareketini sönümlemede daha etkilidirler. Yalpa omurgalarının bir diğer özelliği de geminin yalpa yaptığı yöndeki su direncine karşı etki ederek yalpa açısını azaltıp yalpa periyodunu artırmasıdır. Bu özelliklerinin yanı sıra montaj maliyeti düşük, tekne ağırlığını ve taşıma kapasitesini etkilemeyen fakat teknede ek dirence neden olan yapılardır.

1.2.2. Yalpa Önleyici Tanklar

Gemilerde yalpa önleyici olarak sıvı tanklarını kullanma kavramı ilk kez Froude (Froude, 1861) tarafından ortaya atılmıştır. Fakat Froude’un yalpa tankı tek serbest yüzeyden oluşan pasif bir tanktı. Bu çalışmanın devamında Frahm (1911) daha etkili U tipi tankları tasarlamıştır. Minorsky (1935) yalpa tankları içerisindeki suyu aktif olarak yer değiştirebileceği çalışmalarda bulunmuştur. Bunun için bir pompa kullanarak geminin

yaptığı yalpaya göre tanklardaki sıvı akışının daha hızlı değiştirilmesini sağlamış ve yalpa önleyici tanktan alınan verimi artırmıştır. Webster (1967), bu aktif tank sistemi için tasarladığı kontrolör ile sistemin verimini artırarak yalpanın azaltılmasında daha etkili sonuçlar almıştır.

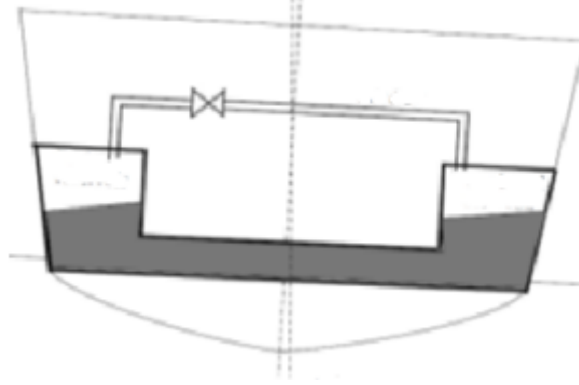
Field ve Martin (1975), yalpa tankları üzerine yaptıkları çalışmada tankların su seviyesi, tank kesit alanları, tanklar arasındaki boru devrelerinin yerleşimi, devre borularının çapı ve tankların gemi içerisindeki yerleşimi gibi parametreleri göz önünde bulundurarak bu parametrelerin yalpa sönümlemesine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca bu çalışmayı U tipi yalpa tankı ve serbest yüzey yalpa tankı için ayrı ayrı yaparak her iki sistemi de karşılaştırma imkânı sunmuşlardır. Çalışmaya göre aktif yalpa tankının serbest yüzey yalpa tankından daha emniyetli olduğu ortaya konulmuştur.

Webster vd. (1988), serbest yüzey tanklarının bünyesindeki çalkantı kırıcı perdelerde yapılacak değişimler ile hem serbest yüzey tanklarının emniyetini hem de yalpa sönümleme oranını artırmayı başarmışlardır.

Yalpa önleyici tanklar, pasif ve aktif yalpa tankları olarak sınıflandırılırlar. Aktif tankların pasif tanklardan farkı ise tank içerisindeki suyun geçişini sağlayan bir kontrol sistemine sahip olmalarıdır. Yalpa önleyici tanklar, tank içindeki akışkanın iskele ve sancak yönüne hareket etmesiyle oluşan momentlerin yalpayı sönümlemesi esasına dayanarak çalışır. Tank içerisindeki akışkan, geminin yalpa yaptığı tarafın aksi yönünde hareket ederek yalpa hareketini sönümlemeye çalışır. Geminin yalpa periyodu arttıkça tank içerisindeki akışkan çalkalanmaya başlar ve tankın sönümleme performansı düşebilir.

Yalpa önleyici tanklar, yalpa omurgaları kullanılmaya başlandıktan bir süre sonra ortaya çıkmıştır. Uzun yıllar birçok gemide kullanılan yalpa önleyici tank sistemi yüksek kapasiteli ve düşük basınçlı bir hava kompresörü içerir. Bu kompresör sayesinde tankların yukarı bölümlerine hava basılarak tankların içerisindeki basıncın değiştirilmesi sağlanır. Bu basınç değişimi stabilizatör etkisi oluşturmak için tank içerisindeki akışkan geminin bordaları arasında aktarılır. Hava kompresörünü aktif etmek ya da durdurmak ve hava vanalarını çalıştırmak için geminin hareketlerine duyarlı cayroskoplardan yararlanır.

U tipi tankın verimli çalışabilmesi için tankın içindeki akışkanın bir bordadan diğerine geçişi sırasındaki doğal periyodunun gemi yalpa periyoduna eşit olması önemlidir. Tankın düşey ve yatay kesit alan büyüklüklerinin uygun şekilde seçilmesiyle geminin yalpa hareketi periyodu ile akışkanın doğal periyodu birbirine eşitlenir (Özçelik, 2008). Şekil 1.2’de gemilerde kullanılan bir ‘U’ tipi yalpa önleyici tank gösterilmiştir (Zihnioğlu, 2016).



Şekil 1.2. U tipi yalpa tankı yapısı

Pasif yalpa tanklarının yalpa genliğinden kaynaklanan dezavantajı nedeniyle sistemi daha hızlı ve etkili hale getirmek için kontrol edilebilen aktif yalpa tankları tasarlanmıştır. Pasif yalpa tanklarından farklı olarak valf, pompa ve şamandıra elemanları içeren aktif yalpa tanklarının çalışma sistemi, geminin yaptığı yalpa hareketine göre kontrolcünün valfi açma ya da kapatma komutu ile tanklar arasındaki pompa akışkanın bir taraftan diğer tarafına tahliyesini sağlaması şeklindedir. Tanklarda var olan şamandıra ise akışkan seviyesini ayarlar. Yalpa sönümü için yeterli akışkan seviyesine ulaşıldığında şamandıra vasıtasıyla pompa üzerindeki akışkan tahliyesi kesilir.

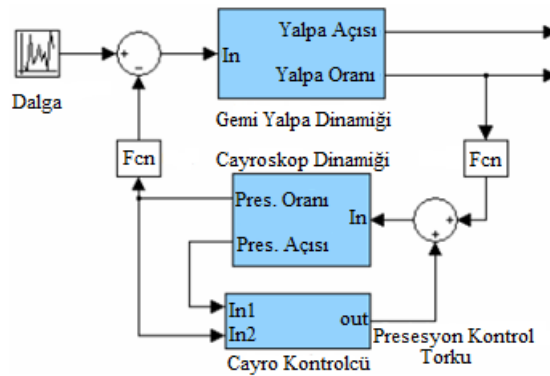
1.2.3. Cayro (Gyro) Stabilizatörler

Yalpayı denetim altına alabilmek için bazı gemilerde ve yatlarda cayro stabilizatörler kullanılmaktadır. 20. yüzyılın başında Alman Ernst Otto Schlick (1904) cayroskopların gemi yalpa sönümlemesinde kullanılabileceğini ortaya atmıştır. Schlick 1907 yılında Sea-bar isimli eski bir Alman torpido gemisinde cayro stabilizatörü test etmiştir (Arnold, 1961). Schlick cayroskobu, devinim hareketini dalgaların büyüklüğüne göre ayarlarken bazı sorunlar oluşmuş ve cayroskop test gemisinde iyi çalışmasına rağmen diğer gemilerde beklenen sonucu vermemiştir. Daha sonra Amerikalı bir mucit ve girişimci olan Elmer Ambrose Sperry, Sperry Corporation adlı bir şirket kurmuş ve ana cayroskobun devinim hareketini kontrol etmek için anahtarlar ve küçük bir cayroskop ile komuta edilen bir elektrik motoru kullanarak Schlick cayroskopunun problemini çözen bir sistem geliştirmiştir. Bu

sistemde cayroskobun devinim hızı teknenin yalpa açısıyla doğru orantılıydı ve yalpayı %95 oranında azaltmaktaydı. Sperry geliştirdiği cayro stabilizatörü ilk olarak USS Delaware (BB-28) gemisinde test etmiştir (Sperry, 1910; Chalmers, 1931).

Gemilerde kullanılan cayroskoplar iki eksenenden oluşur. Bu eksenler dönme eksenini ve çerçeve eksenidir. Gemi yalpalamaya başlamasıyla birlikte cayroskop çerçevesi de yataklar içinde baş kış doğrultusunda sallanmaya başlar. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir; gemi sancak tarafına doğru yalpa yaptığı sırada cayroskop çerçevesi geminin kış tarafına doğru, gemi iskele tarafına doğru yalpa yaptığı sırada ise cayroskop çerçevesi geminin baş tarafına doğru hareket ederek dengeyi sağlamaya çalışır. Yalpa ve baş kış vurma hareketlerini sönmlemede oldukça verimli sistemler olmalarına rağmen çalışma esnasında gürültü kirliliği oluşturmaları ve tekne içerisinde yer kaplayan ağır sistemler olmaları olumsuz taraflarıdır.

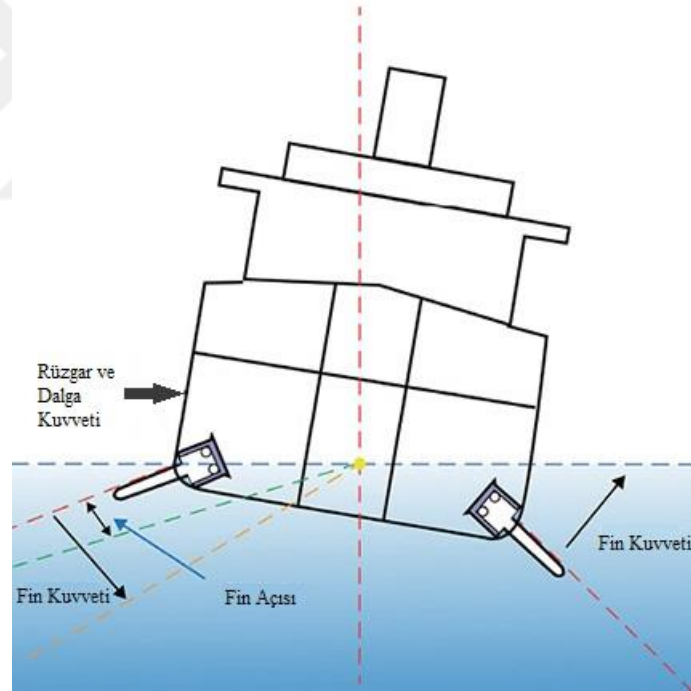
Cayro stabilizatörler, yıllar önce gemilerin salınım hareketlerini azaltmak için kullanılmasına rağmen geleneksel cayro stabilizatörlerin çok büyük ve ağır olması tercih edilen sistemler olmalarını azaltmıştı. Günümüzde ise mekanik tasarım ve otomatik kontrol sistemlerinde yapılan iyileştirmeler cayro stabilizatör sistemlerine uygulanmaya başlayınca daha kompakt ve yüksek verimli cayro stabilizatörler üretilmiştir. Şekil 1.3’de gemilerde kullanılan kontrol edilebilir bir cayro stabilizatörün Perez ve Steinmann, (2009) tarafından oluşturulan kontrol blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Cayro stabilizatör kontrol blok diyagramı

1.2.4. Yalpa (Fin) Kanat Sistemleri

Fin kanat sistemleri için ilk öneri, 1923'te Japonya'daki Mitsubishi Nagasaki Tersanesi'nde S. Motora tarafından yapıldı (Chalmers, 1931). Ayrıca sistemin patenti de yine Motora tarafından Amerika'da 1925'te alınmıştır (Perez ve Blanke, 2012). 1930'a gelindiğinde, fin kanat sistemi, bir yolcu gemisine, bir buharlı gemiye ve bir mayın temizleme gemisine başarıyla uygulanmıştı. Kanatlar, cayroskop tarafından aktif edilen bir cihaz yardımıyla standart dümen mekanizması tarafından kontrol edilmişti. İlk monte edilen kanatların çalıştırıldığı azami açı 18 derece idi ve bu açığa ulaşmak için gereken süre yarım saniyeydi. Fakat açılar kademeli olarak kontrol edilmiyor, neredeyse bir anda maksimum açığa ulaşmaktaydı (Chalmers, 1931). Şekil 1.4'te yalpa önleyici fin kanat sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (DiFrangia, 2016).

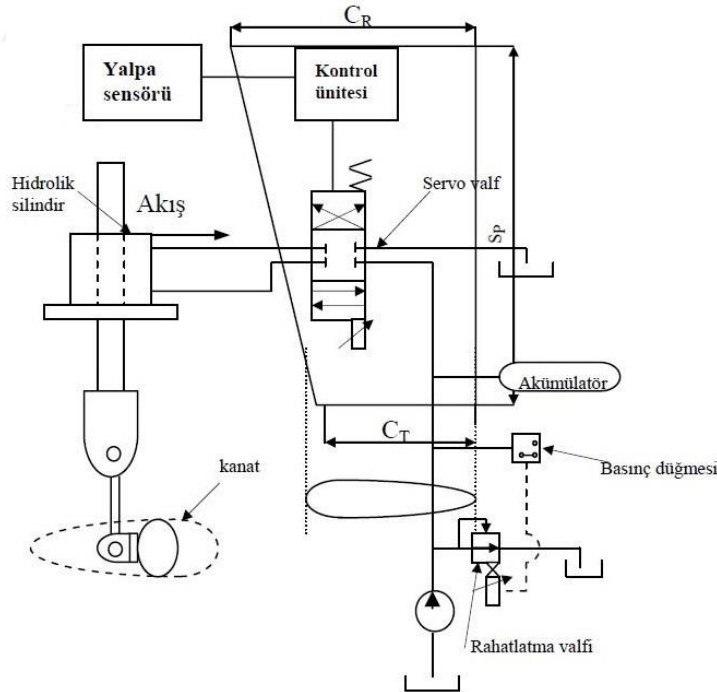


Şekil 1.4. Bir yalpa (fin) kanat sisteminin şematik gösterimi

Yalpa kanat sistemleri, su hattının altına monte edilen ve rüzgâr ya da dalgalar nedeniyle oluşan yalpa hareketini azaltmak için gövdeden yana doğru çıkan yüzgeç görünümüne sahiptir. Yalpa kanat sistemleri sabit ve hareketli olarak ikiye ayrılır. Sabit kanatlar yalpa omurgası işlevi görmesine karşın hareketli kanatlar aktif olarak kontrol

edilebilen hidrolik ya da mekanik yapılardır. Çalışma esası, oluşan yalpaya karşı ters yönde bir tepki oluşturarak dengelemeye dayanmaktadır. Gemi denizde ilerledikçe, iskele ve sancak taraflarından dışarıya uzanan kanatların üzerinden akan suyun yönü, kanat açısının ayarlanması vasıtasıyla değiştirilerek, aşağı ya da yukarı yönde stabilizatör etkisi meydana getirir.

Yalpa kanatları, kontrolcü vasıtasıyla kendi ekseninde döndürülebilir. Geminin iskele tarafındaki yalpa kanadı, geminin ilerleme yönü ile pozitif hücum açısı yapacak şekilde döndürülmüşse buna karşılık sancaktaki yalpa kanadı da negatif hücum açısı yapacak kadar döndürülür. Bu işlem ile geminin iskele tarafında yukarıya, sancak tarafında aşağıya doğru kaldırma kuvvetleri elde edilir. Bu kuvvetlerin yalpa ekseninde oluşturdukları moment kuvvetleri gemiyi sancak tarafına doğru meyil yapmaya zorlar. Geminin yapmış olduğu yalpa hareketini sönmek için yalpa kanatlarının oluşturacağı moment kuvvetleri, kanatlar için tasarlanmış bir kontrol sisteminden alınan veriler vasıtasıyla elde edilir (Özçelik, 2008). Şekil 1.5’de Kawazoe vd. (1994) tarafından oluşturulan hidrolik tahrikli aktif yalpa kanadı sisteminin kontrol ünitesi verilmiştir.



Şekil 1.5. Hidrolik yalpa kanat sistemi diyagramı

Ayrıca yalpa kanatları açılır kapanır bir sistem olarak da tasarlanabilir. Böylece yalpa kanatlara ihtiyaç duyulmadığı durumda gövde içinde oluşturulan su geçirmez bölmeye çekilerek ek bir hacim oluşturması önlenmiş olur. Fin kanat sistemleri de cayro stabilizatörler gibi yalpa hareketini yüksek sönümlenme oranına sahiptir. Fakat su hattının altında bulunan gövde çıkıntısı şeklindeki yapılar olduğundan çarpışma anında kolayca hasar alabilmeleri ve onarımlarının nispeten zor olması gibi olumsuz yönleri sahiptir. Ayrıca süratli teknelerde sürüklenme hızı yüksek olduğu için fin sistemleri bu tip teknelere uygun değildir.

1.2.5. Trim Tablar

Charles E. Emery (1892) gemilerin yalpa ve baş kış vurma hareketini sönümlemek için gemi kış aynasına ve bordolara takılan kanatçıklar ile günümüzde kullanılan trim tablaların temelini atmıştır. İskele ve sancak bordalarına yerleştirilen kanatçıklar, kış tarafına yerleştirilen kanatçıklardan daha yüksekte tutularak geminin ileri yöndeki hareketi sırasında alçak taraftaki kanatçıkların su üzerinde hareket etmesi ve gemiyi dik konuma yükseltmesi sağlanmıştır. Gerald J Curtis (1962) mevcut trim tablara kontrolcü adapte ederek seyir halindeyken tekne konumuna göre trim tabı kontrol etmiştir.

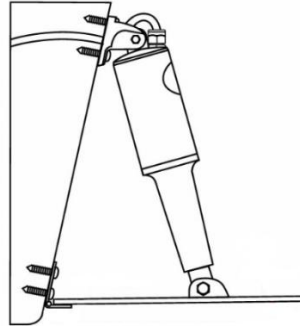
Trim tab sistemleri, tekne suda hareket ederken, teknelerin tutumunu kontrol etmek için kullanılan kayıcı ve yarı kayıcı özellikteki yüksek hızlı teknelerde kullanılmaya uygun sistemlerdir. Trim tablar kayıcı ve yarı kayıcı teknelerde rüzgâr direnci ve itme kuvvetinin etkisiyle yukarı kalkan tekne baş kısmını doğrultmak amacını taşımaktadır. Tekne hızlandıkça görüş açısını sınırlayan ve yunuslama hareketine sebep olan bir su tepesi oluşturur. Ayrıca bu su tepesi nedeniyle tekne gövdesi sürüklenmeye ve pervane ideal çalışma açısını kaybetmeye başlar. Tüm bu etkiler tekne performansının düşmesi, yakıt tüketiminin artması, yolcu ve mürettebat konforunun azalması, seyir güvenliğinin azalması gibi olumsuz sonuçlar doğurur. Bu gibi etkileri en aza indirebilmek için teknenin kış kısmına trim tablar yerleştirilir. Trim tablar, görüş açısını iyileştirir, trim ve baş kış vurma hareketlerini sönümleyerek tekne üzerindeki stresi azaltır ve rota tutuş kabiliyetini artırarak daha güvenli bir seyir sağlar. Ayrıca seyir halindeki tekneyi daha istikrarlı duruma getirerek hem yakıt tüketiminde tasarruf sağlanmasına hem de performansın artmasına imkân verir. Trim tablar kontrol edilemeyen sabit trim tablar ve kanat açısı hız ve trim açısına bağlı olarak değiştirilebilen aktif trim tablar olarak iki çeşittir.

1.2.5.1. Sabit Trim Tablar

Herhangi bir kontrolcüsü olmayan, gemi hızlandıkça ve trim açısı arttıkça kanat açıları değişmeyen, sabit bir plaka yüzeyi şeklindeki trim tablardır. Sabit trim tablar, gemi hızına bağlı olarak değişen trim açısına göre tepki veremedikleri için özellikle düşük hızlarda verim kaybına neden olurlar.

1.2.5.2. Aktif Trim Tablar

Aktif trim tablar, kayıcı ya da yarı kayıcı özellikteki gemi hızlandıkça artan trim açısına göre sahip oldukları kontrolcü sayesinde kanat açısını değiştirerek gemi altındaki akışkan basıncına gerekli ölçüde etkiyen hidrolik trim tablardır. Şekil 1.6’da aktif bir trim tab örneği gösterilmiştir.



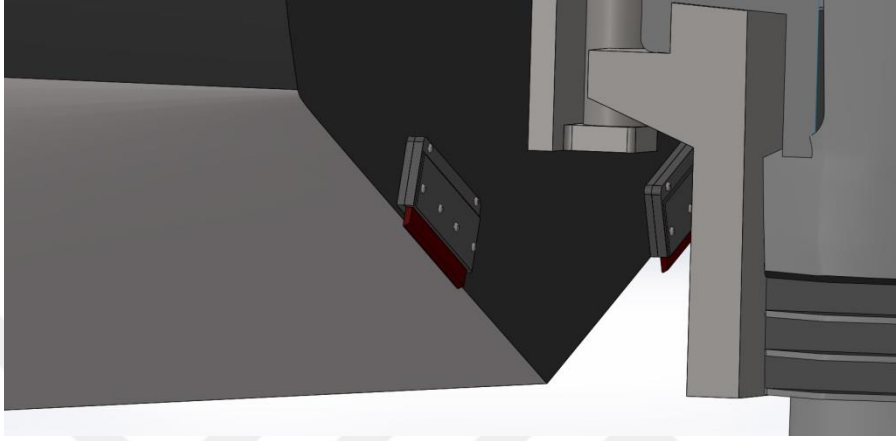
Şekil 1.6. Trim tab yapısı

1.2.6. İnterseptörler

Trim tab sistemleri gibi kayıcı ve yarı kayıcı teknelerde ve gemilerde trimi azaltmak için yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. İnterseptörler genellikle tekne gövdesine dik olan ve teknenin kıç tarafına yerleştirilen ince bir dikey plakadan oluşur. İnterseptörlerin amacı tekne seyir halindeyken tekne altında oluşan akışkan basıncına dinamik direnç panelleri vasıtasıyla etki ederek teknenin baş kıç ve iskele sancak doğrultularında dengelenmesini sağlamaktır.

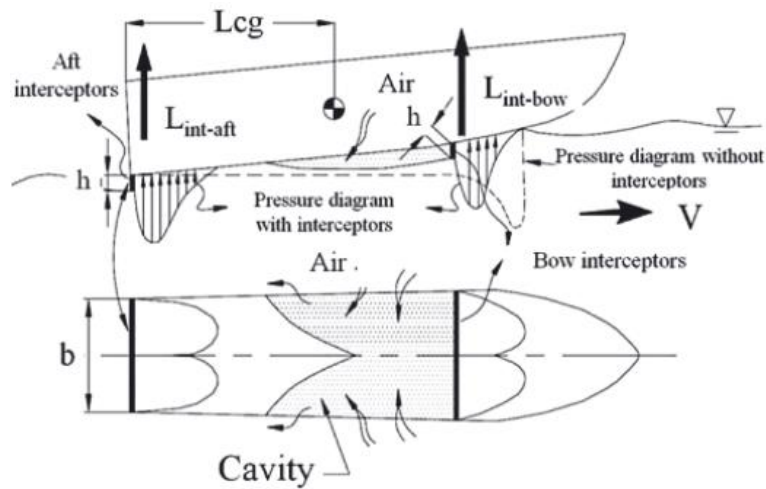
İnterseptörler, içerisinde doğrusal hareket ile tekne altındaki akış yönüne doğru bir çıkıntı yapan direnç panelleri barındırır. Direnç panelleri gövdenin alt kısmına etki eden bir

basınç bölgesi oluşturur ve kaldırma kuvveti etkisi meydana getirir. Hidrolik veya elektrikli aktüatörler, interseptör içerisindeki direnç panellerinin yüksekliğini ayarlar ve direnç panelleri ihtiyaç duyulmadığında tamamen geri çekilebilir. Şekil 1.7’de interseptör sisteminin tekneye yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 1.7. İnterseptörün tekneye yerleşimi

İnterseptörün bir başka etkisi de dinamik yükselmeyi artırarak ve tekne altında hava boşlukları oluşmasına imkân sağlayarak teknenin ıslak yüzey alanının azalmasıdır. Bu etki, tekne boyutlarına ve hızına bağlı olarak değişir. Şekil 1.8’de interseptörün etkisiyle meydana gelen ilave kaldırma kuvveti ve azaltılmış ıslak yüzey alanı değişimleri gösterilmiştir (Karimi, 2013).



Şekil 1.8. İnterseptörün tekne gövdesinde etkili olduğu fiziksel olayların gösterimi

İnterseptörler için yeni nesil trim tablalar diyebiliriz. İnteseptörler ile trim tablalar arasındaki tek fark tekne omurgasındaki sapma açısıdır. Sapma açısındaki farklılıktan dolayı interseptörlerin, trim tablara göre suyla temas eden yüzey alanları daha küçük olur ve meydana gelen sürtünme ve sürüklenme etkisi daha azdır. Bir flap ile oluşturulan kaldırma, kanat alanına ve açığa bağlıdır. Kanat yüzeyi üzerindeki basınç artışından kaynaklanan kaldırmanın yanı sıra, tekne kış aynasının öne doğru uzanan gövde yüzeyi altında değiştirilmiş basınç dağılımı ile de önemli bir kaldırma kuvveti elde edilir. İnterseptörler tekne kış tarafının kaldırılmasında daha etkili oldukları için trim tablara göre daha verimli çalışır. Ayrıca kompakt boyutları ve tasarımı tekne kış kısmında daha küçük bir çıkıntı oluşturur.

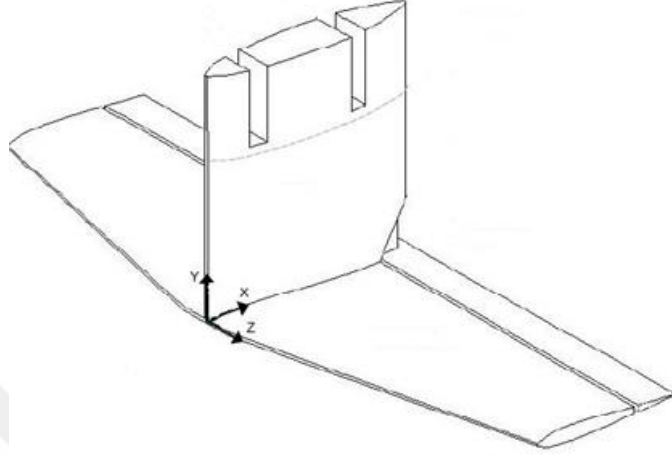
İnterseptörler, tekne hızlanırken, dönüş yaparken veya seyir halindeyken, teknenin kış kısmında oluşan basıncın seyir koşullarına göre dinamik olarak değiştirilmesi vasıtası ile teknenin performans, konfor ve güvenliğini artırmakta ve ayrıca yakıt tüketiminde tasarruf sağlamaktadır.

Trim ve stabilite kontrolü için tasarlanan sistem kayıcı ve yarı kayıcı özellikteki küçük ve orta boyutlu motor yatlar, sürat tekneleri, askeri gemiler, yolcu gemileri, sahil güvenlik botları ve insansız su üstü araçlarında kullanılabilir. Ayrıca tekne boyutuna bağlı sistem tasarımı yapılması halinde farklı tür, amaç ve büyük boyuttaki tekneler ile farklı tasarım formu ve sevk sistemine sahip deniz araçları için de bu sistem kullanılabilir.

1.2.7. T-foiller

T-foiller, bir gemi için stabilizatör görevi gören ve sağladığı artan stabilite ile yüksek hızlarda konforlu bir sürüş imkânı sunan sistemlerdir. Bir gemi ve çevredeki su, hidrodinamik kuvvetler ve gemi dinamikleri arasındaki etkileşimleri içeren dinamik bir sistemi temsil eder. Bu dinamik sistem içerisinde T-foilin ana görevi, geminin dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini azaltmaktır. T-foiller, geminin omurga hattına monte edilen dengeleyici kanatlardır. Dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini hafifletmek için geminin baş tarafına konumlandırılırlar. T-foil, gemi hareketlerini ölçen ve bu hareketlere karşı direnç oluşturmak için T-foil kanatlarını ayarlayan bir kontrol sistemine bağlanır. Aktif sistemler olan T-foiller, geri çekilemeyen ve geri çekilebilir sistemler olarak iki çeşittir. Geri çekilemeyen sistemler cıvata bağlantılı ve döner T-foiller olarak ayrılırken, geri çekilebilir

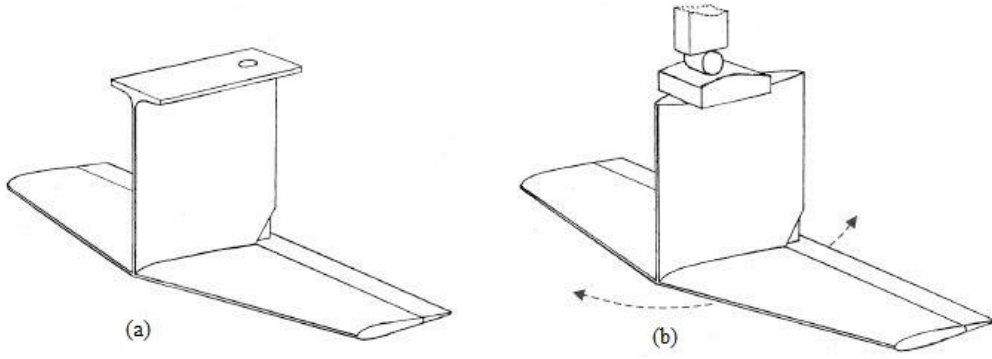
T-foiller ise geri çekme tekniğine göre gemi boyunca ya da dikey yönde geri çekilme olarak sınıflandırılırlar. Şekil 1.9'da bir T-foil yapısı görülmektedir (Sicard, 2002).



Şekil 1.9. T-foil yapısı

1.2.7.1. Geri Çekilemeyen T-foiller

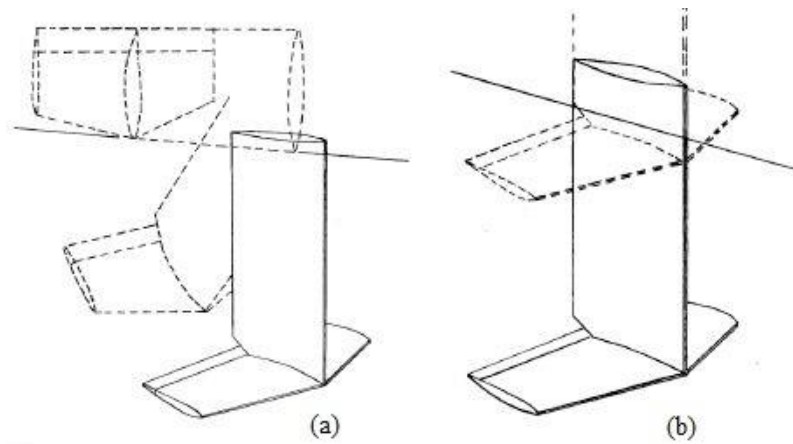
Cıvata bağlantılı geri çekilemeyen T-foiller en basit yapıya sahip T-foillerdir. Yatay yüzgecin arka ucunda yer alan kanat haricindeki kısımlar gövdeye sabitlenmiştir ve serbestlik derecesi yoktur. Hidrolik tüketiminin ve bakım maliyetinin düşük olması avantajları arasındadır. Bir diğer geri çekilemeyen T-foil türü olan döner T-foillerin ise hücum açısı, gövdeye birleştirme eki sayesinde değiştirilebilir. Bu iki tür T-foil, gövdenin içinde yer kaplamayan ve maliyeti nispeten düşük sistemlerdir. Dezavantajları ise geminin draftını artırması, kullanılmadığı zamanlarda bile gemi direncinin artması ve dış etkilere maruz kalmaya müsait bir yapısının olmasıdır. Şekil 1.10'da cıvata bağlantılı ve döner T-foil şekilleri gösterilmiştir (Sicard, 2002).



Şekil 1.10. (a) Cıvata bağlantılı ve (b) döner T-foil yapısı

1.2.7.2. Geri Çekilebilir T-foiller

Geri çekilebilir T-foiller, gövdenin içinde tamamen veya kısmen depolanabilir. Bu özelliğinden dolayı yakıt tüketiminin artmasına ve gemi hızını azalmasına neden olan sürtünme direnci daha düşüktür. Ayrıca geri çekilebilir T-foillerin dış etkilere maruz kalarak hasar görme riski ve oluşturdukları draft, geri çekilemeyen T-foillerden daha düşüktür. Geri çekilebilir T-foiller kendi içerisinde gemi boyunca geri çekilebilir ve dikey yönde geri çekilebilir olarak ikiye ayrılır. Geri çekilebilir T-foiller su hattı üzerinde daha fazla mekanik ve hidrolik bileşenlere sahiptir. Bu nedenle işletme ve bakım maliyetleri geri çekilemeyen T-foillere göre daha yüksektir. Ayrıca gemi gövdesinde fazla yer kaplaması bir diğer dezavantajdır. Şekil 1.11’de gemi boyunca çekilebilir ve dikey yönde çekilebilir T-foil şekilleri gösterilmiştir (Sicard, 2002).



Şekil 1.11. (a) Gemi boyunca çekilebilir T-foil ve (b) dikey yönde çekilebilir T-foil yapısı

1.3. Gemilerde Aktif Kontrol

Deniz araçlarında sıkça kullanılan ve önemli bir rol oynayan birçok kontrol sistemi vardır. En yaygın kontrol sistemleri uygulamaları mekanik, hidrolik, pnömatik ve elektrikli sistemlerdir. Mekanik sistemler ve uygulamalarına örnek olarak bağlantı mekanizmaları, dişli sistemleri ve yaylı ve damperli sistemler verilebilir. Hidrolik ve pnömatik sistemler pompalar, valfler, boşaltma ve yükleme birimleri, ambar kapakları gibi sistemlerdir. Elektrikli sistemlere ise jeneratör, aydınlatma, iklimlendirme, yangın ve alarm sistemleri örnektir.

Otomatik kapalı çevrimli gemi kontrolünün geçmişi, 1911'de seyir koruması için ilk otomatik gemi dümen mekanizmasını kuran Elmer Sperry ile başladı. Bu sistem geribildirim kontrolü ve otomatik kazanç ayarlamaları ile değişen deniz durumlarında başarılı olmuştur (Bennet, 1979).

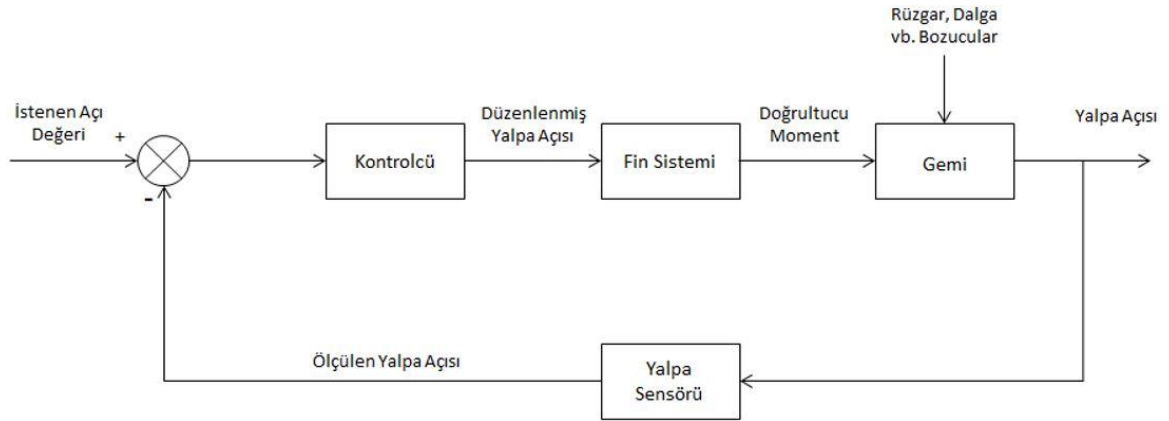
Nicholas Minorsky (1922), bugünkü Oransal-İntegral-Türevsel (PID) kontrolü olarak adlandırılan üç parametreden oluşan bir kontrol yasasını formüle ettiği bir durum ile geribildirim kontrol sisteminin detaylı bir analizini sunmuştur.

1945 yılında Allen, J.E. yalpayı sönmek için aç-kapa yani ikili kontrol şeklinde fin kanat sistemini kontrol etmiştir. Sonraki çalışma ise, aç-kapa kontrolün dezavantajları görüldüğünden, Bell (1957) tarafından fin kanat sistemleri oransal kontrolcü ile kontrol edilmiştir.

Kontrol sistemleri birçok alanda olduğu gibi gemilerde de ihtiyaç duyulan ve uygulanabilen sistemlerdir. Gemilerde kontrol sistemleri, ileri hız kontrolü, rota tutuş kontrolü, dinamik konumlandırma, dümen kontrolü, stabilite sistemleri kontrolü, dönüş ve manevra kontrolü gibi alanlara uygulanmaktadır. Örneğin; otomatik pilota rota tanımlamak için kullanılabilir. Rota kontrolü için dümen konumu ve dümen dişlisi pusula ölçümlerine göre kontrol edilir. Rüzgâr, dalga gibi dış etkiler gemiyi rotasından saptırmaya çalışacağı için iyi bir kontrolcü ile söz konusu bozucuların etkileri en aza indirilebilir. Bir diğer kontrol kullanım alanına örnek verecek olursak gemi ana makinasının soğutma suyu sıcaklığını kontrol etmek gerekebilir. Bu durumda ise soğutma suyu akışı ve akış kontrol valfleri, dizel motor soğutma suyu çıkışındaki sıcaklık sensöründen (termokupl) alınan değerlere göre kontrol edilir. Gemilerde en önemli parçalardan biri de jeneratörlerdir. Jeneratör motor devrini ve elektrik frekansını korumak için, takometre ölçümlerine ve motor yakıt akışına

göre yakıt pompası ve gavernör (dizel makinenin çalışması esnasında makine silindirlerine verilen yakıt miktarını denetleyen eleman) kontrol edilir (Roskilly ve Mikalsen, 2015).

Fin kanat sistemi ile yalpa stabilizasyonu, dalga yükleri etkisi altındaki bir geminin davranışını iyileştirmek için sıklıkla kullanılır. Fin kanat kontrolü için tasarlanan bir otomatik kontrolcü, gerçek yalpa açısını ölçerek kanatçıkların açısını kontrol edebilir ve bir doğrultucu moment üretilir. Şekil 1.12’de fin yalpa stabilizasyonunu temsil eden geribildirim blok diyagramını gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Fin yalpa stabilizasyon kontrol blok diyagramı

Gemiler için kontrol sistemi tasarlanırken, kontrol edilmek istenen her bir kabiliyet için farklı serbestlik derecesi ve matematik modeli dikkate alınarak tasarım yapılır. Örneğin, ileri hız kontrolü için ileri öteleme hareketi, rota kontrolü için savrulma ve öteleme hareketleri, dinamik konumlandırma kontrolü için ileri ve yan öteleme ile savrulma hareketleri, trim açısı kontrolü için baş kış vurma hareketi incelenir.

Gemilere uygulanan kontrol sistemleri ile işletme maliyeti ve yakıt tüketimi azaltılabilir; operasyon performansı ve güvenliği, sistem güvenilirliği, yolcu, mürettebat ve yük emniyeti ile konforu artırılabilir.

1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez kapsamında, gemilerde stabilite artırıcı sistemlerin bir türü olan trim tab ve T-foil dinamiğinin bir hızlı feribot üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu sistemlerin kontrol uygulamaları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle trim tab ve T-foil sistemlerinin

uygulanacağı hızlı feribotun matematik modeli çıkarılmış ve feribot modelinin dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketleri ile hidrodinamik karakteristikleri analiz edilmiştir. Kontrol kapsamında ise hızlı feribotun kış aynasına hem iskele hem sancak bölgesinde yerleştirilen trim tablalar ile pruvaya yakın bir noktaya yerleştirilen T-foilin farklı açıklıklarda kontrolü sağlanarak feribotun düşey ivmelenmesine etkisi incelenmiştir. Ortaya konulan çalışmalar, hızlı feribotun baştan gelen düzensiz dalgaların etkisi altında olduğu durum için yapılmıştır.

Bu çalışmanın bölümleri aşağıda kısaca özetlenmiştir. “GENEL BİLGİLER” ana başlığı altındaki bu bölümde, gemi hareketlerinin matematik modellemesi, gemilerde kullanılan stabilize yöntemleri ve aktif kontrol hakkında ön bilgiler ile bu tez çalışmasının amaç ve hedefleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 2’ de yer alan “YAPILAN ÇALIŞMALAR” ana başlığı altında tez çalışmasına konu olan hızlı feribotun, matematik modelinin çıkarılarak baştan gelen dalgalar etkisinde dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinden kaynaklanan düşey ivmelenmenin elde edilmesine yer verilmiştir. Baştan gelen düzensiz dalgaların farklı deniz durumlarında yolcular üzerinde neden olduğu deniz tutması oranları (MSI) incelenmiştir. Elde edilen hızlı feribot modeline, dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketleri üzerindeki etkileri incelenecek olan trim tab ve T-foil dinamiği ilave edilmiştir. Daha sonra trim tab ve T-foil kontrolü oransal-integral-türevsel kontrol (PID) ve doğrusal kuadratik regülatör (LQR) kontrol yöntemleri ile yapılmıştır. Ayrıca gemi modellenmesi, trim tab ve T-foil dinamiğinin oluşturulması ve kontrol edilmesi sırasında kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. “BULGULAR ve İRDELEME” ana başlığı altındaki Bölüm 3’de, feribotun hidrodinamik analizleri sonucu elde edilen grafikler ve sonuçlar ile kontrol yöntemlerinden elde edilen sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır. Hızlı feribotun kontrolsüz ve kontrollü cevapları karşılaştırılmış ve farklı kontrolcü tasarımlarının birbirlerine göre üstünlükleri irdelenmiştir. Son olarak hızlı feribotun kontrolsüz ve kontrollü halde yaptığı düşey ivmelenmenin deniz tutması (MSI) oranındaki değişime etkisi incelenmiştir. “SONUÇLAR” ana başlığı altındaki Bölüm 4’te, elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler verilmiş ve sonuçlar arasında genel karşılaştırmalar yapılmıştır. “ÖNERİLER” ana başlığı altındaki Bölüm 5’de ise, yapılan tez çalışmasıyla ilgili gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir. “KAYNAKLAR” ana başlığı altındaki Bölüm 6’da, tez çalışması sırasında yararlanılan kaynaklar verilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tezde, öncelikle hızlı bir feribotun matematik modeli Lagrange yöntemi ve Newton'un ikinci yasasından faydalanılarak çıkarılmış ve altı serbestlik dereceli hareketlerinden dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin dinamik analizi yapılmıştır. Hızlı feribotun modeli elde edilirken Savitsky'nin teorik ve deneysel çalışmaları ile ortaya koyduğu metodundan yararlanılmıştır. Sayısal yöntemlere ve Savitsky'nin kayıcı teknelerdeki yunuslama hareketi üzerinde yaptığı çalışmalardaki teorisine dayanan dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin etkileri incelenmiştir. Stabilite artırıcı sistemler olan feribotun kış tarafına yerleştirilen trim tab ile pruvaya yakın bir bölgede omurga hattına yerleştirilen T-foil sistemlerinin dinamiği elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen feribot matematik modeline trim tab ve T-foil sistemlerinin matematik modeli ilave edilmiştir. Trim tab ve T-foil sistemlerinin otomatik kontrolünü sağlamak için PID ve LQR kontrolcüler tasarlanmıştır. Feribotun kontrolsüz ve kontrollü haldeki dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerindeki farklılıklar karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Tasarlanan kontrolcüler karşılaştırılarak sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Pierson-Moskowitz modelinden yararlanılarak düzensiz bir dalga modeli oluşturulmuş ve çalışmalar hızlı feribotun baştan gelen düzensiz dalgalara maruz kaldığı varsayılarak yapılmıştır. Son olarak düşey ivmelenmenin yolcular üzerindeki etkisini görebilmek için hızlı feribotun kontrolsüz ve kontrollü durumda deniz tutması oranı (MSI) değişimi incelenmiştir.

2.1. Hızlı Feribot Dalıp Çıkma ve Baş Kış Vurma Dinamiğinin Modellenmesi

Günümüzde gemi inşaatı teknolojisinin giderek gelişmesiyle beraber gemilerden beklenen özellikler farklılık göstermekte, daha karmaşık gemilerin tasarımı yapılmakta ve tasarlanan gemilerin dalgalar arasındaki hareketlerinin sayısal analizi ve model deneyleri ile kontrolü gerekli hale gelmiştir (Okan, 2010). Böylece gemilerin akışkan üzerindeki ve dalgalar arasındaki tepkilerine göre geminin stabilitesinin ve manevra kabiliyetinin artırılmasına yönelik önlemler alınabilir.

Geminin su yüzeyindeki hareketlerinin dinamik analizi iki kısım olarak ele alınır. Birinci kısım hareketler sırasında gemiye çevresinden etki eden kuvvetleri inceleyen

hidrodinamik analiz; ikinci kısım ise bu etkiler altında geminin yaptığı hareketleri inceleyen dinamik analizdir (Okan, 2010).

Gemiye su yüzeyinde etki eden kuvvetlerin ve bu kuvvetler etkisinde gemi hareketlerinin irdelenmesine geminin matematik modellenmesi denir. Gemi hareketlerinin matematik modelinin oluşturulmasındaki amaç gemilerin gerek demirleme durumunda gerekse seyir halindeki davranışlarını tahmin etmektir. Bu sayede gerçek ortamdaki gemi hareketleri ve tepkileri bilgisayar ortamına gerçeğe yakın bir şekilde aktararak simülasyonlar oluşturulabilir ve fiziksel problemin çözümüne yönelik çalışmalar yapılabilir. Bir geminin matematik modelinin oluştururken öncelikle gerekli değişkenleri ve parametreler belirlenir. Daha sonra söz konusu değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkileri ele alınır ve gerekli görülen yerlerde mümkün olduğunca gerçeğe en yakın olacak şekilde kabuller yapılabilir. Oluşturulmak istenen modele dair yasa, prensip ya da yöntemler göz önünde bulundurularak formüller ile ifade edilen matematik model oluşturulur. En son aşamada ise elde edilen matematik model ile problem çözülerek sonuçlar analiz edilir.

Gemiler altı serbestlik derecesinde hareket eden sistemlerdir. Bu altı serbestlik derecesi doğrusal hareketler olan; boyuna öteleme, yan öteleme, dalıp çıkma ve açısal hareketler olan; yalpa, baş kış vurma, savrulma hareketlerinden oluşur. Gemi hareketlerinin matematiksel modellenmesi söz konusu altı serbestlik dereceli hareketlerin denklemlerinin oluşturulmasıyla elde edilir. Hareketlerin modellenmesinde kullanılacak semboller ve ifadeler Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Altı serbestlik derecesi hareketleri tanım ve gösterimleri

Hareket/Dönüş Yönü	Kuvvet ve Momentler	Doğrusal ve Açısal Hız	Konum ve Açı
x-ekseninde doğrusal hareket (Boyuna öteleme)	X	u	x
y-ekseninde doğrusal hareket (Yana öteleme)	Y	v	y
z-ekseninde doğrusal hareket (Dalıp-çıkma)	Z	w	z
x-ekseninde dönme hareketi (Yalpa)	K	p	φ
y-ekseninde dönme hareketi (Baş-kıç vurma)	M	q	θ
z-ekseninde dönme hareketi (Savrulma)	N	r	ψ

Genel olarak hareket denklemleri oluşturulurken Lagrange yöntemi ve Newton'un ikinci yasası kullanılır. Gemiye etki eden hidrodinamik kuvvetler ve momentleri türetmek için, literatürde iki yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşım, kuvvet fonksiyonunun Taylor serisine dayanan matematiksel eşitlikleri kullanmaktadır. İkinci yaklaşım, dış kuvvetleri ve momentleri türetmek için geminin ıslak yüzeyine etki eden hidrodinamik basınçtan yararlanmaktadır (İbrahim, 2009)

Newton hareket kanunları ile kütle merkezine göre elde edilen moment denklemlerinin genel hali aşağıdaki şekildedir (Fossen ve Fjellstad, 1995);

$$I_0 \overset{0}{\omega} + \omega \times (I_0 \omega) + m r_G \times (\overset{0}{v}_0 + \omega \times \overset{0}{v}_0) = m_0 \quad (2.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte ω açısal hız vektörü, $\overset{0}{\omega}$ gemiye bağlı referans ekseninde ω 'nın zamana bağlı türevi, I_0 atalet momenti, m gemi kütlesi, $r_G = [x_G, y_G, z_G]^T$ ağırlık

merkezi, U_0 doğrusal hız vektörü, U_0^o gemiye bağlı referans ekseninde kütle merkezinin ivmesi yani doğrusal hızın zamana bağlı türevi, m_0 dış kuvvetlerden kaynaklanan moment olarak temsil edilmektedir.

(2.1)'deki denklemi altı serbestlik dereceli hareketlerin her birine uyguladığımızda hareket denklemleri,

$$X = m[\dot{u} + qw - rv + x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(rp + \dot{q})] \quad (2.2)$$

$$Y = m[\dot{v} + ru - pw - y_G(p^2 + r^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] \quad (2.3)$$

$$Z = m[\dot{w} + pv - qu - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rp + \dot{p})] \quad (2.4)$$

$$K = I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[y_G(\dot{w} + pv - qu) - z_G(\dot{u} + ru - pw)] \quad (2.5)$$

$$M = I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[z_G(\dot{u} + qw - rv) - x_G(\dot{w} + pv - qu)] \quad (2.6)$$

$$N = I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq + m[x_G(\dot{v} + ru - pw) - y_G(\dot{u} + qw - rv)] \quad (2.7)$$

şeklinde elde edilir (Fossen, 1994).

Eşitliklerdeki $u, v, w, \dot{u}, \dot{v}, \dot{w}$ doğrusal hız ve ivmeleri; $p, q, r, \dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ açısalsal hız ve ivmeleri; I_x, I_y, I_z eksenler etrafındaki atalet momentlerini; X, Y, Z, K, M, N ise kuvvet ve momentleri temsil eder.

Son yıllarda yüksek hızlı kayıcı teknelerin süratli olmaları ve performanslarından dolayı askeri alanda, eğlence ve yarış gibi hobi alanlarında ve ulaşım alanında kullanımları yaygınlaşmıştır. Kayıcı teknelerin karakteristik özellikleri; nispeten küçük boyutlarda, genellikle dalgaları yarabilmek için "V" formuna ve çeneli gövdeye, yüksek Froude sayısına, azaltılmış ıslak alana ve yüksek hızlarda koşu trimine sahip olmalarıdır. Hareket halindeki tekne davranışının doğru analizi, esas olarak çeşitli deniz koşullarında optimum ve güvenilir çalışmalarının önemi nedeniyle büyük bir rol oynamaktadır. Bu gövdelerin

yapısal tasarımı, ağırlığı, hidrodinamik performansları, maliyeti ve taşıyabilecekleri yükler üzerinde doğrudan etkileri olduğundan önemlidir.

Bu çalışmada, trim tab ve T-foil sistemlerinin hızlı feribotun düşey ivmelenmesine etkisi inceleneceği için bu hareketin karakteristiğini belirleyen baş kış vurma ve dalıp çıkma hareketlerini modellemek yeterli olacaktır. Bu nedenle aşağıda verilen Lloyd (1989) tarafından geliştirilen düşey hareket denklemleri dikkate alınmıştır.

$$(m + A_{33})\ddot{x}_3(t) + B_{33}\dot{x}_3(t) + C_{33}x_3(t) + A_{35}\ddot{x}_5(t) + B_{35}\dot{x}_5(t) + C_{35}x_5(t) = F_3 \cos(\omega_e t + \beta_3) \quad (2.8)$$

$$(I_5 + A_{55})\ddot{x}_5(t) + B_{55}\dot{x}_5(t) + C_{55}x_5(t) + A_{53}\ddot{x}_3(t) + B_{53}\dot{x}_3(t) + C_{53}x_3(t) = F_5 \cos(\omega_e t + \beta_5) \quad (2.9)$$

m geminin kütleini, A_{33} dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan ek su kütleini, A_{55} baş kış vurma hareketinden kaynaklanan ek kütle atalet momentini, B_{33} dalıp çıkma hareketi sönüm kuvveti katsayısını, B_{55} baş kış vurma hareketi sönüm momenti katsayısını, \ddot{x}_3 dalıp çıkma hareketinin ivmesini, \dot{x}_3 dalıp çıkma hareketinin hızını, x_3 dalıp çıkma hareketini, \ddot{x}_5 baş kış vurma hareketinin ivmesini, \dot{x}_5 baş kış vurma hareketinin hızını, x_5 baş kış vurma hareketini, F_3 dalıp çıkma hareketinin kuvvetini, F_5 baş kış vurma hareketinin momentini, β_3 dalıp çıkma kuvveti faz farkını, β_5 baş kış vurma momenti faz farkını, I_5 baş kış vurma hareketinin atalet momentini, C_{33} dalıp çıkma doğrultucu kuvvet katsayısını, C_{55} baş kış vurma doğrultucu moment katsayısını ifade etmektedir.

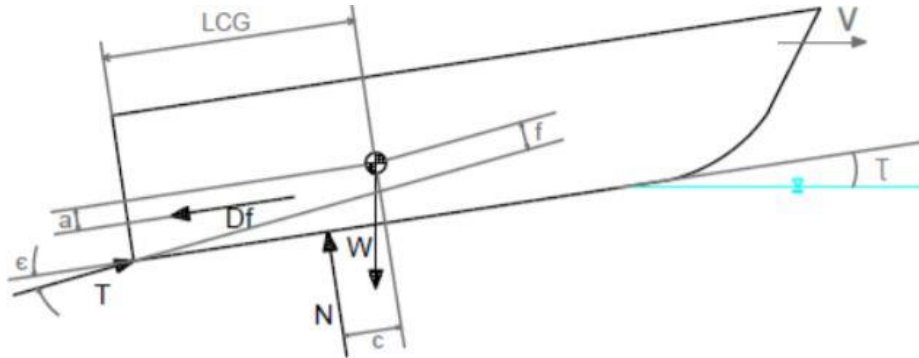
Model olarak kullanılan Silvia Ana isimli hızlı feribotun özellikleri Tablo 2'de verilmiştir (Esteban vd., 2000).

Tablo 2. Silvia Ana hızlı feribotunun boyut ve özellikleri

Boyut Tanımı	Sembol	Değer	Birim
Baştan kıçta uzunluk	L_{OA}	125	m
Su hattı uzunluğu	L_{WL}	110	m
Maksimum genişlik	B	14,696	m
Draft	T	2,405	m
Kütle	m	1770	ton
Maksimum Hız	V_{max}	42	knot

2.2. Savitsky Metodu

Yunuslama hareketi kayıcı teknelerin en çok maruz kaldığı dinamik kararsızlık biçimlerinden biridir. Teknenin yaptığı yunuslama hareketi, baş kıç vurma ve dalıp çıkma salınımlarının birleşiminden oluşur. Bu salınımlar farklı genlikte meydana gelerek tekne kontrolünün kaybına, mürettebatın ya da teknenin zarar görmesine neden olabilir. Kayıcı teknelerin maruz kaldığı bu etkiler Savitsky tarafından hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir ve yunuslama hareketinin ağırlık merkezi, tam genişlik, gövde tasarımı ve karina kalkımından (teknenin omurgadan itibaren sintine dönümüne kadar yapmış olduğu yükselme) etkilendiği ortaya konulmuştur (Savitsky, 1964). Şekil 2.1’de Savitsky’nin (1964) çalışmaları sonucu ortaya koyduğu kayıcı tekne üzerine etkileyen kuvvetler bir tekne formu üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Savitsky kayıcı tekne üzerine etkileyen kuvvetlerin gösterimi

Tekneye etkiyen düşey kuvvet Denklem (2.10)'da, yatay kuvvet ise Denklem (2.11)'de verilmiştir.

$$\Delta = N \cos \tau + T_f \sin(\tau + \varepsilon) - D_f \sin \tau \quad (2.10)$$

$$T_f \cos(\tau + \varepsilon) = D_f \cos \tau + N \sin \tau \quad (2.11)$$

Burada τ trim açısını, ε omurga hattı ile itki doğrultusu arasındaki açıyı, D_f sürtünmeden kaynaklanan sürüklenme kuvvetini, T_f pervane itişinden kaynaklanan sürtünme kuvvetini temsil eder.

Ağırlık merkezi etrafındaki baş kış vurma momentini ifade eden denklem (2.12)'de verilmiştir.

$$N + D_f a - T_f = 0 \quad (2.12)$$

a sürüklenme kuvveti bileşeninin ağırlık merkezine uzaklığıdır.

$C_{L\beta}$ kalkıntı açısıyla birlikte tekne gövdesinin yükselme katsayısı aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$C_{L\beta} = \frac{m}{0.5\rho V^2 b^2} \quad (2.13)$$

m tekne kütleini, ρ deniz suyu yoğunluğunu V hızı, b tekne genişliğini ifade eder.

Düz bir levha (kalkıntı açısı sıfır) olarak kabul edilen gövdenin kaldırma katsayısı,

$$C_{L0} = C_{L\beta} + 0.0065\beta C_{L0}^{0.6} \quad (2.14)$$

λ , ortalama ıslak uzunluk-genişlik oranıdır (L_m/b) ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$C_{L0} = \tau^{1.1} \left(0.0120\lambda^{0.5} + \frac{0.0055\lambda^{2.5}}{C_v^2} \right) \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'te τ trim açısını temsil eder. C_v ise hız katsayısıdır aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{gb}} \quad (2.16)$$

Toplam hidrodinamik sürüklenme (D), hem sürtünmeden kaynaklanan sürüklenme (D_f) hem de basınç kuvvetinden kaynaklanan dirençten (D_p) meydana gelir.

$$D = D_p + \frac{D_f}{\cos \tau} = \Delta \tan \tau + \frac{C_f \rho V_m^2 \lambda b^2}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (2.17)$$

Kayıcı gövde altındaki ortalama hız V_m aşağıdaki şekilde bulunur.

$$V_m = V \left(1 - \frac{C_{L\beta}}{(\lambda \cos \tau)} \right)^{0.5} \quad (2.18)$$

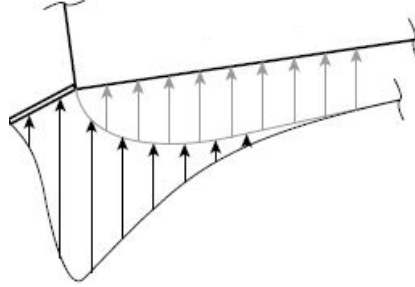
Kalkıntı açısının sıfır olduğu durumda ise ortalama hız aşağıdaki denklemden bulunur.

$$V_m = V \left(1 - \frac{0.0120 \tau^{1.1}}{(\lambda^{0.5} \cos \tau)} \right) \quad (2.19)$$

2.3. Trim Tab Modeli ve Dinamiği

Trim tablار kayıcı ve yarı kayıcı teknelere uygulanabilen sistemler olduğundan trim tablارın etkisini analiz edebilmek için öncelikle kayıcı teknelerin dinamiği incelenmelidir. Kayıcı tekneler yüksek hızlara ulaşabilmeleri için tasarlanmış teknelerdir. Tekne hızlanmaya başladığında tekne ile su yüzeyi arasındaki hız farkı nedeniyle basınç ortaya çıkar. Bu basınç, yerçekimi kuvvetine karşı koyan hidrodinamik kaldırma kuvveti adı verilen bir kuvvet oluşturur. Yeterince yüksek hıza ulaşan bir tekneye etki eden hidrodinamik kaldırma kuvveti teknenin ıslak alan hacminin azalmasına dolayısıyla da teknenin kayıcı hale gelmesine neden

olur. Şekil 2.2’de tekne altında oluşan akışkan basıncına trim tabın etkisi gösterilmiştir (Rijkens, 2011).

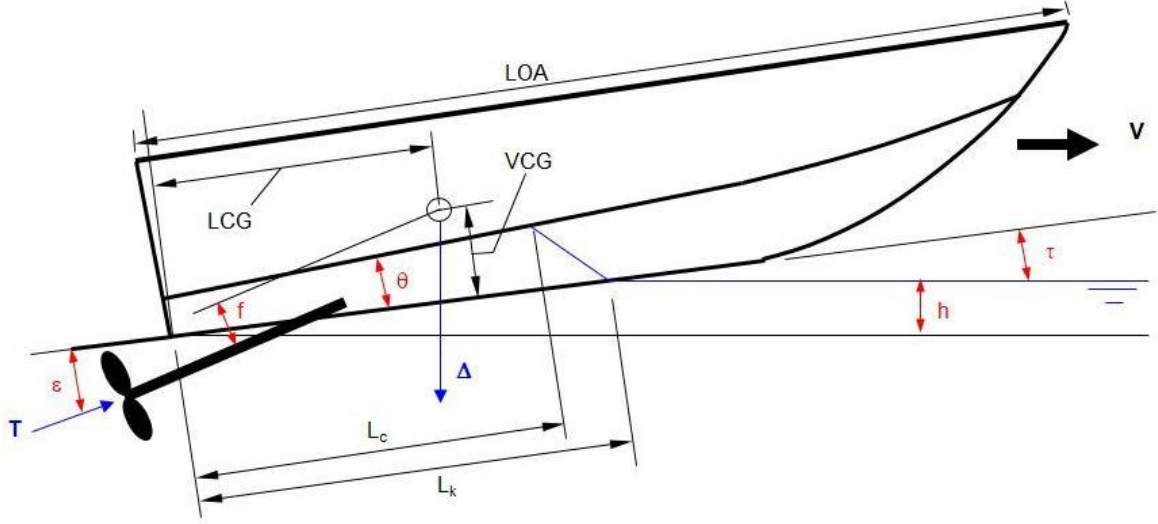


Şekil 2.2. Trim tab eklentili bir tekne altındaki basınç dağılımı

Sakin sularda bile yüksek hızlı teknelerin stabilite sorunları çok önemlidir. Yüksek hızlı bir kayıcı tekne için, enine veya boyuna dengesizliğe bağlı olarak, birçok tehlikeli hareket türünün ortaya çıkabileceği bilinmektedir. Trim değişimleri gemi direncinde artışa neden olabilir ve hızlı teknelerde baş kış vurma gibi bozucu etkiler yaratabilir. Enine stabilite kararsızlığı, teknenin çene kısmının iskele sancak doğrultusunda salınım yapmasına bağlı olarak rota tutma yeteneğinin kaybına ve teknenin yan yatmasına neden olabilir. Boyuna stabilite kararsızlığı ise dalıp çıkma ve baş kış vurma salınımlarına bağlı olarak tekne pruvasının batmasına neden olabilir. Bu nedenlerden ötürü trim kararsızlığını kontrol etmek ve ortadan kaldırmak için trim tab, interseptör gibi sistemlerin kullanılması önemlidir.

Dawson ve Blount yöntemi ile Brown formülleri, trim tab hesaplamalarına dayanmaktadır. Bu iki çalışma, trim tabdan dolayı meydana gelen kaldırma kuvvetini hesaplamanın yollarını sunar. Ancak sadece Brown çalışmasında ek sürüklenmeyi de hesaba katarak bir denklem oluşturmuştur. Dawson ve Blount ile Brown çalışmalarında, trim tabın tekne üzerindeki etkileri ve bu etkilere dair tekne üzerinde oluşan ek parametrelerin bulunmasında eşitlikler ortaya koymuştur (Brown, 1971; Dawson ve Blount, 2002).

Şekil 2.3’de kayıcı tekne üzerindeki kuvvetler, trim tab kuvvetleri ile birlikte verilmiştir (Savitsky, 1964).



Şekil 2.3. Trim tab eklentili bir kayıcı tekne üzerindeki kuvvetlerin gösterimi

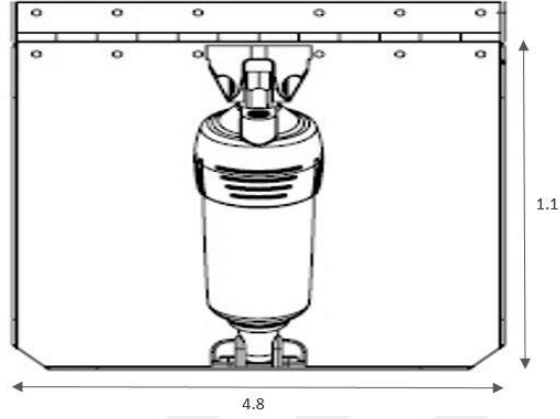
Trim tabın tekneye eklenmesiyle tekne üzerinde iki kuvvet etkisi daha oluşur. Teknenin matematik modeline eklenmesi gereken bu kuvvetler kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvvetidir. Yeni modelin bir parçası olarak, kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti, denge denklemlerine aşağıdaki gibi eklenir ve yatay yönde etkiyen kuvvet, düşey yönde etkiyen kuvvet ile ağırlık merkezi etrafında oluşan moment kuvveti aşağıdaki şekilde elde edilir (Ekman, 2016).

$$\uparrow: \Delta = N \cos \tau + T \sin(\tau + \varepsilon) - D_f \sin \tau - D_t \sin \tau + L_t \cos \tau \quad (2.20)$$

$$\rightarrow: T \cos(\tau + \varepsilon) = D_f \cos \tau + N \sin \tau + D_t \cos \tau + L_t \sin \tau \quad (2.21)$$

$$M_{CG} = Nc + D_f a - Tf + L_t LCG + D_t VCG = 0 \quad (2.22)$$

Bu çalışmada kullanılan, hidrolik tahrikle 15^0 'ye kadar kanat açıklığı elde edilebilen trim tab eklentisinin geometrisi Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Trim tab geometrisi

Trim tab eklentisinin hızlı feribot üzerinde oluşturduğu kuvvet moment denklemleri aşağıdaki gibidir (Fossen, 1994).

$$F_{Tab} = \frac{1}{2} \rho A_{Tab} V^2 C_{LTab} \delta_{Tab} \quad (2.23)$$

$$M_{Tab} = F_{Tab} l_{Tab} \quad (2.24)$$

Denklem 2.23 ve 2.24'te F_{Tab} trim tabın meydana getirdiği kuvveti, A_{Tab} trim tabın yüzey alanını, ρ akışkanın yoğunluğunu, V gemi hızını, C_{LTab} kaldırma katsayısını, M_{Tab} trim tabın meydana getirdiği momenti, δ_{Tab} trim tabın kanat açısını, l_{Tab} trim tabın CG'ye uzaklığını ifade eder.

Kullanılan trim tabın karakteristiği ise Tablo 3’de verilmiştir (Esteban vd., 2000).

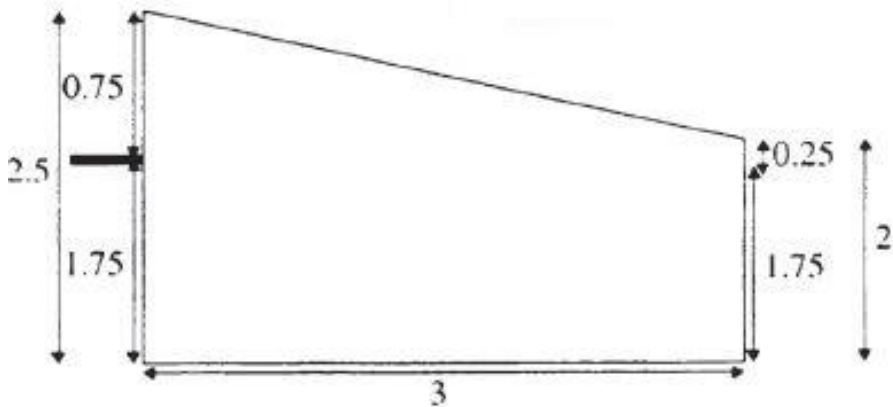
Tablo 3 Trim tab karakteristiği

Kanat açıklığı	4.8	m
Kiriş	1.1	m
Alan	5.5	m ²
Maksimum açı	15	°
Kaldırma katsayısı	$9.19 \cdot 10^{-3}$	KN ⁰ /m ² /knot ²
Maksimum dönme hızı	13.5	°/s
CG’ye uzaklık	41.6	m

2.4. T-foil Modeli ve Dinamiği

Bu tip eklentilerin kullanılmasındaki asıl amaç, kanat açılarını değiştirerek kaldırma kuvvetleri meydana getirmek suretiyle geminin hareketini dengeleyerek gemideki yolcuların güvenliğini sağlamak, rahatlığını artırmak ve geminin hızını korumaktır. Bu ekler, yüksek hızlı uygulamalar için en güçlü ve etkili hareket kontrol cihazları olarak kabul edilir ve etkinlikleri hızın karesiyle artar.

Hızlı feribotun düşey ivmelenmesini azaltmak için tasarlanan T-foil sistemi, feribotun pruvaya yakın kısmına yerleştirilmiş ve kanatları aşağı yukarı yönde 15⁰ hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Şekil 2.5’de T-foil kanadının geometrisi verilmiştir (Esteban vd., 2000).



Şekil 2.5. T-foil geometrisi

T-foil eklentisinin hızlı feribot üzerinde oluşturduğu kuvvet moment denklemleri aşağıdaki gibidir (Fossen, 1994).

$$F_{Foil} = \frac{1}{2} \rho A_{Foil} V^2 C_{LFoil} \delta_{Foil} \quad (2.25)$$

$$M_{Foil} = F_{Foil} l_{Foil} \quad (2.26)$$

Denklem 2.25 ve 2.26'da F_{Foil} T-foilin meydana getirdiği kuvveti, A_{Foil} T-foilin yüzey alanını, C_{LFoil} kaldırma katsayısını, M_{Foil} T-foilin meydana getirdiği momenti, δ_{Foil} T-foilin kanat açısını, l_{Foil} T-foilin CG'ye uzaklığını ifade eder.

Kullanılan T-foilin karakteristiği Tablo 4'de verilmiştir (Esteban, 2000).

Tablo 4. T-foil karakteristiği

Kanat açıklığı	3	m
Kiriş	2.25	m
Alan	6.75	m ²
Maksimum açı	±15	°
Kaldırma katsayısı	6.9*10 ⁻³	KN ⁰ /m ² /knot ²
Maksimum dönme hızı	13.5	°/s
CG'ye uzaklık	58.4	m

2.5. Düzensiz Dalga Modeli

Okyanus dalgaları rüzgârla üretilir ve çok uzak mesafelerde sürekli rüzgâr, büyük dalgalar oluşturabilir. Pierson ve Moskowitz okyanus yüzeyinden 19.4 metre yükseklikteki rüzgâr hızını 12 m/s ölçmüş ve Pierson-Moskowitz spektrumunu oluşturmuştur (Pierson, 1964).

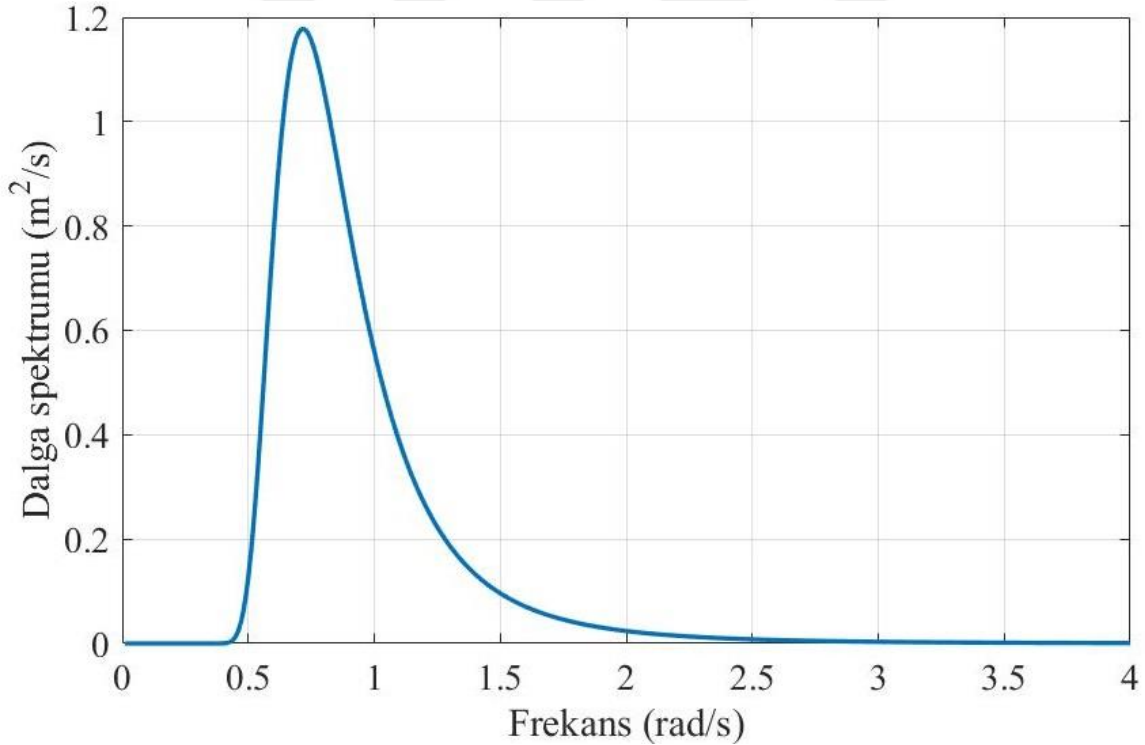
Modern dalga parametrik spektrumunun temeli Philips (1957) tarafından atılmıştır ve Philips sabiti denilen rüzgâra dayalı bir sabit ortaya koymuştur. Daha sonra Pierson ve Moskowitz yaptıkları deneyler sonucu elde ettikleri veriler ile Philips'in tarif ettiği

doygunluk dengesi aralığı sınırlamalarına dayanarak bir spektral yoğunluk fonksiyonu elde etmiştir (Pierson, 1964).

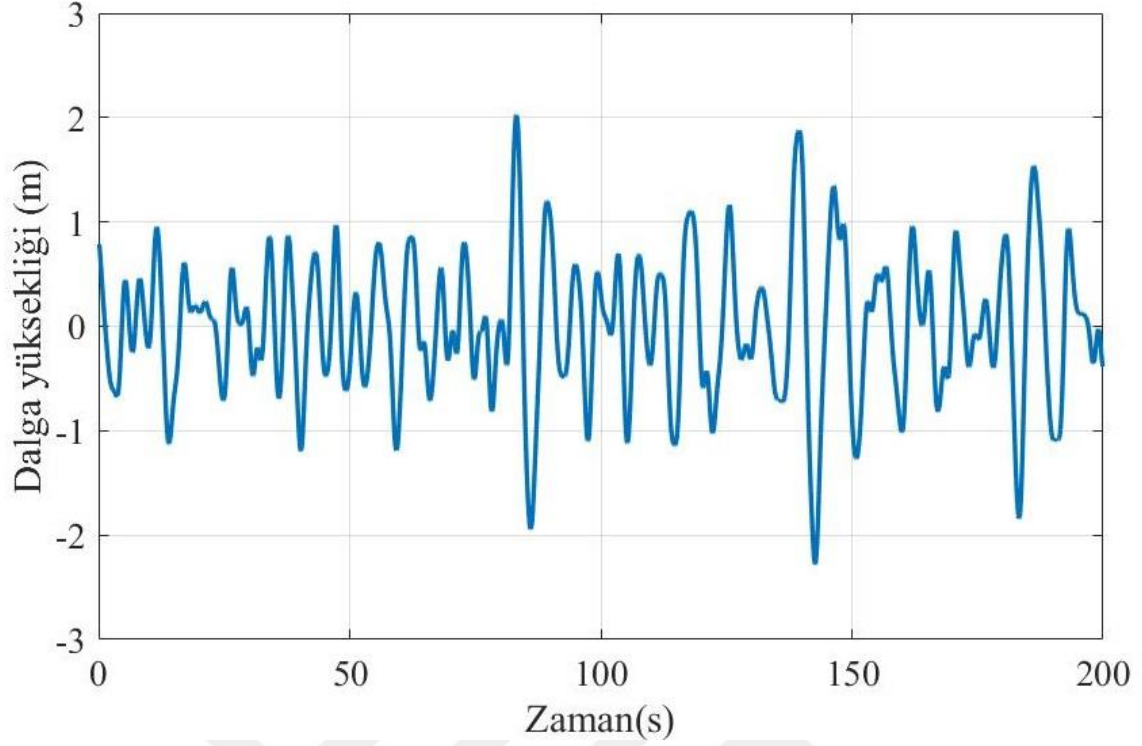
$$S(\omega) = \frac{\alpha_p g^2}{\omega^5} \exp\left[-0.74\left(\frac{g}{\omega U_{19.4}}\right)^4\right] \quad (2.27)$$

Burada $S(\omega)$ spektral dalga fonksiyonunu, ω açısal frekansı, α_p Philips sabitini ve $U_{19.4}$ okyanus yüzeyinden 19.4 metre yükseklikteki rüzgâr hızını ifade etmektedir. Philips sabiti $\alpha_p=8.1 \times 10^{-3}$ olarak verilmektedir.

Bu çalışmada, Pierson-Moskowitz ölçümlerinden ve denklemden yola çıkarak MATLAB ortamında Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de karakteristiği görülen düzensiz bir dalga modeli oluşturulmuştur. Hızlı feribotun bu düzensiz dalga etkisine maruz kaldığı varsayılarak simülasyonlar yapılmıştır.



Şekil 2.6. Düzensiz dalganın zamana bağlı dalga spektrumunun değişimi



Şekil 2.7. Düzensiz dalganın zamana bağlı dalga yüksekliğinin değişimi

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) deniz durumlarını dalga yüksekliğine göre kodlamıştır. Bu kodlamaya göre dalga yüksekliği 1,25-2,5 metre arasında olan dalgalar deniz durumu 4 olarak kodlanmıştır (URL-1, 2019).

Elde edilen düzensiz dalga modelinin baskın dalga yükseklik değeri 1,25 metredir. Dolayısıyla düzensiz dalga modeli deniz durumu 4 kategorisine girmektedir. Dalga modelinin frekansı $\omega = 0,7$ rad/s, karşılaşma frekans değeri ise $\omega_e = 2,69$ rad/s'dir.

Dalga frekansı ile karşılaşma frekansı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

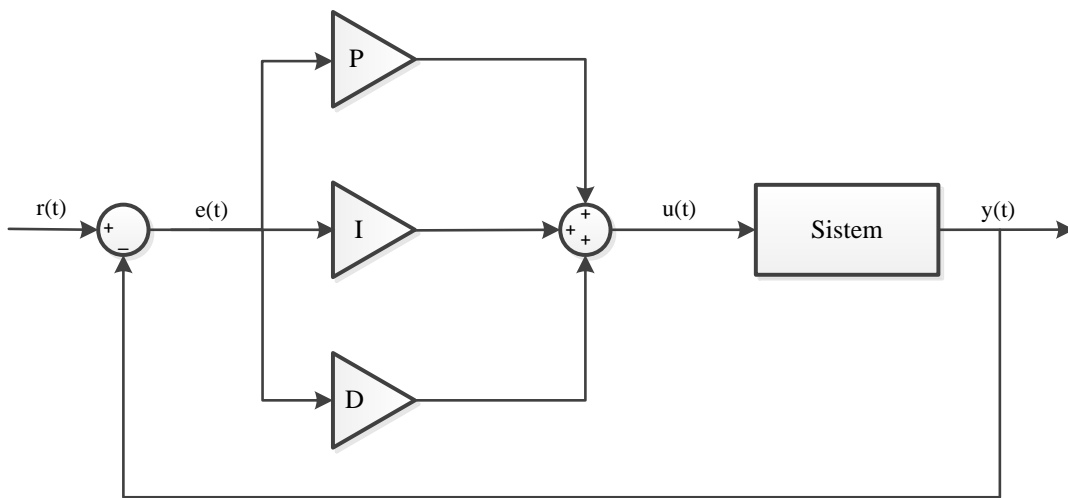
$$\omega_e = \omega + \frac{\omega^2 V}{g} \quad (2.28)$$

2.6. Kontrol Yöntemleri ve Kontrolcü Tasarımı

Bu çalışmada, hızlı feribotun düşey ivmelenme hareketini sönümlemede kullanılan trim tab ve T-foil aktif sistemlerinin kontrolü için PID ve LQR kontrol yöntemleri uygulanmıştır.

2.6.1. PID Kontrolcü

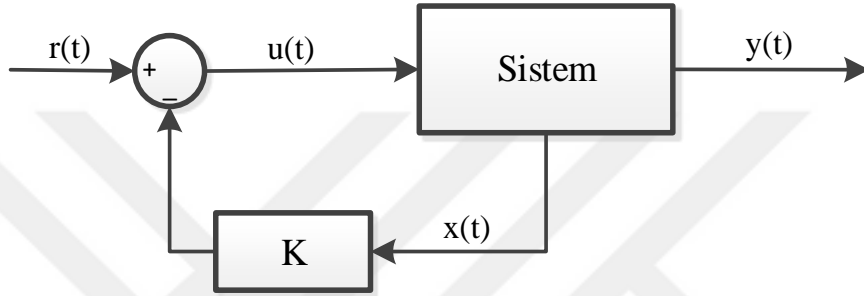
PID kontrolcü, sistem hatasının üç ayrı matematiksel işlemde geçirilip toplanması ile kontrol çıktısını oluşturan geri beslemeli bir kontrol yöntemidir. Bir başka deyişle çıkıştan geri besleme ile gelen sinyali, giriş sinyali ile karşılaştırarak bir hata oluşturur ve bu hatayı en aza indirmeye çalışarak tekrar çıkışa gönderir. En sık kullanılan kontrol yöntemlerinden biridir. PID kontrol yöntemi oransal (P), integral (I) ve türevsel (D) olmak üzere üç farklı parametreyi içerir. Bu terimlerden oransal terim k_p sistemden gelen hatayı katsayı ile çarparak hatayı küçültmeye çalışır. İntegral terimi k_i hatanın alanını hesaplar. Türev terimi k_d ise sistemdeki iki örnek arasındaki zamanı hesaplar. Bu üç parametreden oluşan PID algoritması, sistemin çıktısı $y(t)$ ile referans $r(t)$ değer arasındaki hatanın $e(t)$ minimum olması için bir kontrol girişi $u(t)$ üretir. Algoritmadaki k_p , k_i ve k_d değerleri rastgele seçilir ve değerlerde değişiklik yapılarak katsayıların optimum değerini bulmak için gözlem yapılır. PID kontrolcünün şematik gösterimi Şekil 2.8'da verilmiştir.



Şekil 2.8. PID kontrolcü şematik gösterimi

2.6.2. LQR Kontrolcü

Lineer Kuadratik Regülatör (LQR), kapalı çevrim kararlı ve yüksek performanslı sistem tasarımı sağlamak için en iyi şekilde kontrol edilen geri bildirim kazançları sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemdeki amaç geri besleme katsayılarını belirleyerek sistemin hedeflenen performans kriterinin minimum ya da maksimum olmasını sağlamaktır. LQR kontrolcü şematik gösterimi Şekil 2.9’de verilmiştir.



Şekil 2.9. LQR kontrol sistemi şematik gösterimi

$$[K, S, e] = lqr[SYS, Q, R, N] \quad (2.29)$$

en uygun kazanç matrisi K 'yı hesaplar.

Bir sürekli zaman sistemi için, durum-geri besleme yasası $u = -Kx$, sistem dinamiğine $\dot{x} = Ax + Bu$ bağlı ikinci dereceden maliyet fonksiyonunu en aza indirir.

$$J(u) = \int_0^{\infty} (x^T Q_x + u^T R u + 2x^T N u) dt \quad (2.30)$$

Durum geri besleme kazancı K 'ya ek olarak LQR, ilgili Riccati denkleminin (2.31) S çözümünü ve kapalı döngü öz değerlerini $e = eig(A - B * K)$ döndürür.

$$A^T S + SA - (SB + N)R^{-1}(B^T S + N^T) + Q = 0 \quad (2.31)$$

Geri besleme kazancı K ise S kullanılarak Denklem (2.32)'deki gibi elde edilir.

$$K = R^{-1}(B^T S + N^T) \quad (2.32)$$

Ayrık zamanlı bir durum uzayı modeli için, $x[n+1] = Ax[n] + Bu[n]$ 'ye bağlı olan $u[n] = -Kx[n]$ 'i en aza indirir.

$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \{x^T Q x + u^T R u + 2x^T N u\} \quad (2.33)$$



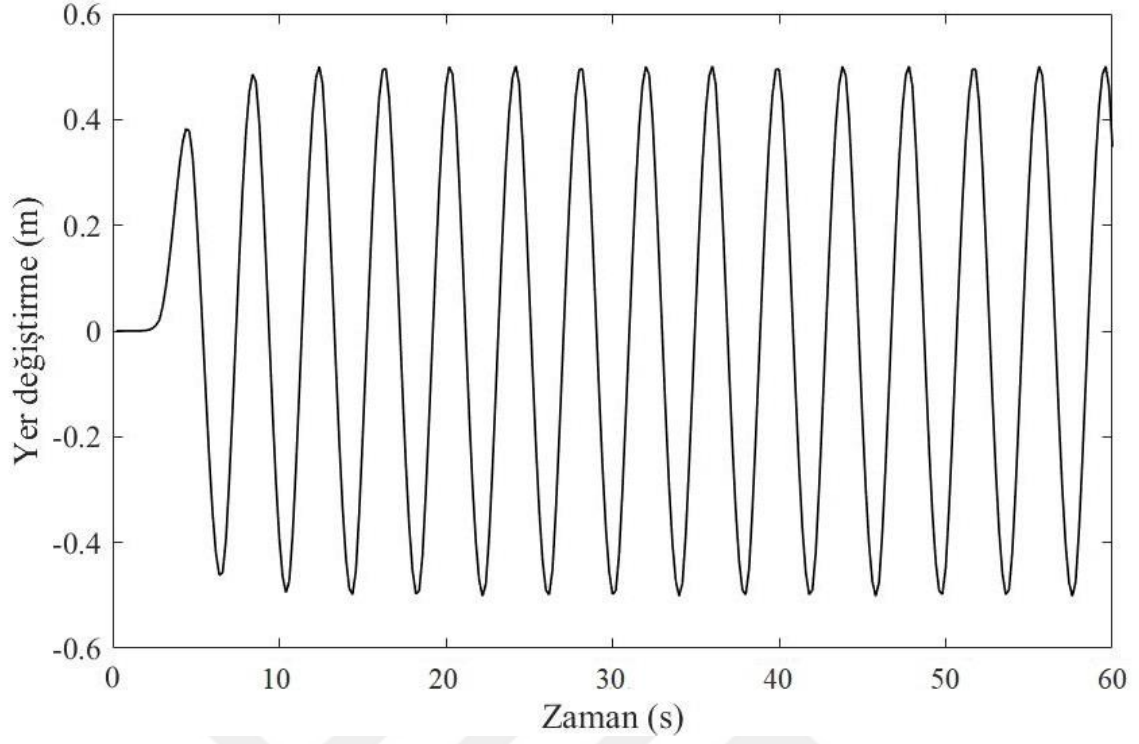
3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu kısımda, önceki kısımlarda tasarımı yapılan kontrol yöntemleriyle hızlı feribot üzerindeki eklentiler olan trim tab ve T-foilin açı kontrolünde elde edilen bulgular verilmiştir. Kontrol uygulamalarında eklentilerin, rastgele dalgalar altındaki hızlı feribotun dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini sönümleme miktarı karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca hızlı feribotun düşey yöndeki ivmelenme hareketlerinin sönümlenmesinin yolcular üzerindeki deniz tutması oranı verilmiştir.

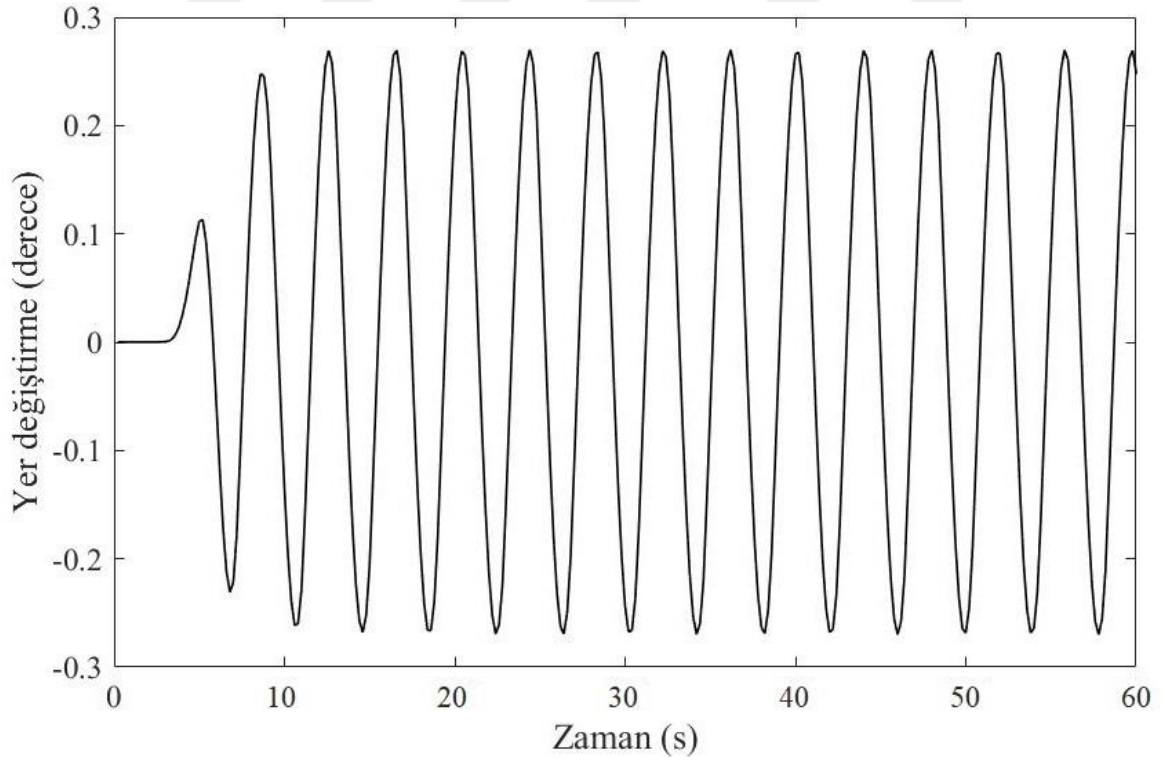
3.1. Hızlı Feribot Modelinin Kontrolsüz Cevabı

Bölüm 2.1'de yer alan Tablo 2'de verilen Silvia Ana hızlı feribotunun boyut ve parametreleri ile Denklem (2.8) ve (2.9)'da verilen dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini temsil eden denklemler kullanılarak MATLAB paket programında modelleme yapılmıştır. Öncelikle denklemler diferansiyel denklem formuna çevrilerek ODE45 (Ordinary Differential Equation 45) ile çözülmüş ve hızlı feribot modelinin 40 knot hızda seyir halindeyken dalgasız bir denizde yapmış olduğu dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketi karakteristiği incelenmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

Simülasyon 0.01 saniye adım aralığında 60 saniye boyunca yapılmış ve dalıp çıkma hareketinin konum değişimi metre cinsinden, baş kış vurma hareketinin ise derece cinsinden verilmiştir.

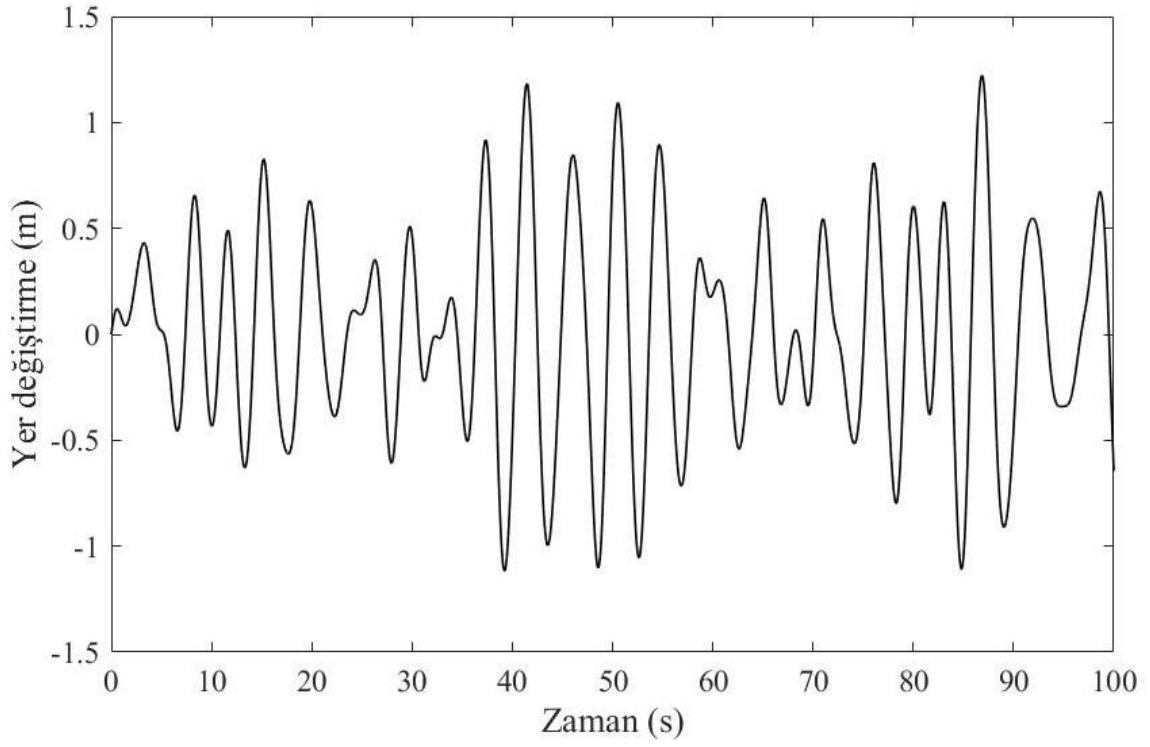


şekil 3.1. Dalgasız denizde 40 knot hızda hızlı feribotun dalıp çıkma hareketi

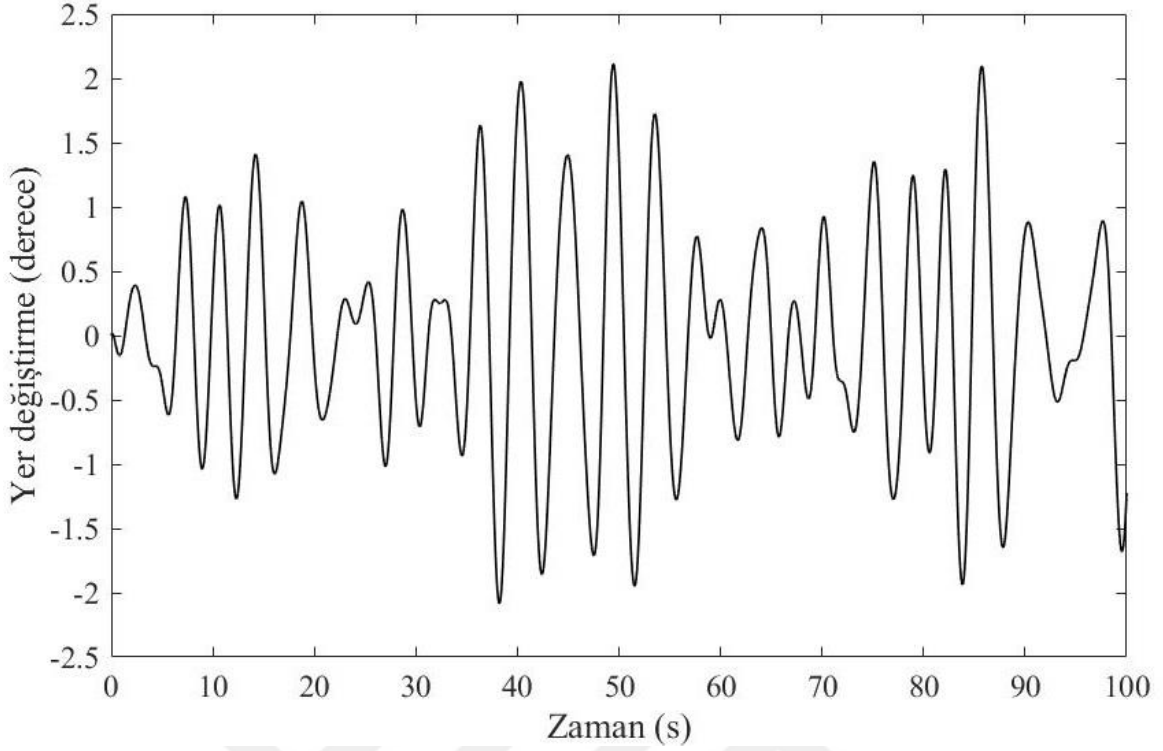


şekil 3.2. Dalgasız denizde 40 knot hızda hızlı feribotun baş kık vurma hareketi

İkinci simülasyonda modele, Pierson-Moskowitz spektrumundan yola çıkarak Bölüm 2.5'te elde edilen düzensiz dalga modeli ilave edilmiştir. Düzensiz dalganın hızlı feribotun baş tarafından geldiği varsayılarak 0.01 saniye adım aralığında 100 saniye boyunca simüle edilmiştir (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.3. Dalıp çıkma hareketinin düzensiz dalgalar altında değişimi



şekil 3.4. Baş kık vurma hareketinin dzensiz dalgalar altında değişimi

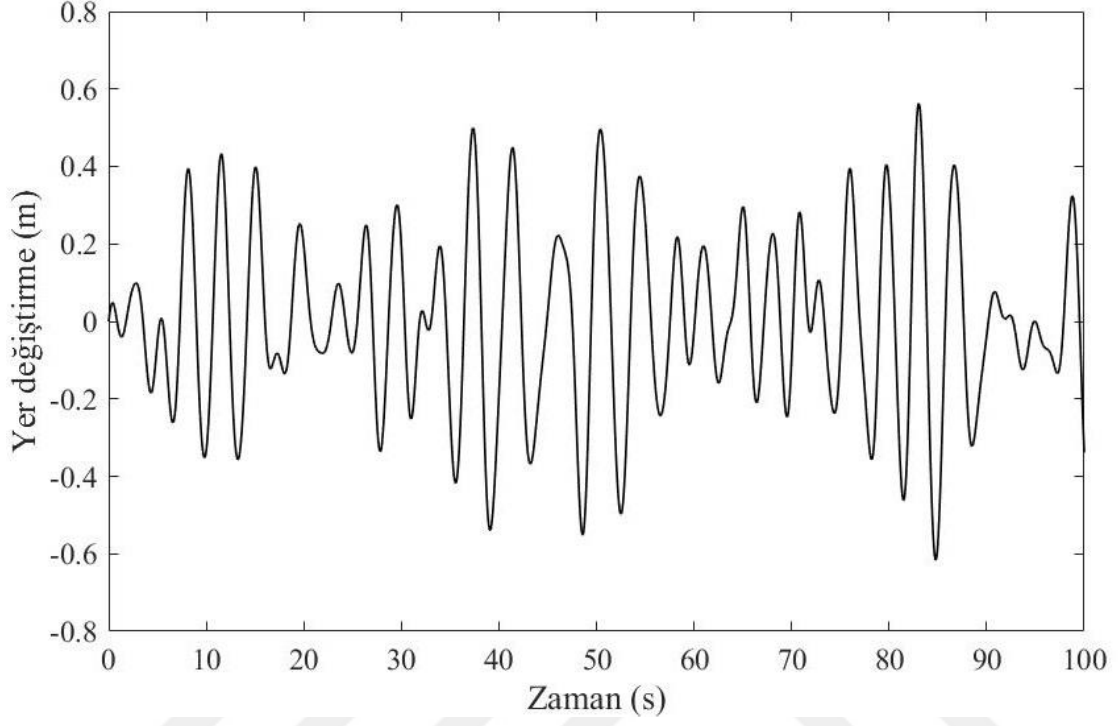
Yukarıdaki simülasyon sonuçlarında görüldüğü üzere dalgalara maruz kalmayan hızlı feribotun dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan yer değiştirmesi 0,5 metre iken, dzensiz dalgalar altındaki yer değiştirmesi 1,2 metreye kadar çıkmaktadır. Aynı şekilde baş kık vurma hareketinden kaynaklanan yer değiştirmesi ise $0,25^0$ 'den 2^0 'ye kadar çıkmaktadır. Hızlı feribotun dalıp çıkma ve baş kık vurma hareketlerinde meydana gelen bu artışı sönümlmek için bir sonraki kısımda trim tab ve T-foil eklentilerine kontrol yöntemleri uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

3.2. Hızlı Feribot Modelinin Kontrollü Cevabı

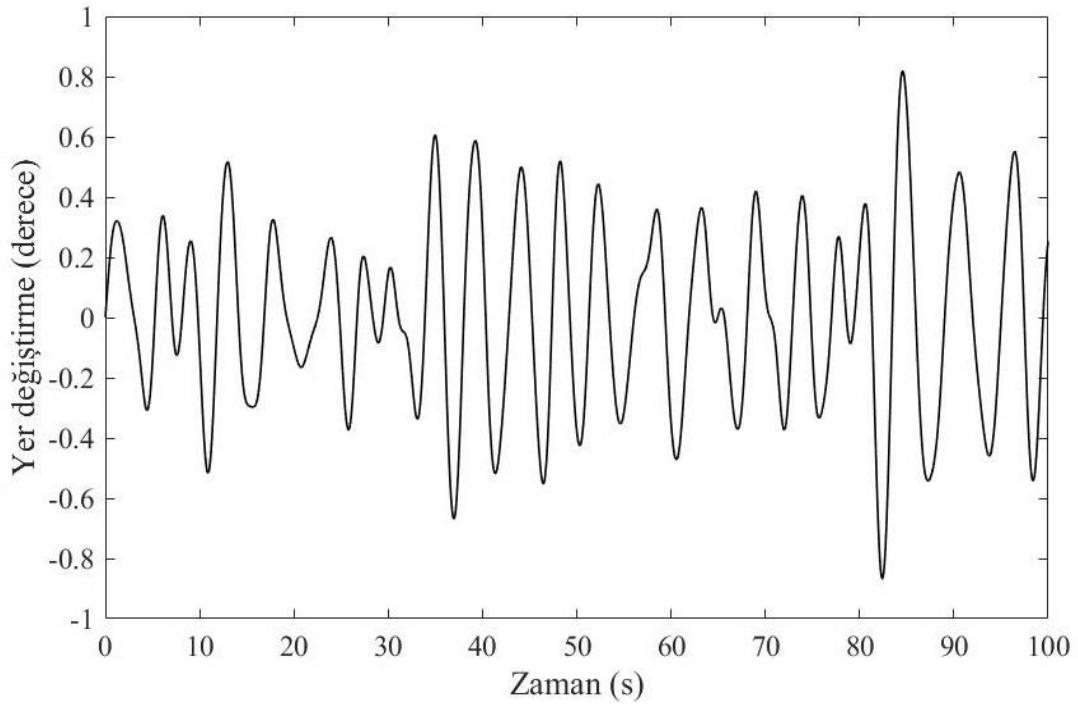
3.2.1. PID Kontrolcü Cevabı

MATLAB paket programının PID Tuning ara yüzü kullanılarak trim tab ve T-foil eklentilerinin kanat açıklıklarının en ideal şekilde çalışmasını sağlayacak parametreler belirlenmiştir. PID kontrol parametreleri olarak $k_p = 0,5$, $k_I = 2,2$, $k_D = 0,12$ değerleri

seçilmiştir. Seçilen PID parametre değerleri için elde edilen kontrolcü cevapları Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Dalıp çıkma hareketinin PID kontrolcü cevabı



Şekil 3.6. Baş kış vurma hareketinin PID kontrolcü cevabı

3.2.2. LQR Kontrolcü Cevabı

LQR kontrolcü tasarımı sonucu durum ağırlık matrisi Q ve kontrol ağırlık matrisi R aşağıdaki gibi bulunmuştur.

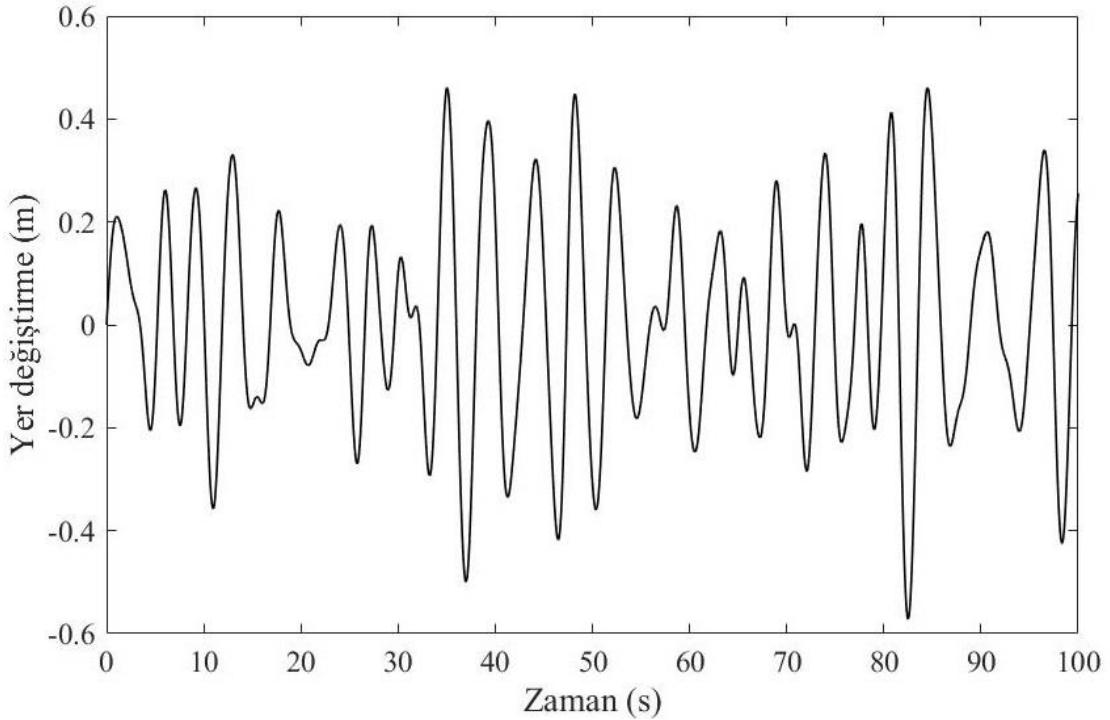
$$Q = [53559,45 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 222740 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 141580 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 456550] \quad (3.1)$$

$$R = [4929,223 \ 0; 0 \ 1549,472] \quad (3.2)$$

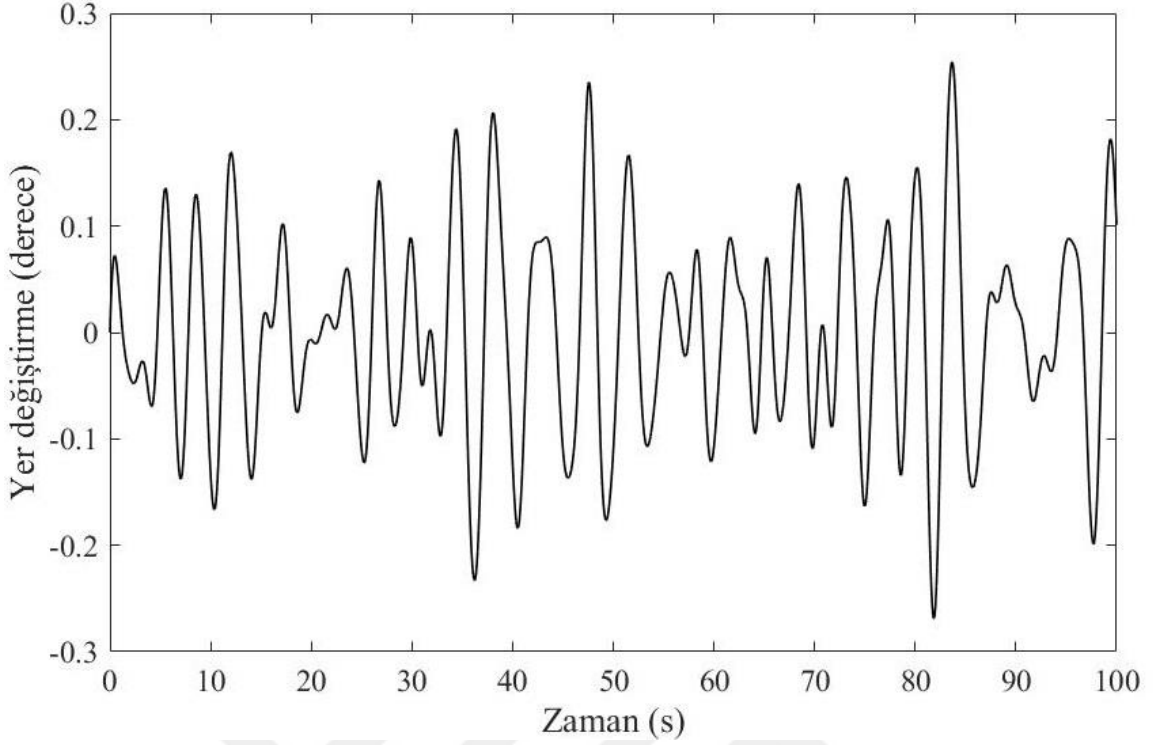
Ağırlık matrislerine bağlı olarak elde edilen kazanç matrisi ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$K = [0,0369 \ -0,3353 \ 0,9613 \ -4,3101; 0,5436 \ 1,4458 \ 1,8792 \ -4,3076] \quad (3.3)$$

Baştan gelen düzensiz dalgalara maruz kalan hızlı feribotun düşey ivmelenmesini azaltmak için tasarlanan trim tab ve T-foil eklentilerinin LQR yöntemi ile kontrol edilmesi sonucu elde edilen kontrolcü cevabı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'deki gibidir.



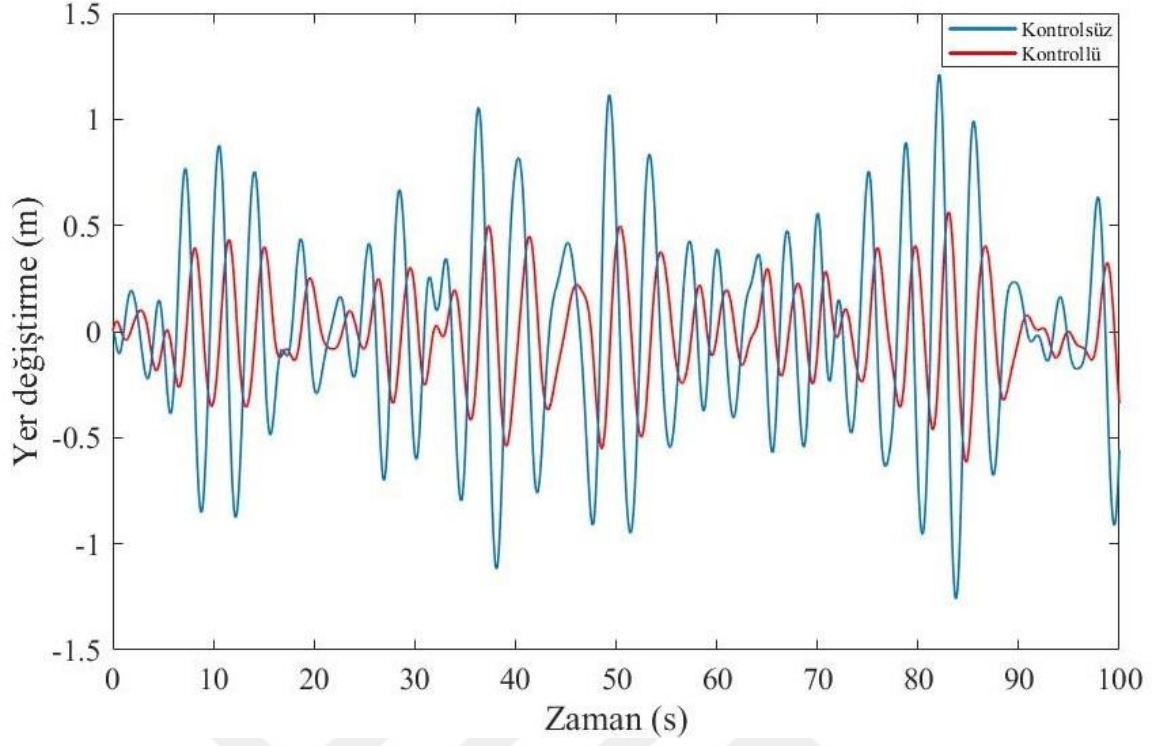
Şekil 3.7. Dalıp çıkma hareketinin LQR kontrolcü cevabı



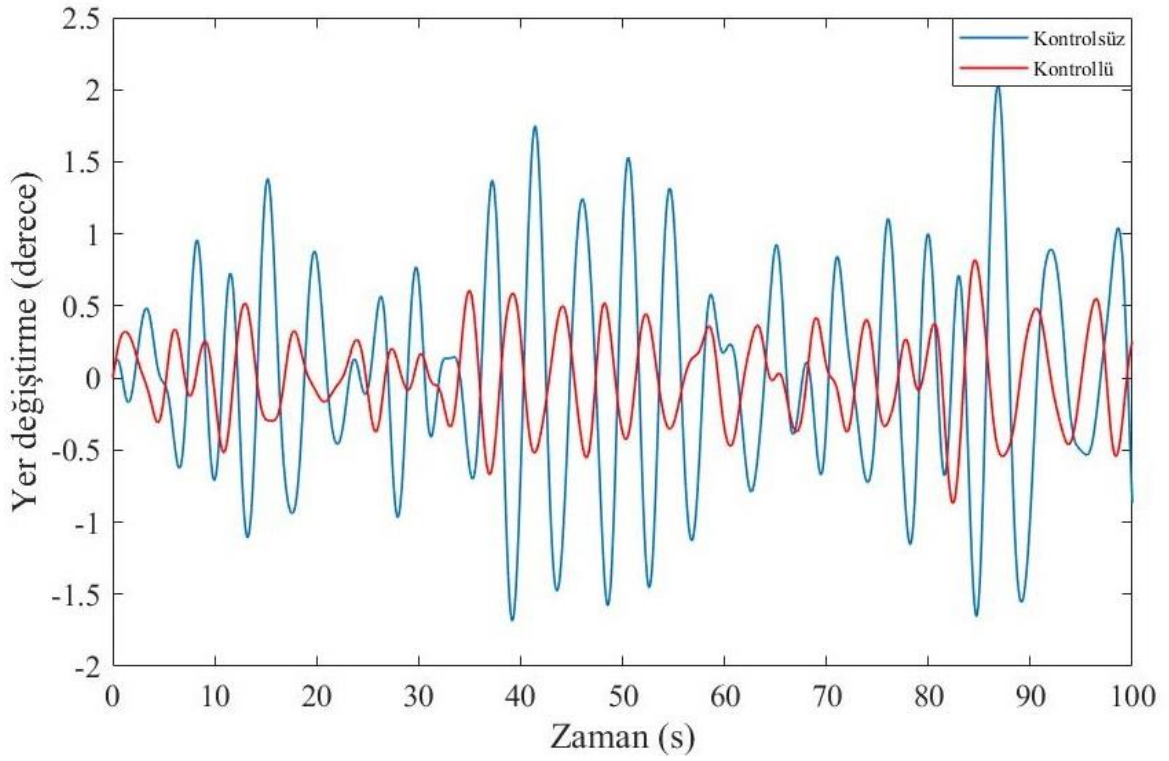
şekil 3.8. Baş kık vurma hareketinin LQR kontrolcü cevabı

3.3. Kontrolsüz ve Kontrollü Cevapların Karşılaştırılması

Bu çalışmada trim tab ve T-foil eklentilerinin PID ve LQR kontrol uygulamaları ile kontrolü yapılarak, eklentilerin hızlı feribotun düşey ivmelenme hareketini sönümlemedeki etkisi kontrolsüz ve kontrollü durumlar için karşılaştırılmıştır. şekil 3.9 ve şekil 3.10'da sırasıyla dalıp çıkma hareketinin kontrolsüz hali ile PID kontrolcünün etkisi ve baş kık vurma hareketinin kontrolsüz hali ile PID kontrolcünün etkisi karşılaştırılmalı olarak görölmektedir.

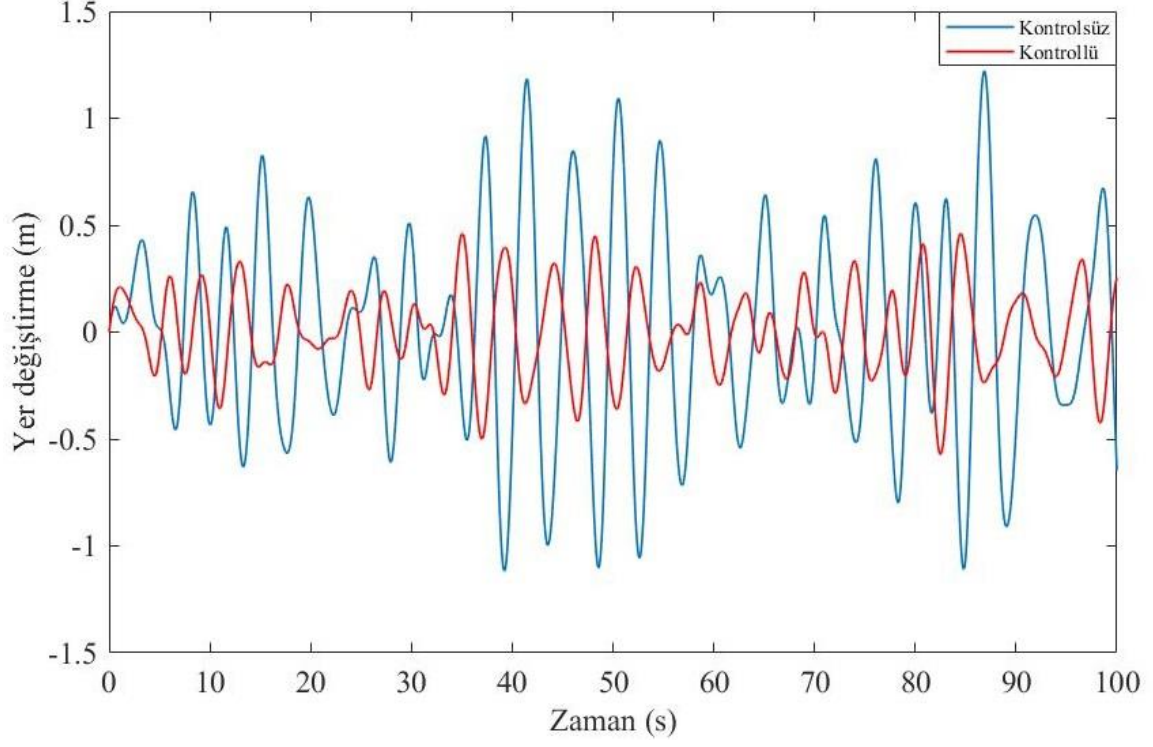


şekil 3.9. Dalıp çıkma hareketinin kontrolsüz ve PID kontrollü cevaplarının karşılaştırılması

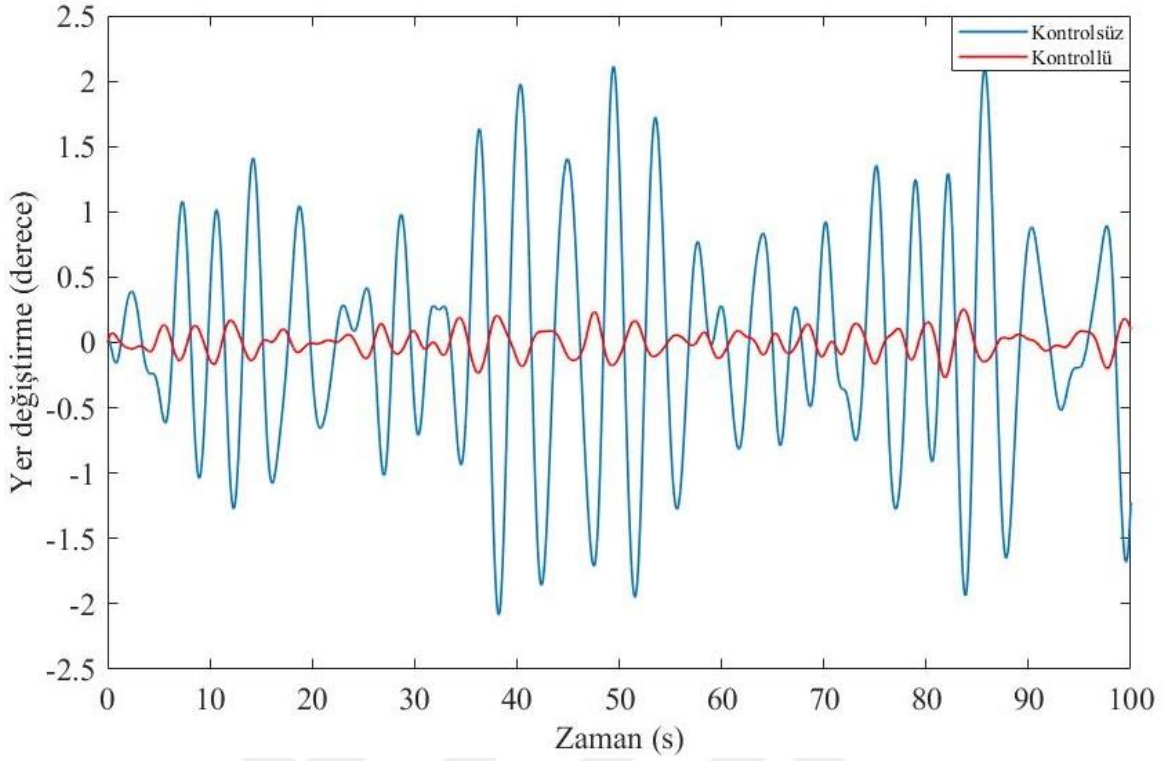


şekil 3.10. Baş kık vurma hareketinin kontrolsüz ve PID kontrollü cevaplarının karşılaştırılması

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de ise sırasıyla dalıp çıkma ve baş kıkırma hareketlerinin kontrolsüz hali ve LQR kontrolcünün sönümlenme üzerindeki etkisi karşılaştırılmalı olarak görülmektedir.



Şekil 3.11. Dalıp çıkma hareketinin kontrolsüz ve LQR kontrollü cevaplarının karşılaştırılması

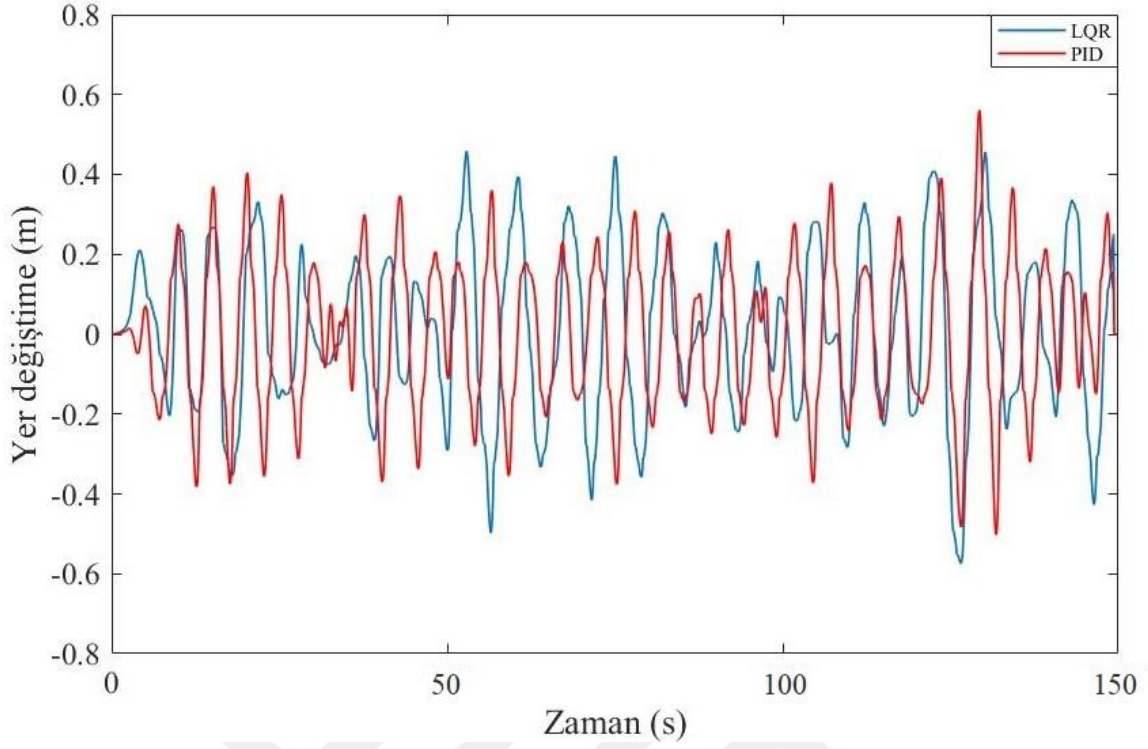


Şekil 3.12. Baş kık vurma hareketinin kontrolsüz ve LQR kontrollü cevaplarının karşılaştırılması

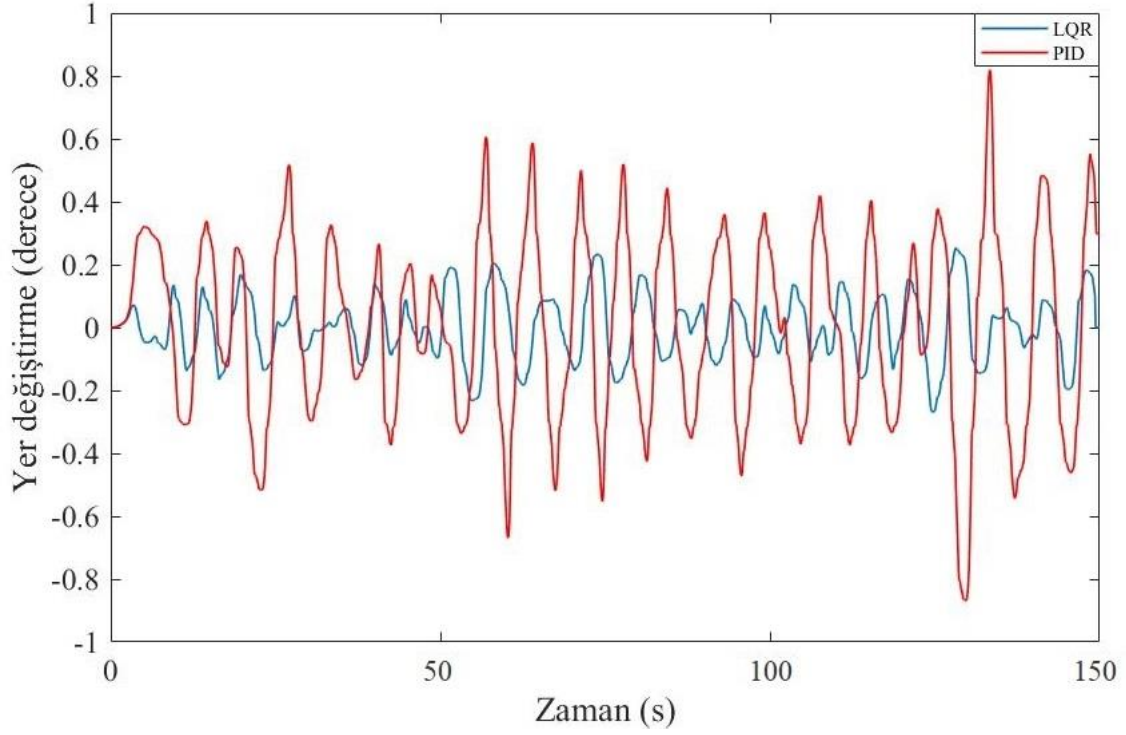
Yukarıdaki grafik sonuçları incelendiğinde dalıp çıkma hareketinin PID kontrolcü ile %47,46 oranında, LQR kontrolcü ile %48,24 oranında sönümlendiği görülmektedir. Aynı şekilde baş kık vurma hareketinin ise PID kontrolcü ile %54,36 oranında, LQR kontrolcü ile %78,74 oranında sönümlendiği görülmektedir.

3.4. Kontrolcülerin Karşılaştırılması

Bir sistemi kontrol etmek için tasarlanan kontrolcü modeli kontrol yöntemine göre farklı sonuçlar verebilir. Uygulanan kontrol yöntemleri ile elde edilen kontrolcülerin davranışlarını karşılaştıracak olursak LQR ve PID kontrolcülerin dalıp çıkma ve baş kık vurma hareketi üzerindeki etkileri Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te görülmektedir.



şekil 3.13. LQR ve PID kontrolcülerinin dalıp çıkma hareketi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması



şekil 3.14. LQR ve PID kontrolcülerinin baş kık vurma hareketi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması

3.5. Deniz Tutması Oranı (MSI) Değişimi

Açık denizlerde doğrudan rüzgâr ve dalgaların etkisindeki gemiler, hareketlenme ve ivmelenme sonucunda insan vücudunu olumsuz etkiler ve hareket hastalıklarına neden olabilir. Özellikle gemilerin düşey ivmelenme hareketinin neden olduğu bu durum deniz tutması ya da deniz hastalığı olarak adlandırılır (Cepowski, 2012).

McCauley ve O'Hanlon yaptıkları çalışma ile deniz tutmasının belirli sıklıklarda düşey ivmelenme ile ilgili kümülatif bir etki olduğu sonucuna varmış ve gemi hareketlerinin deniz tutmasından muzdarip olan insanların yüzdesi üzerindeki etkisini nicel olarak tahmin etmiştir. Bu çalışmaya göre Hareket Hastalığı İnsidansı (MSI), hareket hastalığının olasılık integralidir ve verilen formülasyon belirtilen sıklık ve ivmelenme için iki saatlik maruz kalma süresinden sonra deniz tutmasına yakalanan yolcuların yüzdesini gösterir (O'Hanlon, 1974). MSI aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$MSI = 100 \left[0.5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{a_v}{g} \pm \mu_{MSI}}{0.4} \right) \right] \quad (3.4)$$

$$\mu_{MSI} = -0.819 + 2.32(\log_{10} \omega_e) \quad (3.5)$$

Burada a_v düşey ivmelenmenin ortalama değeri, ω_e düşey ivmelenmenin baskın frekansı olarak tanımlanır.

Hata fonksiyonu aşağıda verilen eşitlikten elde edilir.

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (3.6)$$

Tablo 5'te, kontrolsüz, PID kontrollü ve LQR kontrollü durumlar için MSI değerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kontrollü durumlarda MSI değerlerinde önemli bir düşüş gözlenmektedir.

Tablo 5. Kontrolsüz ve kontrollü durumlarda MSI değişimi

Durum	MSI(%)
Kontrolsüz	7,62
PID Kontrollü	1,33
LQR Kontrollü	0,87

4. SONUÇLAR

Hızlı gemiler, dalgalar nedeniyle yüksek düşey ivmelere sahiptir. Mürettebat ve yolcular üzerinde ve hatta geminin emniyeti üzerinde olumsuz etkileri olan bu ivmeleri hafifletmek için bazı aktif eklentiler kullanılabilir. Eklentilerin verimli bir şekilde hareket etmeleri beklenir ve bu durum bir kontrol tasarım problemi meydana getirir. Kontrol çalışmasını yürütebilmek için uygun bir modele sahip olmak önemlidir.

Bu tez çalışmasında, baştan gelen düzensiz dalgalar altında bir hızlı feribot modeli oluşturulmuş ve feribotun düşey ivmelenmesinden kaynaklanan deniz tutması, yük, yolcu ve mürettebatın güvenliğinin tehlikeye girmesi gibi olumsuz etkileri en aza indirebilmek için trim tab ve T-foil eklentileri PID ve LQR kontrol yöntemleriyle kontrol edilmiştir. Senaryo deniz durumu 4 olan bir denizde baştan gelen düzensiz dalgalar altında 40 knot hızla seyir eden hızlı feribotun dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinden oluşan düşey ivmelenmesinin incelenmesi üzerine kurulmuştur.

Simülasyon sonuçları dalıp çıkma hareketinin PID kontrolcü ile %47,46 oranında, LQR kontrolcü ile %48,24 oranında, baş kış vurma hareketinin ise PID kontrolcü ile %54,36 oranında, LQR kontrolcü ile %78,74 oranında sönümlendiğini göstermektedir. PID kontrolcü LQR kontrolcüye göre uygulanabilirlik açısından daha kolay olsa da kontrol performansı yönünden zayıf kalmıştır.

Çalışmanın devamında hızlı feribotun kontrolsüz ve kontrollü hallerdeki deniz tutması oranları (MSI) incelenmiştir. Yolcuları etkileyen deniz tutması oranı kontrolsüz durumda %7,62 iken, trim tab ve T-foil eklentilerine PID kontrol yöntemi uygulanması sonucunda %1,33 oranına, LQR kontrol yöntemi uygulanması sonucunda ise %0,87 oranına düşmüştür. Bu sonuçlar PID kontrolcünün deniz tutması oranını %82,54, LQR kontrolcünün ise %88,58 oranında azalttığını göstermektedir.

Bu çalışma ile gemilerde kullanılan stabilite artırıcı aktif sistemlerden olan trim ve T-foil eklentilerinin gemi düşey ivmelenmesinin sönümlenmesi açısından ne kadar işlevsel oldukları simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir.

5. ÖNERİLER

Gemiler altı serbestlik derecesinde hareket eden yapılardır. Bir geminin dinamik yapısı incelenirken bu hareketlerin her biri göz önünde bulundurulursa gerçeğe daha uygun bir model elde edilir. Dolayısıyla gemi modeline ilave edilen eklentilerin kontrolü daha doğru şekilde yapılır.

Bu çalışma, hızlı feribotun sabit hızla ilerlediği varsayılarak yapılmıştır. Fakat değişken bir parametre olan hız, hareket denklemlerinde yer alan katsayıların değişmesine neden olur. Bu nedenle, farklı gemi hızlarında değişen katsayıları da modele dâhil ederek bir kontrolcü tasarlanabilir.

Deniz tutması oranının iyileştirilmesi, dalgalarla daha iyi senkronizasyon sağlayan bir kontrol stratejisine bağlıdır. Eklentiler yapıları gereği sınırlı hareket kabiliyetine sahip olduklarından daha karmaşık ve yüksek dalga boyuna sahip dalgalar altında yeterli kuvvet ve momentleri üretmekte zorlanırlar. Bu gibi durumlar için hareket kabiliyeti ve çalışma aralığı daha yüksek eklentiler uygulanabilir. Ayrıca çalışmada kullanılan kontrol yöntemleri dışında daha iyi sonuçlar veren kontrolcü uygulamalarıyla etkin sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abkowitz, M. A., 1964. Lectures on Ship Hydrodynamics, Steering and Maneuverability, Lyngby, Denmark, Hydro and Aerodynamics Laboratory.
- Alarçin, F., 2005. Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YTÜ, İstanbul.
- Amerongen, J. V., 1981. A Model for Reference Adaptive Autopilot Ships-Practical Results, IFAC Proceedings Volumes, 14, 2, 1007-1014.
- Aranda, J., Diaz, J. M., Ruiperez, P., Rueda, T. M. ve Lopez, E., 2001. Decreasing of The Motion Sickness Incidence by a Multivariable Classic Control for a High Speed Ferry, IFAC Control Applications in Marine Systems, Glasgow, Scotland, UK.
- Arnold, R. ve Maunder, L., 1961. Gyrodynamics and its Engineering Applications, Academic Press.
- Bell, J., 1957. Ship stabilization. Proceedings Of The Institution Of Electrical Engineers, 10420-26.
- Bennet, S., 1979. A History of Control Engineering 1800-1930, London: Peter Peregrinus.
- Berge, S. ve Fossen, T.I., 2000. On the Properties of the Nonlinear Ship Equations of Motion. Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems, 365-381.
- Brown, P. W., 1971. An Experimental and Theoretical Study of Planing Surfaces with Trim Flaps, Hoboken, New Jersey, Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory.
- Browning, A., 1990. A Mathematical Model to Simulate Small Boat Behaviour, Ph.D. Thesis, Bournemouth Polytechnic.
- Cepowski, T., 2012. The prediction of the Motion Sickness Incidence Index at the Initial Design Stage, Scientific Journals Maritime, University of Szczecin, 45-48.
- Chalmers, T. W., 1931. Analysis of Ship Roll Gyrostabiliser Control, London: Chapman and Hall.
- Cruz, J. M., Girson-Sierra, J., Aranda, J. ve Esteban, S., 2004. Improving the Comfort of a Fast Ferry, IEEE Control Systems.
- Curtis, G. J., 1962. Apparatus for Controlling the Motion of Boats, USA Patent No. 3058442.
- Dawson, D. ve Blount, D., 2002. Trim Control, Professional Boatbuilder, 140-149.
- DiFrangia, M., 2016. April 18, Fluid Power World, 40-42.

- Ekman, F. R., Ribas, C. N. ve Rydelius, F., 2016. Model for Predicting Resistance and Running Attitude of High-Speed Craft Equipped with Interceptors, Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Emery, C. E., 1892. Apparatus for Regulating the Rolling and Pitching of Vessels, USA Patent No. 471212.
- Ertoğ an, M., 2012. Gemilerin Yalpa Hareketinin Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Uyarlamalı PDD2 Aktif Finlerle Kontrolü, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esteban, S., Cruz, J. M., Girson-Sierra, J. M., Andreas, B., Aranda, J. ve Diaz, J. M., 2000. Fast Ferry Vertical Accelerations Reduction with Active Flaps and T-foil. Aalborg, Denmark, IFAC Manoeuvring and Control of Marine Craft, 227-232.
- Field, S. D. ve Martin, J. P., 1976. Comparative Effects of U-tube and Free Surface Type Passive Roll Stabilization System, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 73-92.
- Fossen, T. I., 1994. Guidance and Control of Ocean Marine Vehicles, UK, John Wiley & Sons Ltd.
- Fossen, T. I. ve Fjellstad, O.E., 1995. Nonlinear Modelling of Marine Vehicles in 6 Degrees of Freedom, Journal of Mathematical Modelling of Systems, 17-28.
- Frahm, H., 1911. Results of Trials of Anti-rolling Tanks at Sea, Trans. of the Institution of Naval Architects, 53.
- Froude, R. E., 1896. The Non-Uniform Rolling of Ships, Institution of Naval Architects, 37, 293.
- Froude, W., 1861. On the Rolling of Ships, Institution of Naval Architects, 2, 180.
- Froude, W., 1871. On the Practical Limits of The Rolling of Ships In A Sea-Way, The Institution of Naval Architects, 101—110.
- Ghassemi, H. M., Mansouri, M. ve Zaferanlouei, S., 2011. Interceptor Hydrodynamic Analysis for Handling Trim Control Problems in the High-speed Crafts, Journal of Mechanical Engineering Science, 225, 2597-2618.
- Grim, O., 1952. Roll Schwingungen Stabilitat und Slicherheitin Seegang, Sshiffstechnik, 20-35.
- Grim, O., 1954. Zur Stabilitat der Periodisch Erzwungenen Roll Schwingungen eines Schiffes, Ingenieur Archive, 22, 55-59.
- Haddara, M., 1995. On the Use of Neural Network Techniques for the Identification of Ship Stability Parameters at Sea, In Proceedings of the 14th International Conference On Offshore Mechanics And Arctic Engineering, 127-135, Copenhagen, Denmark,.

- Ibrahim, R. A. ve Grace, I. M., 2009. Modeling of Ship Roll Dynamics and Its Coupling with Heave and Pitch, Mathematical Problems in Engineering.
- Kaplan, P. W., Ward, W. L. ve Sargent, P. T., 1969. A Mathematical Model for An Assault Boat Motion in Waves, Florida, Naval Training Device Center, USA.
- Karimi, M. S., Seif, M. ve Abbaspoor, M., 2013. An Experimental Study of Interceptor's Effectiveness on Hydrodynamic Performance of High-speed Planing Crafts, Polish Maritime Research, 21-29.
- Kawazoe, T. N., Nishikido, S. ve Wada, Y., 1994. Effect of Fin Area and Control Methods on Reduction of Roll Motion with Fin Stabilizers, Bulletin of the M.E.S.J., 25-32.
- Krylov, A. N., 1896. A New Theory of Pitching of Ships on Waves and of Stresses Produced by This Motion, Transactions of Institute of Naval Architects, 37, 326- 359.
- Minorsky, N., 1922. Directional Stability of Automatic Steered Bodies. Journal American Society of Naval Engineers, 34, 2, 280-309.
- Minorsky, N., 1935. Problems of Anti-rolling Stabilization of Ships by the Activated Tank Method, American Society of Naval Engineers, 47.
- Neves, M. A., Perez, N. ve Valerio, L., 1999. Stability of Small Fishing Vessels in Longitudinal Waves, Ocean Engineering, 26, 1389-1419.
- Neves, M. A., Perez, N. ve Lorca, O., 2003. Analysis of Roll Motion and Stability of a Fishing Vessel in Head Seas, Ocean Engineering, 30, 921-935.
- Neves, M. A. ve Rodriguez, C. A., 2006. Influence of Non-linearities on the Limits of Stability of Ships Rolling in Head Seas, Ocean Engineering, 34,1618-1630.
- Nomoto, K. T., Taguchi, T., Honda, K. ve Hirano, S., 1957. On the Steering Qualities of Ships, International Shipbuilding Progress, 4, 35, 354-370.
- O'Hanlon, J. A. ve McCauley, M. E., 1974. Motion Sickness Incidence as a Function of Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion, Aerospace Medicine, 366-369.
- Okan, B., 2010. Gemilerin Dalgalar Arasındaki Hareketlerinin Dinamik Analizi İçin Sayısal Bir Yöntem Geliştirilmesi: Teorik ve Deneysel Bir Çalışma, Deniz Teknolojisi Bölümü, İTÜ, İstanbul.
- Özçelik, S., 2008. Yalpa Sönümleyici Sistemlerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkan, R., 1977. Lyapunov Direkt Yöntemi İle Gemilerin Stabilite Teorisi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Paulling, J. R. ve Rosenberg, R. M., 1959. On Unstable Ship Motions Resulting from Nonlinear Coupling, Journal of Ship Research, 3, 36-46.

- Perez, T. ve Blanke, M., 2002. Mathematical Ship Modeling for Control Applications, Technical Report, Lyngby, Denmark.
- Perez, T. ve Steinmann, P. D., 2009. Analysis of Ship Roll Gyrostabiliser Control, IFAC Proceedings, 310- 315.
- Perez, T. ve Blanke, M., 2012. Ship Roll Damping Control, Annual Reviews in Control, 129-147.
- Peşman, E., 2011. Boyuna Dalgalarda Gemilerin Yalpa Hareketi Analizi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pierson, W. J. ve Moskowitz, L., 1964. A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii, Journal of Geophysical Research, 69, 5181-5190.
- Rijkens, A. A., 2011. A Computational Tool for the Design of Ride Control, International Shipbuilding Progress, 165-190.
- Roskilly, T. ve Mikalsen, R., 2015. Marine Systems Identification, Modeling and Control, First Edition, Butterworth-Heinemann, England.
- Ross, A., 2008. Nonlinear Manoeuvring Models for Ships: a Lagrangian Approach, Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Sabuncu, T., 1985. Gemi Manevraları ve Kontrolü, İTÜ, İstanbul.
- Savitsky, D., 1964. Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Marine Technology, 71-95.
- Schlick, O., 1904. Gyroscopic Effects of Flying Wheels on Board Ships, Transactions of The Institution of Naval Architects INA, 56, 546-554.
- Seo, K. G., 2013. Experimental Investigation of Dynamic Trim control Devices in Fast Speed Vessel, J. Navig. Port Research, 37, 2, 137-142.
- Sicard, B. V., 2002. Non-magnetic Pitch and Heave Stabilizing T-foil, Division of Naval Systems, Department of Aeronautics, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Son, K. H. ve Nomoto, K., 1982. On the Coupled Motion of Steering and Rolling of a High-speed Container Ship, Naval Architecture and Ocean Engineering, 20, 73–83.
- Sperry, E. A. 1910. The Gyroscope for Marine Purpose, The eighteenth general meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineers. New York, USA.
- Webster, W. C., 1967. Analysis of the Control of Activated Antiroll Tanks, Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), 17-22.

Webster, W. C., Dalzell, J. F. ve Barr, R. A., 1988. Prediction and Measurement of the Performance of Free-flooding Ship Antirolling Tanks, Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), 333-364.

Zihnioğlu, A. ve Ünsan, Y., 2016. Gemiler İçin Yalpa Sönümleyici Sistemler, GİDB Dergi, İTÜ, 7, 3-14.

URL-1, <http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/faq.html> World Meteorological Organization. 22 Mart 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Sinan ŞAHİN 1988 yılında Giresun'da doğdu. 2006 yılında Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2008 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2014 yılından beri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

