

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİLERİN YALPA HAREKETİNİN PARÇACIK SÜRÜSÜ
OPTİMİZASYONU UYARLAMALI PDD² AKTİF FİNLERLE KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

Melek ERTOGAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİLERİN YALPA HAREKETİNİN PARÇACIK SÜRÜSÜ
OPTİMİZASYONU UYARLAMALI PDD² AKTİF FİNLERLE KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

**Melek ERTOGAN
(503052016)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL
Eş Danışman: Prof. Dr. Metin TAYLAN**

TEMMUZ 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503052016 numaralı Doktora Öğrencisi **Melek ERTOGAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEMİLERİN YALPA HAREKETİNİN PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU UYARLAMALI PDD² AKTİF FİNLERLE KONTROLÜ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. Metin TAYLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa İNSEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Abdurrahman Talha DİNİBÜTÜN
Doğuş Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer BELİK
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Haziran 2012**
Savunma Tarihi : **13 Temmuz 2012**

*Bu çalışmayı, her koşulda yanımda olan
Anneme ve Babama ithaf ediyorum,*

ÖNSÖZ

Tezdeki çalışmamı hayata geçirmem konusunda beni yönlendiren ve cesaret veren, ayrıca çalışmamın her kademesinde yardımcı olan ve bana gösterdiği tükenmeyen sabrı nedeni ile danışmanım Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL'a çok teşekkür ederim. Disiplinlerarası yaptığım bu çalışmada, yardımcı olan eş danışmanım Prof. Dr. Metin TAYLAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, akademik hayatımda bana emeği geçen tüm Hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmama destek veren, “Teknogirişim Sermaye Desteği” (Proje No: 0067.TGS.2009) ile TC Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. Ayrıca, testlerimi gerçekleştirdiğim geminin gerekli bakım çalışmalarında, bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Eser Mühendislik Ltd. Şti. sahibi Cihat TURGUT'a teşekkür ederim.

Saha çalışmalarımnda, mesai saatleri dışında da bana çok yardımları olan Baş Müh. Seçkin MENGEÇİN ve gemi personeli Sami AYDIN'a teşekkür ederim.

Yoğun çalışmalarımnda, her zaman destekleyen ve sabır gösteren aileme çok çok teşekkür ediyorum.

Çalışmalarımnda yardımcı olan, aynı zamanda bana canyoldaşlığı yapan yeğenlerim Bilgisayar Müh. Bölümü öğrencisi Zeynep İNEL ve Elektronik Müh. Bölümü öğrencisi Emre İNEL'e teşekkür ederim.

Temmuz 2012

Melek Ertogan
(Gemi İnş. Ve Mak. Yük. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	3
1.2.1 Gemi yalpa hareketi modellemesi ve kontrol uygulamaları	3
1.2.2 Parçacık sürüsü optimizasyonu ve kontrol alanında uygulanması.....	5
1.3 Tezin İçerik Yapısı	7
2. GEMİ HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ.....	9
2.1 Amaç	9
2.2 Gemi Hidrostatığı ve Hidrodinamiği.....	9
2.3 Yalpa Sönümleyici Fin Kuvvet ve Momentleri	15
2.3.1 Pasif yalpa azaltıcı sistemler	15
2.3.1.1 Yalpa omurgaları.....	15
2.3.1.2 Pasif yalpa tankları	15
2.3.1.3 Pasif hareketli yalpa ağırlıkları	16
2.3.2 Aktif yalpa azaltıcı sistemler.....	16
2.3.2.1 Aktif yalpa finleri (kontrol yüzeyleri).....	16
2.3.2.2 Aktif yalpa tankları	16
2.3.2.3 Yalpa jiroskopları.....	16
2.3.3 Yalpa sönümleme momenti	17
2.4 Tek Serbestlik Dereceli Yalpa Hareketinin, Baş-Kıç Vurma ve Dalıp-Çıkma Hareketlerine Bağlı Değişken Katsayılı Modeli	18
3. TAM ÖLÇEKLİ DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1 Amaç	21
3.2 Yalpa Sönümleyici Hidrolik Tahrikli Fin Sistemi	22
3.3 Gemi Özellikleri	23
3.4 Gerçek Zamanlı Deneysel Çalışmalarda Veri Toplama Ve Sinyal İşlemede Kullanılan Elektronik Sistem	24
3.5 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma İle Benzetim Modelindeki Parametrelerin Tespit Edilmesi.....	24
3.6 Deniz Ve Hava Koşulları İle Gezi Teknesi Hareketlerinin Ölçülmesi	29
3.7 Gezi Teknesi Benzetim Çalışması Sonuçları	31
4. GEMİLERDE AKTİF YALPA SÖNÜMLEMEDE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	35
4.1 Amaç	35

4.2 Gemi Yalpa Sönümleyici Fin Denetleyici Sistemlerin Toplam Sönümleme Oranı ve İstatistikî Sönümleme Katsayısı Hesabı	35
4.3 Gemilerde Yalpa Açî İvmesi Limit Değerinin Hesabı	37
4.4 Gemilerde Yalpa Sönümleyici Fin Hücüm Açî Hız Limiti	38
5. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU.....	41
5.1 Evrimsel Algoritmalar	41
5.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	42
5.3 Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	44
5.3.1 Tetiklemeli hafıza etkili parçacık sürüsü optimizasyonu.....	48
5.4 İleri Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritmalarının Kontrol Alanında Uygulanması.....	49
6. PSO VE İLERİ PSO UYARLAMALI PDD² FİN KONTROL ALGORİTMASI.....	51
6.1 Gemilerde Yalpa Sönümlemede PSO Uyarlamalı PDD ² Fin Kontrolü	51
6.2 PSO-PDD ² Kontrol Algoritması Karakteristiklerinin Belirlenmesi	54
6.2.1 PSO-PDD ² kontrol katsayı aralıklarının belirlenmesi.....	54
6.2.2 PSO-PDD ² kontrolde amaç fonksiyonunun katsayılarının belirlenmesi.....	57
6.2.3 Rastgele başlangıç koşullarının PSO-PDD ² kontrol cevabına etkisi.....	59
6.2.4 PSO-PDD ² denetleyicinin farklı genlik veya frekansta bordadan gelen düzgün dalgalar koşulunda uygulanması.....	66
6.3 HEPsO/THEPsO-PDD ² Denetleyici Karakteristiklerinin İncelenmesi.....	71
6.4 Gemiye Farklı Yönlerden Gelen Karışık Dalgalarda PDD ² ve PsO/HEPsO/THEPsO-PDD ² Kontrol Cevaplarının Karşılaştırması.....	82
7. ALGORİTMANIN DENEYSEL UYGULAMASI	911
7.1 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma ile Gerçek Zamanlı Klasik PDD ² Kontrol Uygulamaları	91
7.2 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma ile Gerçek Zamanlı PsO-PDD ² Kontrol Uygulamaları.....	95
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
8.1 Sonuçlar	99
8.2 Öneriler.....	104
KAYNAKLAR.....	107
EKLER.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	129

KISALTMALAR

I	: Kütle atalet momenti
A	: Ek su kütlesi atalet momenti
B	: Yalpa hızıyla orantılı sönüm kuvveti momenti
C	: Gemiye doğrultucu hidrostatik su kuvvetleri momenti
M_D	: Dış kuvvetlerin oluşturduğu moment
E	: Dalga spektrumu altında kalan alanın belirttiği enerji bölgesi
A_i	: Dalga spektrumundaki frekanslara karşılık gelen genlik
M_F	: Aktif fin momenti
C_L	: Fin kaldırma kuvveti katsayısı
A_f	: Fin yüzey alanı
r_f	: Fin moment kolu
GM	: Geminin metasantrik yüksekliği
L	: Gemi tam boyu
D	: Gemi derinliği
B_G	: Gemi genişliği
T	: Gemi su çekimi
PDD²	: Denetleyicinin Oransal-Türev-İkinci Türev katsayıları (<i>Proportional- Derivative-Squared Derivative</i>)
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
HEPSO	: Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
THEPSO	: Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : F katsayısı 0.0300 ve 0.0400 olması durumunda yalpa açılarına göre % sönümleme oranları.....	37
Çizelge 6.1 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, aynı K _p , K _d ve K _{d2} katsayı aralıkları için performans karşılaştırması	58
Çizelge 6.2 : PSO-PDD ² denetleyicisinde farklı amaç fonksiyonu katsayıları için performans karşılaştırması	59
Çizelge 6.3 : PSO-PDD ² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç koşullarında uygulanması.....	63
Çizelge 6.4 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde uygulanması.....	67
Çizelge 6.5 : Ardışık kık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s için HEPsO-PDD ² denetleyicide güncelleme zamanının belirlenmesi.....	74
Çizelge 6.6 : Ardışık kık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s için HEPsO-PDD ² denetleyicide hafıza etkisi	75
Çizelge 6.7 : Ardışık kık omuzluktan ve kıçtan boyuna gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s, THEPSO-PDD ² denetleyicide güncelleme zamanının belirlenmesi	76
Çizelge 6.8 : Ardışık kık omuzluktan ve kıçtan boyuna gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s için THEPSO-PDD ² denetleyicide hafıza etkisi.....	82
Çizelge 6.9 : PDD ² denetleyicisinin, kık omuzluktan gelen dalgalarda, farklı kapalı çevrim denetleyici süreleri için uygulanması	83
Çizelge 6.10 : Kık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s iken, PDD ² ve PSO/HEPSO-PDD ² denetleyicilerin performanslarının karşılaştırması	84
Çizelge 6.11 : Kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s iken, PDD ² ve PSO/HEPSO-PDD ² denetleyicilerin performanslarının karşılaştırması	86
Çizelge 6.12 : Kık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s iken, PDD ² ve PSO/THEPSO-PDD ² denetleyicilerin performanslarının karşılaştırılması	87
Çizelge 6.13 : Kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s iken, PDD ² ve PSO/THEPSO-PDD ² denetleyicilerin performanslarının karşılaştırması	88
Çizelge 6.14 : Ardışık kık omuzluktan ve kıçtan boyuna gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s iken, PDD ² ve PSO/THEPSO-PDD ² denetleyicilerin performanslarının karşılaştırması.....	89

Çizelge B.1 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, P, D ve D ² katsayı aralıkları farklı ve farklı kombinasyon uygulamalarında performans karşılaştırması.....	120
Çizelge B.2 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç koşullarında uygulanması.....	121
Çizelge B.3 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı frekanslarda uygulanması.....	123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gemi hareketlerini tanımlamaya yarayan eksen takımları	10
Şekil 2.2 : Gemi stabilitesine etkiyen değişkenler.....	11
Şekil 2.3 : Dalgaların gemiye geliş yönlerine göre adlandırılması.....	12
Şekil 2.4 : Dalganın geliş yönüne bağlı dalga frekansı-karşılaşma frekansı ilişkisi.	12
Şekil 3.1 : Martı Gemisi yalpa sönümleyici aktif fin sisteminin kapalı çevrim blok diyagramı.....	22
Şekil 3.2 : Yalpa fin sisteminin Martı Gemisi'ne montajı gerçekleştirildikten sonra denize indirilmesi.	23
Şekil 3.3 : Eğim algılayıcısı ile alınan yalpa hareketi konum sinyalinin filtrelenmesi.....	25
Şekil 3.4 : Geminin çeşitli hızlarında, sönüm katsayısı B ve fin kaldırma kuvveti katsayılarının belirlenmesinde, gerçek zamanlı uygulamada Simülük blok diyagramı	26
Şekil 3.5 : Geminin durgun suda sıfır hızda iken, pasif sönümleme eğrisi	27
Şekil 3.6 : Geminin sıfır hızda, azalma eğrisi	27
Şekil 3.7 : Geminin durgun suda 7 knot hızda seyir sırasında, pasif sönümleme eğrisi	28
Şekil 3.8 : Geminin 7 knot seyir hızında iken, azalma eğrisi	28
Şekil 3.9 : Geminin çeşitli hızlarında, sönüm katsayısı B ve fin kaldırma kuvveti katsayılarının belirlenmesinde, durgun suda fin sisteminin etkisi ile yalpa hareketi	29
Şekil 3.10 : Martı Gemisi'ne ait finin çeşitli hücum açılarında, kaldırma kuvveti katsayı eğrileri	29
Şekil 3.11 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nden alınan yalpa ve trim açıları, dalıp-çıkma hareketi verileri	30
Şekil 3.12 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=1.3$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1.5$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nden alınan yalpa ve trim açıları, dalıp-çıkma hareketi verileri	31
Şekil 3.13 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen dalga frekansına göre dalga kuvveti momenti	32
Şekil 3.14 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen zamana bağlı dalga yüksekliği ve dalga kuvveti momenti	32
Şekil 3.15 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen tek serbestlik dereceli doğrusal yalpa ve baş-kıçurma açıları, dalıp-çıkma hareketi	33

Şekil 3.16 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması su çekimi 1 m olduğu durumda doğrultucu moment değerleri.....	33
Şekil 3.17 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen tek serbestlik dereceli doğrusal yalpa hareketi ile baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı değişken katsayılı yalpa hareketi model sonuçları.....	34
Şekil 4.1 : İstatistiki yalpa sönümleme F katsayısına göre, her yalpa açısı değerlerinde % sönümleme oranı	37
Şekil 5.1 : Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) kaba kodu ...	44
Şekil 5.2 : Üç grup parçacık kümesinden oluşan, Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritma yapısı ...	45
Şekil 5.3 : Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritması kaba kodu ...	47
Şekil 5.4 : İleri PSO algoritması ile PID denetleyici katsayıları ayarlanan kapalı çevrim blok diyagramı ...	49
Şekil 6.1 : Gemilerde yalpa sönümleyici aktif fin sistemi THEPSO-PDD ² denetleyici blok diyagramı ...	53
Şekil 6.2 : Gemilerde yalpa sönümleyici aktif fin sistemi kapalı çevrim denetleyici blok diyagramı	54
Şekil 6.3 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında K_p katsayı değişimi	55
Şekil 6.4 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında K_d katsayı değişimi	56
Şekil 6.5 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıkları aynı, farklı katsayı aralıklarında K_{d2} katsayı değişimi	56
Şekil 6.6 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıkları aynı, farklı katsayı aralıklarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması.....	57
Şekil 6.7 : PSO-PDD ² denetleyicisinde farklı amaç fonksiyonu katsayılarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması ...	59
Şekil 6.8 : PSO-PDD ² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması ...	60
Şekil 6.9 : PSO-PDD ² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu yalpa açısı, yalpa açısı hızı, yalpa açısı ivmesi ve fin hücum açısının zamana bağlı değişimi	61
Şekil 6.10 : PSO-PDD ² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi ...	61
Şekil 6.11 : PSO-PDD ² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi ...	62
Şekil 6.12 : PSO-PDD ² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi ...	62
Şekil 6.13 : PSO-PDD ² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi ...	64

Şekil 6.14 : PSO-PDD ² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	64
Şekil 6.15 : PSO-PDD ² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	65
Şekil 6.16 : Peryodik dalgalarda en büyük dalga kuvveti momentleri ardışık 1.5 ton.m ve 0.75 ton.m olması koşulunda PSO-PDD ² kontrolü	66
Şekil 6.17 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	67
Şekil 6.18 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	68
Şekil 6.19 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	68
Şekil 6.20 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	69
Şekil 6.21 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	69
Şekil 6.22 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi	70
Şekil 6.23 : Peryodik en büyük dalga kuvveti momenti 1.5 ton.m iken 0.1 Hz ve 0.8 Hz frekanslarında PSO-PDD ² kontrol	70
Şekil 6.24 : Kıç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, HEP SO-PDD ² kontrol	73
Şekil 6.25 : Karışık dalgaların gemiye ardışık olarak, önce kıç omuzluktan sonra kıçtan boyuna gelmesi durumunda, THEP SO-PDD ² kontrol	77
Şekil 6.26 : Karışık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEP SO-PDD ² kontrol uygulanması ile yalpa açısı, yalpa açısı hız ve ivme ile fin hücum açısı değerleri	78
Şekil 6.27 : Karışık dalgaların gemiye kıç omuzluktan gelirken yön değiştirerek kıçtan boyuna gelmesi durumuna geçişte THEP SO-PDD ² kontrol	78
Şekil 6.28 : Karışık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEP SO-PDD ² kontrol uygulamasında, genel en iyi denetleyici katsayı değişimleri	79
Şekil 6.29 : Karışık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEP SO-PDD ² kontrol uygulamasında, parçacıkların yerel en iyi K_p konum değişimi	79

Şekil 6.30 : Karışık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıştan gelmesi durumunda THEPSO-PDD ² kontrol uygulamasında, parçacıkların yerel en iyi K_d konum değişimi ...	80
Şekil 6.31 : Karışık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıştan gelmesi durumunda THEPSO-PDD ² kontrol uygulamasında, parçacıkların yerel en iyi K_{d2} konum değişimi ...	80
Şekil 6.32 : Karışık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıştan gelmesi durumunda THEPSO-PDD ² kontrol uygulamasında, K_p , K_d ve K_{d2} denetleyici katsayı yerel değişimi ...	81
Şekil 6.33 : Karışık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıştan gelmesi durumunda THEPSO-PDD ² kontrol uygulamasında, mutlak değerdeki fin hücum hız değerleri ...	81
Şekil 6.34 : Gemiye kıştan gelen boyuna gelen karışık dalgalar koşulunda PSO-PDD ² kontrol...	85
Şekil 6.35 : Önce kış omuzluktan sonra kıştan gemiye gelen boyuna dalgalar koşulunda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s iken, klasik PDD ² ve PSO/THEPSO-PDD ² kontrol uygulamasında F sönümleme katsayılarının karşılaştırılması...	88
Şekil 7.1 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD ² denetleyici Simülink diyagramı...	93
Şekil 7.2 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD ² denetleyicisi, K_p katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.1273$...	94
Şekil 7.3 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD ² denetleyicisi, K_d katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.1900$...	94
Şekil 7.4 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD ² denetleyicisi, K_{d2} katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.0903$...	95
Şekil 7.5 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PSO-PDD ² denetleyicisi, Simülink diyagramı...	96
Şekil 7.6 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PSO-PDD ² denetleyicisinin, PSO algoritmasının Simülink diyagramı...	97
Şekil 7.7 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD2 ve PSO-PDD2 denetleyici karşılaştırması	98
Şekil 7.8 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında servovalfe gönderilen sinyal	98
Şekil A.1 : Yalpa sönümleyici aktif fin sisteminin uygulanacağı, Martı Teknesi...	114
Şekil A.2 : Yalpa sönümleyici aktif fin sisteminden veri toplama, kontrol sinyali çıkışı alınan, elektrohidrolik valflerin sürüşü sağlanan mekatronik donanım panosu...	114
Şekil A.3 : UEISIM300 Veri toplama ve kontrol elektronik donanımı...	115
Şekil A.4 : DNA-AI-201 analog giriş kartı, $\pm 15 V$ analog giriş yapılabilir. Çözünürlüğü 16 bit, 24 kanal (single ended), 12 kanal (diferansiyel)'a sahiptir...	115
Şekil A.5 : DNA-AO_308 analog çıkış kartı, $\pm 10 V$ analog çıkış verebilir. Çözünürlüğü 16 bit, 8 kanala sahiptir...	115
Şekil A.6 : DNA-DIO-403 dijital giriş/çıkış kartı. 5 V dijital giriş/çıkış yapılabilir. Çözünürlüğü 8 bit, 48 kanala sahiptir...	116
Şekil A.7 : 2 eksenli $\pm 75^\circ$ açı ölçeği eğim sensörü, çözünürlüğü 0.05° dir...	116
Şekil A.8 : Laboratuvarda, gemilerde yalpa sönümleyici aktif fin hidrolik sistemi üzerine prototip çalışması...	116

Şekil A.9 : Yalpa sönümleyici fin sisteminin servohidrolik valf PID denetleyici elektronik kartı.....	117
Şekil A.10 : Yalpa hareketi sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminin montajı...	117
Şekil A.11 : PID denetleyicisi ile konum kontrolü yapılan servohidrolik valfi.....	117
Şekil A.12: Karada, Martı Teknesi'ne yalpa sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminin montajı.....	118
Şekil A.13 : Yalpa hareketi sönümleyici sisteminin montajının tamamlanmasından sonra Martı Teknesi'nin denize indirilişi.....	118
Şekil A.14 : Martı Teknesi'nde yalpa sönümleyici fin sisteminin gerçek zamanlı kontrol uygulaması.....	118
Şekil B.1 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, farklı P, D ve D ² katsayı aralıklarında K _p katsayı değişimi.....	119
Şekil B.2 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, farklı P, D ve D ² katsayı aralıklarında K _d katsayı değişimi.....	119
Şekil B.3 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, farklı P, D ve D ² katsayı aralıklarında K _{d2} katsayı değişimi.....	120
Şekil B.4 : PSO-PDD ² denetleyicisinde, farklı P, D ve D ² katsayı aralıklarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması.....	120
Şekil B.5 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	121
Şekil B.6 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	122
Şekil B.7 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	122
Şekil B.8 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	123
Şekil B.9 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	123
Şekil B.10 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	124
Şekil B.11 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	124
Şekil B.12 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K _{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	125

Şekil B.13 : PSO-PDD ² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.....	125
Şekil B.14 : Kıç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim süresi 1 s iken, PDD2 ve PSO/THEPSO-PDD2 denetleyicilerin yalpa frekansına etkileri.....	126
Şekil B.15 : Kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda, kapalı çevrim süresi 1 s iken, PDD2 ve PSO/THEPSO-PDD2 denetleyicilerin yalpa frekansına etkileri.....	126
Şekil B.16 : Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında genel en iyi K_p , K_d ve K_{d2} katsayıları.....	127
Şekil B.17 : Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_p , katsayıları.....	127
Şekil B.18 : Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_d , katsayıları.....	128
Şekil B.19 : Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_{d2} , katsayıları.....	128

GEMİLERİN YALPA HAREKETİNİN PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU UYARLAMALI PDD² AKTİF FİNLERLE KONTROLÜ

ÖZET

Gemi yapımlarında tüm denetim sistemleri yurtdışından temin edilmektedir. Bu çalışmada, yalpa sönümleyici hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin sistemi donanımının ve denetiminin yurtiçinde gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Edinilen gerekli bilgi ve deneyim sonucunda ileri denetim tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'deki gemi inşa sanayi maliyetinin çoğunu ithal malzemeler oluşturmaktadır. Gemi denetim sistemleri de bu ithal malzemeler arasındadır. Türk Deniz Kuvvetleri için 12 adet korvet gemi inşası öngören ve yerli yapımı hedefleyen “Milgem Projesi” kapsamındaki ilk Türk Korveti “Heybeliada” da, stabilite denetim sistemi donanımı, yerli üretim olmadığından yurtdışından temin edilmiştir.

Yalpa azaltıcı sistemler, yolcu ve yük gemilerinde yalpaya karşı güvenlik ve konforun sağlanması amacı ile, savaş gemilerinde ise daha çok yalpanın azaltılması ile örneğin gemiden top atışlarının daha isabetli olabilmesi, uçak ve helikopterlerin gemiye iniş ve kalkışlarının daha güvenli bir şekilde yapılabilmesi için kullanılır.

Gemi stabilitesi kontrol sistemi uygulamasını yapan firmaların sayısı uluslararası alanda sınırlı olmakla birlikte, ülkemizde bu konuda henüz üretim aşamasına gelinememiştir. Gemi yapımında diğer kontrol sistemleri de yurtdışından temin edilmektedir. Bu çalışmada, hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin sistemi donanımının ve denetiminin yurtiçinde gerçekleştirilebilmesi hedef alınmıştır. Altı serbestlik dereceli ve doğrusal olmayan çok karmaşık gemi dinamiği incelenerek, sisteme en uygun aktif fin ileri denetleyici tasarımı yapılmıştır.

Yapılan çalışma, benzetim çalışmalarının yanı sıra gerçek zamanlı uygulama çalışmalarını da kapsamakta ve ilk laboratuvar çalışmalarında, yalpa sönümleyici hidrolik fin sisteminin gerçek zamanda bilgisayarla kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin, tam ölçekli testlerde efektif bir biçimde çalışması için, İ.T.Ü.'ye ait Martı Gemisi'nin bakım işlemleri ve aktif fin sisteminin tekneye montajı tamamlanarak denize indirilmiştir. Martı Gemisi'nde yapılan ölçümlerde elde edilen veriler kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında, tek serbestlik dereceli, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine bağlı değişken katsayılı yalpa hareketi modeli, gemi tasarım programı Maxsurf-Hydromax-Seakeeping ve Matlab yazılım programı ile yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında, hidrodinamik katsayıların tespiti ve denetleyici sistem tasarımının tam ölçekli gerçek zamanda testleri Simülink programı ile gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması, benzetim çalışmalarının yanı sıra T.C. Sanayi Bakanlığı ve İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin desteği ile tam ölçekli – gerçek zamanlı uygulama çalışmalarını da kapsamaktadır.

Son yıllarda literatürde, yalpa sönümleyici fin sistem denetleyicileri için ileri algoritmalar olarak Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve Model Tabanlı Uyarlamalı kontrol uygulamaları üzerine simülasyon bazında birçok çalışma yapılmış olsa da, gemi otomasyon sistemlerinde hala yaygın olarak PID denetleyicileri kullanılmaktadır.

Gemilerde yalpa sönümleyici denetleyicisi olarak, yalpa açısı, yalpa açı hızı ve ivmesi değişkenlerine bağlı PDD^2 kontrol uygulanması gerektiği, hem literatür araştırmalarından hem de benzetim ve deneysel verilerden tespit edilmiştir. PDD^2 denetleyicisinde, yalpa açı değişkenine bağlı, K_p kontrol katsayısının artımı, gemideki metasantr yüksekliğinin ($\overline{GM}$) artmasındaki etkiyi göstermektedir. Yani, K_p katsayısı ile geminin salınım periyodunu azaltmada etkilidir. Yalpa açı hızına bağlı K_d katsayısı ise yalpa genliğini sönümlemede performansı artırır. Yalpa açı ivmesi değişkenine göre, K_{d2} kontrol katsayısı ise gemideki metasantr yüksekliğinin ($\overline{GM}$) azalmasındaki etkiyi göstermekte, yani salınım periyodunu artırmaktadır.

PDD^2 denetleyici katsayılarının, değişen dinamik durumlara göre uyarlanabilmesi için ilk aşamada, üç boyutlu benzetim çalışmaları ile ileri denetim sistem algoritmasının tasarımı çalışmaları yapılmıştır. Denetleyici sistem tasarımı üzerine çalışma yaparken, geminin çeşitli çevre ve yükleme koşullarında altı serbestlik dereceli dinamik davranışına duyarlı ve hızlı cevap verebilecek algoritma yapısı olarak, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemi esas alınmıştır. Bu algoritma yapısında, her parçacık, arama uzayı içindeki uçuş yönünü, kuş sürülerinde olduğu gibi kendisinin ve tüm sürünün uçuş yönüne göre belirler. Parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden yararlanır. PSO, çok boyutlu optimizasyon problemlerin çözümünde, güçlü bir evrimsel algoritmadır.

PSO algoritmasının, yalpa sönümleyici fin denetim sisteminde kullanılmasında, değişen dinamik şartlara çözüm getirebilmesi için, ileri PSO algoritma yapıları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Hafıza Etkili PSO (HEPSO) optimizasyon işleminde üç popülasyon grubunun kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Bu popülasyon grupları, optimizasyon problemlerinde, geçmiş çözümlemelerin kaydedilmesi için “Hafıza Tabanlı Popülasyon Grubu”, gelecek çözümlemeler için araştırma yapabilecek “Araştırma Tabanlı Popülasyon Grubu” ve yeni ile geçmiş çözümlemeler arasında köprü oluşturabilecek “Hafıza Tabanlı Göçmen Popülasyon Grubu”ndan oluşmaktadır.

HEPSO algoritmasında, güncelleme iterasyon sayısının tamamlanması veya belli süre aralığında çevre koşullarının değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek çevre değişimine uyum göstermesine yönelik, ek olarak güncelleme yapılmasını tetikleyecek iki şartın eklenmesi ile Tetiklemeli Hafıza Etkili PSO (THEPSO) algoritmasının kullanımına karar verilmiştir. Bu şartlardan ilki, çözümlemede iterasyon süresince, son beş iterasyonda elde edilen genel en iyi konuma sahip parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasının önceden belirlenen değerin üzerinde kalırsa, güncelleme gerçekleştirilir. Diğer güncelleme koşulu, arama yapmakla görevli parçacıkların yerel en iyi konumlarının, amaç fonksiyonu değerlerinin yerel en iyi uygunluk değeri ile en kötü değer oranı birbirine yakın olduğu durumda gerçekleşir.

Geminin karışık dalgalar etkisinde, klasik PDD^2 ve PSO/HEPSO/THEPSO- PDD^2 denetleyicilerinin uygulaması üzerine çalışmalar yapılmış, performans değerleri karşılaştırılmıştır.

Tasarımı gerçekleştirilen Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyon – Oransal-Türev-İkinci Türev (THEPSO-PDD²) denetleyicisi ile yapılan çeşitli uygulamalarda toplam yalpa hareketi sönümleme performansı %95’in üzerinde olmasının yanısıra, küçük yalpa hareketlerinin sönümlenmesi de başarılmıştır. THEPSO-PDD² denetleyicisi, yalpa hareketi sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminde, yalpa açısı, yalpa açısı hızı ve ivmesi verilerine göre hidrolik servovalflere, geminin bulunduğu çeşitli evre ve yükleme koşullarına göre güncellenmiş kumanda sinyalinin göndermektedir.

Yapılan alışmalar sonucunda geliştirilen denetleyici algoritması İ.T.Ü.’ye ait olan Martı Gemisi’ne uygulanarak gerçek deniz şartlarında denenmiştir. Böylece gemi denetleyici sistemlerinden biri olan aktif fin denetleyicisi, gerçek zamanda uygulanabilirliği ile Türkiye’de ilk defa geliştirilmiştir. Kullanılan PSO esaslı denetleyici algoritması, uluslararası boyutta da benzetim alışmasından öteye geip uygulamalı olarak ilk defa denenmiştir.

ROLL MOTION CONTROL OF SHIPS BY PARTICLE SWARM OPTIMIZED ADAPTIVE PDD² ACTIVE FINS

SUMMARY

All control systems in production of ships are imported from abroad. In this study, equipment and control systems of an active fin system driven by a hydraulic actuator was aimed to be designed and manufactured in the country. By utilizing necessary knowledge and gained experience, an advanced control system design was pursued and carried out within the context of this thesis.

A quite a good deal of money in the shipbuilding industry is spent for the imported equipment. Ship control systems are among the imported equipments as well. For the first nationally designed and produced Turkish corvette “Heybeliada”, one of the 12 combat ships in the scope of “Milgem Project” of the Turkish Navy, the stability control system has been supplied from abroad, since there is no domestic production.

Roll-reducing systems in ships are used to ensure safety and comfort for passengers, crew and cargo in commercial ships and sustain more accurate take-off and landing of aircraft and better battle performance on warships.

The number of companies producing ship stability control systems in the world is few, worst yet, the systems are not produced in our country. Other control systems in the construction of ships are supplied from abroad too. In this study, national design and production of an active fin system working with a hydraulic actuator machinery and control system were aimed. The most appropriate and an advanced controller designed for the active fin system has been sought by examining six degrees of freedom and a very complex nonlinear ship dynamics.

The study also includes a real-time application, as well as related simulation studies. In the first phase of the study, the real-time computer control study was carried out for the position control of the hydraulic system in the laboratory. “Martı Ship”’s main engine and propulsion system were put through a detailed maintenance and then re-launched, since the active fin system has to run effectively in the full-scale tests. Simulation studies were performed using data from the full-scale measurements. A roll motion model coupled with heave and pitch motions was used in the simulation studies obtained by ship design software Maxsurf-Hydromax-Seakeeping and Matlab program. The hydrodynamic coefficients used in simulation studies were calculated with the data from full-scale tests.

This thesis also covers the work of a real-time application as well as simulation studies with the financial support of T.C. Ministry of Industry and I.T.U. Scientific Research Project Department.

Although, advanced algorithms for roll damping fin system controllers such as for Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic and Model-Based Adaptive controllers have

been studied in recent years, PID controllers are still widely used for ship automation systems.

It may be seen from the literature survey that the most common ship roll damping controller is the PDD² using roll amplitude, roll velocity and acceleration variables. This has also been verified by simulations during the study.

Increasing the control coefficient K_p of PDD² controller shows the influence of increasing ship's metacenteric height $\overline{GM}$. So, the coefficient K_p is effective in reducing the rolling period of the ship. Reducing the amplitude of the roll motion depends on K_d which is the coefficient of the roll velocity error. The roll acceleration coefficient, K_{d2} , increases the roll period. K_{d2} coefficient is ineffective in reducing the ship's metacenteric height $\overline{GM}$.

In order to adapt PDD² controller coefficients to the changing environmental and loading conditions, simulation studies have been carried out using Particle Swarm Optimization (PSO), as a sensitive and quick algorithm to respond to dynamic changes. The structure of a PSO algorithm is based on the model of coordinated collective behavior of bird flocking or fish schooling proposed by Reynolds for the first time. Kennedy and Eberhart developed PSO method to simplify the structure of this algorithm. In this algorithm, each particle determines the direction of the flight in the search space, according to itself and all the flocks. Since the particle benefits from the past experience of its own and the rest of the flock, PSO is a powerful evolutionary algorithm for multi-dimensional optimization problems.

Using a computational method, it optimizes the problem by iteratively trying to improve a candidate solution according to an objective function. In the algorithm, the particles move around the search-space according to the simple mathematical formulation based on the particle's position and velocity. Each particle's movement is updated by its local best known position and is also guided toward the best known positions in the search-space. The process goes on until the specified number of iterations is completed or the best fitness value is obtained. At the end of iterations, the overall best position is taken as the solution to the problem.

To find solutions to the changing dynamic conditions, studies have been conducted with the advanced PSO algorithm. Memory Effect PSO (MEPSO) algorithm includes three-particle groups. These particle groups are "Memory-Based Particle Cluster"; saving the previous analysis, "Research-Based Particle Cluster"; doing research for the future analysis and "Memory-Based Immigrant Particle Cluster"; bridging between the new and previous analysis.

In this thesis, based on the information given above, in the advanced PSO algorithm, the memory-based immigrant, research-based and memory-based particle clusters are called respectively first particle cluster (P_1), second particle cluster (P_2) and third particle cluster (M). In MEPSO algorithm analysis, particles of P_1 , P_2 and M clusters as predetermined numbers are assigned random locations in the range of allowable coefficients. At each iteration step in the optimization analysis, the positions of P_1 and P_2 clusters' particles are calculated the objective function values and compared with the value of their local best positions. If the objective function value of the current position of the particle is better than the local best position, the new position and fitness value is transferred to the local best position and value of the particle. At the end of each generation which consists of all search-space particles as P_1 and P_2 clusters, the best position of all the particles of P_2 cluster is copied to the worst position of all the particles of P_1 cluster. Also, the global best position and

fitness value in the overall local best positions of particles of P_1 and P_2 clusters is determined. If there are still randomly assigned positions in the memory (M) particles, the obtained global best position and fitness value of the search-space particles is assigned to the one of them. When the memory particles are updated, the global best particle of P_1 and P_2 will replace the closest memory solution if its fitness value is better than the memory solution.

If the global best particle belongs to P_1 cluster, an environmental change is detected. In this situation, P_2 particles are reinitialized, and as the memory particles (M) are combined with P_1 particles, the best particles are assigned to P_1 cluster with the memory particles unchanged. This algorithm structure is applied not only when environmental condition change is detected, but also after a predetermined fixed number iterations or a random integer iterations in a predetermined range of numbers.

However, there may be some problems for the Memory Effect PSO algorithm. For example, if the environment changes slowly, the particles might always have the stay in a peak and might not jump out to search for other peaks in the search-space for a long time. In order to solve this problem, two additional update conditions have also been used in the Triggered Memory Effect PSO (TMEPSO) algorithm. The first update condition is that if the average value of the general best positions obtained from the objective function for the last five generations is over a predetermined value, the update is performed. Other update condition is that if the ratio between the best position value and the average value of local best particles is high, the triggered condition occurs.

In this study, for damping the ship roll motion under several environmental conditions, the classical PDD² controller and PSO/MEPSO/TMEPSO adaptive PDD² controllers were applied and their roll motion damping performance values have been compared. The effectiveness of the controllers has been calculated as the percentage of roll motion reduction and the statistical roll motion reduction constant, F. The percentage of roll motion reduction describes the reduction in the overall magnitude of stabilized motion to that of unstabilized motion. The statistical roll motion reduction constant (F) allows one to distinguish between the small and large roll angles. The higher the F constant, the better performance the stabilizer controller has.

A result of the applications under the given conditions, complex small and large roll angles, the total roll damping performance ratio has been reached approximately as by the classical PDD² and PSO/TMEPSO-PDD² controller. The highest roll motion reduction constant (F) has been obtained by TMEPSO-PDD² controller. It has been suggested by the studies that the controller signal sending time should be increased, when the stabilizer hydraulic system isn't in saturation. However, increasing this control signal period is restricted by an adequate response speed of the controller. Also, if K_p , K_d and K_{d2} control coefficients have a dynamic structure, roll angle acceleration may exceed the limit value. At the TMEPSO-PDD² controller applications on ship roll damping, with the memory data recorded by ship trials, the exceeded roll angle acceleration has been prevented.

Under the influence of irregular waves, classical PDD² and PSO/HEPSO/THEPSO-PDD² controllers have been applied and compared. The most effective design of PSO is the Triggered Memory PSO algorithm which resulted in a total roll motion damping performance over 95% in various applications, also achieved damping for

small roll motions. THEPSO-PDD² controller optimizes the position of the hydraulic actuator according to the roll angle, roll velocity and acceleration, in case of the various environmental and loading conditions.

Advanced controller design was tested on Martı Ship as a full-scale application. Thus, the active fin system controller has been developed for the first time in Turkey with a real-time testing performance. PSO-based PDD² algorithm in the active fin controller has been realized in real sea conditions and the results compare satisfactorily with the simulations.

1. GİRİŞ

Türkiye'deki gemi inşa sanayi, 2002 yılında dünya sıralamasında 23'üncü sırada iken, 2005 yılında 1,8 Milyon deadweight tonluk (DWT) siparişe 8'inci sıraya kadar yükselmiştir ve halen 5'inciliği zorlamaktadır. Ancak, maliyetin çoğu ithal malzemeler oluşturmaktadır (Türkiye Gemi İnşa Sanayicileri Birliği raporları, 2006). Gemi denetim sistemleri de bu ithal malzemeler arasındadır. Türk Deniz Kuvvetleri için 12 adet korvet gemi inşası öngören ve yerli yapımı hedefleyen “Milgem Projesi” kapsamındaki ilk Türk Korveti “Heybeliada” da, stabilite denetim sistemi donanımı yurtdışından temin edilmiştir.

Yalpa azaltıcı sistemler, yolcu ve yük gemilerinde yalpaya karşı güvenlik ve konforun sağlanması amacı ile, savaş gemilerinde ise daha çok yalpanın azaltılması ile örneğin gemiden top atışlarının daha isabetli olabilmesi, uçak ve helikopterlerin gemiye inişlerinin daha güvenli bir şekilde yapılabilmesi için kullanılır.

Gemi hareketleri nedeni ile oluşan atalet kuvvetlerinin etkisi ile deniz tutması meydana gelir. Yapılan incelemelere göre, geminin yalpa hareketlerine ait ivmelerin yerçekimi ivmesinin 1/10 nu aşması halinde insanlarda deniz tutması belirtileri görülmektedir.

Gemi stabilitesi kontrol sistemi uygulamasını yapan firmaların sayısı uluslararası alanda sınırlı olmakla birlikte, ülkemizde bu konuda henüz üretim aşamasına gelinememiştir. Diğer gemi yapımlarında da tüm kontrol sistemleri yurtdışından temin edilmektedir. Bu çalışmada, hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin sistemi donanımının ve denetiminin yurtiçinde gerçekleştirilebilmesi hedef alınmıştır.

Altı serbestlik dereceli ve doğrusal olmayan çok karmaşık gemi dinamiği incelenerek, sisteme en uygun hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin ileri denetleyici tasarımı yapılmıştır.

Yapılan çalışma, benzetim çalışmalarının yanı sıra gerçek zamanlı uygulama çalışmalarını da kapsamakta ve ilk laboratuvar çalışmalarında, yalpa sönümleyici hidrolik fin sisteminin gerçek zamanda bilgisayarla kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin, tam ölçekli testlerde efektif bir biçimde çalışması için, İ.T.Ü.'ye ait Martı

Gemisi'nin bakım işlemleri ve aktif fin sisteminin tekneye montajı tamamlanarak denize indirilmiştir. Martı Gemisi'nde yapılan ölçümlerde elde edilen veriler kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında, tek serbestlik dereceli, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine bağlı değişken katsayılı yalpa hareketi modeli, gemi tasarım programı Maxsurf-Hydromax-Seakeeping ve Matlab yazılım programı ile yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında, hidrodinamik katsayıların tespiti ve denetleyici sistem tasarımının tam ölçekli gerçek zamanda testleri Simülink programı ile gerçekleştirilmiştir.

Geminin stabilitesini korumak, yalpa hareketlerini en aza indirmek amaçlı kullanılabilen yalpa finlerini kontrol edebilmek için, dalga etkisini öngörebilen modellemeye gerek vardır. Gemi seyir sırasında ölçülen yalpa açısı verilerine göre, yalpa dinamiğini hem takip edebilecek, hem de birkaç adım ilerisini öngörebilecek modelleme çalışmaları üzerine literatür araştırması yapıldı. İleriki bölümlerde, önce gemilerde yalpa sönümleyici sistemler ve kontrol uygulamaları başlığı altında; kontrol uygulamalarında gemi hareketleri modellemesi çalışmaları ve aktif fin kontrolü uygulamaları, sonra da denetleyici sistem tasarımında esas alınan, parçacık sürüsü optimizasyonu ve kontrol alanında uygulanmasında yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin sistemi donanımının ve denetiminin yurtiçinde gerçekleştirilebilmesi için gerekli bilgi ve deneyim birikiminin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması, benzetim çalışmalarının yanı sıra T.C. Sanayi Bakanlığı ve İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin desteği ile tam ölçekli – gerçek zamanlı uygulama çalışmalarını da kapsamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen denetleyici algoritması İ.T.Ü.'ye ait olan Martı Gemisi'ne uygulanarak gerçek deniz şartlarında denenmiştir. Böylece gemi denetleyici sistemlerinden biri olan aktif fin denetleyicisi, gerçek zamanda uygulanabilirliği ile Türkiye'de ilk defa geliştirilmiştir.

Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (THEPSO) ilk defa gemi yalpa azaltıcı aktif fin kontrolünde Oransal-Türevsel-İkinci Türev (PDD2)

denetleyicisinin katsayılarının bulunmasında ve uyarlanması kullanılmıştır. PSO-PDD² ise yine ilk defa gerçek deniz şartlarında uygulanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Yalpa hareketi sönümleyici aktif fin denetleyici sistem tasarımı, disiplinlerarası çalışma gerektirdiğinden, hem gemi hareketleri hem de ileri denetleyici algoritmalar üzerine araştırmalar yapılmıştır. Öncelikle, gemi yalpa hareketi modellemeleri ve yapılan kontrol uygulamaları özetlenmiştir. Bölümde, daha sonra tez çalışmasında benzetim ve deneysel çalışmaları yapılan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması üzerine uygulanan çalışmalar verilmiştir.

1.2.1 Gemi yalpa hareketi modellemesi ve kontrol uygulamaları

Gemi yalpa hareketlerinin modellenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ayrıca, bu bölümde yapılan yalpa hareketi sönümleyici aktif fin denetleyici sistem çalışmaları da özetlenmiştir.

Haddara (1995), geminin rastgele deniz koşullarında seyri sırasında ölçülen yalpa açıları verilerine göre, istatistik analizindeki rastgele azalan ve yapay sinir ağıları yöntemleri ile tek serbestlik dereceli yalpa hareketi modeli katsayılarını belli bir yaklaşımla hesaplamıştır. Toplanan yalpa açı verilerini kullanarak, birinci adımda istatistik analizdeki rastgele azalan yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem ile, rastgele deniz şartlarında doğrusal olmayan yalpa açısı ve yalpa açı hızı verilerini, Markov yöntemini kullanarak sınır şartlarına bağlı olasılık yoğunluğu fonksiyonunu elde etmiştir. Bu fonksiyona, Fokker-Plank eşitliğini uygulamıştır. Böylece, doğrusal olmayan hareketin sapma ve tahmin edilen değerin olasılığını veren diferansiyel denklemi elde etmiştir [16] .

Gemi yalpa açıları verilerine bağlı, stabilite parametrelerinin hesaplanmasında, diğer bir çalışmada dalgacık dönüşümü yöntemi ile yapılmıştır. Dalgacık yöntemi ile geminin doğrusal olmayan yalpa ve dalıp-çıkmaya bağlı yalpa hareketlerindeki harmonik karakteristikler, periyodik ve kaotik karakteristik çiftleri elde edilmiştir. Böylece, çeşitli deniz koşullarındaki yalpa hareketlerinde oluşabilecek; doğrultucu moment, ayrılma, kararlı durum ve kaotik cevaplar gözlemlenmiştir. Dalgacık dönüşümünde, fourier dönüşümünden farklı olarak, zaman serisi cevabının yine

zamana bağılı frekans cevabına dönüştürüldüğü ve elde edilen sinyalin çeşitli zaman aralıkları için analizinin yapılmıştır [17].

Gemi bordasına gelen düzenli dalgaların etkisinde ve gemi baş tarafından gelen düzenli dalgalar ile oluşan doğrusal olmayan yalpa hareketi denklemlerinin çözümlemelerinde dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Harmonik veya kaotik hareket karakteristiklerini göstermekte daha etkili olduğundan, harmonik dalgacık dönüşümü kullanıldığı belirtilmiştir. Uygulamada, zamana bağılı yalpa açıları, yalpa açılarna bağılı yalpa aç hızları ve harmonik dalgacık dönüşümü ile elde edilen zamana bağılı frekans cevabı, genlik ve faz modüllerindeki grafikler karşılaştırılmış, yalpa hareketinin kaotik karakteristiği, yani frekans bandındaki sürekli ayrılmanın ancak frekans cevabı grafiklerinden gözlemlenebildiği açıklanmıştır. Yalpa hareketinin kaotik bu karakteristiği, geminin stabilitesini kaybetmesine ve alabora olmasına neden olabilmektedir [18].

Dalgacık dönüşümü yöntemi uygulanan diğer bir çalışma da, gemiye dalgaların baştan gelmesi durumundaki doğrusal olmayan yalpa hareketi üzerine yapılmıştır. Yapılan çalışmada, gemiye baştan gelen dalga karakteristik değerleri, kritik stabiliteye neden olabilecek biçimde belirlenmiş ve sönümleme etkisi dikkate alınmamıştır. Deney sonucunda alınan yalpa açıları kaydı, Morlet dalgacık dönüşümü ile frekans cevabında zamana bağılı frekans bandında ve faz diyagramında, yalpa hareketlerindeki sürekli frekans ayrılması gözlemlenmiştir. Fakat, bu kaotik hareket zamana bağılı yalpa hareketleri ve yalpa hareketlerine göre yalpa aç hızları diyagramlarında farkedilmemiştir [19].

Benstead ve Bishop (2005), stabilite kontrolü için, dalga etkisini öngörmek amaçlı ARX modeli üzerinde çalışmalarını yapmışlardır. Çalışmada, gemiye gelen dalga yüksekliklerinin ölçülebildiği farzedilmiştir. ARX modelinin programlanmasında, her saniyede bir ölçülen yirmi adet dalga yüksekliği verisi kullanılmış ve beş adım ilerisinin öngörülebildiği belirtilmiştir. Ancak, modelin çeşitli bozucu etkenler altında yapılan çeşitli benzetim çalışmalarında performansının oldukça düştüğü açıklanmıştır [20]. Benzetim çalışmalarında, yalpa hareketinin matematik modeli olarak da ikinci mertebeden transfer fonksiyonunu kullanmışlardır [21].

Yalpa aç verilerine bağılı, dalga etkisini öngören diğer bir modelleme yapay sinir ağları ile yapılmıştır. Yalnızca rota kontrolünü sağlayan dümenin, oluşabilecek yalpa

hareketlerini azaltmak veya daha da arttırmamak için kullanılabilmesi için, dalga etkilerinden oluşabilecek yalpa hareketlerini öngörebilen bir modelden elde edilecek ikinci bir değişkene gerek görüldüğü belirtilmiştir. Yapay sinir ağı modelinin, gürültülü ölçümü filtre edebilmesi için, öğrenme sırasında hesaplanan yalpa açısı hızı ile gerçek yalpa açısı hızı farklarının kareleri ortalaması alınmıştır. Bu değer, modelin öğrenmede ve testindeki hata karelerinin ortalaması ile karşılaştırılarak, öngörebilme hatasının başlangıçta hesaplanan gürültüden kaynaklı hataya indirgenebilmesi için kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda; daha ileri adımları öngörebilmek için, modelin girişindeki veri sayısının artırılması gerektiği belirtilmiştir [22].

Allen, J.E. (1945), tarafından ilk çalışma aç-kapa şeklinde çalışan yalpa sönümleyici fin sistemi gerçekleştirmiştir. Bell, J. (1957), ise aç-kapa denetleyicisinin dezavantajları görüldüğünden, oransal kontrol üzerine çalışmıştır [23]. Sonraki çalışmalarda ise oransal, türevsel ve türevin değişimi (PDD2) katsayılarına bağlı denetleyici sistemi kullanılmıştır [6].

Daha sonraki yıllarda, literatürde aktif fin sistemi üzerine benzetim olarak ileri denetleyici algoritmaları ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları; doğrusal iki serbest dereceli (LQ-linear quadratic) kontrol algoritması [26]. Model tabanlı kontrol (MPC-Model predictive control) algoritması [24]. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık (Neural network & Fuzzy-Logic) algoritmaları [29]. Dayanıklı kontrol (Robust kontrol) algoritmasıdır [30].

PDD^2 katsayılarının, sinir ağları algoritması ile ayarlanmasına bağlı uygulamalarda, dümenin yalpa sönümleme sisteminin sönümleme oranları, %29 ile %85 aralığında değişmiş, ortalama % 53 sönümleme oranı elde edilmiştir [27]. PDD^2 katsayılarının, bulanık mantık algoritması ile ayarlanmasına bağlı uygulamada ise dümenin yalpa sönümleme oranı %22 olarak elde edilmiştir [28].

1.2.2 Parçacık sürüsü optimizasyonu ve kontrol alanında uygulanması

Kuşların veya balıkların koordine edilmiş kolektif davranış modelini esas alan algoritma yapısı, ilk defa Reynolds tarafından önerilmiştir. Kennedy ve Eberhart, bu algoritma yapısını basitleştirerek, parçacık sürüsü optimizasyonunu (PSO) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu algoritma yapısında, her parçacık, arama uzayı içindeki uçuş yönünü, kuş sürülerinde olduğu gibi kendisinin ve tüm sürünün uçuş yönüne göre

belirler. Parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden yararlanır [31,32] .

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre yazılımı daha basit, daha az kod satırına ihtiyaç duyan ve daha az iterasyonla yakınsayabilen bir algoritma olmasına rağmen, algoritma sürekli değişim gösteren dinamik şartlarda yetersiz kalmaktadır. PSO algoritmasının sürekli değişim gösteren dinamik şartlara uyum sağlayabilmesi için, geçmiş çözümlerden yararlanılabilmesi, “Gaussian Normal Dağılım” ile, gelecek çözümler elde edilmesi ise erken yakınsayan algoritmadaki bazı parçacıkların “Mutasyon” a uğratılması yöntemleri önerilmiştir. Önerilen bu algoritma yapısı, PID denetleyicisinin katsayılarının kendi kendine ayarlamasında uygulanmıştır [41]. PSO algoritması kontrol alanında, gemilerde otopilot sisteminin denetleyici tasarım benzetim çalışmalarında da uygulanmıştır [43].

Branke (1999) Evrimsel Algoritma’nın, sürekli değişen çevre şartlarına çözüm getirebilmesi için, optimizasyon işleminde üç popülasyon grubunun kullanılması gerekliliğini belirtmiştir. Bu popülasyon grupları, optimizasyon problemlerinde, geçmiş çözümler kaydedilmesi için “Hafıza Tabanlı Popülasyon Grubu”, gelecek çözümler için araştırma yapabilecek “Araştırma Tabanlı Popülasyon Grubu” ve yeni çözümler ile geçmiş çözümler arasında köprü oluşturabilecek “Hafıza Tabanlı Göçmen Popülasyon Grubu”ndan oluşması gerekmektedir [45]. Yang (2008) Evrimsel Algoritmadaki, optimizasyon çözümlerinde bu üç grup popülasyonun kullanılması yöntemine paralel olarak, diğer bir çalışma da Genetik Algoritma alanında yapılmıştır [44].

Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) çözümlemesinde, çevre şartları belli süre aralığında değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek değişime uygunluk sağlanabilmesi için, Tetiklemeli Hafıza Etkili (THEPSO) algoritma önerilmiştir [46].

PSO algoritmasında az sayıda olan katsayıların kendi kendine ayarlanması üzerine algoritma üzerine çalışmalar da yapılmıştır [39,40]. PSO algoritmasında diğer bir geliştirme çalışması da; parçacıkların amaç fonksiyonu sonuçlarındaki benzerliklerine göre alt parçacık grupları tanımlanmıştır. Böylece, çok boyutlu çözümler elde edilmesi sağlanmıştır [35-38].

Ayrıca, PSO algoritmasında parçacıkların bir kısmı atomik şarjlı parçacıklar olarak atanmıştır. Atomik şarjlı parçacıkların hız hesaplanmasında ivme faktörü de eklenmektedir. Böylece, nötr durumdaki parçacıkların konum hesaplanması birinci mertebeden matematik model iken, atomik şarjlı parçacıkların konum hesaplanması ikinci mertebeden matematik model ile gerçekleştirilmiştir [53-59].

1.3 Tezin İçerik Yapısı

Çalışma toplam 8 bölümden meydana gelmiştir. Aktif fin denetleyici sistem tasarımı geliştirilmesi için benzetim çalışmalarında kullanılan gemi yalpa hareketi modellenmesi ikinci bölümde anlatılmıştır. Bölümde, önce gemi hidrostatığı ve hidrodinamiği ile ilgili terimler açıklanmış, sonra fin sisteminin kuvvet bağıntısı verilmiştir. Bölüm sonunda, geminin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı değişken katsayılı tek serbestlik dereceli yalpa hareketi matematik modelinin oluşturulması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, benzetim çalışmalarında hidrodinamik katsayıların tespiti ve denetleyici sistemin performans testlerinin gerçekleştirildiği tam ölçekli deneysel çalışma anlatılmıştır. Öncelikle, hidrolik tahrikli fin sistemi deney tesisatı ve montajının yapıldığı gemi özellikleri açıklanmıştır. Hidrodinamik katsayıların bulunması için yapılan deneysel çalışmalar ve geminin çalıştığı deniz koşullarında gemi hareketleri verilerinin elde edilmesi anlatılmıştır. Deneysel veriler ile yapılan yalpa hareketi model sonuçları bölüm sonunda verilmiştir.

Denetleyici sistem algoritmalarının performans karşılaştırması için referans alınan değerler ve bunların hesabı dördüncü bölümde açıklanmıştır. Beşinci bölümde, denetleyici sistem tasarımında esas alınan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının teorisi üzerinde durulmuştur. Bölümde ayrıca, Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) ve Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (THEPSO) algoritmaları duyulan gereksinim ve algoritma yapıları anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, PSO algoritmasının fin denetleyici sistemindeki kullanımında karakteristiklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar verilmiştir. Geminin çeşitli şartlarda çalışması durumunda, PSO uygulaması sonuçları açıklanmıştır. Bölümün alt başlıklarında, ileri PSO algoritma uygulamaları da yapılarak, performans

karşılaştırmaları yapılmıştır. Yedinci bölümde ise, klasik PDD² ve PSO-PDD² denetleyicilerinin tam ölçekli uygulama sonuçları verilmiştir.

Sekizinci ve son bölümde, çalışmaların değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bölümde, ayrıca yalpa sönümleyici sistem donanımında ve denetleyici sistem algoritmasında gelecekte yapılacak geliştirmeler anlatılmıştır.

2. GEMİ HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ

Yalpa sönümleyici fin sistemi denetleyici tasarımının benzetim çalışmalarında uygulanabilmesi için, geminin matematik modeline ihtiyaç vardır. Tez çalışmasında benzetim çalışmalarında kullanılması için, çevre ve yükleme koşullarına göre altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin doğrusal olmayan dinamik yapısı indirgenerek, tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı gemi matematik modeli oluşturulmuştur.

Bu bölümde, gemi hidrostatığı ve hidrodinamiği kavramları işlenerek, geminin tek serbestlik dereceli yalpa hareketi modellemesi, yalpa sönümleyici fin kuvvet ve momentleri ve benzetim çalışmasında kullanılan tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı modellemesi anlatılacaktır.

2.1 Amaç

Aktif fin stabilizer denetleyicisinin tasarımında, gerçek zamanlı performans değerlendirmelerden önce, yalpa sönümlenmesinde en uygun çözümlemelerin bulunabilmesi amacı ile geminin yalpa hareketi modellemesi yapılmıştır. Sistemin, gemi üzerinde efektif bir biçimde çalışması için, İ.T.Ü.'ye ait Martı Gemisi'nde yapılan ölçümlerde elde edilen veriler kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2.2 Gemi Hidrostatığı ve Hidrodinamiği

Gemi hareketlerini tanımlayan eksen takımları Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu eksen takımlarına göre gemi dinamiği altı serbestlik dereceli doğrusal olmayan denklemlerle ifade edilmektedir. Doğrusallaştırılmış gemi dinamiği Denklem (2.1)'de verilmiştir [1,2,3].

$$\sum_{k=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\eta}_k + B_{jk}\dot{\eta}_k + C_{jk}\eta_k] = F_j e^{i\omega t} \quad j=1,\dots,6 \quad (2.1)$$

Geminin yan öteleme ve savrulma hareketleri ihmal edilerek, ayrıca sabit rotada seyrettiği kabul edilerek doğrusallaştırılmış gemi yalpa hareketi Denklem (2.2)'deki gibi verilebilir.

$$(I + A)\ddot{\phi} + B\dot{\phi} + C\phi = M_D \quad (2.2)$$

ϕ : Geminin boyuna eksen etrafındaki yalpa açısı

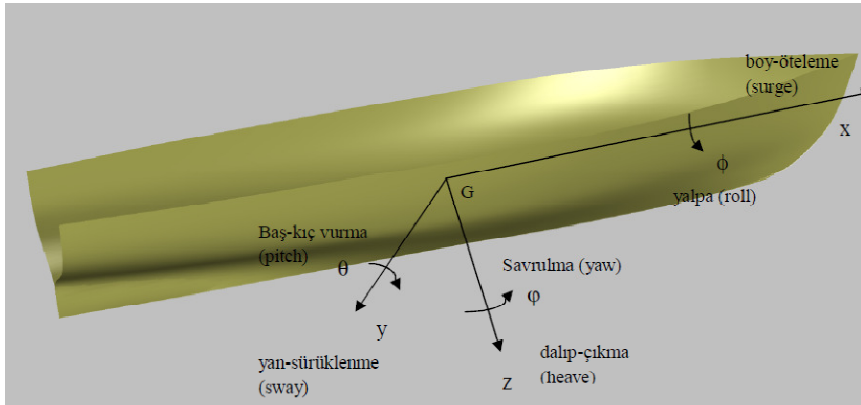
I: Kütle atalet momenti.

A: Ek su kütlesi atalet momenti.

B: Yalpa hızıyla orantılı sönüm kuvveti momenti.

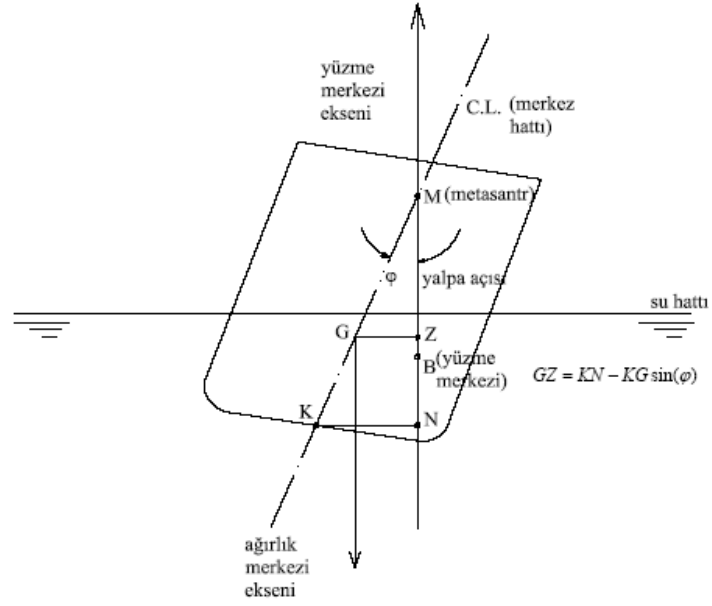
C: Gemiye doğrultucu hidrostatik su kuvvetleri momenti.

M_D : Dış kuvvetlerin oluşturduğu moment.



Şekil 2.1 : Gemi hareketlerini tanımlamaya yarayan eksen takımları.

Herhangi bir meyilde ağırlık ve yüzme merkezi kuvvetleri gemiyi başlangıçtaki meyilsiz durumuna getirmeye çalışan doğrultma moment kolu, $\overline{GZ}$ Şekil 2.2'de gösterilmiştir. C, gemiyi doğrultucu hidrostatik su kuvvetleri momenti, geminin ağırlığı ile doğrultma moment kolunun çarpımı ile bulunur.



Şekil 2.2 : Gemi stabilitesine etkiyen değişkenler.

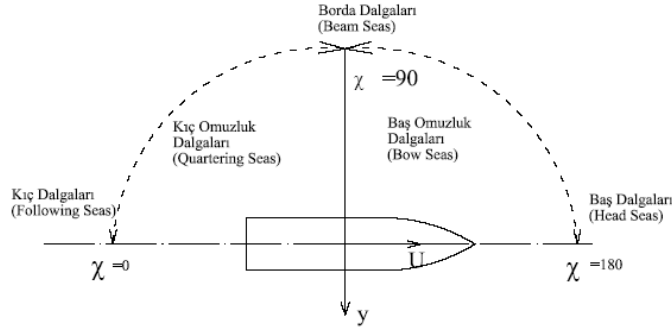
Ek su kütlesi atalet kuvveti, katı cisim, sıvı içindeki ivmeli hareketinde ivmesiyle orantılı olarak hareketinin zıt yönünde hidrodinamik bir atalet kuvvetidir. Sönüm kuvveti katsayısı, salınım hareketi yapan cisim veya kesit serbest su yüzeyinde dalgalar oluşturur. Cismin iki yanında meydana gelen dalgalar sürekli olarak, cisimden aldıkları enerjiyi sonsuza taşırlar. Dolayısı ile cisimden alınan enerji karşılığı, cisimde bir sönüm kuvveti doğmuş olur. Bu kuvvet, cismin salınım hızı ile orantılı olup hareketin zıt yönündedir.

Gemiye etkiyen dış kuvvetlerden dalga kuvveti, çalışmada esas alınacaktır. Gemi, izlediği rotaya ve dalgaların genel ilerleme yönlerine göre dalgaları çeşitli yerlerinden alır. Dalgalar gemiye geliş yönlerine göre adlandırılması Şekil 2.3'de verilmiştir.

Gemi sıfır hızda iken, dalga frekansına göre salınım yapar. Fakat, gemi belli bir hızda ve dalgalara göre belli bir açıda ilerlerken, dalga frekansından farklı bir salınımla hareket eder. Geminin, hareket halinde karşılaştığı dalga frekansına karşı göstermiş olduğu salınım durumu, karşılaşma frekansı olarak adlandırılır [8].

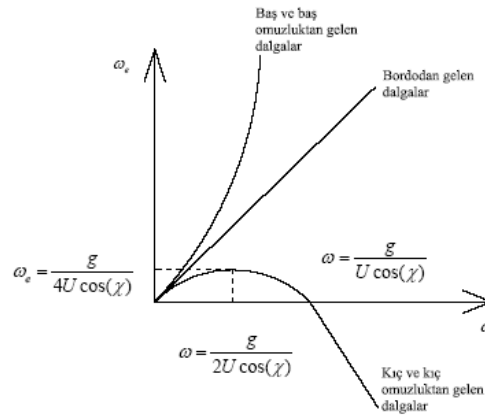
$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 U}{g} \cos(\chi) \quad (2.3)$$

χ : Dalganın gemiye geliş açısı ; U: Gemi hızı ; ω : Dalga frekansı



Şekil 2.3 : Dalgaların gemiye geliş yönlerine göre adlandırılması.

Şekil 2.4’de görüleceği üzere, gemi baş-baş omuzluktan gelen dalgalarda, dalga frekansından büyük, bordadan gelen dalgalarda, dalga frekansı ile aynı, kıç-kıç omuzluktan gelen dalgalarda, dalga frekansına göre ilişkisi parabolik eğri özelliğini gösterir. Kıç- kıç omuzluktan gelen dalgalara karşı, geminin karşılaşma frekansının negatif olması, geminin takip eden dalgaları aşması anlamına gelir.



Şekil 2.4 : Dalganın geliş yönüne bağlı dalga frekansı – karşılaşma frekansı ilişkisi.

Geminin yalpa hareketi modellenmesinde, öncelikle lineer yaklaşım ile elde edilmiş modeller incelenmiştir. Bu modeller, 2 boyutlu dilim teorisi (2D Strip Theory) olarak literatürde geçmektedir. Maxsurf programına ait Seakeeper programı, bu doğrusal yaklaşım ile, gemiye etkiyen frekansa bağlı dalga spektrumuna göre, genlik ve faz cevabı olarak, gemi hareketlerini birbirinden bağımsız olarak modellemektedir. Yani, geminin yalpa hareketine, geminin diğer hareketlerinin yani geminin dalıp çıkma hareketi, trim hareketinin etki etmediği kabulü ile modelleme ile Seakeeper programında simülasyon çalışması mümkündür. Gerçekte, geminin her bir hareketi, diğer beş hareketi de etkiler.

Bu çalışmada, Seakeeper programına göre genlik ve faz cevaplarından yararlanarak, öncelikle zamana göre, geminin yalpa, dalıp çıkma ve trim hareketlerinin analizi Matlab ile programlanmıştır. Bu sonuçlar, doğrusal olmayan yalpa hareketini modellenenilmesi ve lineer yaklaşımla elde edilen yalpa hareketi ile karşılaştırılması için kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan yalpa hareketi modellenmesinde, dalga etkisine bağlı olarak, iki moment etkisi vardır. Bu moment etkileri; birincisi hidrodinamik kuvvetlerle ilgili moment, bu Froude Krylov moment etkisi olarak da adlandırılır, diğeri dalgaların kırılması, saçılması durumundaki moment etkisidir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan modellemede, bu iki moment etkisi, Matlab program ile geminin offset tablosuna göre hesaplanmıştır. Belli dalga frekanslarına göre hesaplanmış bu kuvvetlerden tablo oluşturulmuş, böylece gelen dalga spektrumuna göre oluşabilecek, dalga kuvvetine bağlı moment etkisi programlamada interpolasyon yardımı ile hesaplatılmıştır.

Dalga etkisine karşı, geminin kaldırma momenti, doğrusal olmayan yalpa hareketi modellemesi için, Maxsurf'e ait Hydromax stabilite programına göre geminin yalpa, dalıp çıkma ve trim etkilerine göre statik olarak hesaplanan kaldırma moment değerlerinden tablolama ile Matlab programı ile geminin bu üç hareketine karşılık kaldırma momenti hesaplanmıştır. Çünkü, geminin yalpa hareketinde, kaldırma moment etkisi, geminin draftının değişmesine ve gemin başa veya kıça trim yapmasına göre değişmektedir.

Modelleme özelliklerine geçmeden önce dalga spektrumundan, zamana göre dalga yükseklikleri ve frekanslarının elde edilmesi üzerine eşitlikler aşağıda verilmiştir. Genelde ortak kullanılan spektrum, Bretschneider spektrumudur ve Denklem (2.4)'de verilmiştir.

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{1.25}{4} \frac{\omega_m^4}{\omega^5} H_{1/3}^2 e^{-1.25 * (\frac{\omega_m}{\omega})^4} \quad (2.4)$$

Burada, $H_{1/3}$, karakteristik dalga yüksekliğidir, yani en çok karşılaşılan dalga yüksekliklerinin üçte birinin ortalamasıdır, ω_m model frekansı ise bu karakteristik yüksekliğe karşılık gelen frekanstır.

$$\omega_m = 0.4 * \sqrt{\frac{g}{H_{1/3}}} \quad (2.5)$$

Dalga spektrumunun ayrıklaştırılması ise denklem 2.6'de verilmiştir. Dalga spektrumu altında kalan alanın belirttiği enerji bölgesi, belli frekans aralıklarında alınarak toplanması ile elde edilir.

$$E = \rho g \sum_{i=1}^{frekans\ sayısı} \frac{A_i^2}{2} = \rho g \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.6)$$

Buradaki A_i , dalga spektrumundaki frekanslara karşılık gelen genliği göstermektedir.

$$A_i = \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_i)\Delta\omega} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'de rastgele faz açısı eklenerek, zamana göre dalga yükseklikleri bilgisayar ile kolay ve hızlı bir şekilde hesaplanabilir.

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^{fr\ sayısı} A_i \cos(\omega_i t + \psi_i) \quad (2.8)$$

Yalpa hareketinde, geminin altı serbestlik dereceli bir dinamik sistem olduğu, geminin boyuna göre simetrik olmayışı, geminin yükleme koşullarının değişimi, sisteme etkiyen bozucu etkinin yani dalgaların çok çeşitlilik göstermesi ve gemiye etkilerinin de geminin dizayn yapısına, hızına göre farklılığı, dinamik sistem doğrusal yaklaşımında, gerçekten ne kadar uzaklaştığı konusunda yeterli nedeni vermektedir.

Yapılan çalışmada, geminin doğrultma momentinin, geminin trim durumuna göre ve dalıp çıkma hareketlerine göre değişim göstermesi nedeni ile, Hydromax programı ile geminin hareketlerine göre doğrultma momenti hesapları yapılarak tablolar halinde sunulmuştur. Bu veri tablosundan, Matlab programlamasında, gelen dalga etkilerinde oluşan üç gemi hareketinin karşılığı doğrultma momenti değeri hesaplanmıştır.

Böylece, tasarımı yapılan denetleyici sistemin performansları, gerçek zamanlı performans testlerine geçmeden önce, benzetim çalışmalarında dalıp-çıkma ve baş-kıç hareketlerine bağlı değişken katsayılı tek serbestlik dereceli matematik

modelinde, tam ölçekli deneysel çalışmalardan elde edilen gemi sönümleme katsayısı, fin kaldırma kuvveti katsayılarının da kullanılması ile incelenecektir.

2.3 Yalpa Sönümleyici Fin Kuvveti ve Momentleri

Yalpa azaltıcı sistemler, yolcu ve yük gemilerine yalpaya karşı güvenlik ve konforun sağlanması amacı ile, savaş gemilerine ise daha çok yalpanın sebep olduğu bazı önemli sorunların yok edilmesi düşüncesi ile monte edilir. Örneğin, yalpası azaltılmış bir savaş gemisinden top atışları daha isabetli olabileceği gibi uçak ve helikopterlerin gemiye inişleri daha güvenli bir şekilde yapılabilir.

Gemi hareketleri nedeni ile oluşan atalet kuvvetlerinin bu sistemi zorlaması ile insanın bir çeşit hastalanmasına yol açan deniz tutması meydana gelir. Yapılan gözlemlere göre, salınım hareketine ait ivmelerin yerçekimi ivmesinin 1/10'unu aşması halinde insanlarda deniz tutması belirtileri görülmektedir.

Gemilerde yalpa azaltıcı sistemler; pasif yalpa azaltıcı sistemler ve aktif yalpa azaltıcı sistemler, iki ana gruba ayrılır.

2.3.1 Pasif yalpa azaltıcı sistemler

Bu tip yalpa azaltıcılarda, donanımı çalıştıran ek bir güce ve özel bir kontrol sistemine herhangi bir gereksinim yoktur. Bu tip sistemlerde, bizzat yalpa hareketi yardımı ile harekete zıt yönde moment oluşturulur ve diğer bir deyişle, bu sistemler yardımı ile geminin yalpadaki enerjisi çekilerek veya kısmen yok edilerek hareket söndürülür. Bu gruba ait yalpa azaltıcıları aşağıda sıralanmıştır;

2.3.1.1 Yalpa omurgaları

Genellikle yalpa omurgaları sintine dönümlerine dik olarak ve ilerleme yönünde gemiye en az direnç verecek biçimde gemi akıntı çizgileri boyunca monte edilirler. Genellikle yalpa genliğinde, %20 ile %35 arasında bir azalma sağlarlar.

2.3.1.2 Pasif yalpa tankları

Tank içindeki serbest su yüzeyi etkisi nedeni ile gemi stabilitesi azalmakta ve böylece gemi yalpa periyodu artmaktadır. Periyodun artması ile geminin karakteristik dalgalarla senkronize olma durumu bir dereceye kadar önlenir. Ancak, tank içindeki su akışı ile gemi hareketi arasındaki senkronizasyon sonucu,

yalpa azalacağı yerde daha da artabilmekte ve gemi devrilme tehlikesiyle karşı karşıya gelebilmektedir.

2.3.1.3 Pasif hareketli yalpa ağırlıkları

Bir sarkacın, hareketli ağırlığı sevkeden hidrolik mekanizmaya kumanda etmesi ile gemide yalpa azaltma yoluna gidilmiş, fakat bu sistem başarılı olamamıştır. Çünkü, kontrol mekanizmasının etkisi altındaki ağırlığın hareketi istenilen düzende olamamıştır. Bu tip yalpa azaltıcılar, bugün artık kullanılmamaktadır.

2.3.2 Aktif yalpa azaltıcı sistemler

Bu gruba ait donanımlarda makine gücü yardımı ile bordadan bordaya sıvı veya katı ağırlıklar hareket ettirilir. Bu sistemler, gemide yalpaya karşı zıt bir momentin kontrollü bir şekilde oluşturulabilmesidir. Başlıca aktif yalpa sistemleri aşağıda sıralanmıştır.

2.3.2.1 Aktif yalpa finleri (kontrol yüzeyleri)

Hücum açılarının değiştirilmesindeki kısa zaman gereksinimi, en büyük açlarına 20 ile 30 saniyede dönebilen gemi dümeni ile karşılaştırılacak olunursa, kullanılan hidrolik sistemin gücünün büyüklüğü ve kontrol sistemindeki duyarlılık ve çabukluk hakkında bilgi vermektedir.

2.3.2.2 Aktif yalpa tankları

Yalpayı zıt yönde etkileyecek bir moment oluşturabilmek için U tipli yalpa tankındaki sıvı bir bordadan diğerine ya bir hava kompresörü veya bir su pompası yardımıyla zorlanmak suretiyle aktarılır. Sistemin oldukça karışık ve pahalı olması, çalışması esnasında ek güce gerek göstermesi, ayrıca çok karışık elektronik hesaplamalı kontrol sisteminin kullanılmasıdır.

2.3.2.3 Yalpa jiroskopları

Jiroskop volanı, volanı döndüren elektrik motoru, çerçeve ve buna bağlı alın dişlisinden oluşan sistemin ağırlık merkezi, yatay eksen üzerine rastlayacak şekilde dengelenmiştir. Kumanda jiroskopu, gemi yalpa hareketindeki ϕ' açısal hızı ile orantılı olarak, yalpaya karşı zıt bir moment oluşturur. Böyle bir donanım ağırlığı, gemi deplasman tonunun yaklaşık %2 işgal etmektedir. Yalpa jiroskoplarının

özellikle düşük hızlardaki seyirlerde yalpayı söndürmede çok etkin olmasına ve sert deniz koşullarında her salınımda %50 oranında yalpayı azaltabilme olanağına sahip bulunmasına rağmen, bugün hemen hemen bu tip donanımların ticaret gemilerine uygulanmasından vazgeçilmiştir.

Vazgeçilme nedenleri;

- Tüm donanım yapımı ve gemiye montesi pahalıdır,
- Donanım ağırdır,
- Gemide hacim bakımından fazla yer işgal eder,
- Bu sistemi çalıştırmak için gerekli olan gücün fazla olması nedeniyle çalıştırma giderleri pahalı ve fazladır.
- Ayrıca herhangi bir kaza oluşunda çok hızlı dönen jiroskop volanının etrafını tahrip edebilme olasılığı da vardır.

2.3.3 Yalpa sönümleme momenti

Yalpa hareketi sönümleyici hidrolik fin sisteminin oluşturduğu moment Denklem (2.9)'da verilmiştir.

$$M_F = \frac{1}{2} \rho r_f V_{fl}^2 A_f C_L(\alpha_e) \quad (2.9)$$

ρ : su yoğunluğu

r_f : fin moment kolu

V_{fl} : finin, akış hızına göre bağlı hızı (genelde denetim tasarımı problemlerinde,

$V_{fl} \approx U$, gemi hızı, olarak alınır.)

A_f : fin yüzey alanı

C_L : kaldırma kuvveti katsayısı olup $C_L(\alpha_e) \approx \bar{C}_L \alpha_e$ ile ifade edilir ve $\bar{C}_L \equiv \frac{\partial C_L}{\partial \alpha_e} |_{\alpha_e=0}$

α_e : efektif fin açısı olup, fin ile akış hızı arasındaki açıdır.

Geminin sancak ve iskelesindeki finlere, tek denetleyici sinyali gönderildiği durumda ikisinin oluşturduğu toplam moment değeri Denklem (2.10)'de verilmiştir.

$$M_F = 2 * \left(\frac{1}{2} \rho r_f V_{fl}^2 A_f \right) * C_L(\alpha_e) \quad (2.10)$$

2.4 Tek Serbestlik Dereceli Yalpa Hareketinin, Baş-Kıç Vurma ve Dalıp-Çıkma Hareketlerine Bağlı Değişken Katsayılı Modeli

Tez çalışmasında, yalpa hareketi denklemi tek serbest dereceli olarak, denklemdeki katsayılar yalpa hareketi ile birlikte dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Dalganın ve yalpa hareketini sönümleyen fin yüzeylerinin oluşturduğu moment kuvvetlerinde, geminin yalpa hareketinin, dalıp-çıkma ile baş-kıç vurmaya bağlı hareketlerinde tek serbestlik dereceli ifade, Denklem (2.11)'deki gibi verilmiştir [1-5].

$$(m + a)\ddot{\phi}(t) + \left(\frac{B_1 T_{\phi} \Delta \overline{GM}(t)}{\pi^2}\right) \dot{\phi}(t) + \left(\frac{B_2 3 T_{\phi}^2 \Delta \overline{GM}(t)}{16 \pi^2}\right) \dot{\phi}(t) |\dot{\phi}(t)| + (\Delta \overline{GM}(t)) \phi(t) = M_D(t) + M_F \quad (2.11)$$

$$m = \frac{\Delta}{g} k_{\phi}^2 \quad (2.12)$$

k_{ϕ} : dönme yarıçapı, Δ :geminin deplasmanı, g : yerçekimi ivmesi

$$a = ml \quad (2.13)$$

l : geminin kütle atalet momenti katsayısı ile eksü kütle atalet momenti katsayısı arasındaki oran

$$\frac{\Delta}{g} k_{\phi}^2 (1 + l) = \frac{\Delta}{g} k_{\phi}'^2 \quad (2.14)$$

k_{ϕ}' : geminin kütle ve eksü kütle atalet momenti katsayısının bileşik dönme yarıçapı

$$T_{\phi} = \frac{2\pi k_{\phi}'}{\sqrt{\overline{GM}g}} \quad (2.15)$$

T_{ϕ} :yalpa periyodu, $\overline{GM}$: geminin metasantrik yüksekliği

$\overline{GM}$, geminin meyil testinden, k_{ϕ}' , geminin sıfır hızda elde edilen sönümleme eğrisinden elde edilmiştir. Deneyler durgun suda yapılmıştır. Buradaki deneyler, tek bir GM değeri için yapıldığı durumda, ya geminin kütle atalet momenti katsayısının dönme yarıçapı yaklaşık 0.4B (B:gemi genişliği) alınarak, l katsayısı elde edilir, yada l katsayısı sabit kabul edilip (0.1*m gibi), k_{ϕ} , katsayısı elde edilir. Bu çalışmada, k_{ϕ} , yaklaşık 0.4B kabul edilerek, l katsayısı elde edilmiştir. $\Delta \overline{GM}$, zamana göre değişen katsayı olarak, Maxsurf'un Hydromax altprogramından faydalanılarak dört boyutlu tablolardan interpolasyon yöntemi ile sayısal çözümlemelerde hesaplanmaktadır.

B_1, B_2 : geminin sönüm katsayıları, geminin çeşitli hızlarında elde edilen sönümleme eğrilerinden elde edilmiştir. Geminin sönümleme karakteristiği, yalpa açılarındaki azalma eğrisinden, her salınımında yalpa açılarındaki azalma, $\delta\phi$, bunlara karşıt gelen ortalama yalpa açıları, ϕ_m , üzerine ordinat olarak çizilirse, elde edilecek azalma eğrisi Denklem (2.16)'daki gibi ifade edilebilir. Deney verilerinden, Denklem (2.16)'daki B_1 ve B_2 katsayılarının tespiti ile bulunan dinamik stabilitedeki azalma Denklem (2.17)'de verilmiştir [5].

$$\delta\phi = B_1\phi_m + B_2\phi_m^2 \quad (2.16)$$

$$B\phi' = \rho g \overline{VGM}\phi_m\delta\phi \quad (2.17)$$

Bu nedenle, geminin fin montajından önce sakin suda, finin montajından sonra değişik hızlarda sakin suda yapılan deneylerle, elde edilen yalpa açılarındaki azalma eğrilerinden, Martı gemisine ait benzetimde kullanılacak gerçek sönümleme karakteristiği elde edilmiştir.

3. TAM ÖLÇEKLİ DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan ilk çalışmalarda, laboratuvar ortamında yalpa sönümleyici hidrolik fin sisteminin gerçek zamanda bilgisayarla denetimi Simülink yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarının paralelinde, İ.T.Ü.'ye ait Martı Gemisi'nin, Tuzla'da İ.T.Ü. Denizcilik Fakültesi kampüsünün konuşlandığı bölgenin açıklarında, durgun suda yapılan tam ölçekli deneysel çalışmalar sonucu, sıfır hızda ve çeşitli hızlarda geminin sönümleme katsayıları ve yalpa sönümleyici fin sisteminin çeşitli fin hücum açılarındaki kaldırma kuvveti katsayıları elde edilmiştir. Tam ölçekli deneysel çalışmalar sonucu elde edilen geminin hidrodinamik katsayılarının kullanıldığı, üç serbestlik dereceli benzetim çalışmaları, gemi dizayn programı Maxsurf-Hydromax-Seakeeping ve Matlab yazılım programları ile gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, tam ölçekli deneysel çalışmalarda, çeşitli deniz şartlarında Martı Gemisi'nin seyri sırasında, ultrasonik algılayıcı ile dalga yüksekliği, eğim ölçer ile yalpa ve trim açıları ve basınç algılayıcısı ile dalıp-çıkma hareketi verileri kaydedilmiştir. Alınan bu veriler doğrultusunda, gemi dizayn programı Seakeeping'de yaklaşık deniz şartları seçilmiştir. Programdan alınan frekansa bağlı genlik değişim sonuçlarından, tam ölçekli deney çalışmalarından geminin yalpa, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketi verilerinden elde edilen frekansa bağlı genlik değişim aralığındaki veriler, Matlab yazılım programında üç boyutlu benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

3.1 Amaç

Yalpa sönümleyici fin denetleyici tasarımının, benzetim çalışmaları ile uygulamaları tamamlanıp, gerçek zamanlı performans testlerine geçildiğinde katsayı ayarlamalarını en aza indirmek maksadı ile gemi modelinde mümkün olduğunca Martı Gemisi'nin tam ölçekteki deneyler sonu elde edilen hidrodinamik katsayıları ve çalıştığı deniz şartlarındaki dinamik yapı verileri kullanılmıştır. Böylece, çalışmada en son denetleyici sistemin gerçek zamanlı performans testleri sonuçları,

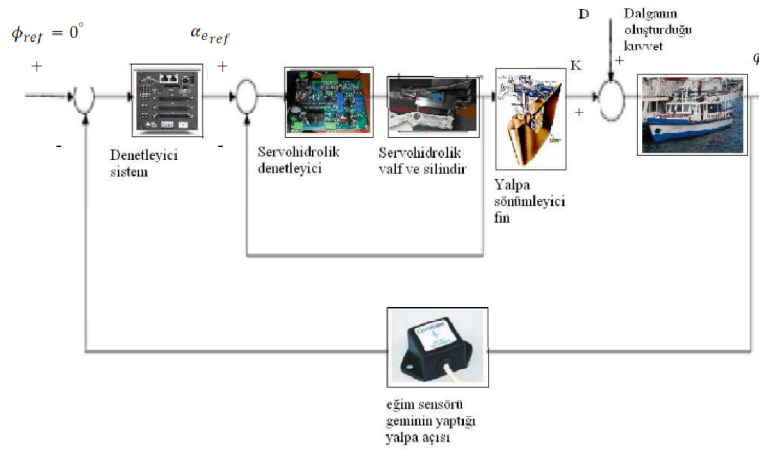
benzetim çalışmaları ile yaklaşık olarak bir karşılaştırma imkanını da vermiş olacaktır.

3.2 Yalpa Sönümleyici Hidrolik Tahrikli Fin Sistemi

Tez çalışmasında amaçlanan, fin denetleyici sisteminin gerçek zamanlı kontrol uygulamaları için, önce laboratuvar ortamında tam ölçekteki fin sisteminin kapalı çevrim konum kontrolü çalışmaları yapılmıştır. Şekil A.8’de, laboratuvar ortamında hidrolik sistemin deney düzeneği gösterilmiştir. Hidrolik sistemin konum kontrolü, PID analog elektronik kart ile gerçekleştirilmiş ve Şekil A.9’da analog denetleyici kart gösterilmiştir.

Yalpa sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminde, aktif fin yüzey alanı, $A_f = 0.232 \text{ m}^2$, hidrolik çalışma basıncı, $P=70 \text{ bar}$, elektrik motor gücü, $W=3 \text{ kW}$, oransal servovalf kullanılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarına, sonra fin denetleyici sistem tasarımı geliştirmesi, hidrolik sistemin gerçek zamanlı kontrolünü içeren benzetim çalışmalarına devam edilmiştir. Yapılan çalışmanın kapalı çevrim denetleyici sistem blok diyagramı, Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Martı Gemisi yalpa sönümleyici aktif fin sisteminin kapalı çevrim blok diyagramı.

3.3 Gemi Özellikleri

Fin sistemi denetleyicisinin gerçek zamanlı performans testlerinin derçekleştirildiği, Martı Gemisi'nin özellikleri ve yükleme koşulları aşağıda verilmiştir ve Şekil A.1'de gösterilmiştir;

$L=16.5$ m, gemi tam boyu

$D=2.4$ m, gemi derinliği

$B_G = 4.2m$, gemi genişliği

$T=1.36$ m, gemi su çekimi

$\Delta = \rho V = 30.94ton$

$GM=0.5$ m

Aktif fin sisteminin etkisini gösterebilmesi için, uygulamaların yapılacağı, Martı Gemisi'nin en büyük hızı 4.5 knot yeterli değildi. Bu nedenle, teknenin pervane çapı 60 cm'den, orijinal boyutu olan 80 cm'ye çıkarıldı. Teknenin makinesinin, tüm bakımı da yapıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda, teknenin hızı 9 knot'a çıkarıldı. Karada yapılan bakım çalışmalarından sonra, gemiye fin sisteminin montajı yapılmıştır. Şekil A.10 - A.13'de hidrolik sisteminin gemiye montaj çalışmaları verilmiştir. Martı Gemisi'ne gerekli bakım ve montaj çalışmalarından sonra deniz indirilmiş ve Şekil A.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Yalpa fin sisteminin Martı Gemisi'ne montajı gerçekleştirildikten sonra denize indirilmesi.

3.4 Gerçek Zamanlı Deneysel Çalışmalarda Veri Toplama Ve Sinyal İşlemede Kullanılan Elektronik Sistem

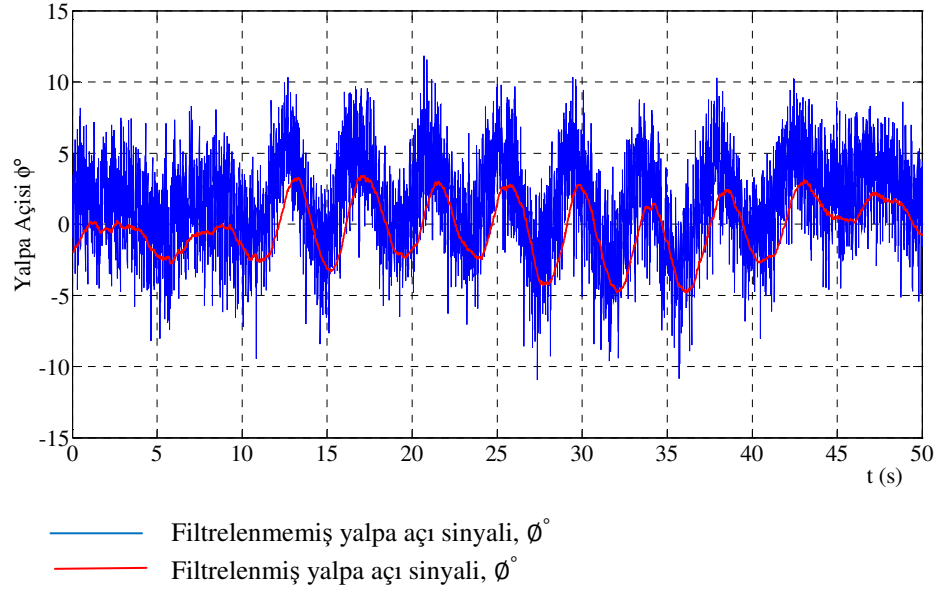
Laboratuvar ve saha çalışmalarında, gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında, çift çekirdekli, 2.66 GHz işlemci hızı, 32 bit, 4 GB RAM özelliklerinde iş istasyonu bilgisayarı kullanılmıştır.

Bununla birlikte, sistemde geminin yalpa ve baş-kıç vurma hareketlerini ölçmek için, Crossbow CXTA02 iki eksenli eğim algılayıcısı kullanılmış ve Şekil A.7’de verilmiştir [65]. Simülink ile programlanabilen United Electronic Industries firmasına ait UEISIM300 gömülü sistemi gerçek zamanlı denetleyici olarak kullanılmıştır [66]. UEISIM300 veri toplama ve çıkışı sağlayan denetleyici elektronik sistem, Şekil A.3’de gösterilmiştir; işletim sistemi Linux, işlemcisi 32 bit, 128 MB RAM, 2 GB kalıcı hafıza özelliklerine sahiptir. Gerçek zamanlı uygulamada, Simülink modelini C koduna çevirmektedir.

UEISIM300, veri işlemlerini gerçekleştirmek için, $\mp 15 V$ analog giriş yapılabilen, 24 kanal (single ended), 12 kanal (diferansiyel) özelliklerine sahip, DNA-AI-201 analog giriş kartı içermektedir ve Şekil A.4’de gösterilmiştir. Sinyal çıkışları için, $\mp 10 V$ analog çıkış veren, 8 kanallı DNA-AO-308 analog çıkış kartı ile sağlanmaktadır ve Şekil A.5’de verilmiştir. Ayrıca, denetleyici gömülü elektronik sistem, sayısal veri işleme ve sinyal işleme özelliklerinde, 5 V sayısal giriş/çıkış’lı, 48 kanallı, DNA-DIO-403 sayısal giriş/çıkış kartını içermektedir ve Şekil A.6’da verilmiştir. Elektronik denetleyici sistemin enerji beslemesi ve gerekli kabloların yapıldığı pano Şekil A.2’de gösterilmiştir.

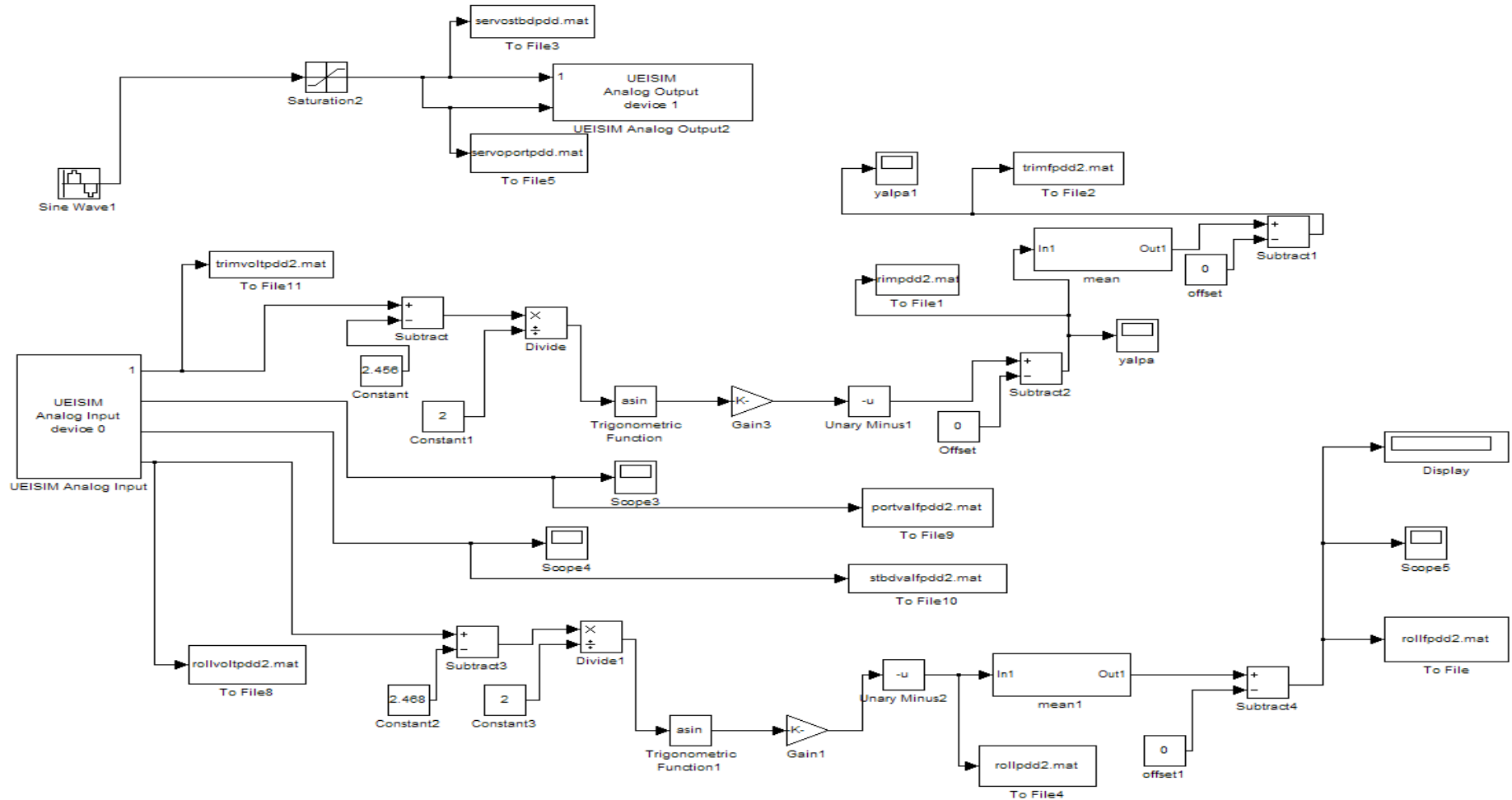
3.5 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma İle Benzetim Modelindeki Parametrelerin Tespit Edilmesi

Fin denetleyici sisteminin, benzetim çalışmalarında kullanılan gemi modelindeki hidrodinamik katsayıların tespiti, tam ölçekli deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiştir. Gerçek zamanlı uygulamalarda, eğim algılayıcı ile elde edilen gürültülü gelen sinyal, filtrelenmiş ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu veri toplama işleminin yapıldığı Simülink blok diyagramı Şekil 3.4’de verilmiştir.

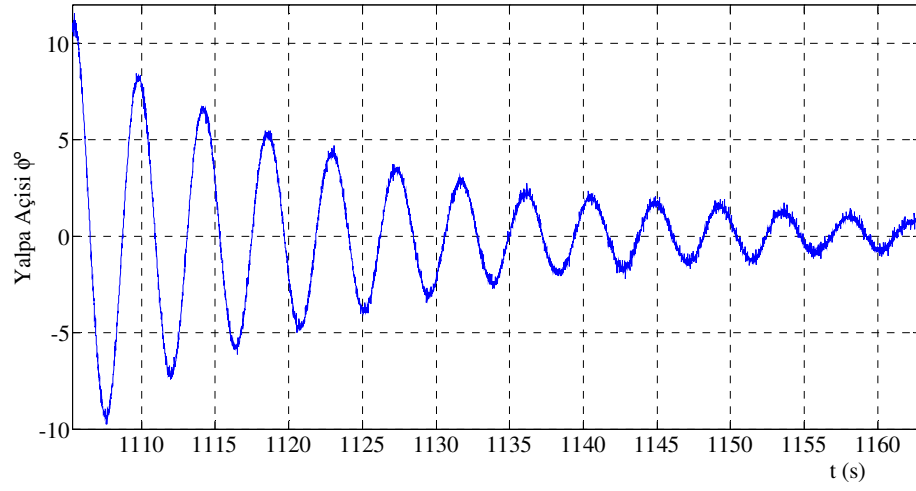


Şekil 3.3 : Eğim algılayıcısı ile alınan yalpa hareketi konum sinyalinin filtrenmesi.

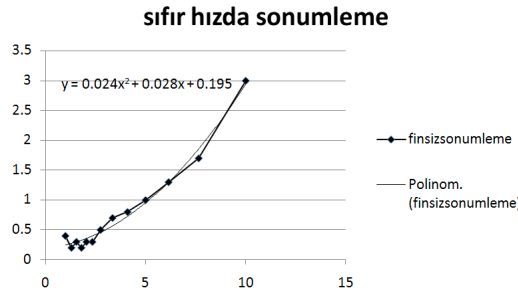
Gemi modelinde Denklem 2.11'deki sönüm katsayıları B_1 , B_2 ;, geminin çeşitli hızlarında elde edilen sönümleme eğrilerinden elde edilmiştir. Geminin sönümleme eğrileri, sakin suda, finler ile gemiye yalpa yaptırdıktan sonra, fin hareketinin ani durdurulması ile elde edilmiştir. Geminin sıfır hızda sönümleme eğrisi, Şekil 3.5, 7 knot hızda iken sönümleme eğrisi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Geminin çeşitli hızlarında, sönüm katsayısı B ve fin kaldırma kuvveti katsayılarının belirlenmesinde, gerçek zamanlı uygulamada Simülink blok diyagramı.

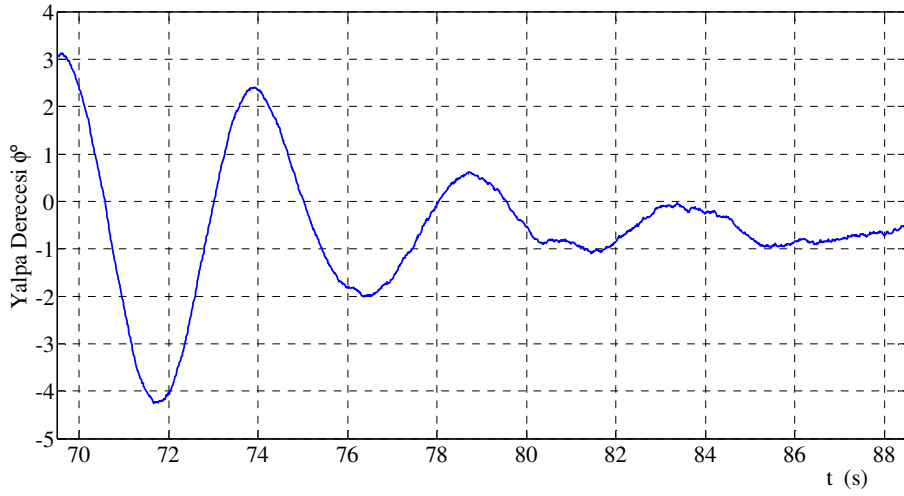


Şekil 3.5 : Geminin durgun suda sıfır hızda iken, pasif sönümleme eğrisi.

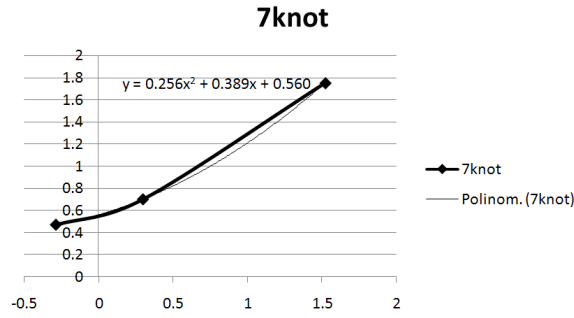


Şekil 3.6 : Geminin sıfır hızda, azalma eğrisi.

Geminin sönümleme karakteristiği, yalpa açılarındaki azalma eğrisinden, her salınımda yalpa açılarındaki azalma, bunlara karşıt gelen ortalama yalpa açıları, üzerine ordinat olarak çizilirse, azalma eğrileri elde edilir. Şekil 3.7 ve 3.9'daki azalma eğrileri grafiklerinde, x eksenini $\phi(n)$, zaman bağlı yalpa sönümlenmesinde salınım sayılarını, y eksenini ise $-d\phi(n)/dn$ yalpa açılarındaki azalma derecelerini göstermektedir. Grafiklerde belirtilen fonksiyonlarda, ϕ^2 'nin katsayısı Denklem 2.16'daki B_2 katsayısını, ϕ 'nin katsayısı ise B_1 katsayısını göstermektedir.

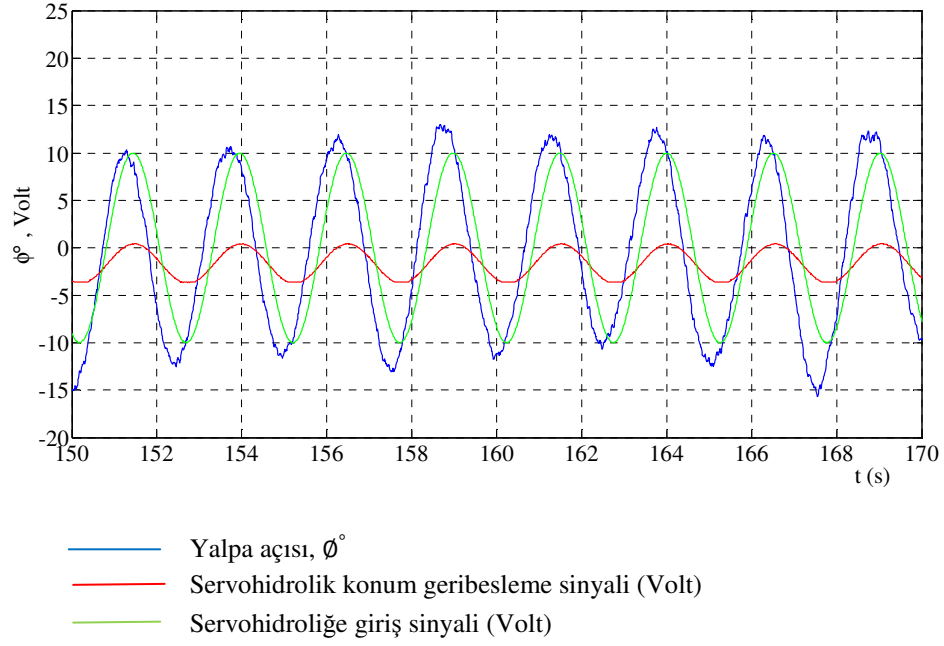


Şekil 3.7 : Geminin durgun suda 7 knot hızda seyir sırasında, pasif sönümleme eğrisi.

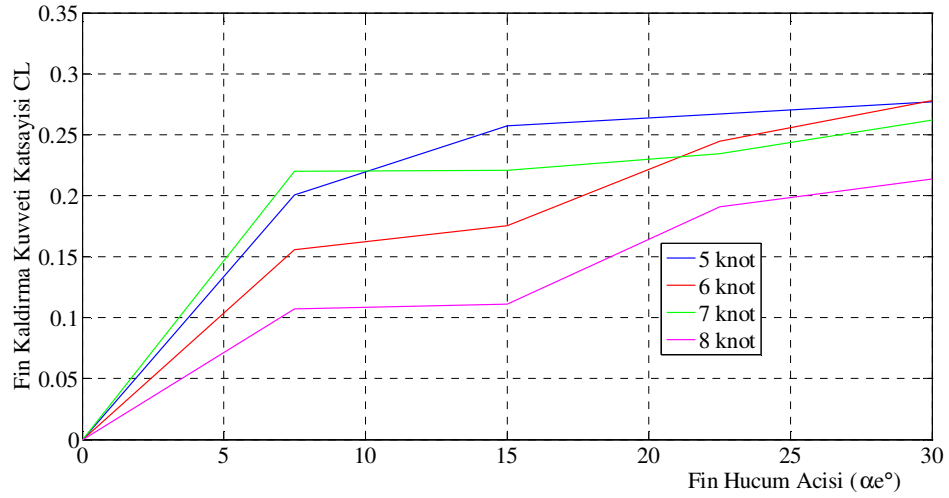


Şekil 3.8 : Geminin 7 knot seyir hızında iken, azalma eğrisi.

Martı gemisi ile durgun suda, yalpa finleri, $\alpha_e = \mp(0^\circ - 30^\circ)$ aralığında çeşitli hücum açılarındaki çalıştırılarak geminin 5-8 knot aralığındaki hızlarda kaç derece yalpa yaptırdığı eğim alıcısı ile ölçülmüştür. Durgun suda gemiye yaptırılan yalpa hareketi, fin hücum açısı sinyali ve hidrolik sistemin konum geribesleme sinyali Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Elde edilen bu yalpa açılarına göre, yalpa finlerinin gemiye yaptırdığı moment değerleri, geminin hidrostatik moment değerlerine eşitlenerek, teknenin belirtilen hızlarında, finin hücum açılarına göre, C_L kaldırma kuvveti katsayıları eğrileri elde edilmiş ve Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Yalpa sönümleyici finin yüzey alanı $A_f=0.232 \text{ m}^2$, Martı Gemisi’nin yükleme koşuluna göre fin moment kolu $r_f=2.24 \text{ m}$ ’dir.



Şekil 3.9 : Geminin çeşitli hızlarında, sönüm katsayısı B ve fin kaldırma kuvveti katsayılarının belirlenmesinde, durgun suda fin sistemin etkisi ile yalpa hareketi.

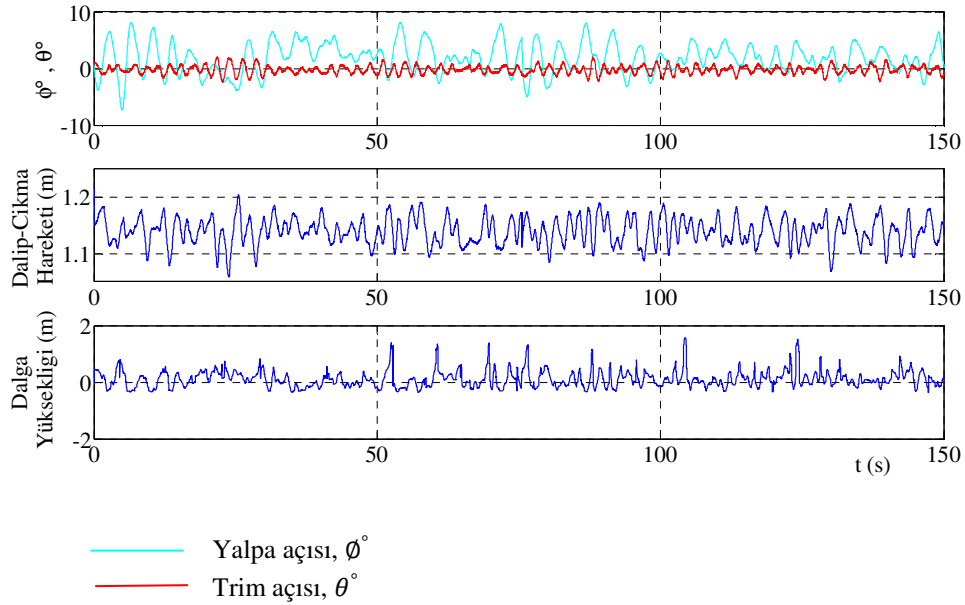


Şekil 3.10 : Martı Gemisi'ne ait finin çeşitli hücum açılarında, kaldırma kuvveti katsayı eğrileri.

3.6 Deniz Ve Hava Koşulları İle Gezi Teknesi Hareketlerinin Ölçülmesi

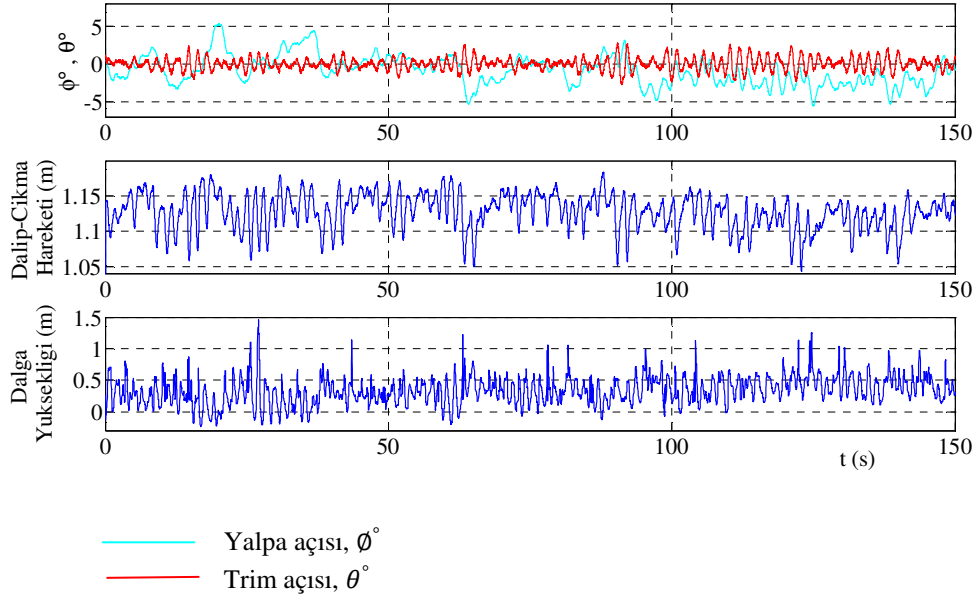
Tam ölçekli deneysel çalışmalarda, çeşitli deniz şartlarında Martı Gemisi'nin seyri sırasında, ultrasonik algılayıcı ile dalga yüksekliği, eğim ölçer ile yalpa ve trim açıları ve basınç algılayıcısı ile dalıp-çıkma hareketi verileri kaydedilmiştir.

Dalga ölçümü için kullanılan, ultrasonik algılayıcı 0-10 V sinyal çıkışlı, 80 – 2000 mm aralığında ölçüm yapabilmektedir. Draft algılayıcısı, basınca duyarlı, 1 bar-10 m su sütunu, analog sinyal çıkışı 4-20 mA özelliklerine sahiptir. Veri toplamada, basın algılayıcısı için akım sinyalini 0-10 V çıkış veren çevirici kullanılmıştır. Geminin baş ve kıç tarafına iki tane montajı yapılarak, ortalama değer alınmıştır. Rüzgar gücü ölçümü algılayıcısı ile, 12 V çıkışlı, 0 – 125 Hz aralığında çıkış alınabilmektedir.



Şekil 3.11 : Ortalama Karakteristik Dalga Yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, Ortalama Periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot Hızındaki Martı Teknesi’nden Alınan Yalpa ve Trim Açıları, Dalıp-Çıkma Hareketi Verileri .

Gemi hızı 7 knot. Rüzgar yönü; Kuzey-kuzeydoğu dan. Rüzgar gücü: 20.2 knot. Dalganın gemiye geliş yönü: bordadan. $H_{1/3}=1.266$ m. T_{ort} (ortalama dalga periyodu)=1.5 s. T_p (peak dalgaların periyodu)=2 s, şartlarında elde edilen dalga yükseklikleri, geminin yalpa, baş-kıç ve dalıp-çıkma hareketleri, Şekil 3.11’de verilmiştir. Gemi hızı 7 knot. Rüzgar yönü; Kuzey-kuzeydoğu dan. Rüzgar hızı: 32.6 knot. Karışık dalgalarda, karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.908$ m. T_{ort} (ortalama dalga periyodu)=1 s. T_p (en büyük dalgaların periyodu)=1.5 s, şartlarında elde edilen dalga yükseklikleri, geminin yalpa, baş-kıç ve dalıp-çıkma hareketleri, Şekil 3.12’de verilmiştir.

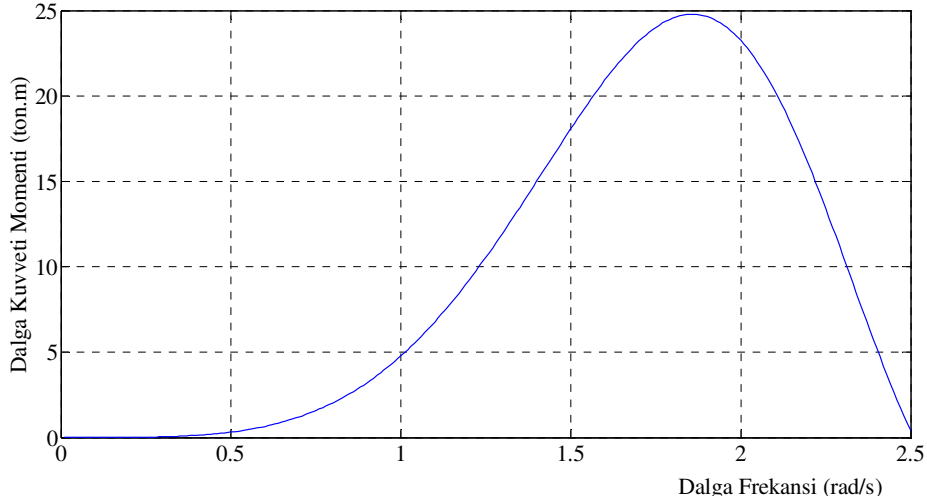


Şekil 3.12 : Ortalama Karakteristik Dalga Yüksekliği $H_{1/3}=1.3$ m, Ortalama Periyodu $T_{ort}=1.5$ s iken, 7 knot Hızındaki Martı Teknesi’nden Alınan Yalpa ve Trim Açıları, Dalıp-Çıkma Hareketi Verileri .

3.7 Gezi Teknesi Benzetim Çalışması Sonuçları

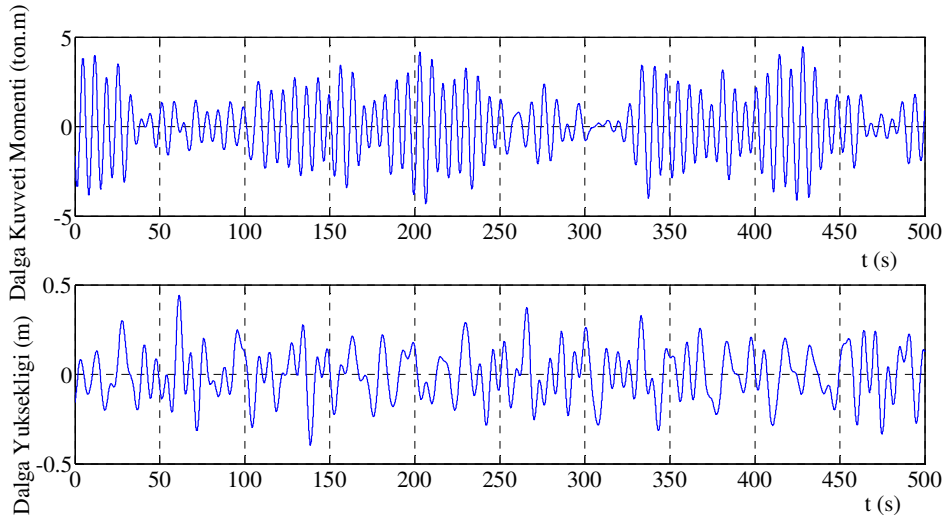
Çeşitli deniz şartlarında, alınan veriler doğrultusunda, gemi dizayn programı Seakeeping’de yaklaşık deniz şartları seçilmiştir. Programdan alınan frekansa bağlı genlik değişim sonuçlarından, tam ölçekli deney çalışmalarından geminin yalpa, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketi verilerinden elde edilen frekansa bağlı genlik değişim aralığındaki veriler, Matlab yazılım programında üç boyutlu benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

Gemi hızı 7 knot. Rüzgar yönü; Kuzey-kuzeydoğu’dan. Rüzgar hızı: 32.6 knot. Karışık dalgaların gemiye kıç omuzluktan gelmesi durumunda, karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.908$ m., T_{ort} (ortalama dalga periyodu)=1 s. T_p (en büyük dalgaların periyodu)=1.5 s, şartlarında; Maxsurf programına ait Seakeeper programında, doğrusal yaklaşım ile, gemiye etkiyen frekansa bağlı dalga spektrumuna göre, genlik ve faz cevabı olarak, gemi hareketlerinin birbirinden bağımsız modelleri elde edilmiştir. Gemi hareketlerine ait tek serbestlik dereceli genlik ve faz cevapları modeli oluşturulmuştur. Dalga frekansına bağlı dalga kuvveti momenti eğrisi, Şekil 3.13’de verilmiştir.

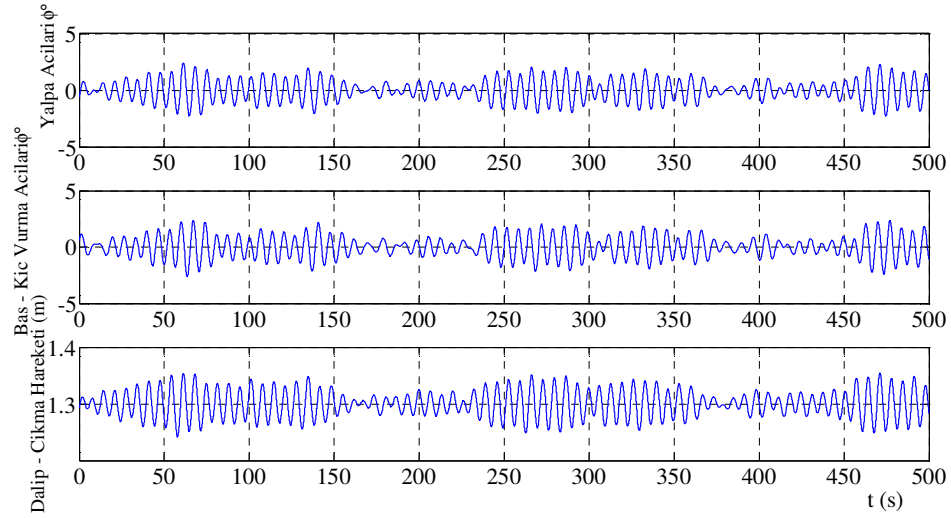


Şekil 3.13 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen dalga frekansına göre dalga kuvveti momenti .

Genlik ve frekansa bağlı verilerin; zamana göre, dalga yükseklikleri, dalga kuvveti momentleri, geminin yalpa, dalıp çıkma ve trim hareketlerinin analizi Matlab ile programlanmıştır. Bu sonuçlar, Şekil 3.13 ve 3.14'de gösterilmiş ve doğrusal olmayan yalpa hareketini modellenenilmesi ve lineer yaklaşımla elde edilen yalpa hareketi ile karşılaştırılması için kullanılmıştır.



Şekil 3.14 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen zamana bağlı dalga yüksekliği ve dalga kuvveti momenti .



Şekil 3.15 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması sonucu elde edilen tek serbestlik dereceli doğrusal yalpa ve bas-kıç vurma açıları, dalıp - çıkma hareketi .

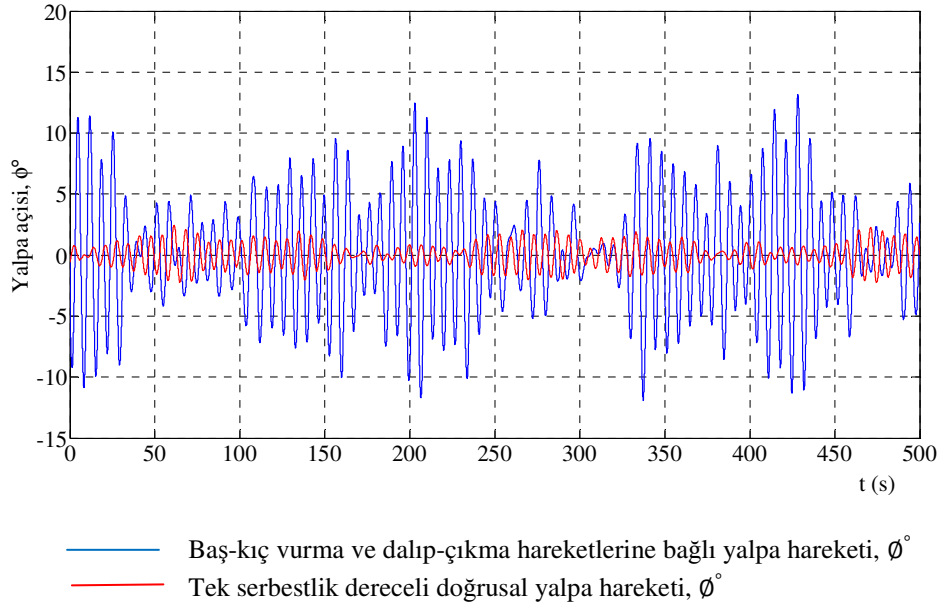
Doğrusal olmayan yalpa hareketi modellenmesinde, dalga etkisine bağlı; Froude Krylov moment ve dalgaların kırılması, saçılması durumundaki moment etkileri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan modellemede, bu iki moment etkisi, Matlab programı ile geminin ofset tablosuna göre hesaplanmıştır. Belli dalga frekanslarına göre hesaplanmış bu kuvvetlerden tablo oluşturulmuş, böylece gelen dalga spektrumuna göre oluşabilecek, dalga kuvvetine bağlı moment etkisi programlamada interpolasyon yardımı ile hesaplatılmıştır.

	Su Çekimi 1 m Olduğu Durumda Doğrultucu Moment Değerleri (ton.m)								
Yalpa Açıları(rad) /Trim Açıları (rad)	0	0,08727	0,17453	0,2618	0,34907	0,43633	0,5236	0,61087	0,69813
0,124354995	0	0,8745	1,6695	2,3691	3,021	3,6729	4,3884	5,1993	5,9625
0,099668652	0	0,8109	1,5423	2,1783	2,7825	3,4026	4,0863	4,8813	5,7558
0,074859848	0	0,7314	1,3833	1,9716	2,544	3,1164	3,7842	4,5633	5,5173
0,049958396	0	0,636	1,2243	1,7649	2,2896	2,8302	3,4662	4,2294	5,2152
0,024994794	0	0,5565	1,0653	1,5423	2,0352	2,544	3,1482	3,9114	4,8813
0	0	0,477	0,9222	1,3356	1,7808	2,2737	2,862	3,5934	4,5792
-0,024994794	0	0,3975	0,7791	1,1448	1,5423	2,0034	2,5758	3,3072	4,2771
-0,049958396	0	0,3339	0,6678	0,9858	1,3356	1,7649	2,3214	3,0369	3,9909
-0,074859848	0	0,2862	0,5724	0,8586	1,1766	1,5741	2,0829	2,7825	3,7206
-0,099668652	0	0,2544	0,4929	0,7473	1,0494	1,4151	1,908	2,5758	3,4821
-0,124354995	0	0,2067	0,4293	0,6678	0,9381	1,2879	1,7649	2,4327	3,2754

Şekil 3.16 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi'nin benzetim çalışması su çekimi 1 m olduğu durumda doğrultucu moment değerleri .

Dalga etkisine karşı, geminin kaldırma momenti, doğrusal olmayan yalpa hareketi modellemesi için, Maxsurf'e ait Hydromax stabilite programına göre geminin yalpa, dalıp - çıkma ve trim etkilerine göre statik olarak hesaplanan kaldırma moment

değerlerinden tablolama ile Matlab programında geminin bu üç hareketine karşılık kaldırma momenti hesaplanmıştır. Çünkü, geminin yalpa hareketinde, kaldırma moment etkisi, geminin draftının değişmesine ve gemin başa veya kıça trim yapmasına göre değişmektedir. Bu hesaplar, 0.25 m aralıklardaki su çekimi değerlerinde yapılmıştır. Geminin 1m su çekiminde, trim ve yalpa hareketlerine bağlı doğrultucu moment değerleri, Şekil 3.16’da elde edilmiştir. Bu veriler, Denklem 2.11’de kullanılarak, geminin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı doğrusal olmayan yalpa hareketi elde edilmiş, Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Ortalama karakteristik dalga yüksekliği $H_{1/3}=0.9$ m, ortalama periyodu $T_{ort}=1$ s iken, 7 knot hızındaki Martı Teknesi’nin benzetim çalışması sonucu elde edilen tek serbestlik dereceli doğrusal yalpa hareketi ile baş-kıç vurma ve dalıp - çıkma hareketlerine bağlı değişken katsayılı yalpa hareketi model sonuçları .

4. GEMİLERDE AKTİF YALPA SÖNÜMLEMEDE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Tez çalışmasında, yalpa sönümleyici denetleyici sistem tasarımı performans değerlendirmesi, toplam % sönümleme oranı, her yalpa açısındaki % sönümleme oranını veren istatistiki sönümleme katsayısı, insanları rahatsız etmeyecek yalpa açısı ivmesi limit değerinin altında olmasına ve fin hücum açısı hız sınırını aşmamasına göre yapılacaktır.

4.1 Amaç

Gemilerde yalpa sönümleyici denetleyici sistemleri, yolcu ve personelin daha konforlu ve uygun koşullarda yaşama ve yolculuk edebilmesini sağlamalıdır. Bu nedenle, aktif sönümlemede yalpa açısı, yalpa açısı hız ve ivme değişkenleri insanları rahatsız etmeyecek değerlere indirgenmesi amaçlanır.

Denetleyici sistemi hidrolik tahrikli fin sisteminden en iyi verimi alacak biçimde tasarlanmalıdır. Fin sisteminin mekanik sınır değerlerinin aşılmamasına göre denetleyici sistemin kontrol sinyali göndermesi gereklidir. Ayrıca, fin sisteminin hidrodinamik etkilerden kaynaklanan doyma sınırı da, geminin çalıştığı deniz şartlarına göre değişim göstermektedir. Ancak, bu konu tez kapsamında incelenmemiş olup, ileride çalışılması planlanmaktadır.

4.2 Geminin Yalpa Sönümleyici Fin Denetleyici Sistemlerin Toplam Sönümleme Oranı Ve İstatistiki Sönümleme Katsayısı Hesabı

Fin denetleyici sisteminin performans değerlendirmesinde, genel olarak kullanılan yöntem toplam % yalpa sönümleme hesabı Denklem (4.1)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{yalpa sönümlleme oranı}[\%] \\ & = 100x \left(1 - \frac{\text{aktif kontrolde yalpa açıları}}{\text{pasif kontrolde yalpa açıları}} \right) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Bu hesaplamada, toplam % sönümlleme oranı hesap edilmekte, ancak değerlendirmeden küçük ve büyük yalpa açılarının hangi oranlarda sönümlendiği ayırt edilememektedir. Herbir yalpa açısındaki % sönümlleme oranı, istatistiki hesap yönteminden bulunan F sönümlleme katsayısı bulunabilmektedir [67].

Rayleigh dağılımının kullanılması ile verilen x değerindeki yalpa açısından büyük açıların toplam olasılığı, $e^{[-x^2/2m_0]}$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. m_0 , yalpa açılarının karelerinin ortalamasının karakök değeridir. Aktif ve pasif sönümllemedeki yalpa açıları spektrumu altında kalan alan için sırası ile $e^{[-x^2/2m_{0s}]}$ ve $e^{[-x^2/2m_{0u}]}$ eşitlikleri ile hesaplanır. Böylece, belli bir x değeri üzerindeki yalpa açılarının sönümlleme değerini veren oran Denklem (4.2)'de verilmiştir.

$$\frac{e^{[-x^2/2m_{0s}]}{e^{[-x^2/2m_{0u}]} = e^{[-Fx^2]}, \quad F = \frac{1}{2m_{0s}} \left(1 - \frac{2m_{0s}}{2m_{0u}} \right) \quad (4.2)$$

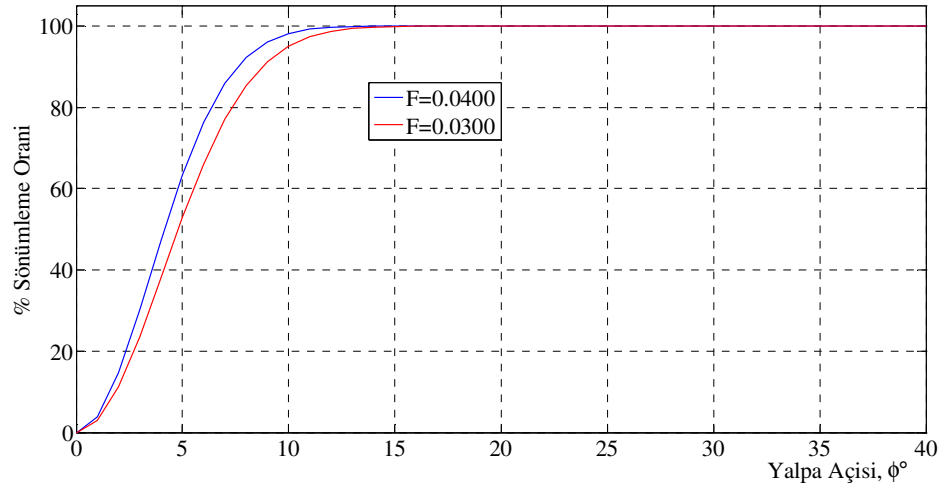
Herbir yalpa açısındaki F katsayısına bağlı % sönümlleme oranı ise Denklem (4.3)'deki hesap edilmektedir.

$$\text{her yalpa açısı değeri, } x \text{ için } so[\%] = (1 - e^{(-F*x^2)}) * 100 \quad (4.3)$$

Örnek olarak, F sönümlleme katsayısı 0.03 ve 0.04 iken herbir yalpa açısı değerindeki % sönümlleme oranları hesap edilerek Çizelge 4.1'de verilmiştir. F katsayısı 0.03 iken, aktif sönümllemede 5° değerindeki yalpa açısı %52.76 oranında sönümlenirken, 0.04 iken %63.21 oranında sönümlenmektedir. Bu iki F katsayılarında, yalpa açılarına göre % sönümlleme oranları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Böylece, fin denetleyici sistemlerin performans değerleri daha ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.1 : F Katsayısı 0.0300 ve 0.0400 Olması Durumunda Yalpa Açılarına Göre % Sönümlleme Oranları

Yalpa Açısı (ϕ°)	% Sönümlleme Oranı (F=0.0300)	%Sönümlleme Oranı (F=0.0400)
1	2.96	3.92
2	11.31	14.79
3	23.66	30.23
4	38.12	47.27
5	52.76	63.21
6	66.04	76.3
7	77	85.9
8	85	92.27
10	91.2	96.1
11	95.02	98.2
12	97.35	99.2
13	98.67	99.7
14	99.4	99.9
15	99.7	99.96
25	100	100



Şekil 4.1 : İstatistiki yalpa sönümlleme F katsayısına göre, her yalpa açısı değerlerinde % sönümlleme oranı .

4.3 Gemilerde Yalpa İvmesi Limit Değerinin Hesabı

Gemilerde yolcu ve peronelin daha uygun şartlarda yaşama ve yolculuk edebilmesi için, gemi hareketleri ile oluşan atalet kuvvetlerinin belli bir limitin altında kalması gerekmektedir. Bu sınır değerin üzerinde, insanın bir çeşit hastalanmasına yol açan deniz tutması meydana gelir. Yapılan gözlemlere göre, salınımına ait ivme hareketinin yerçekimi ivmesinin $1/10$ nünü aşması durumunda insanda deniz tutması belirtileri

görülmektedir. Bu nedenle, yalpa hareketindeki ivme değeri 0.1g'den küçük olmalıdır. Geminin, basit harmonik yalpa hareketi yaptığı kabulü ile yalpa periyodu ile yalpa genliği arasındaki Denklem (4.4) 'deki bağıntı verilmektedir [5].

$$\ddot{z} = \frac{B}{2} \ddot{\phi} = \frac{B}{2} \phi_a \omega_{\phi}^2 \quad (4.4)$$

Gemide, yalpa ekseninden en uzaktaki bir yerde, doğrusal düşey ivmenin en büyük değerini alacaktır. Bu nedenle, hesaplarda uzaklık olarak gemi genişliğinin (B) yarısı alınmıştır. ϕ_a , yalpa hareketi en büyük açısal yerdeğişimi, ω_{ϕ} , yalpa hareketi açısal hız değışkenlerini tanımlamaktadır. $\ddot{z} \leq 0.1g$ şartından dolayı, Denklem (4.5) 'den yalpa hareketi en büyük açısal yerdeğişimi hesaplanır.

$$\phi_a \leq 0.1g \left(\frac{T_{\phi}}{2\pi} \right)^2 \frac{2}{B} \quad (4.5)$$

T_{ϕ} , geminin durgun sudaki yalpa periyodudur ve hesaplarda yaklaşık 4 s, gemi genişliği ise, 4.5 m olarak hesaplarda kullanılmıştır. Hesap sonucunda yalpa açısı ivmesinin genlik sınırı yaklaşık $10^\circ / s^2$ bulunmuştur.

Yalpa hareketi, insanlarda deniz tutması rahatsızlığında çok etkili değildir. Dalıp-çıkma hareketi, insanların sağlığını daha çok olumsuz etkilemektedir. Yalpa hareketi, düşey hareketlere neden olduğundan, bu sağlık problemine dolaylı olarak neden olabilmektedir. Yalpa hareketine bağlı en büyük düşey hareket, geminin doğal frekansında oluşmaktadır. Bu nedenle; yalpa ivmesi limit değerinin hesabında, geminin doğal frekansı kullanılmıştır.

Yalpa frekansının deniz tutmasında az etkisi vardır. Literatür çalışmalarında, $\mp 8^\circ$ yalpa açılarında ve 0.025 Hz – 0.4 Hz frekans aralığındaki hareketlerde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, yalpa frekans değışiminde, aynı deniz tutması etkileri olduğu gözlemlenmiştir [68-70].

4.4 Gemilerde Yalpa Sönümleyici Fin Hücum Açısı Hız Limiti

Fin denetleyici sisteminin verimli çalışabilmesi için, denetleyiciden gönderilen fin hücum açısı ve açısı hızı doyma sınırının üzerinde olmamalıdır. Mekanik olarak, bu

sınırlandırma koşulları, yapılan çalışmada mutlak değerdeki en büyük fin hücum açısı, $\alpha_{maks} = 30^\circ$, fin hücum açısı hızı da $\dot{\alpha}_{maks} = 30^\circ/s$ olarak alınmıştır [8].

Fin sisteminin, ayrıca hidrodinamik etkilerden kaynaklanan değişen deniz şartlarında ve gemi hızına bağlı olarak, fin hücum açısı hız limit değerleri değişmektedir. Fin kontrol yüzeyi etrafındaki akış, düzensiz olduğunda kavitasyon etkisi ile finin kaldırma kuvveti katsayıları değişmektedir. Örneğin, normal deniz koşulunda en büyük fin hücum açısı hızı $\dot{\alpha}_{maks} = 30^\circ/s$ olması gerekirken, aşırı deniz şartlarında bu değer $\dot{\alpha}_{maks} = 25^\circ/s$ limit değerinde olabilmektedir.

Hidrodinamik etkilerden kaynaklanan, kavitasyon etkisi ile fin sisteminin değişen doyma sınırlarının incelenmesi, ileriki çalışmalarda yapılacaktır. Tez çalışmasında, mekanik doyma sınırı dikkate alınmış, fin kontrol yüzeyi etrafında düzenli akış olduğu kabul edilmiştir.

5. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU

Kuşların veya balıkların koordine edilmiş kolektif davranış modelini esas alan algoritma yapısı, ilk defa Reynolds tarafından önerilmiştir. Kennedy ve Eberhart, bu algoritma yapısını basitleştirerek, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu algoritma yapısında, her parçacık, arama uzayı içindeki uçuş yönünü, kuş sürülerinde olduğu gibi kendisinin ve tüm sürünün uçuş yönüne göre belirler. Parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden yararlanır. PSO, çok boyutlu optimizasyon problemlerin çözümünde, güçlü bir evrimsel algoritmadır [31,32].

5.1 Evrimsel Algoritmalar

Optimizasyon problemlerinin çözümünde, amaç fonksiyonu ve kısıtların olduğu türeve dayalı analitik yöntemlerin yanı sıra, Yapay Zeka ve Evrimsel Algoritmalar da kullanılmaktadır. Yapay Zeka, insan düşünme yapısını, Evrimsel Algoritmalar ise evrim paradigmasını model olarak alır. Evrimsel Algoritmalar Genetik Algoritmada, bir çözüm adayları popülasyonu oluşturulur ve bu popülasyon zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulayıcının amaç fonksiyonuna bağlıdır. Algoritma, her adayın ne kadar güçlü olduğunu hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak ya da yok olacak bireyleri belirler.

Ancak, Genetik Algoritmalarda çözüm aramada paralel araştırma yapıldığından, hesaplama zamanı gerçek zamanlı kontrolör uygulamalarında yavaş kalmaktadır. PSO, yüksek hesaplama verimliliği ile yüksek kaliteli çözüm ve istikrarlı yakınsama özelliği ile son yıllarda kontrolör tasarımında uygulanmaktadır. Genetik Algoritmalar gibi doğal seçim ile sonuca ulaşan evrimsel yöntemlerden farklı olarak parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden faydalanır.

5.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Biyolojik türlerin sosyal davranışını model olarak alan PSO algoritması, belli bir amaca yönelik olarak en iyi çözümü bulma odaklı olarak çalışır. Optimizasyon, kavramsal olarak, parçacıkların hızlarının her bir nesilde kendi yerel en iyi konumlarına ve sürünün genel en iyi konumuna göre belirlenmesine dayanır.

PSO algoritmasında, her parçacık d boyutlu potansiyel çözümü ifade eder. Parçacıklara, başlangıçta rastgele değerler atanır ve genel optimum çözüme ulaşmak için konumları iteratif yöntemle güncellenir. Parçacıkların konumları her bir nesilde kendi yerel en iyi konumlarına ve sürünün genel en iyi konumuna göre belirlenir. Her parçacık, belirlenen Amaç Fonksiyonu (AF)'na göre istenen en küçük veya en büyük sayısal değere yakınlığı değerlendirilir. Algoritmada; p_eniyi_{id} , i . parçacığın o ana kadar ulaştığı en iyi konum, o parçacığın yerel en iyi konumu olarak tanımlanır ve aslında parçacığın önceki deneyimini ifade eder, g_eniyi_d ise, tüm parçacıkların o ana kadar elde ettikleri en iyi konum ise genel en iyi konum olarak tanımlanır ve sürünün önceki deneyimini ifade eder. Her k iterasyonda, PSO her d boyuttaki parçacıkların hızları, parçacıkların yerel ve tüm parçacıkların genel en iyi çözümlerine göre belirlenir.

Evrimsel gelişim sürecinde her bir parçacığın hızı ve konumu aşağıdaki eşitlikler ile güncellenir.

$$v_{id}(k+1) = w * v_{id}(k) + c_1 * rand_1 * (p_{id} - x_{id}) + c_2 * rand_2 * (p_{gd} - x_{id}) \quad (5.1)$$

$$x_{id}(k+1) = x_{id}(k) + v_{id}(k+1) \quad (5.2)$$

Denklem (5.3)'de parçacıkların hız aralığı, $[-V_{maks}, V_{maks}]$ ile sınırlandırılır ki, parçacıklar büyük adımlarda hareket edip, problem çözüm alanının sınırlarını aşmasın. Eğer V_{maks} değeri çok küçük ise, parçacıklar çok küçük adımlarda hareket eder ve sonuçta, problemin çözümünde yakınsama uzun zaman alır.

$$V_{maks} = k_v * x_{maks} \quad 0.1 \leq k_v \leq 0.5 \quad (5.3)$$

c_1 ve c_2 sayıları, pozitif değerli ivmelenme sabitleridir ve parçacığın, yerel ve genel en iyi konuma doğru adım boyunu belirlerler. Değerleri, genel olarak 0.2 ile 2 arasındadır. $rand_1$ ve $rand_2$ sayıları, değerleri her iterasyonda yenilenen, (0,1) aralığında normal dağılımlı rastgele sayılardır. w , genellikle (0.9, 1.2) aralığında

doğrusal olarak azalan atalet ağırlığı terimidir ve hızın, hedefe yaklaştıkça azalmasını sağlamak amacıyla kullanılır. w 'nın büyümesi genel arama yeteneğini arttırırken, küçülmesi yerel arama yeteneğini arttırır. Optimizasyonun performansı açısından, iterasyonun başlangıcında genel arama yeteneğinin, sonlarına doğru ise yerel arama yeteneğinin daha yüksek olması istenir. Buna göre w atalet ağırlığının uygun şekilde ayarlanması önem kazanır. w 'nın doğrusal azaltılması Denklem (5.4) ile gerçekleştirilir.

$$w = w_{maks} - k * \frac{w_{maks} - w_{min}}{k_{maks}} \quad (5.4)$$

Clerc ve Kennedy (2002) parçacıkların hızlarının sınırlandırılması ile ilgili olarak, problem çözümünün daha iyi yakınsayabilmesi için, (5.1)'i , (5.5) ve (5.6) Denklemleri ile önermişlerdir.

$$v_{id}(k + 1) = K * (v_{id}(k) + n_1 * rand_1 * (p_{id} - x_{id}) + n_2 * rand_2 * (p_{gd} - x_{id})) \quad (5.5)$$

$$K = \frac{2}{n - 2 + \sqrt{n^2 - 4 * n}}, \quad n = n_1 + n_2, \quad n > 4 \quad (5.6)$$

PSO algoritmasının kod taslağı Şekil 5.1'de verilmiştir. Optimizasyon işleminde, belirlenecek parametreler için alt ve üst sınırlar belirlenir. Parçacıkların arama uzayındaki başlangıç konumları ve hızları, belirlenen sınırlar içerisinde rastgele atanır. Parçacıkların amaç fonksiyonu değerleri ve yerel en iyi konumları ile tüm sürünün en iyi konumu belirlenir. Her parçacığın amaç fonksiyonu değeri, kendi yerel en iyi konumunun değeri ile karşılaştırılır. Eğer parçacığın o anki konumunun değeri daha iyi ise parçacığın konumu ve amaç fonksiyonu değeri, yerel en iyi konumuna ve uygunluk değerine aktarılır. Yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri, genel en iyi konumun değeri ile karşılaştırılır. Eğer yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri daha iyi ise o parçacığın konumu ve değeri, genel en iyi konuma ve değerine aktarılır. Parçacıkların hızları ve konumları Denklemler (5.1) ve (5.2)'ye göre güncellenir. Süreç, iterasyon sayısı tamamlanıncaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar tekrarlanır. İterasyon sonunda elde edilen genel en iyi konum, problemin çözümü olarak alınır.

PSO, diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre yazılımı daha basit, daha az kod satırına ihtiyaç duyan ve daha az iterasyonla yakınsayabilen bir algoritma olması nedeniyle son yıllarda sensör teknolojisinde, network ağ sistemlerinde ve otomatik kontrol alanında kullanılan bir yöntem olmuştur.

```

FOR her parçacık,  $i$ 
  FOR her boyut,  $d$ 
    İzin verilen aralıkta rastgele atanan başlangıç konumu,  $x_{id}$ 
    İzin verilen aralıkta rastgele atanan başlangıç hızı,  $v_{id}$ 
  End FOR
END FOR
İterasyon sayısı  $k=1$ 
DO
  FOR her parçacık,  $i$ 
    Amaç fonksiyon değerinin hesaplanması
    IF amaç fonksiyonunun değeri, önce hesaplanan  $p\_eniyi_{id}$  değerlerinden daha iyiye
      Yeni hesaplanan amaç fonksiyonu değerini,  $p\_eniyi_{id}$  olarak kaydet
    END IF
  END FOR
  Parçacıklar içinde en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip parçacığı,  $g\_eniyi_d$  olarak seç
  FOR her parçacık,  $i$ 
    FOR her boyut,  $d$ 
      Aşağıdaki eşitliğe göre parçacık hızını hesapla
      
$$v_{id}(k+1) = wv_{id}(k) + c_1rand_1(p_{id} - x_{id}) + c_2rand_2(p_{gd} - x_{id})$$

      Aşağıdaki eşitliğe göre parçacık yeni konumunu hesapla
      
$$x_{id}(k+1) = x_{id}(k) + v_{id}(k+1)$$

    END FOR
  END FOR
   $k=k+1$ 
  WHILE en büyük iterasyon sayısı veya en küçük amaç fonksiyonu değeri bulunana kadar döngüye devam et

```

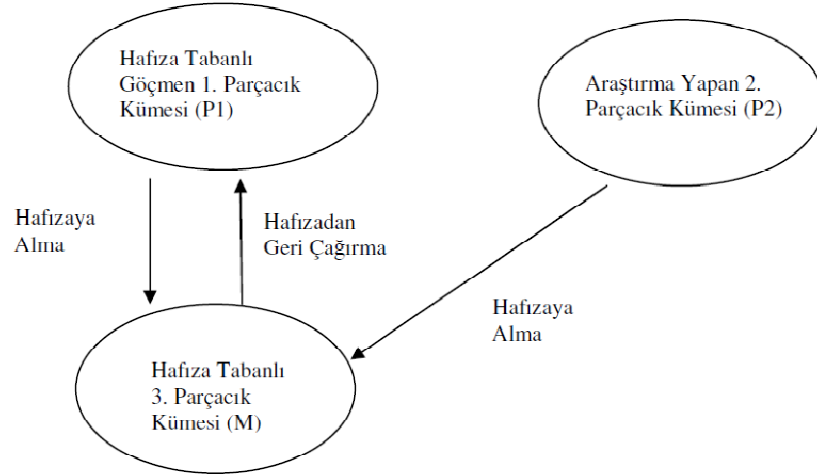
Şekil 5.1 : Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) kaba kodu [41].

5.3 Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre yazılımı daha basit, daha az kod satırına ihtiyaç duyan ve daha az iterasyonla yakınsayabilen bir algoritma olmasına rağmen, algoritma sürekli değişim gösteren dinamik şartlarda yetersiz kalmaktadır. PSO algoritmasının sürekli değişim gösteren dinamik şartlara uyum sağlayabilmesi için, geçmiş çözümlemelerden yararlanılabilmesi için “Gaussian Normal Dağılım”, gelecek çözümlemeler için ise erken yakınsayan algoritmadaki bazı parçacıkların “Mutasyon” a uğratılması önerilmiştir [41].

Branke (1999) Evrimsel Algoritma’nın, sürekli değişen çevre şartlarına çözüm getirebilmesi için, optimizasyon işleminde üç popülasyon grubunun kullanılması

gerekliliğini belirtmiştir. Bu popülasyon grupları, optimizasyon problemlerinde, geçmiş çözümlerinin kaydedilmesi için “Hafıza Tabanlı Popülasyon Grubu”, gelecek çözümler için araştırma yapabilecek “Araştırma Tabanlı Popülasyon Grubu” ve yeni çözümler ile geçmiş çözümler arasında köprü oluşturabilecek “Hafıza Tabanlı Göçmen Popülasyon Grubu”ndan oluşması gerekmektedir. Bu popülasyon grupları şematik olarak Şekil 5.2’de gösterilmiştir [45].



Şekil 5.2 : Üç grup parçacık kümesinden oluşan, Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritması yapısı [45].

Yang (2008) Evrimsel Algoritmadaki, optimizasyon çözümlerinde bu üç grup popülasyonun kullanılması yöntemine paralel olarak, diğer bir çalışma da Genetik Algoritma alanında yapılmıştır. Bu çalışmada, iterasyon işleminde her bir nesildeki en iyi çözüm bilgileri, hafıza grubuna kaydedilmiştir. Ayrıca, herbir nesil sonunda, değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilmesi için araştırma amaçlı olan bireyler grubu ile hafıza ile araştırma yapan grup arasında geçiş bölgesi oluşturan bireyler grubunun elde ettiği en iyi çözüm bilgileri değerlendirilmektedir. Eğer, optimizasyon çözüm işleminde, nesil sonunda en iyi çözüm araştırma yapan bireyler arasından elde edilmiş ise çevre şartlarında değişiklik olduğu tespit edilmiştir. Bu çevre şartı değişikliğinde, araştırma ile görevli gruba yeni bireyler atanıyor, hafıza tabanlı göçmen gruba ise birey sayısı değişmemesi şartı ile hafıza grubunda ve göçmen gruptaki en iyi uygun çözüme sahip bireyler seçilmiştir. Bu optimizasyon çözümleme yöntemindeki iterasyon işleminde, gruptaki bireylerin değişmesi sadece, çevre şartı değişikliği tespit edildiği durumda değil, önceden belirlenen belli nesil sayısı aralığında atanan rastgele nesil sayısı kadar sonra da tekrarlanmaktadır [44].

Yapılan tez çalışmasında, yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda PSO algoritmasında hafıza tabanlı göçmen 1. parçacık kümesi (P_1), araştırma yapan 2. parçacık kümesi (P_2) ve hafıza tabanlı 3. Parçacık kümesi (M) kullanılmıştır. Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritmasının şematik gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir. HEPSO algoritmanın kod taslağı ise Şekil 5.3’de gösterilmiştir.

HEPSO algoritmasının çözümlemesinde, P_1 , P_2 ve M parçacık kümelerine önceden belirlenen sayı kadar, izin verilen katsayı aralığında rastgele konum bilgileri atanır. Optimizasyon çözümlemesinde, herbir iterasyonda yani nesilde P_1 ve P_2 kümesine ait parçacıkların amaç fonksiyonu değerleri ve yerel en iyi konumları ile tüm sürünün en iyi konumu belirlenir. P_1 ve P_2 kümelerine ait her parçacığın amaç fonksiyonu değeri, kendi yerel en iyi konumunun değeri ile karşılaştırılır. Eğer parçacığın o anki konumunun değeri daha iyi ise parçacığın konumu ve amaç fonksiyonu değeri, yerel en iyi konumuna ve uygunluk değerine aktarılır. Her nesil sonunda, P_2 kümesinin yerel en iyi konumu ve uygunluk değerine sahip parçacık, P_1 kümesindeki yerel en kötü konum ve uygunluk değerine sahip parçacık yerine kopyalanır.

Yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri, genel en iyi konumun değeri ile karşılaştırılır. Eğer yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri daha iyi ise o parçacığın konumu ve değeri, genel en iyi konuma ve değerine aktarılır. Elde edilen genel en iyi konum ve uygunluk değerine sahip parçacık, hafıza (M) kümesinde hala rastgele atanmış konumlar var ise, bu konumların yerine atanır. M kümesinde rastgele atanmış parçacık kalmamış ise, genel en iyi konum ve uygunluk değerine sahip parçacık, M parçacıkları arasında en benzer parçacık amaç fonksiyonu değerinden küçükse, bu en benzer parçacık ile yer değiştirir, M parçacıkları arasında en benzer parçacık yok ise ve genel en iyi konuma sahip parçacığının amaç fonksiyonu değeri, M kümesindeki parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinden küçükse, bu parçacık M kümesindeki en kötü amaç fonksiyonu değerine sahip parçacığın yerine atanır.

Bu genel en iyi konuma ve değerine sahip parçacık P_1 kümesine ait ise, çevre şartı değişikliği tespit edilir. Bu durumda, P_2 kümesine ait parçacıklara izin verilen aralıkta rastgele değerler atanır. P_1 ve M kümelerindeki parçacıklar birleşerek, P_1 kümesinin parçacık sayısı kadar yerel en iyi konum ve uygunluk değerine sahip parçacıklar, P_1 kümesine atanarak, güncellenir. Bu uygulama sadece çevre şartı

```

FOR her parçacık,  $i$ 
  FOR her boyut,  $d$ 
    İzin verilen aralıkta rastgele hafıza parçacıkları  $M(1)$  ve diğer parçacık kümeleri  $P_1(1)$  ve  $P_2(1)$  başlangıç konumu,  $x_{id}$  atanır
    İzin verilen aralıkta rastgele hafıza parçacıkları  $M(1)$  ve diğer parçacık kümeleri  $P_1(1)$  ve  $P_2(1)$  başlangıç hızı,  $v_{id}$  atanır
  End FOR
END FOR
İterasyon sayısı  $k=1$ 
DO
  FOR  $P_1(k)$  ve  $P_2(k)$ 'daki her parçacık,  $i$ 
    Amaç fonksiyon değerinin hesaplanması
    IF amaç fonksiyonunun değeri, önce hesaplanan  $p\_eniyi_{id}$  değerlerinden daha iyiye
      Yeni hesaplanan amaç fonksiyonu değerini,  $p\_eniyi_{id}$  olarak kaydet
    END IF
  END FOR
   $P_1(k)$ 'nın en kötü değerdeki parçacık yerine,  $P_1(k)$  ve  $P_2(k)$ 'nin en iyi değerdeki parçacığı  $p\_eniyi_{id}$  atanır
   $P_1(k)$  ve  $P_2(k)$  parçacık kümelerinde en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip parçacığı,  $g\_eniyi_{id}$  olarak seç
  IF  $M(k)$  başlangıç rastgele değerleri içeriyorsa
     $M(k)$ 'ya, başlangıç rastgele değerleri içerisinde birine,  $g\_eniyi_{id}$  parçacığını ata
  ELSE
    IF  $g\_eniyi_{id}$  parçacığının amaç fonksiyonu değeri,  $M(k)$  parçacıkları arasında en benzer parçacık amaç fonksiyonu değerinden küçükse, bu en benzer parçacık ile yer değiştir
    ELSE
       $g\_eniyi_{id}$  parçacığına,  $M(k)$  parçacıkları arasında en benzer parçacık yok ise ve  $g\_eniyi_{id}$  parçacığının amaç fonksiyonu değeri,  $M(k)$ 'daki parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinden küçükse, bu parçacık  $M(k)$ 'daki en kötü amaç fonksiyonu değerine sahip parçacığın yerine atanır
    END
  END
  IF değişiklik teşhis edildiği durumda ( $g\_eniyi_{id}$  parçacığı  $P_2(k)$ 'dan elde edildiği durumda) VEYA güncelleştirme zamanında  $k_M=k+c$  veya  $rand(a,b)$ 
     $P_1(k)$ 'e, parçacık sayısı korunması şartı ile,  $P_1(k)$  ve  $M(k)$ 'nin en iyi parçacıkları atanır ve  $P_2(k)$ 'ya yine izin verilen aralıkta rastgele değerler atanır.
  ELSE
     $P_1(k)$  ve  $P_2(k)$  parçacık değerleri değişmez
  END
  FOR  $P_1(k+1)$  ve  $P_2(k+1)$  için her parçacık,  $i$ 
    FOR  $P_1(k+1)$  ve  $P_2(k+1)$  için her boyut,  $d$ 
      Aşağıdaki eşitliğe göre parçacık hızını hesapla
      
$$v_{id}(k+1) = wv_{id}(k) + c_1rand_1(p_{id} - x_{id}) + c_2rand_2(p_{gd} - x_{id})$$

      Aşağıdaki eşitliğe göre parçacık yeni konumunu hesapla
      
$$x_{id}(k+1) = x_{id}(k) + v_{id}(k+1)$$

    END FOR
  END FOR
   $k=k+1$ 
WHILE en büyük iterasyon sayısı veya en küçük amaç fonksiyonu değeri bulunana kadar döngüye devam et

```

Şekil 5.3 : Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritması kaba kodu [44].

değişikliği tespit edildiğinde değil, önceden belirlenen ya sabit iterasyon sayısı geçtikten yada önceden belirlenen iterasyon sayısı aralığında rastgele atanan iterasyon sayısı tamamlandıktan sonra da uygulanır.

Daha sonra, P_1 ve P_2 parçacıkların hızları Denklem (5.1) veya (5.5) ve (5.6)'ya ve konumları ise (5.2)'ye göre güncellenir. Süreç, iterasyon sayısı tamamlanıncaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar tekrarlanır. Sürekli değişen çevre şartlarında, birden fazla çözüm olacağından, iterasyon sonunda elde edilen hafızada kayıtlı genel en iyi konumlar, problemin çözümü olarak alınır.

5.3.1 Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) algoritmasında, çevre şartları belli süre aralığında değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek değişime uyum sağlanabilmesi için, Tetiklemeli Hafıza Etkili (THEPSO) algoritma önerilmiştir [46].

HEPSO algoritmasında, güncelleme iterasyon sayısının tamamlanması veya belli süre aralığında çevre koşullarının değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek çevre değişimine uyum göstermesine yönelik, ek olarak güncelleme yapılmasını tetikleyecek iki şartın belirlenilmesine gereksinim duyulmuştur. Bu şartlardan ilki, algoritmada iterasyon süresince, son beş iterasyonda elde edilen genel en iyi konuma sahip parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasının önceden belirlenen değerin üzerinde kalırsa, güncelleme gerçekleştirilir. Denklem (5.7)'de, bu tetikleme şartının eşitliği verilmiştir.

$$e(t) = \frac{\frac{1}{5}\sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i) - \frac{1}{5}\sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i-1)}{\frac{1}{5}\sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i)} = \frac{\sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i) - \sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i-1)}{\sum_{i=0}^4 f_{a.f.}(t-i)} \quad (5.7)$$

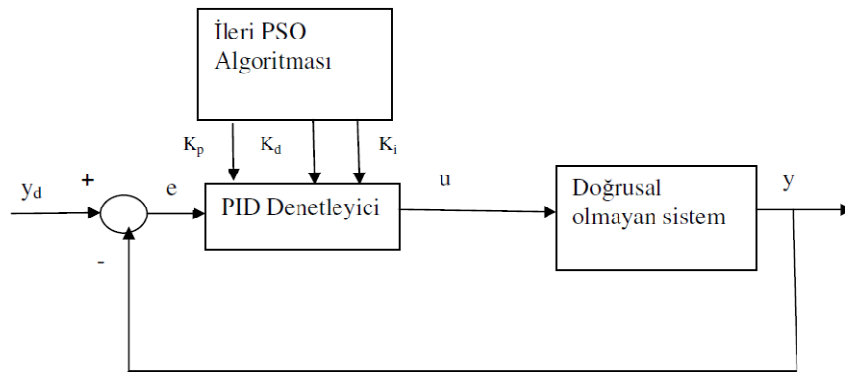
Diğer güncelleme koşulu, arama yapmakla görevli P_2 kümesindeki parçacıkların yerel en iyi konumlarının, amaç fonksiyonu değerlerinin standart sapması belli bir değerin altında ise, yani yerel en iyi uygunluk değeri ile en kötü değer oranı yüksek olduğu durumda gerçekleşir. P_2 kümesindeki parçacıkların, yerel en iyi değer ile en kötü değer birbirine çok yakın olması, çözümlemede yakınsamanın gerçekleştiğini, ancak yeni oluşabilecek çevre değişikliğine duyarlılığın azaldığını gösterdiğinden, bu tetikleme şartı ile değişikliğe uyum sağlamadaki duyarlılık çözümlemede algoritmaya tekrar kazandırılmış olur.

5.4 İleri Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritmalarının Kontrol Alanında Uygulanması

Uyarlanabilir (Adaptive) Yöntemler, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları algoritma yapıları ile kontrol alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak, Denklem (5.8)'de verilen PID (Oransal-İntegral-Türev) denetleyicisinin kullanılmasının basit ve geniş alanda uygulanabilirliği nedeni ile endüstride hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, PID denetleyicisinin, uygulanacağı sisteme göre kazanç katsayılarının ayarlanması oldukça zor ve zaman alıcı bir süreç gerektirir. Ayrıca, hesaplamalar ve testler sonucunda elde edilen PID kazanç katsayıları, uygulandığı dinamik sistemin çalışma koşulları değiştiğinde, istenen performansın sağlanmasında yetersiz kalabilmektedir. Literatürde, PID denetleyicisinin kazanç katsayılarının ayarlanmasında optimal çözümler üzerine çalışılmıştır. Bu optimal çözümlerden birisi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu'dur.

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (5.8)$$

PID denetleyicisinin kazanç katsayılarının, uygulandığı sistem üzerinde değişen çalışma koşullarına göre kendini ayarlayabilmesi için (PSO), yöntemi son yıllarda kullanılmaktadır. PSO, çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümünde hızlı cevap verdiği için, otomatik kontrol alanında tercih edilen bir yöntem olmuştur. Şekil 5.4'de, PSO algoritmasının K_p , K_d ve K_i kazanç katsayılarını ayarlaması, kapalı çevrim blok diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : İleri PSO algoritması ile PID control katsayıları ayarlanan kapalı çevrim blok diyagramı .

PID denetleyicisinin kazanç katsayılarının kendi kendine ayarlanmasında, PSO algoritmasında, d boyutu K_p , K_d ve K_i değişkenleri oluşturmaktadır. Gerçek zamanlı çalışan system uygulamalarında, PSO çözümlemesinin başlangıcında, izin verilen denetleyici katsayıları aralıklarında, rastgele K_p , K_d ve K_i katsayıları atanır. Bu üç boyutlu optimal çözümlemede, denetleyici katsayılarını ayarlayacak parçacıkların, önceden belirlenen referansa göre, ya Denklem (5.9)'da verilen hatanın karesinin integrali - amaç fonksiyonuna yada Denklem (5.10)'da verilen hatanın mutlak değeri integrali – amaç fonksiyonu değerleri ve yerel en iyi konumları ile tüm sürünün en iyi konumu belirlenir.

$$f_{a.f.}^{h.k.i.} = \int_0^{T_i} [y_d(t) - y(t)]^2 dt = \int_0^{T_i} e^2(t) dt \quad (5.9)$$

$$f_{a.f.}^{h.m.i.} = \int_0^{T_i} |y_d(t) - y(t)| dt = \int_0^{T_i} |e(t)| dt \quad (5.10)$$

Her parçacığın amaç fonksiyonu değeri, kendi yerel en iyi konumunun değeri ile karşılaştırılır. Eğer parçacığın o anki konumunun değeri daha iyi ise parçacığın konumu ve amaç fonksiyonu değeri, yerel en iyi konumuna ve uygunluk değerine aktarılır. Yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri, genel en iyi konumun değeri ile karşılaştırılır. Eğer yerel en iyi konum vektörünün en iyi amaç fonksiyonu değeri daha iyi ise o parçacığın konumu ve değeri, genel en iyi konuma ve değerine aktarılır. K_p , K_d ve K_i denetleyici katsayılarının optimal çözümlemesinde görevli parçacıkların hızları ve konumları Denklemler (5.1) veya (5.5) ve (5.6)'ya ve (5.2)'ye göre güncellenir. Süreç, iterasyon sayısı tamamlanıncaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar tekrarlanır. İterasyon sonunda elde edilen genel en iyi konum, yani PID denetleyici katsayıları problemin çözümü olarak alınır.

Sürekli değişen çevre şartlarında, denetleyicinin PID katsayılarının her zaman kendi kendine ayarlanabilmesi için, ileri PSO algoritmaları kullanılmaktadır. İleri PSO algoritmalarından, Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) veya Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (THEPSO), değişen dinamik şartlar altındaki doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünde, PID denetleyicisinin katsayılarının kendi kendine ayarlanmasında performansı önemli derecede artırmaktadır.

6. PSO VE İLERİ PSO UYARLAMALI PDD² FİN DENETLEYİCİ ALGORİTMASI

Geminin hem çevre şartları hem de yükleme koşulları nedeni ile oluşan yalpa hareketlerinin sönümlemesi çalışmasında, klasik PDD² ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HEPSO) ve Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (THEPSO) ile ayarlanan PDD² denetleyici sistemleri uygulanmıştır. Yalpa açısı, açılı hızı ve ivmesine bağlı dinamik yapıda olan, yalpa hareketi sönümleyici hidrolik fin sistemi K_p , K_d ve K_{d2} denetleyici katsayıları ile kontrol edilmektedir. Ancak, altı serbestlik dereceli gemi dinamiğinde, bu denetleyici katsayılarının hesabı hem zor hem de değişen çevre ve yükleme koşullarında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, K_p , K_d ve K_{d2} denetleyici katsayılarını geminin çalışma koşullarına göre ayarlayan PSO ve ileri PSO algoritmaları yapılan çalışmada uygulanmıştır.

Çalışmada, öncelikle PSO algoritmasının Martı Gemisi'nin yalpa hareketi sönümlemesinde kullanılan fin sistemi için, karakteristiklerinin belirlenmesi, sonra geminin çeşitli çalışma koşullarında PSO ve ileri PSO algoritmalarının uygulanması üzerine çalışılmıştır.

6.1 Gemilerde Yalpa Sönümlemede PSO Uyarlamalı PDD² Fin Denetleyicisi

Tez çalışmasında, yalpa hareketi denklemi tek serbest dereceli olarak, denklemdeki katsayılar yalpa hareketi ile birlikte dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Dalganın ve yalpa hareketini sönümleyen fin yüzeylerinin oluşturduğu moment kuvvetlerinde, geminin yalpa hareketinin, dalıp-çıkma ile baş-kıç vurma bileşik hareketlerinde tek serbestlik dereceli Denklem (2.11)'de verilmiştir [1-5].

Martı Gemisi'nin, boyu $L=16.5$ m, en büyük genişliği $B=4.5$ m, su çekimi 1.3 m, deplasmanı $\Delta=30.94$ ton'dur. Durgun suda gemi sıfır hızda iken yapılan, ani darbe etkisinde yapılan deneyler sonucu yalpa periyodu $T_\theta=4.5$ s'dir. Ayrıca, durgun suda

yapılan meyil testi sonucunda, geminin deneysel çalışmalardaki yükleme koşulunda, metasantrik yüksekliği $\overline{GM}=0.5$ m olarak hesap edilmiştir.

Yalpa hareketi sönümleyici hidrolik fin sisteminin oluşturduğu moment Denklem (2.9)'da verilmiştir. Geminin sancak ve iskelesindeki finlere, tek denetleyici sinyali gönderildiği durumda ikisinin oluşturduğu toplam moment değeri Denklem (2.10)'de verilmiştir.

Martı gemisi ile durgun suda, yalpa finleri, $\alpha_e = \mp(0^\circ - 30^\circ)$ aralığında çeşitli hücum açılarındaki çalıştırılarak geminin 5-9 knot aralığındaki hızlarda kaç derece yalpa yaptırdığı eğim alıcısı ile ölçülmüştür. Elde edilen bu yalpa açılara göre, yalpa finlerinin gemiye yaptırdığı moment değerleri, geminin hidrostatik moment değerlerine eşitlenerek, teknenin belirtilen hızlarında, finin hücum açılara göre, C_L kaldırma kuvveti katsayıları eğrileri elde edilmiş ve Bölüm 3.5'de, Şekil (3.10)'da gösterilmiştir. Yalpa sönümleyici finin yüzey alanı $A_f=0.232$ m², Martı Gemisi'nin yükleme koşuluna göre fin moment kolu $r_f=2.24$ m'dir.

Yalpa fininin değişen açılara göre, tekneye etkidiği moment değerini, $\phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$ büyüklüklerine göre matematik modeli oluşturulduğunda;

$$\alpha_{e1} = k\phi, \alpha_{e2} = h\dot{\phi}, \alpha_{e3} = i\ddot{\phi} \quad (6.1)$$

yazılabilir. k, h ve i katsayıları, yalpa açısı, açı hızı ve ivme değişkenlerinin herbiri ile ayrı ayrı orantılı olacak biçimde fin yüzeyleri döndürülür, bu üçünün toplamı kadar bir hücum açısı yaptırılarak, yalpaya karşı gerekli moment sağlanmış olur. Böylece, yalpa hareket denklemi aşağıdaki gibi düzenlenir. Her an fin yüzey alanları tarafından Denklem (6.2)'deki hesaplanan değer kadar, ancak sancak ve iskele zıt yönlerde dönmek şartı ile gerekli hücum açısını meydana getirilir.

$$\alpha_e = \alpha_{e1} + \alpha_{e2} + \alpha_{e3} = k\phi + h\dot{\phi} + i\ddot{\phi} \quad (6.2)$$

Böylece, sancak iskele fin yüzeyleri tarafından oluşturulan yalpa hareketini sönümleyici dengeleyici moment Denklem (6.3)'da verilmiştir.

$$M_F = 2 * \left(\frac{1}{2} \rho r_f V_{fl}^2 A_f \right) * \frac{\delta C_L}{\delta \alpha_e} * \alpha_e = K(k\phi + h\dot{\phi} + i\ddot{\phi}) \quad (6.3)$$

Burada, K Denklem (6.4)'da verilmiştir.

$$K = 2 * \left(\frac{1}{2} \rho r_f V_{fl}^2 A_f \right) \quad (6.4)$$

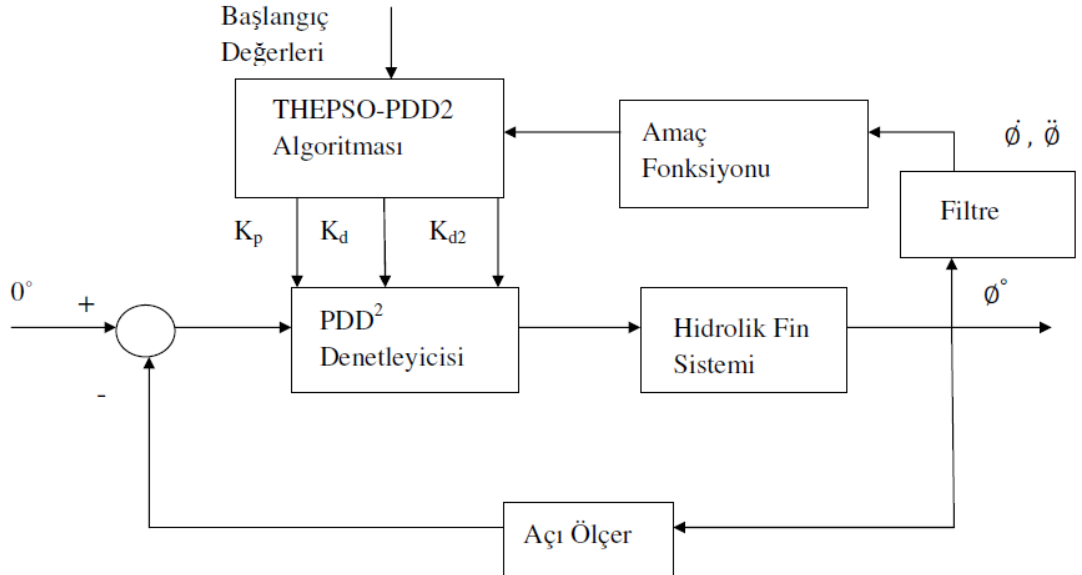
$$k = K_p, h = K_d, i = K_{d2} \quad (6.5)$$

k, h ve i katsayıları, yalpa hareketini sönümleyici fin sisteminin denetleyici katsayılarıdır. Bu değerler, Denklem (2.11)'deki denklemde yerine konur ve düzenlenirse, Denklem (6.6) elde edilir.

$$(m + a + K * \overline{C}_L(t) * K_{d2})\ddot{\phi}(t) + \left(\frac{B_1 T_{\phi} \Delta \overline{GM}(t)}{\pi^2} + K * \overline{C}_L(t) * K_d\right)\dot{\phi}(t) + \left(\frac{B_2 3 T_{\phi}^2 \Delta \overline{GM}(t)}{16 \pi^2}\right)\phi(t) + (\Delta \overline{GM}(t) + K * \overline{C}_L(t) * K_p)\phi(t) = M_D(t) \quad (6.6)$$

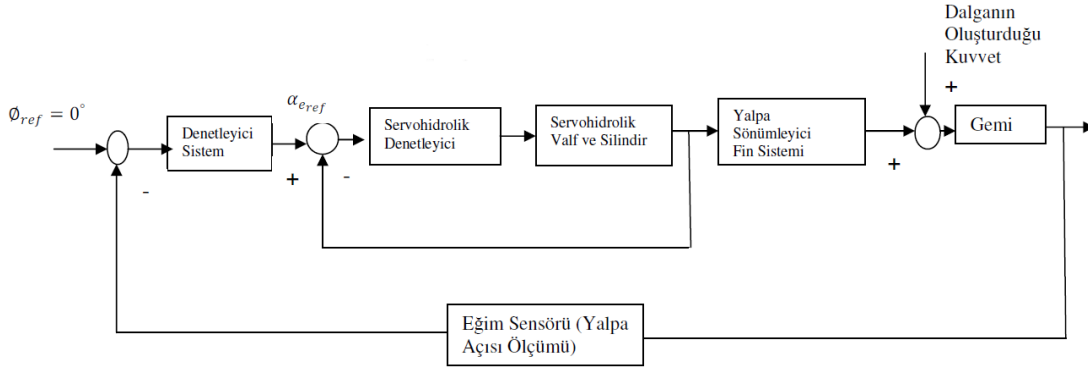
Denklem (6.5)'de verilen denetleyici katsayılarının, yalpa hareketine göre her koşulda uygun değerlerde olması gereklidir. Bu nedenle, bu denetleyici katsayılarının sabit olarak belirlenmesi durumunda, yani klasik PDD² kontrol uygulandığında yetersiz kalmaktadır.

Bu nedenle, bu tez çalışmasında yalpa hareketine göre K_p, K_d ve K_{d2} denetleyici katsayılarının kendi kendine ayarlamasını sağlayan PSO-PDD² ve ileri PSO-PDD² denetleyici algoritmaları üzerine çalışılmıştır. İleri PSO-PDD² denetleyici algoritmalarından olan, Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (THEPSO) algoritması ile katsayıları ayarlanan THEPSO-PDD² denetleyici sisteminin kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Gemilerde Yalpa Sönümleyici Aktif Fin Sistemi THEPSO-PDD² Denetleyici Blok Diyagramı.

Yalpa hareketini sönümlemesinde, fin hidrolik sistemin konum kontrolü ve yalpa hareketine göre fin hücum açılarının hesaplandığı sıralı kapalı çevrim denetleyici blok diyagramı Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 : Gemilerde Yalpa Sönümleyici Aktif Fin Sistemi Kapalı Çevrim Denetleyici Blok Diyagramı.

6.2 PSO-PDD² Denetleyici Algoritması Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Geminin yalpa hareketini sönümlemek için kullanılan fin sistemi denetleyicisinin K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının ayarlanmasını sağlayacak, PSO ve ileri PSO algoritmalarında 5. Bölümde belirtilen karakteristiklerinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle, Martı Gemisi yalpa hareketi sönümleyici fin sistemi denetleyicisinin tasarımında, PSO algoritmasının gerektirdiği, P, D ve D² kontrol katsayı aralıkları, amaç fonksiyonun belirlenmesi ve bu karakteristiklerin belirlenmesi ile çeşitli çalışma koşullarında PSO algoritmasının çalışması sonuçları alt başlıklarda verilmiştir.

Uygulamalarda, her nesilde parçacıkların hız hesaplaması Denklem (5.5)’e göre yapılmıştır. Mutlak en büyük hız değeri, denetleyicinin katsayı aralığının en büyük değerinin %20’si olarak alınmıştır. Denklem (5.5)’de $n_1=2.05$, $n_2=2.05$ ve parçacık sayısı 40 olarak alınmıştır.

6.2.1 PSO-PDD² Denetleyici Katsayı Aralıklarının Belirlenmesi

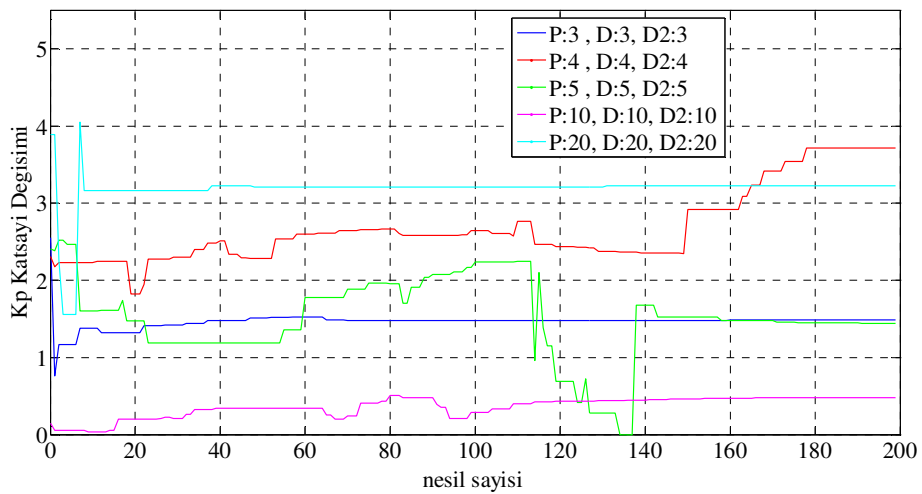
Martı Gemisi’nin yalpa sönümleyici fin denetleyici sisteminin fiziksel çalışma limitlerinden dolayı, PDD² Denetleyici Katsayılarının belli aralıklarda olması gerekmektedir.

PSO-PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi’nde, deplasman değeri $\Delta=30.94$ ton, $\overline{GM}=0.5$ m yükleme koşulunda, bordadan gelen düzgün dalgalarda, en

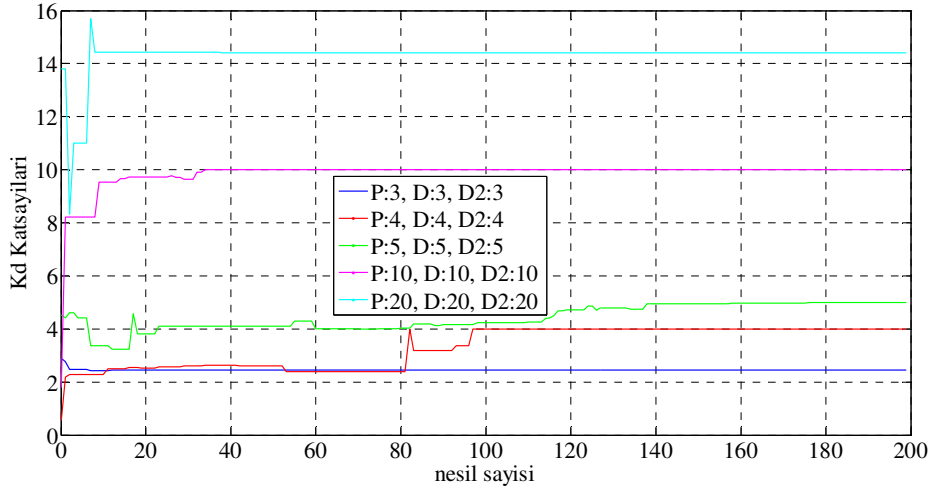
büyük dalga genliğinde dalga kuvveti momenti 1.5 ton.m, frekansı 0.3 Hz, Denklem (6.7)'de verilen amaç fonksiyonu, yalpa açısı yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.

$$f_{a.f.}^{h.m.i.} = \left(\frac{1}{T}\right) \sum_i T * (1 * |\phi_i|) \quad (6.7)$$

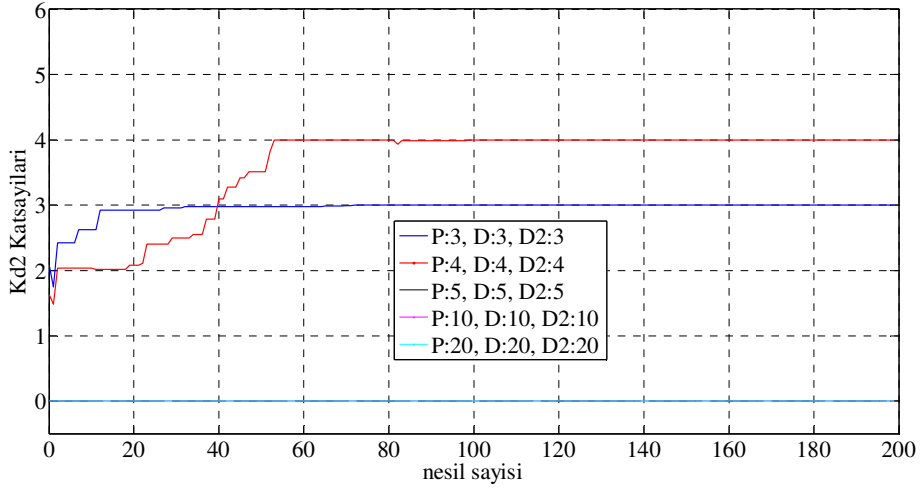
PSO algoritmasında, P, D ve D^2 kontrol katsayı aralıkları için üç katsayı aralığı aynı olmak üzere 3, 4,5,10 ve 20 için uygulama yapılmıştır. Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sırası ile genel en iyi konumdaki K_p , K_d ve K_{d2} katsayıları nesil sayılarına göre verilmiştir. Aranan katsayı aralığının, nesil sayılarına göre arama özelliği taşıyan yani denetlenen sistemi doyma sınırına ulaştırmayan özellikte olması gereklidir. Bu şartlarda, (0-5) arasındaki katsayı aralığı istenen arama özelliğinde, hemen doyma sınırına gelmemektedir. Ayrıca, Şekil 6.6'da verilen, yalpa sönümleme istatistiksel performans değerlendirmesinde, F sönümleme katsayıları karşılaştırması ve Çizelge 6.1'de toplam sönümleme oranları, F sönümleme katsayıları, yalpa açı hızı ortalaması ve en büyük değerleri, yalpa açı ivmesi ortalaması ve en büyük değerleri arasında karşılaştırmaları verilmiştir. Bu performans karşılaştırmalarına göre, P, D ve D^2 denetleyici katsayı aralığı, üç değişken için de aynı olmak üzere (0-5) katsayı aralığında, toplam sönümleme oranı %95.81 ve istatistiksel F sönümleme katsayısı 0.0291 ile diğer denetleyici katsayı aralıklarındaki uygulamalara göre yüksektir. Oluşan en büyük yalpa açı ivmesi de $5.01^\circ/s^2$ ile, Martı Gemisi'nde hesaplanan yalpa açı ivmesi limit değeri $10^\circ/s^2$ değerinin altındadır.



Şekil 6.3 : PSO-PDD² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında K_p katsayı değişimi.



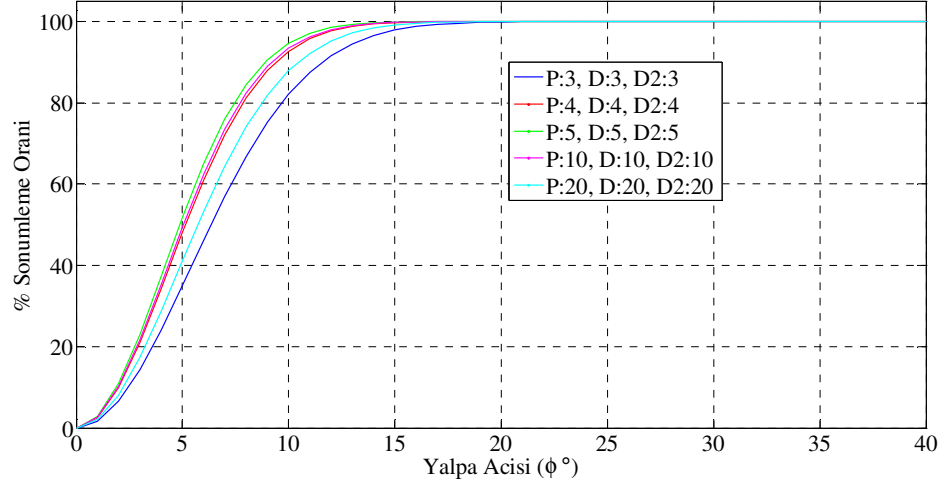
Şekil 6.4 : PSO-PDD² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında K_d katsayı değişimi .



Şekil 6.5 : PSO-PDD² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında K_{d2} katsayı değişimi.

Ayrıca, PSO algoritması kullanılarak P, D ve D² kontrol katsayıları, farklı üç katsayı aralığı ve çeşitli kombinasyonları için uygulamalar yapılmıştır. Denetleyici katsayılarının genel en iyi değerleri, Şekil B.1, Şekil B.2 ve Şekil B.3’de gösterilmiştir. F sönümlleme katsayıları karşılaştırması Şekil B.4’de ve diğer performans karşılaştırmaları ise Çizelge B.1’de verilmiştir. Bu uygulamalar sonucunda, yüksek oranlarda sönümlleme elde edilmişse de, yüksek katsayı aralığına sahip değişken dışındaki denetleyici katsayılarının yeterli arama yapamadıkları görülmüştür.

Bu performans karşılaştırmalarına göre, P, D ve D² denetleyici katsayı aralıkları, (0-5) bundan sonraki çalışmalarda kullanılmıştır.



Şekil 6.6 : PSO-PDD² denetleyicisinde, aynı K_p , K_d ve K_{d2} katsayı aralıklarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması.

6.2.2 PSO-PDD² Denetleyicide Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Yalpa hareketi sönümlemesinde, yalpa açısı değişkenine bağlı denetleyici sistem, geminin boyuna gelen dalgalarındaki hareketi sırasında avantajlıdır. Denetleyicide yalpa açısına bağlı K_p kontrol katsayısının değişimi, geminin metasantrik yükseklik $\overline{GM}$ etkisine paraleldir. $\overline{GM}$, metasantrik yüksekliği arttıkça geminin salınım süresi kısalır, K_p denetleyici katsayısının artması geminin salınım periyodu azaltır ancak, yalpa genliğini azaltmada çok etkili değildir. Yalpa açısı hızı değişkenine bağlı denetleyici sistem, özellikle bordadan gelen yalpa genliklerinin sönümlemesinde önemlidir. Denetleyicinin K_d katsayısı yalpa genliklerinin sönümlemesinde önemli derecede etkilidir. Yalpa açısı ivme değişkenine bağlı olarak, K_{d2} denetleyici katsayısı ise periyodik olmayan, karışık veya büyük dalga boylu deniz koşullarında salınım periyodunu uzatır, dolayısı ile geminin metasantrik yüksekliği $\overline{GM}$ 'in küçülmesi durumuna denk durumu oluşturur. Böylece, aşırı deniz şartlarında, büyük dalga boylarında geminin yalpa hareketinin rezonansa girmesini önlemekte etkilidir [6].

Bu nedenle, yapılan çalışmalarda PSO algoritması, amaç fonksiyonu yalpa açısı, yalpa açısı hızı ve ivmesi değişkenlerine göre Denklem (6.14)'deki gibi belirlenmiştir. Mutlak değerdeki yalpa açısı, yalpa açısı hızı ve ivmesi değişkenlerinin belli ağırlık

katsayıları ile çarpımları toplamı, kapalı çevrim denetleyici süresindeki integrali sonucu, her PSO iterasyonu için amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Çizelge 6.1 : PSO-PDD² denetleyicisinde, aynı K_p, K_d ve K_{d2} katsayı aralıkları için performans karşılaştırması

	P:3,D:3, D2:3	P:4,D:4, D2:4	P:5,D:5, D2:5	P:10,D:10, D2:10	P:20,D:20, D2:20
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%94.55	%95.37	%95.81	%98.14	%99.1
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.0172	0.0261	0.0291	0.0272	0.0211
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.36	0.29	0.26	0.12	0.06
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	1.16	1.51	1.02	0.59	0.34
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.96	0.58	0.49	0.38	0.24
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	5.54	8.33	5.01	2.19	1.04

PSO algoritmasında, Denklem (6.14)'de amaç fonksiyonundaki değişkenlerin a, b ve c katsayılarının belirlenmesi için, 1 ve 5 katsayılarında oluşturulan kombinasyonlarda benzetim çalışmaları yapılmıştır.

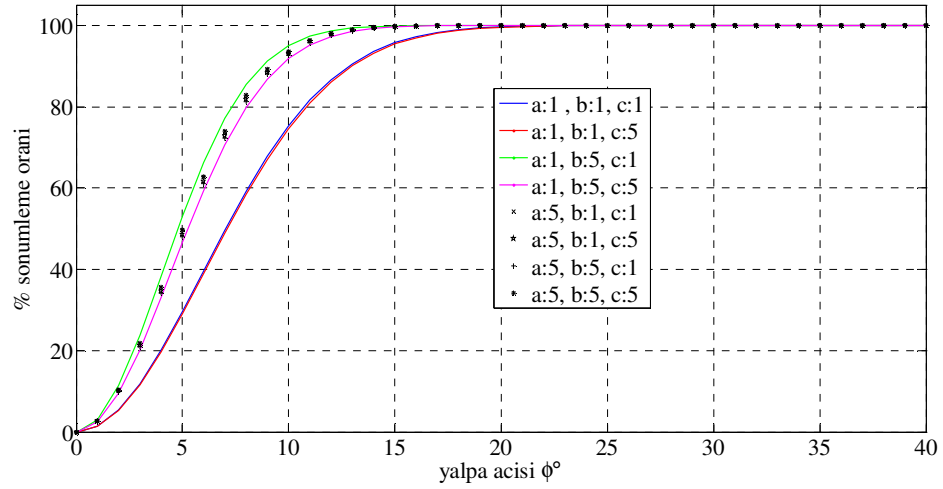
PSO-PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, bordadan gelen düzgün dalgalarda, en büyük dalga genliğinde dalga kuvveti momenti 1.5 ton.m, frekansı 0.3 Hz, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.8)'de verilen amaç fonksiyonu, yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.

$$f_{a.f.}^{h.m.i.} = \left(\frac{1}{T}\right) \sum_i T * (a * |\phi_i| + b * |\dot{\phi}_i| + c * |\ddot{\phi}_i|) \quad (6.8)$$

Şekil 6.7'de, çeşitli katsayılarıdaki amaç fonksiyonu uygulamalarındaki, istatistiki sönümlenme F katsayısının karşılaştırması verilmiştir. Burada, a=1, b=5 ve c=1 katsayılarına sahip amaç fonksiyonunun uygulanmasında, küçük açılardaki sönümlenme oranı F=0.0302, diğer katsayı kombinasyonlarına sahip uygulama sonuçlarına göre yüksek çıkmıştır.

Ayrıca, Çizelge 6.2'de benzetim çalışmalarının toplam sönümlenme oranları, ortalama ve en büyük yalpa açısı hız ve ivme değerleri karşılaştırılmıştır. a=1, b=5 ve c=1 katsayılarındaki amaç fonksiyonunun uygulanması sonucu, toplam sönümlenme oranı %96 ile diğer uygulamalara göre yüksek çıkmıştır. En büyük yalpa açısı ivme değeri ise, $11.28^{\circ}/s^2$ değeri ile Martı Gemisi'nin hesaplanan yalpa açısı ivmesi limit değeri olan $10^{\circ}/s^2$ değerinin biraz üzerinde çıkmıştır. Bu yalpa açısı ivme değeri azaltılması

için yapılan çalışmalar, kapalı çevrim denetleyici süresinin uzatılması ile ileri PSO algoritmaları Bölüm 6.3 ve 6.4’de incelenecektir.



Şekil 6.7 : PSO-PDD² denetleyicisinde farklı amaç fonksiyonu katsayılarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması.

PSO algoritması çözümlemesinde, benzetim çalışmalarındaki performans karşılaştırmasına göre, a=1, b=5 ve c=1 katsayılarına sahip amaç fonksiyonu diğer uygulamalarda kullanılmak üzere seçilmiştir.

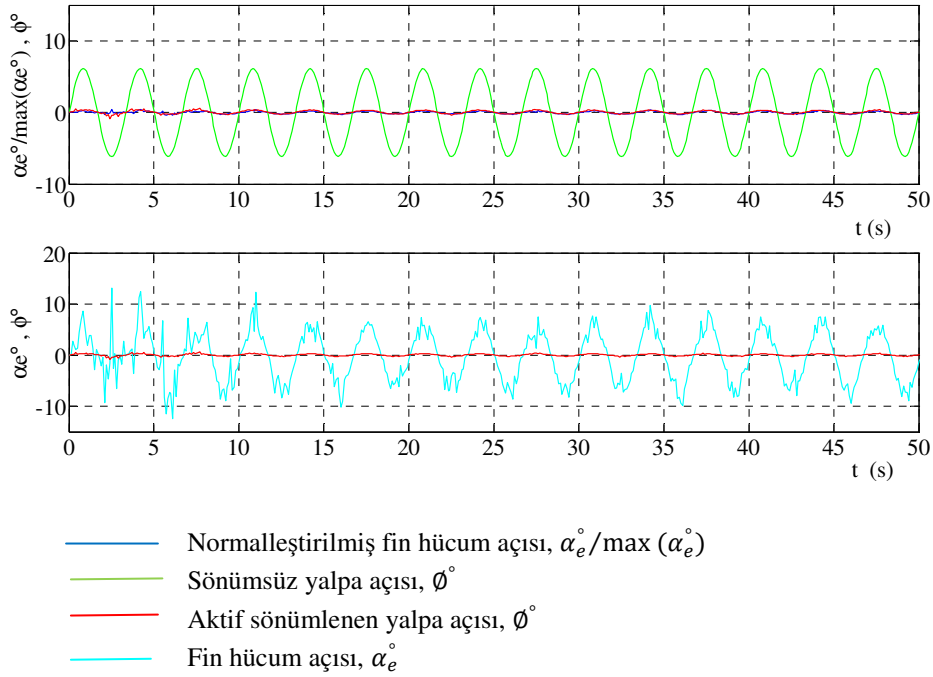
Çizelge 6.2 : PSO-PDD² denetleyicisinde farklı amaç fonksiyonu katsayıları için performans karşılaştırması

	a:1, b:1, c:1	a:1, b:1, c:5	a:1, b:5, c:1	a:1, b:5, c:5	a:5, b:1, c:1	a:5, b:1, c:5	a:5, b:5, c:1	a:5, b:5, c:5
Yalpa aç sönümleme oranı (%)	%94.3	%94.3	%96.0	%95.2	%95.5	%95.4	%95.3	%95.52
Yalpa aç F sönümleme katsayısı	0.0140	0.0137	0.0302	0.0250	0.0275	0.0266	0.0262	0.0275
Ortalama yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.32	0.31	0.26	0.28	0.25	0.25	0.25	0.26
En büyük yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.93	3.83	0.85	1.2	1.39	0.91	1.25	5.94
Ortalama yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.1	0.06	0.52	0.09	0.07	0.05	0.1	0.1
En büyük yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	4.58	12.66	11.28	39.4	7.08	3.37	3.73	7.76

6.2.3 Rastgele Başlangıç Koşullarının PSO-PDD² Denetleyici Cevabına Etkisi

PSO algoritmasının çözümlemesinde, Bölüm 6.2.1’de P, D ve D² denetleyici katsayı aralıkları (0-5) olarak belirlenmiştir. İterasyon çözümü başlangıcındaki değerler, (0-5) katsayı aralığından rastgele atanır. Bu bölümde, PSO algoritmasının iterasyon başlangıcında rastgele atanan değerlerin, çözüme etkisi incelenmiştir.

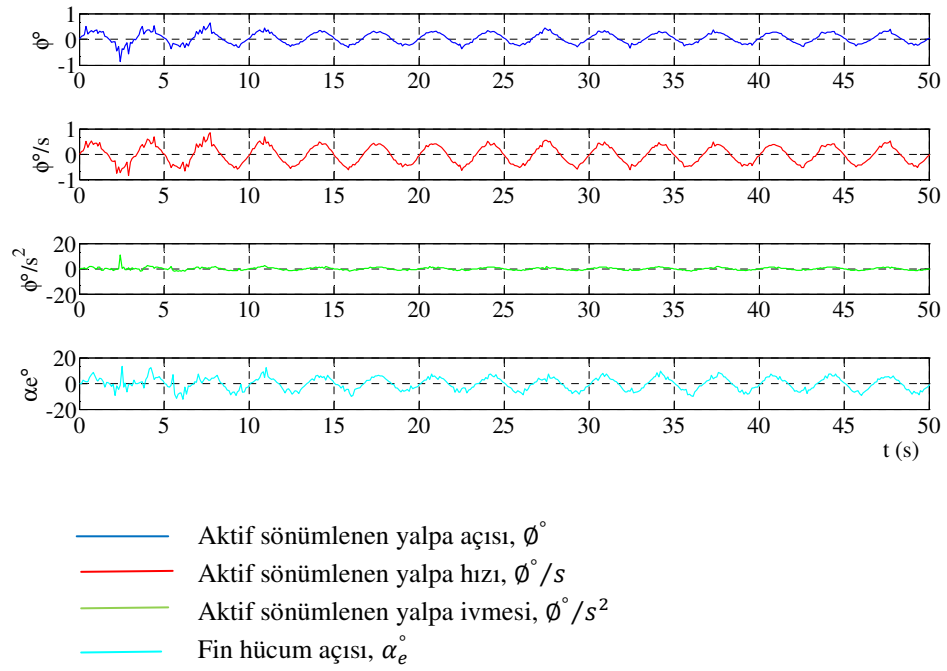
PSO-PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, bordadan gelen düzgün dalgalarda, en büyük dalga genliğinde dalga momenti 1.5 ton.m, frekansı 0.3 Hz, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.



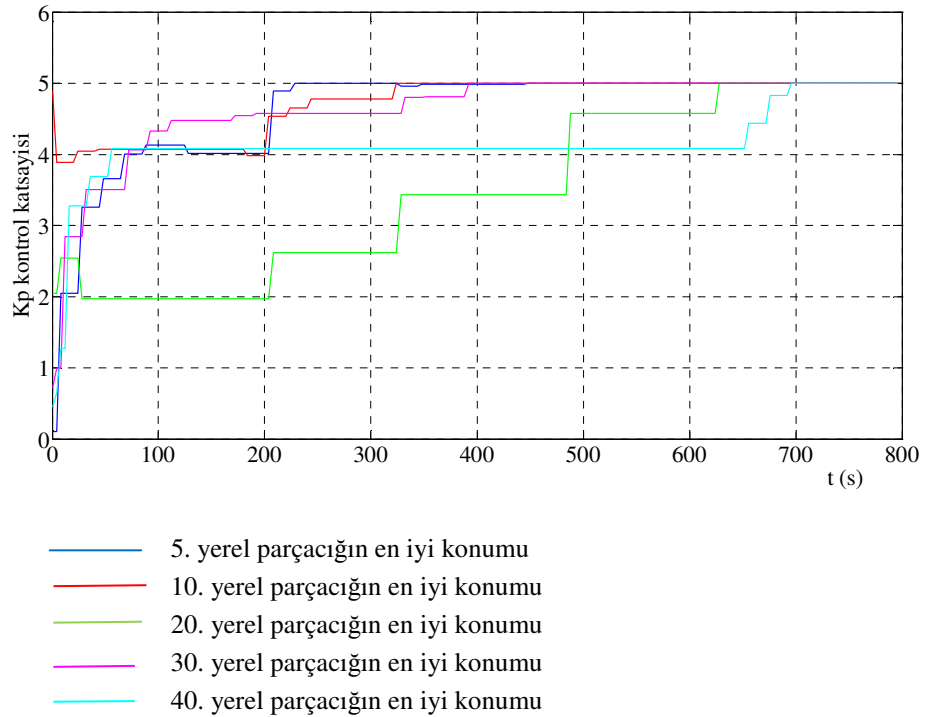
Şekil 6.8 : PSO-PDD² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması .

Şekil 6.8'de, yukarıda belirtilen şartlarda 1. benzetim çalışması sonucu, PSO-PDD² denetleyicisinin uygulanması ile zamana bağlı fin hücum açıları ile aktif sönümlenen yalpa açıları gösterilmiştir. Başlangıçtaki rastgele atanan değerler nedeni ile, fin hücum açıları yaklaşık 13. s sonra yakınsayan denetleyici katsayı değerlerine göre kontrol edilebilmiştir.

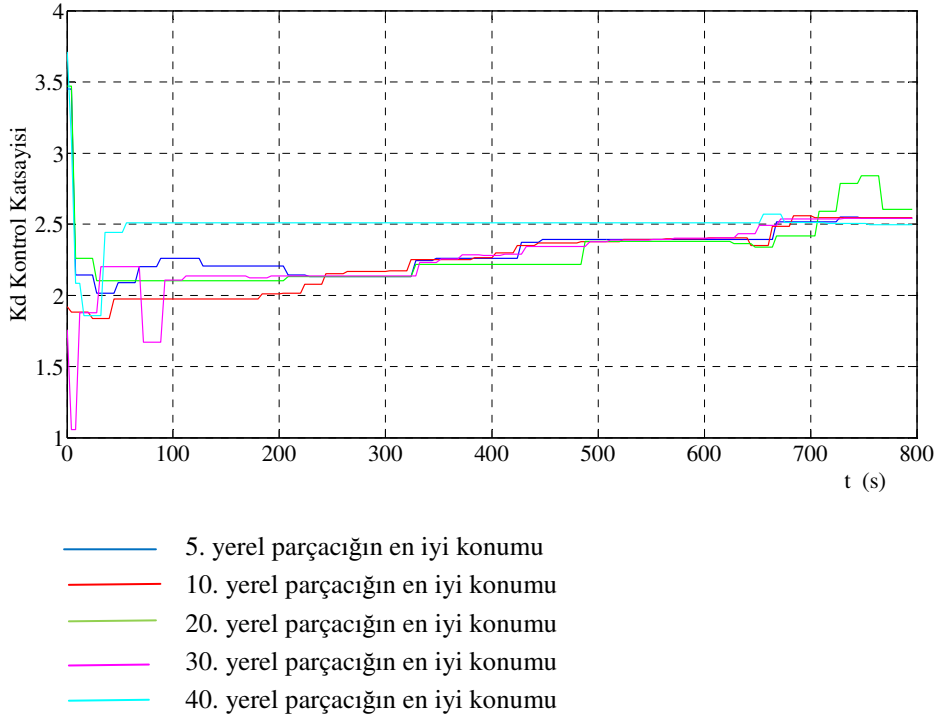
Ayrıca, Şekil 6.9'da, aktif sönümleme durumunda yalpa açısı ve ivmesi verileri de gösterilmiştir. Burada, 1. benzetim çalışması sonucunda yalpa açısı ivmesi limit değerinin biraz üzerinde çıkmıştır. PSO iterasyon çözümlemesinde, K_p , K_d ve K_{d2} denetleyici katsayılarını temsil eden parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana göre gösterimi sırasıyla Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12'de verilmiştir. Burada, periyodik dalga etkisinde, rastgele başlangıç şartları altında PSO iterasyon çözümlemesinin yakınsadığı görülmüştür.



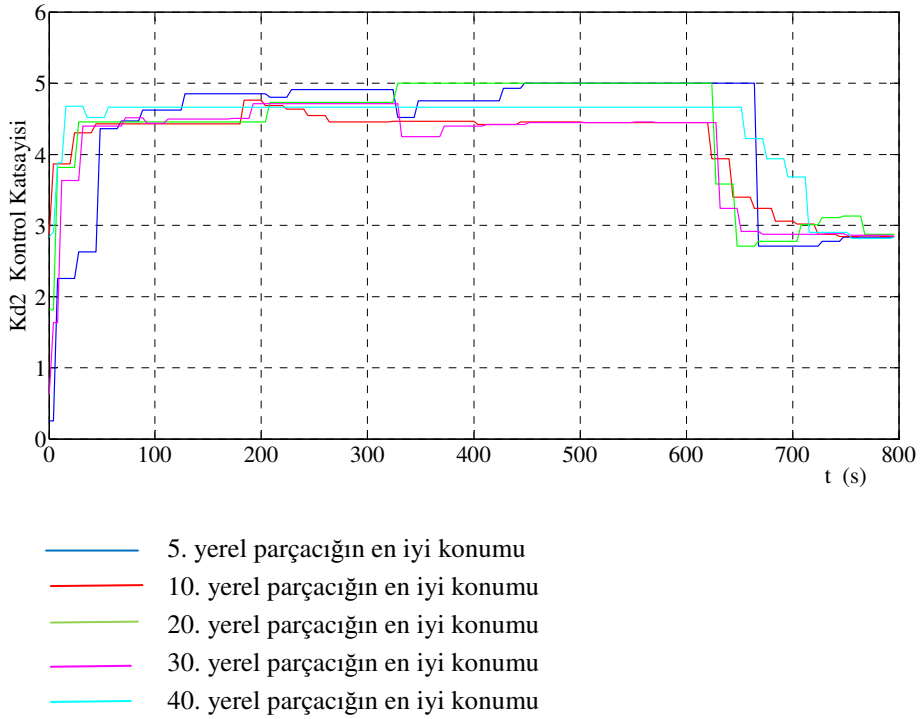
Şekil 6.9 : PSO-PDD² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu yalpa açısı, yalpa açı hızı, yalpa açı ivmesi ve fin hücum açısının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.10 : PSO-PDD² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.11 : PSO-PDD² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.12 : PSO-PDD² denetleyicisinin bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların yerel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.

Çalışmada, ayrıca aynı şartlar altında, farklı rastgele katsayılarının atanması ile gerçekleştirilen iki benzetim çalışması daha yapılmış, sonuçları Çizelge 6.3’de verilmiştir. Üç benzetim çalışması sonucu, toplam sönümleme oranları en yüksek %96, en az %95.68 çıkmış ve ancak %0.3 oranında bir düşüş olmuştur. İstatistiki F sönümleme katsayılarında ise en yüksek 0.0302, en az 0.0284 ve ancak %6 oranında bir azalma olmuştur. En büyük yalpa açısı ivmesi değerlerinde ise farklı sonuçlar alınmıştır.

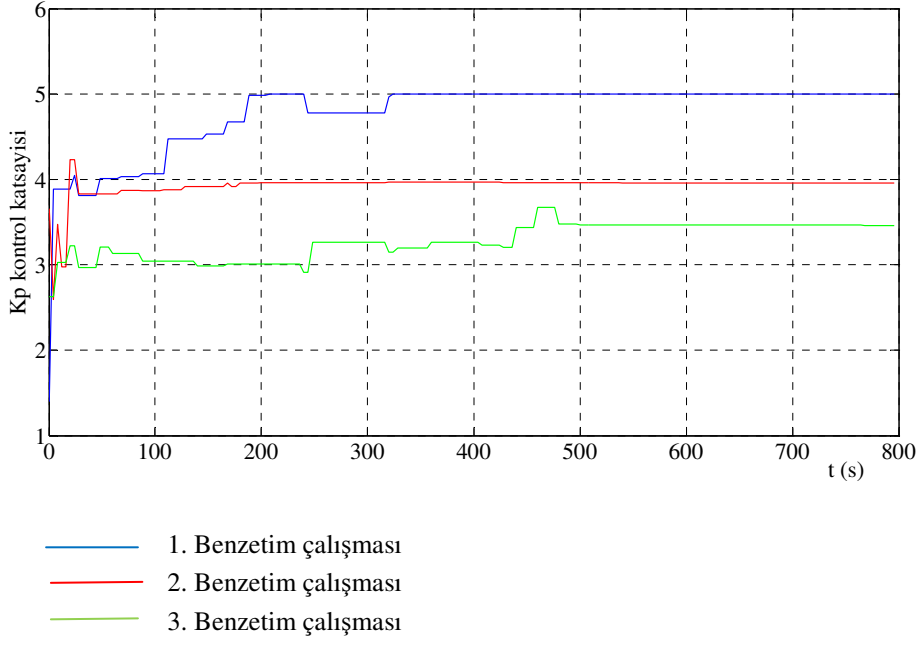
Çizelge 6.3 : PSO-PDD² denetleyicinin farklı rastgele başlangıç koşullarında uygulanması .

	1.Benzetim Çalışması	2.Benzetim Çalışması	3.Benzetim Çalışması
Yalpa açısı sönümleme oranı (%)	%96.00	%95.78	%95.68
Yalpa açısı F sönümleme katsayısı	0.0302	0.0291	0.0284
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.26	0.24	0.25
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.85	1.25	1.36
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.52	0.1	0.13
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	11.28	17.6	6.18

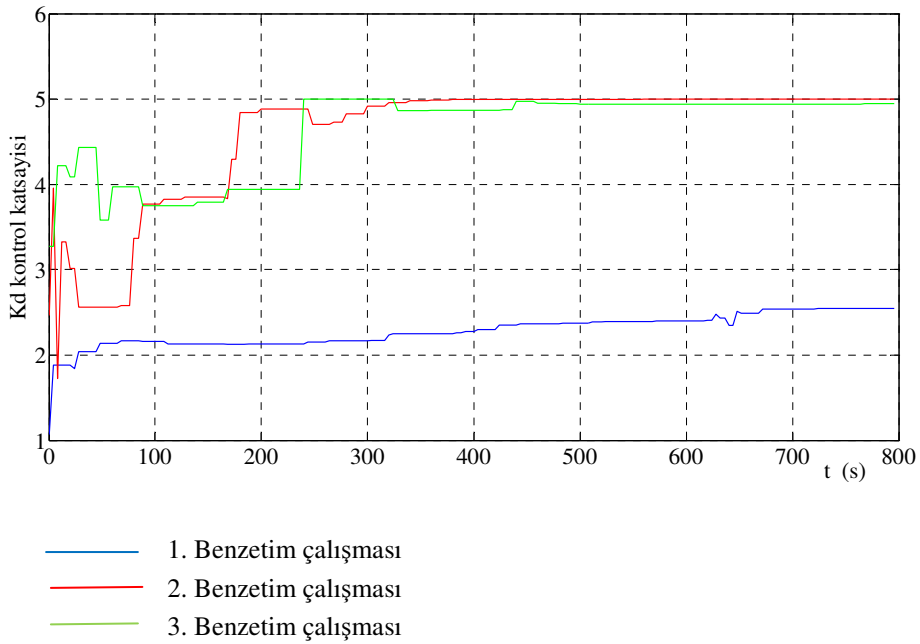
Farklı rastgele başlangıç şartlarında, denetleyici katsayılarına ait parçacıkların genel en iyi konumları zamana göre, Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15’de sırası ile K_p , K_d ve K_{d2} katsayılarının değişimleri gösterilmiştir. Üç benzetim çalışması sonucunda, K_p genel en iyi konumdaki değerler farklı değerlere yakınsamış, K_d genel en iyi konumdaki değerlerden ikisi aynı, diğeri farklı değere yakınsamış ve K_{d2} genel en iyi konumdaki değerler ise aynı değere yakınsamıştır.

PSO iterasyon çözümlemesi, üç boyutlu çözüm uzayında farklı rastgele başlangıç şartlarında farklı çözümlere yakınsasa da, hem toplam hem de istatistiki performans değerlendirmesinde, küçük değişim aralığında yüksek performans değerleri elde edilmiştir.

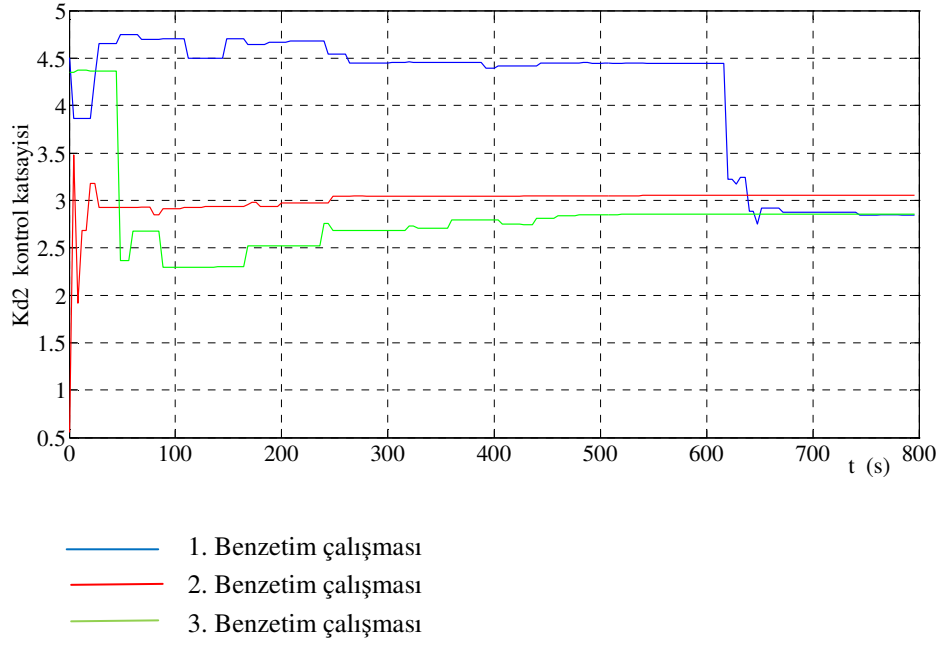
Çalışmada, aynı şartlar altında aynı rastgele başlangıç şartlarında üç benzetim çalışması yapılmış ve sonuçları Çizelge B.2’de verilmiştir. Sonuçlarda, toplam sönümleme oranları en yüksek %95.98, en az %95.21 çıkmış ve ancak %0.8 oranında bir düşüş olmuştur. İstatistiki F sönümleme katsayısı ise en yüksek 0.0309, en az 0.0256 ve %17 oranında bir azalma olmuştur. Yalpa açısı ivme değerleri ise hiç değişim göstermemiştir, fakat yine limit değerinin biraz üzerinde $11.28^{\circ}/s^2$ çıkmıştır.



Şekil 6.13 : PSO-PDD² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi .



Şekil 6.14 : PSO-PDD² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.15 : PSO-PDD² denetleyicisinin farklı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.

Aynı rastgele başlangıç şartlarında, K_p genel en iyi konum değişimi Şekil B.5’de gösterilmiş, üç benzetim çalışmasında da çözümler aynı değere yakınsamıştır. K_d genel en iyi konum değişimi Şekil B.6’da verilmiş, üç çözümleme sonucu da farklı değerlere yakınsamıştır. K_{d2} genel en iyi konum değişimi Şekil B.7’de gösterilmiş, üç çözümlemenin ikisi aynı diğeri farklı değere yakınsamıştır.

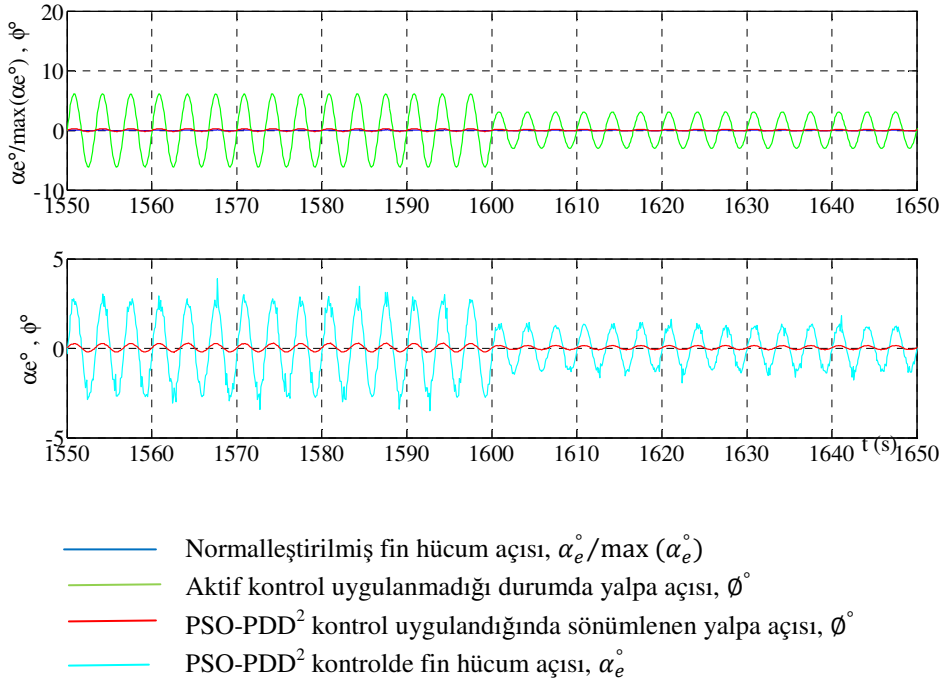
Bu çalışma sonucunda, farklı veya aynı başlangıç değerlerinde PSO algoritması, üç boyutlu çözüm uzayında farklı çözüm kombinasyon değerlerine yakınsadığı anlaşılmaktadır. Ancak, çözümleme sonuçlarında belli yüzdelik değişim oranlarında yalpa hareketi sönümlemede yüksek performans değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, PSO algoritmasının arama özelliğinden dolayı çoğu uygulamalarda, yalpa açısı ivme değerleri, Martı Gemisi için hesap edilen limit değerin $10^\circ/s^2$ üzerinde çıkmıştır.

PSO iterasyondaki arama sürecinde oluşan, yüksek yalpa açısı ivme değerlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar; kapalı çevrim denetleyici süresi uzatımı ve ileri PSO algoritmaları Bölüm 6.3 ve 6.4’de incelenmiştir.

6.2.4 PSO-PDD² Denetleyicinin Farklı Genlik Veya Frekansta Bordadan Gelen Düzgün Dalgalar Koşulunda Uygulanması

Çalışmanın bu aşamasında, bordadan gelen düzgün dalgalar etkisinde oluşan farklı yalpa genliklerinde ve frekanslarda PSO-PDD² denetleyicisi denenmiş ve sonuçları incelenmiştir.

Öncelikle, PSO-PDD² denetleyicisi aynı rastgele başlangıç değerlerinde, farklı genliklerde denenmiş ve Şekil 6.16’de pasif ve aktif sönümleme yalpa açıları ve fin hücum açıları gösterilmiştir. Benzetim çalışması, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi’nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM}=0.5$ m yükleme koşulunda, bordadan gelen düzgün dalgalarda, en büyük dalga genliğinde 1.5 ton.m ve 0.75



Şekil 6.16 : Periyodik dalgalarda en büyük dalga kuvveti momentleri ardışık 1.5 ton.m ve 0.75 ton.m olması koşulunda PSO-PDD² Kontrolü.

ton.m dalga momentlerinde önce ayrı ayrı sonra ardışık olarak, frekansı 0.3 Hz, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)’de verilen amaç fonksiyonu (a=1, b=5 ve c=1), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.

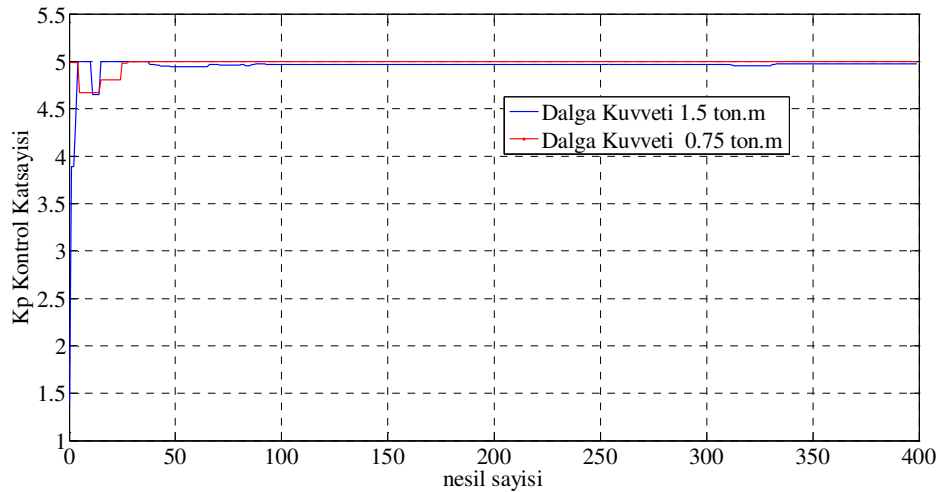
Çizelge 6.4’de, farklı genlik ve ardışık farklı genlik uygulama sonucunda performans değerleri ayrı ayrı verilmiştir. Sadece en büyük dalga momentinin 1.5 ton.m etkisinde oluşan yalpa genliklerinin sönümlemesi %95.21 oranında, istatistiki

sönümleme F katsayısı ise 0.0256, yalpa açısı ivmesi limit değerin biraz üzerinde, sadece 0.75 ton.m dalga kuvveti moment etkisinde iken ise %96.07, F katsayısı ise 0.0383, yalpa açısı ivmesi ise $6^\circ/s^2$ ile limit değerin altında olarak hesaplanmıştır. Ardışık farklı genlik uygulamasında ise, diğer iki uygulamaya göre performans değerleri yüksek, ancak yalpa açısı ivme değeri limit değerin biraz üzerinde çıkmıştır.

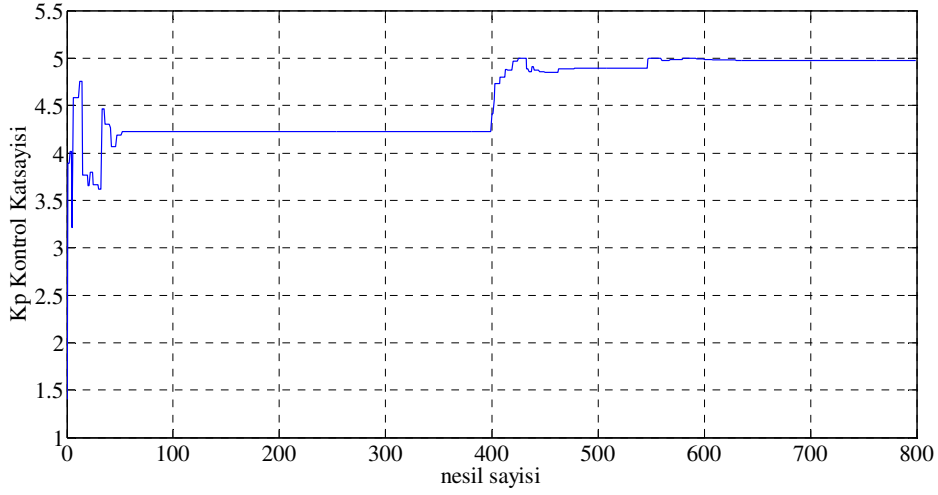
Çizelge 6.4 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı en büyük dalga kuvvetlerinde uygulanması .

	Dalga Kuvveti Momenti 1.5 ton.m	Dalga Kuvveti Momenti 0.75 ton.m	Ardışık Dalga Kuvveti Momentleri 1.5 ve 0.75 ton.m
Yalpa açısı sönümleme oranı (%)	%95.21	%96.07	%96.08
Yalpa açısı F sönümleme katsayısı	0.0256	0.0383	0.0563
Ortalama yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	0.28	0.12	0.17
En büyük yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	0.91	0.46	0.86
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	0.08	0.05	0.05
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	11.28	6	11.3

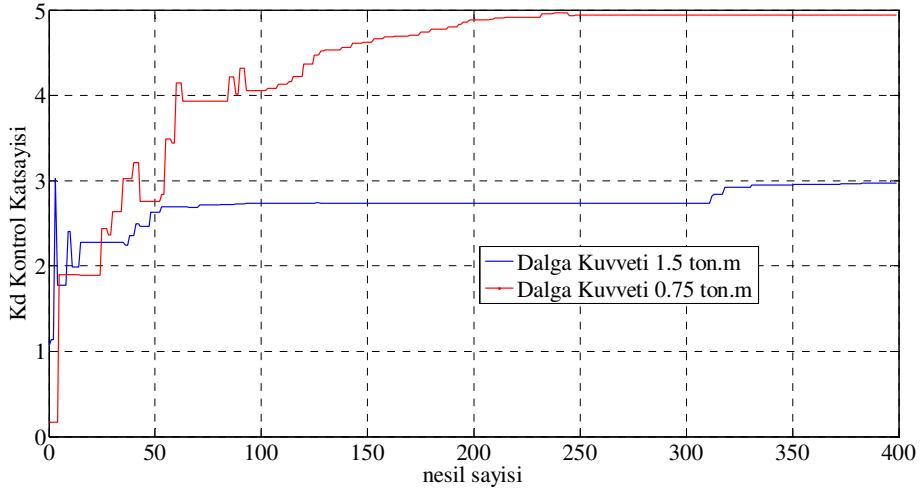
PSO-PDD² denetleyicisinin, ayrı ayrı farklı yalpa genliklerinin ve ardışık farklı yalpa genliklerinin sönümlemesinde, çözümlemedeki K_p , K_d ve K_{d2} katsayılarının genel en iyi konumları nesil sayısına göre Şekil 6.17 – 6.22’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, ardışık farklı genlik uygulamalarında; PSO algoritması, yalpa genliği değişiminde duyarlılık göstermiş, farklı katsayı çözümlemelerine yakınsama gerçekleşmiştir.



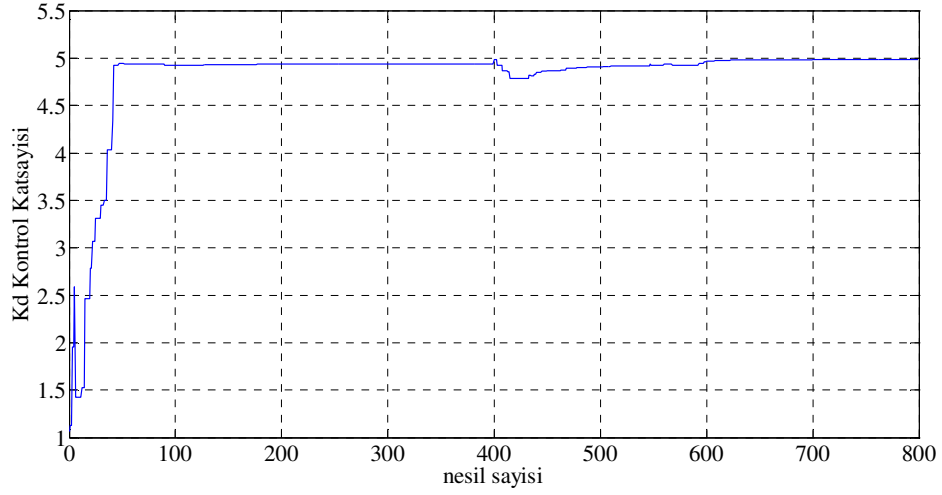
Şekil 6.17 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



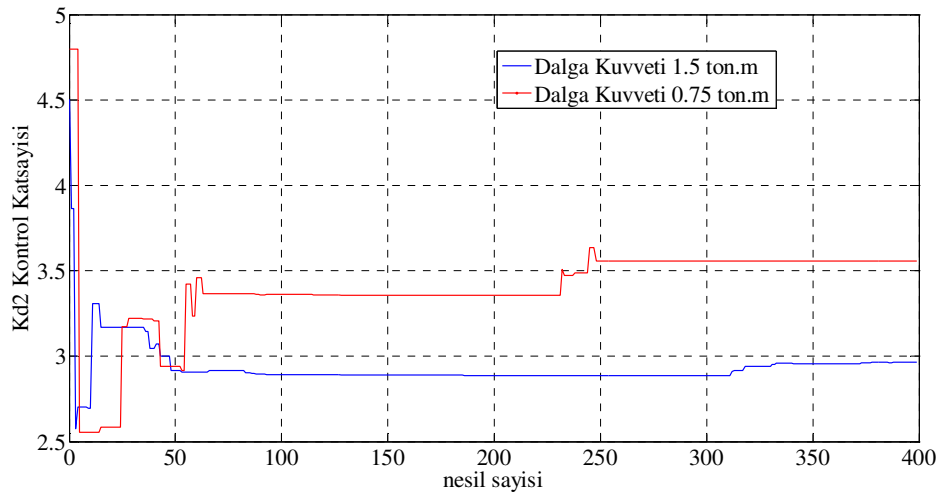
Şekil 6.18 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



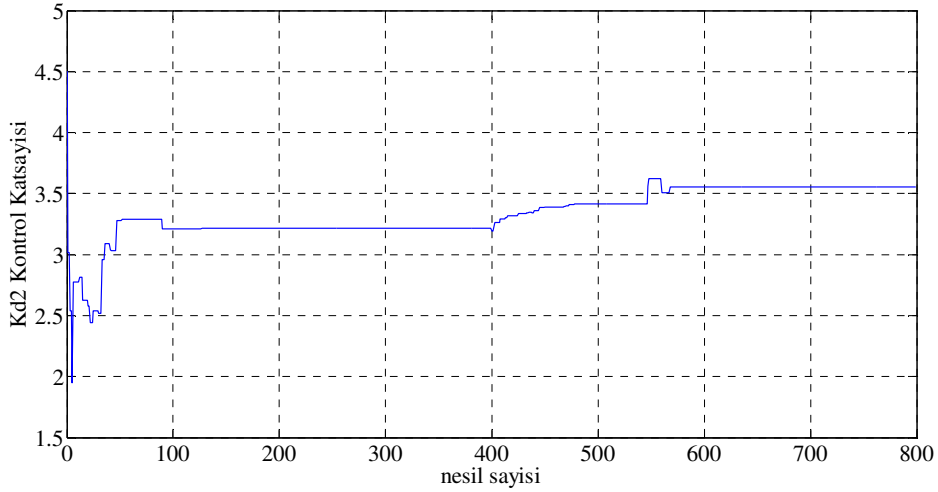
Şekil 6.19 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



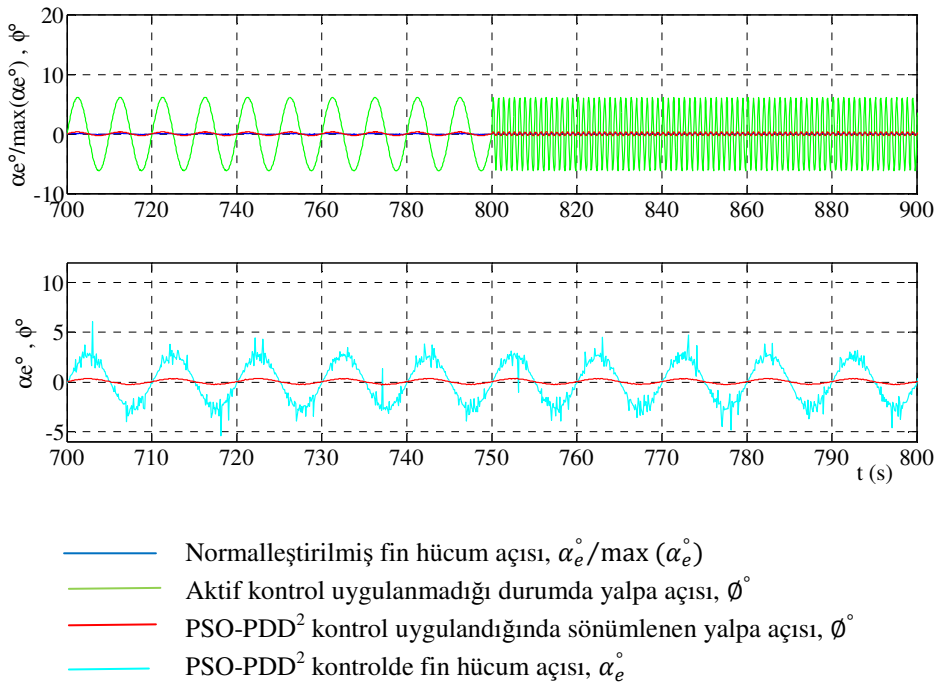
Şekil 6.20 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.21 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.22 : PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında , bordadan gelen ardışık farklı dalga kuvvetlerinde sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.23 : Periyodik en büyük dalga momenti 1.5 m ton.m iken 0.1 Hz ve 0.8 Hz frekanslarda PSO-PDD² Kontrol.

Sonraki çalışmada, PSO-PDD² denetleyicisi yine aynı rastgele başlangıç şartlarında, farklı frekanslarda uygulanmış ve Şekil 6.23’de pasif ve aktif sönümleme yalpa açıları ve fin hücum açıları verilmiştir. Benzetim çalışması, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi’nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, bordadan gelen düzgün dalgalarda, en büyük dalga genliğinde 1.5 ton.m moment

değerinde, frekansları 0.1 Hz ve 0.8 Hz olmak üzere önce ayrı ayrı sonra ardışık, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.

Çizelge B.3'de, ayrı ayrı farklı frekans ve ardışık farklı frekans uygulama sonucunda performans değerleri verilmiştir. Sadece 0.1 Hz frekansında oluşan yalpa genliklerinin sönümlenmesi %95.21 oranında, istatistiki sönümlenme F katsayısı ise 0.0899, sadece 0.8 Hz frekansındaki genliklerin sönümlenmesi ise %95.13, F katsayısı ise 0.0914, yalpa açısı ivmeleri ise limit değerin altında olarak hesaplanmıştır. Ardışık farklı genlik uygulamasında ise, diğer iki uygulamaya göre performans değerleri %95.46 ile $F=0.0852$ olarak hesaplanmış, yalpa açısı ivme değeri de limit değerin altında çıkmıştır.

Şekil B.8-B.13'de, çalışma sonucunda elde edilen K_p , K_d ve K_{d2} genel en iyi konum değerleri verilmiştir. Herbir frekanstaki yalpa hareketlerinin uygulamasında farklı değerlere yakınsama olurken, ardışık farklı frekanstaki yalpa hareketlerinin sönümlenmesinde, herbir denetleyici katsayısı değişime duyarlılık göstermemiş, yakınsadığı değeri korumuştur.

PSO-PDD² denetleyici uygulama sonuçlarında, yüksek performans değerleri elde edilmiştir. Fakat, algoritmanın çözümlemesinde başlangıçta arama gerçekleşirken, yalpa açısı ivme değerleri belli limit değerin üzerine çıkabilmektedir. Bu da gemideki yolcuların rahatsız olmasına sebep olabilecektir. Bu sorunu giderebilmek için, Bölüm 6.3 ve Bölüm 6.4'de hem kapalı çevrim denetleyici süreleri üzerine çalışılmış, ayrıca ileri PSO algoritmaları olan Hafıza Etkili PSO ve Tetiklemeli Hafıza Etkili PSO optimizasyon çözüm yöntemleri, denetleyici sisteminin katsayılarının ayarlanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

6.3 HEPHO/THEPSO-PDD² Denetleyici Karakteristiklerinin İncelenmesi

İleri PSO algoritmaları olan Hafıza Etkili PSO ve Tetiklemeli Hafıza Etkili PSO algoritmalarının, yalpa sönümlenme denetleyici sisteminin kontrol katsayılarının ayarlanmasında kullanılmış ve yapılan çalışmalar bu bölümde açıklanmıştır.

PSO algoritması, iterasyon başlangıcında izin verilen katsayı aralığında rastgele arama yapması, PSO-PDD² denetleyicisinin toplam performans oranını düşürme

de, gerek yalpa açısı ivmesinin gerekse fin hücum açısı hızının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu optimizasyon ile iterasyon işlemlerinde belli bir adımdan sonra yakınsaması yani parçacıklar yaklaşık aynı konum değerlerine ulaşmaktadırlar. PSO algoritması, yeni oluşacak çevre koşullarına uygun çözümler elde edilmesinde yetersiz kalabilmektedir.

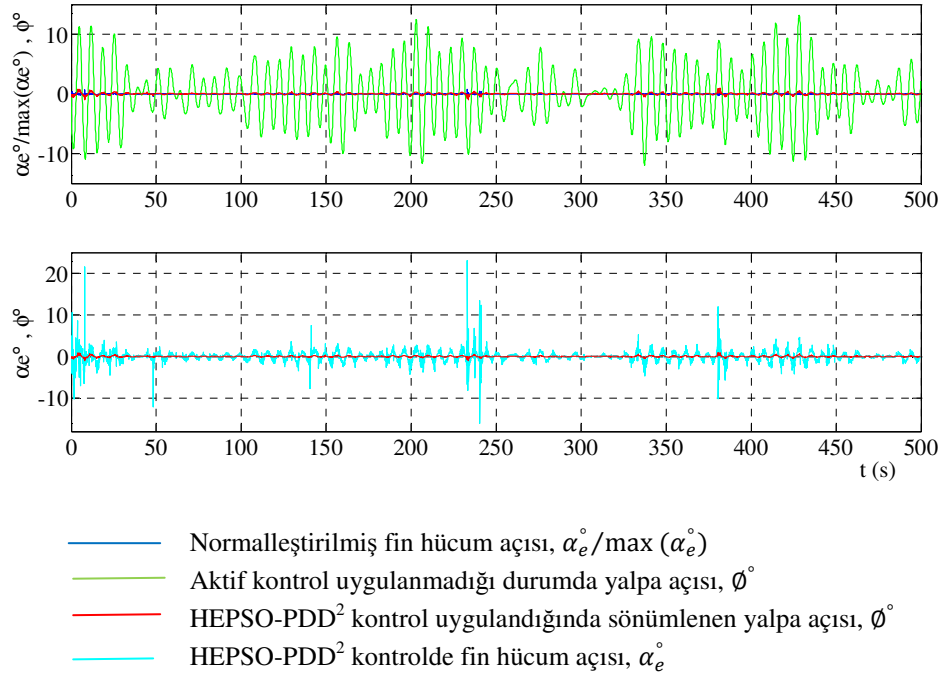
Bölüm 5.3’de anlatılan Hafıza Etkili PSO algoritması ile iterasyon çözümünde hafıza etkisi ile başlangıçtaki izin verilen aralıktaki parçacıkların tamamının değil de bir kısmının rastgele arama yapması ve diğer parçacıkların önceden tecrübe edilmiş koşullardaki bilgilere sahip olması ile PSO algoritmasında karşılaşılan, yalpa açısı ivmesinin artışı ve fin hücum açısı hızının limit değerleri üzerine çıkması engellenmiştir. Ayrıca, HEPSO algoritmasında, parçacıkların bir kısmının arama özelliğinde olması yeni oluşan koşullara uygun çözüm bulmayı sağlamaktadır.

HEPSO algoritması ile, belli koşullarda güncelleme yapılmakta, bu durumda arama yapmakla görevli P_1 kümesindeki parçacıklar yeni rastgele değerler almakta, P_2 kümesindeki parçacıklar ise M kümesindeki hafıza parçacıkları ile geçici olarak birleşerek en iyi uygunluk değerine sahip ilk sıradaki P_2 kümesi parçacık sayısı kadar yeni parçacıklar, P_2 kümesine atanmaktadır. M kümesindeki hafıza parçacıklarındaki konum değerleri ise değişmeden kalmaktadır.

HEPSO algoritmasında, iki sebeple güncelleme yapılmaktadır. Güncellemede, bu koşulların birincisi yeni çevre koşulu oluştuğunda ikincisi ise önceden belirlenecek belli iterasyon sayısı aralığında rastgele belirlenecek iterasyon adımları ile gerçekleşmektedir.

HEPSO iterasyon çözümünde, güncelleme için rastgele atanacak iterasyon adımlarının tespiti için, belli iterasyon sayısı aralıklarında benzetim çalışması yapılmıştır. HEPSO-PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi’nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye kıç omuzluktan gelen karşıt dalgalarda, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)’de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır. HEPSO algoritma yapısında, P_2 kümesinde arama yapmakla görevli parçacık sayısı 20, hafıza ile arama çözümlemelerinde geçişleri sağlamakta görevli P_1 kümesindeki parçacık sayısı 20 ve M kümesindeki parçacık sayısı 10 olarak atanmıştır. Çizelge

6.5’de verilen üç uygulamada, güncelleme zamanı (1-5), (1-25) ve (1-50) nesil sayıları arasında belirlenmiştir. (0-25) aralığında rastgele atanan nesil sayısı adımlarında güncellemelerin gerçekleştiği ikinci uygulamada aktif sönümlenmiş yalpa açısı değerleri ve fin hücum açıları Şekil 6.24’de verilmiştir.



Şekil 6.24 : K1ç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, HEP SO-PDD² Kontrol.

Çizelge 6.5’de, yapılan üç benzetim çalışması sonuçları verilmiştir. Toplam yalpa sönümleme oranı %97.03 - %97.45 aralığında az bir değişim gösterirken, güncelleme iterasyon aralığı sayısı azaldıkça istatistiki yalpa sönümleme F katsayısı değeri artmıştır, ancak en büyük yalpa açısı ivmesi artış göstermiştir, hatta birinci uygulamadaki limit değerin 5 katına ulaşmıştır. Diğer iki uygulamada, en büyük yalpa açısı ivmesi limit değeri $10^\circ/s^2$ in altında kalmıştır. Fakat, üç uygulamada da, en büyük fin hücum açısı hızı, limit değeri olan $30^\circ/s^2$ değerini aşmıştır. En büyük fin hücum açısı hızı değerlerinin, limit değerin altında kalabilmesi için, kapalı çevrim denetleyici süresi artırımı üzerine çalışmalar Bölüm 6.4’de anlatılmıştır. Limit değerlerin aşılmaması için, güncellemeler sık yapılmamalıdır. HEP SO algoritmasının yalpa sönümleyici fin sisteminin denetleyicisinde uzun nesil sayısı aralıklarında güncellemelerin yapılması gerektiği, uygulamalardan anlaşılmıştır.

HEP SO-PDD² denetleyicisi için bir sonraki uygulamada, hafızadaki konum değerleri, başlangıçta parçacıkların yarısına atanmıştır. Bu çalışma sonucunda,

performans karşılaştırması Çizelge 6.6’da verilmiştir. Hafızaya kayıt alınan bilgilerin, iterasyon başlangıcında kullanıldığı durumda, en büyük yalpa açısı ivmesi ve en büyük fin hücum açısı hızı değerleri azalmıştır.

Çizelge 6.5 : Ardışık kırık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s için HEPSo-PDD² denetleyicide güncelleme zamanının belirlenmesi .

	Güncelleme zamanı: 5 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerdeki değişim.	Güncelleme zamanı: 25 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerdeki değişim.	Güncelleme zamanı: 50 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerdeki değişim.
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%97.03	%97.45	%97.23
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.057	0.0497	0.0528
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.2	0.13	0.17
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	2.2	1.5	2.45
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.4	0.16	0.33
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	51.5	9.5	8.6
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	357.2	312.4	219.2
Toplam güncelleme sayısı	37	8	6

Hafıza Etkili Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (HEPSO), çevre koşulu değişikliğinden başka, uygulamalar sonucu karar verilen uzun iterasyon aralığından rastgele iterasyon adımlarında güncellemelerin yapılması durumunda; çevre şartları belli süre değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek değişime uyum sağlanabilmesi için, Tetiklemeli Hafıza Etkili (THEPSO) algoritması üzerine bu bölümde uygulamalar yapılmıştır.

HEPSO çözümlemesinde, güncelleme iterasyon sayısının tamamlanması veya çevre koşullarının değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek çevre değişimine uyum göstermesine yönelik, ek olarak güncelleme yapılmasını tetikleyecek Bölüm 5.3.1’de açıklanan iki şartın belirlenilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu şartlardan ilki, çözümlemede iterasyon süresince, son beş iterasyonda elde edilen genel en iyi konuma sahip parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasının önceden belirlenen değerin (b_1) üzerinde kalması durumunda güncellenmenin gerçekleşmesi üzerine idi. Yapılan uygulamalarda b_1 limit değeri 2° olarak alınmıştır.

Diğer güncelleme koşulu, arama yapmakla görevli arama yapmakla ilgili P_2 parçacıklar kümesinde, yerel en iyi parçacık değerlerinin ortalamasının, kümedeki en büyük yerel en iyi değere oranının limit değerini (b_2) aşması idi. Yapılan çalışmalarda b_2 limit değeri 0.8 ve 0.9 olarak alınmıştır.

Çizelge 6.6 : Ardışık kık omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s. için HEPSo-PDD² denetleyicide hafıza etkisi .

	Güncelleme zamanı: 25 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerde değişmekte. Başlangıçta hafıza verileri kullanılmadı.	Güncelleme zamanı: 25 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerde değişmekte. Başlangıçta hafıza verileri kullanıldı.
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%97.45	%97.57
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.0497	0.0477
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.13	0.14
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	1.5	0.94
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.2	0.24
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	9.5	7.6
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	312.4	214
Toplam güncelleme sayısı	8	11

THEPSO iterasyon çözümlemesinde, güncelleme için rastgele atanacak iterasyon adımlarının tespiti için, birinci ve ikinci uygulamalarda belli iterasyon sayısı aralığı (1-25) olarak benzetim çalışmasında kullanılmıştır. Üçüncü ve dördüncü uygulamalarda bu güncelleme şartı konulmamıştır. Uygulama sonuçları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

THEPSO-PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye önce kık omuzluktan sonra kıktan gelen boyuna karışık dalgalarda, P:5, D:5, D²:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır. THEPSO algoritma yapısında, P₂ kümesinde arama yapmakla görevli parçacık sayısı 20, hafıza ile arama çözümlemelerinde geçişleri sağlamakta görevli P₁ kümesindeki parçacık sayısı 20 ve M kümesindeki parçacık sayısı 10 olarak atanmıştır.

Çizelge 6.7'deki performans değerlerine göre, hem belli iterasyon aralığında (1-25) rastgele atanan itersyon adımlarında, hem de b_1 limit değerinin 2° , b_2 limit değerinin 0.8 olması durumunda, en büyük yalpa açısı ivmesi ve en büyük fin hücum açısı değerleri diğer uygulamalara göre az çıkmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, optimizasyon çözümlemesinde değişen çevre koşullarına göre uygun yakınsamaların olabilmesi için, güncelleme şartları hem belli uzun iterasyon aralığında atanan rastgele iterasyon adımlarında hem de b_1 ve b_2 limit

değerlerinin uygulanacak sisteme göre ayarlanması ile THEPSO algoritması değişen çevre şartlarına göre optimum çözümler bulabildiği hesaplanmıştır.

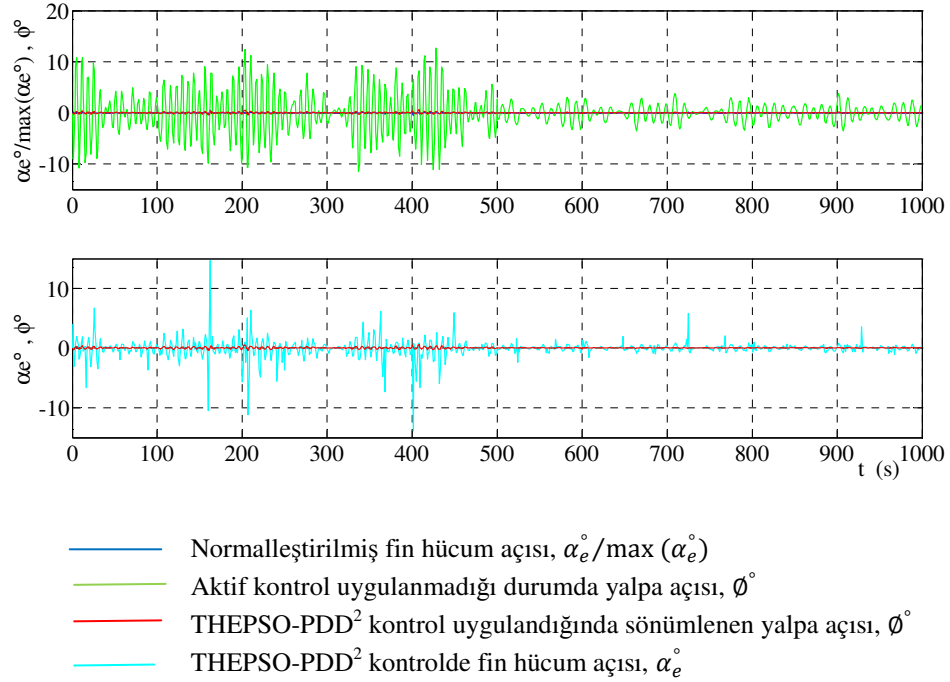
THEPSO-PDD² denetleyicisi için diğer bir uygulama da, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye önce kış omuzluktan sonra kıştan gelen boyuna karşık dalgalarda, P:5, D:5, D²:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu (a=1, b=5 ve c=1), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve en büyük yalpa açısı ivme limit değerinin aşılmaması aynı zamanda fin hidrolik sisteminin doyma sınırına gelmemesi için, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s şartlarında uygulanmıştır.

Çizelge 6.7 : Ardışık Kış Omuzluktan ve Kıştan Boyuna Gelen Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 0.1 s, THEPSO-PDD² denetleyide güncelleme aralığının belirlenmesi .

	Güncelleme zamanı: 25 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerde değişmekte. b_1 ve b_2 limit değeri aşım şartları yok.	Güncelleme zamanı: 25 nesil sayısı aralığında rastgele atanan değerlerde değişmekte. b_1 limit değeri: (2°) , b_2 limit değeri: 0.8	Güncelleme zamanı yok. b_1 limit değeri: (2°) , b_2 limit değeri: 0.8	Güncelleme zamanı yok. b_1 limit değeri: (2°) , b_2 limit değeri: 0.9
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%97.73	%97.42	%97.27	%97.26
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.0332	0.0353	0.0370	0.0390
Ortalama yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	0.1	0.1	0.1	0.1
En büyük yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	1.1	1.4	1.5	1.8
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	0.14	0.13	0.16	0.2
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	9.3	8.4	29.4	19
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^\circ/s$)	201	167	275.4	177.7
b_1 , limit değerini aşma sayısı	0	4	4	9
b_2 , limit değerini aşma sayısı	0	86	131	27
Toplam güncelleme sayısı	20	107	136	129

THEPSO algoritma yapısında, P_2 kümesinde arama yapmakla görevli parçacık sayısı; yine en büyük yalpa açısı ivme limit değerinin aşılmaması aynı zamanda fin hidrolik sisteminin doyma sınırına gelmemesi için azaltılarak 10 olarak belirlenmiş, hafıza ile arama çözümlemelerinde geçişleri sağlamakta görevli P_1 kümesindeki parçacık sayısı 30 ve M kümesindeki parçacık sayısı 10 olarak atanmıştır.

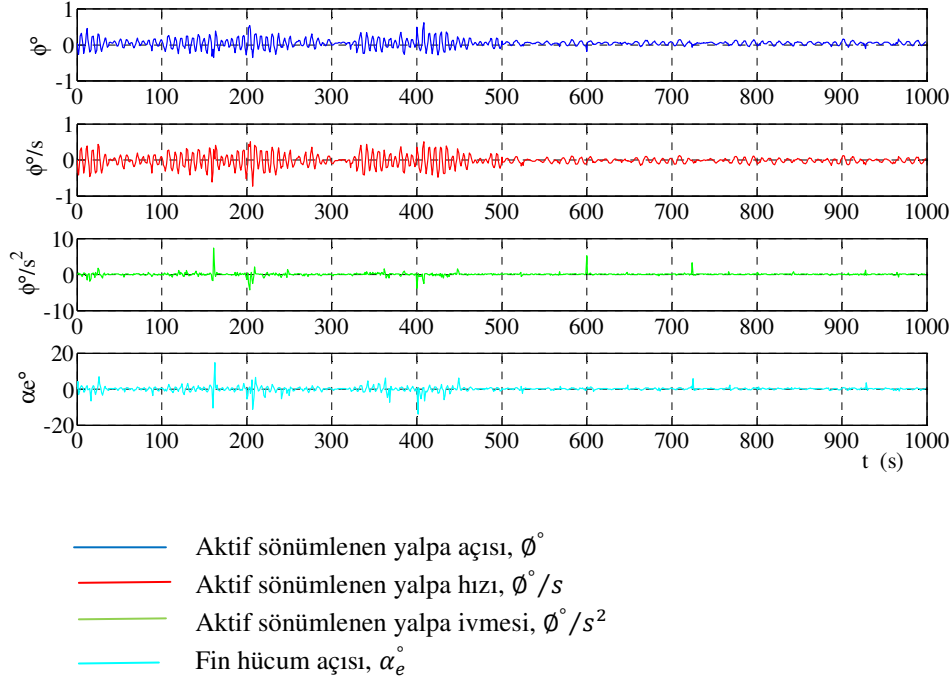
Yapılan uygulamalarda, belli iterasyon aralığında rastgele atanan itersyon adımlarında güncelleme şartı, benzetim süresi çok uzun olmadığından konmamıştır. Bununla birlikte, b_1 limit değeri 1° , b_2 limit değeri 0.85 olarak alınmıştır.



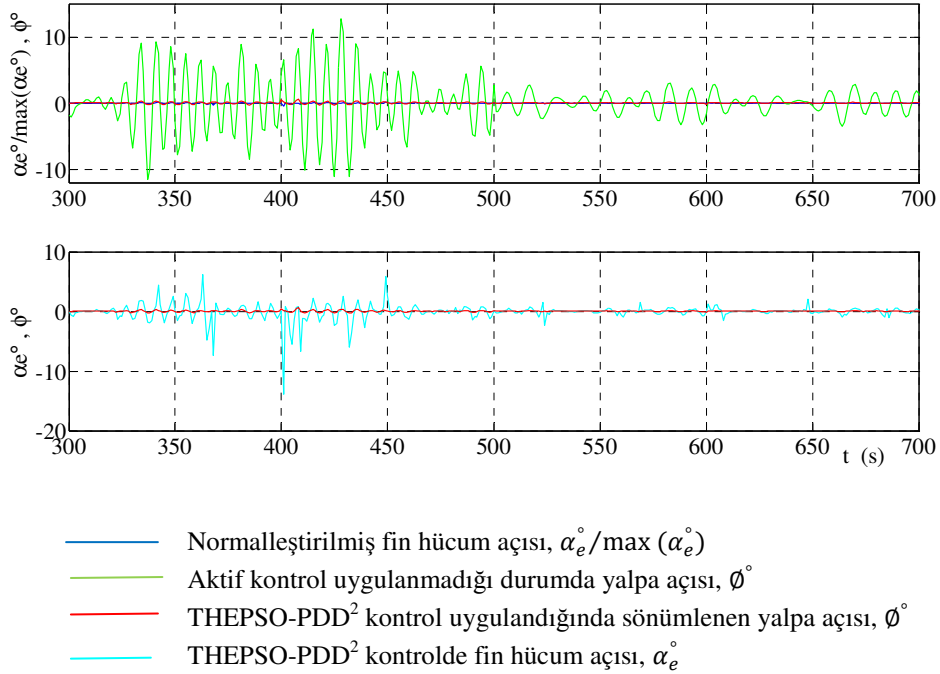
Şekil 6.25 : Karışık dalgaların gemiye ardışık olarak, önce kıç omuzluktan sonra kıçtan boyuna gelmesi durumunda, THEPSO-PDD² kontrol.

Ayrıca, yukarıda bahsedilen şartlar altında, THEPSO optimizasyon çözümlemesinde başlangıçta toplam parçacıkların 2/3'ü yani 30 parçacığa, önce gemiye kıç omuzluktan gelen karışık dalgalar durumunda aynı zamanda gemiye kıçtan gelen boyuna karışık dalga durumlarında çözüm bilgilerini taşıyan hafızadaki parçacıkların konumları aktarılmıştır. Bu uygulama sonucunda, Şekil 6.25'de aktif kontrol sonucu sönümlenmiş yalpa açıları ve fin hücum açısı değerleri gösterilmiştir.

Dalgaların gemiye geliş yönlerinin değişmesi durumunda, THEPSO-PDD² kontrol uygulaması sonucu sönümlenmiş yalpa açısı değerleri ve fin hücum açıları 300 – 700 s aralığındaki değerleri Şekil 6.27'de daha detaylı olarak gösterilmiştir.

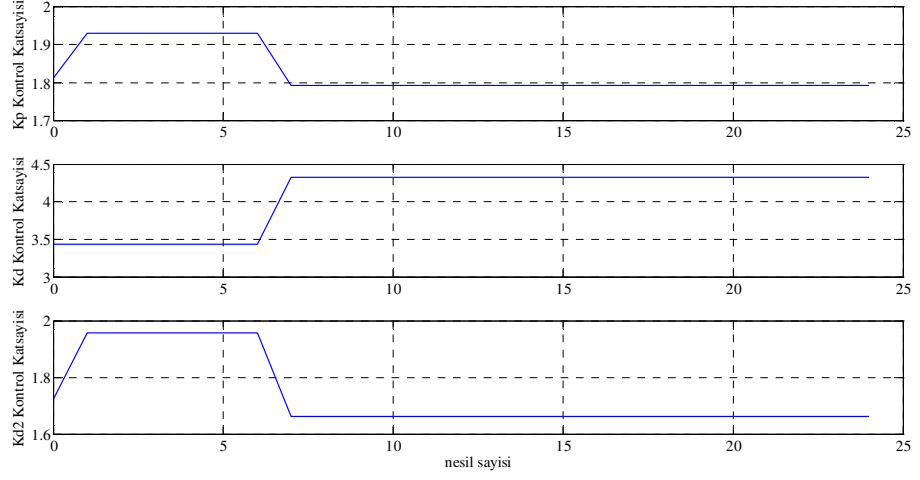


Şekil 6.26 : Karşık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanması ile yalpa açısı, yalpa açı hız ve ivme ile fin hücum açısı değerleri.



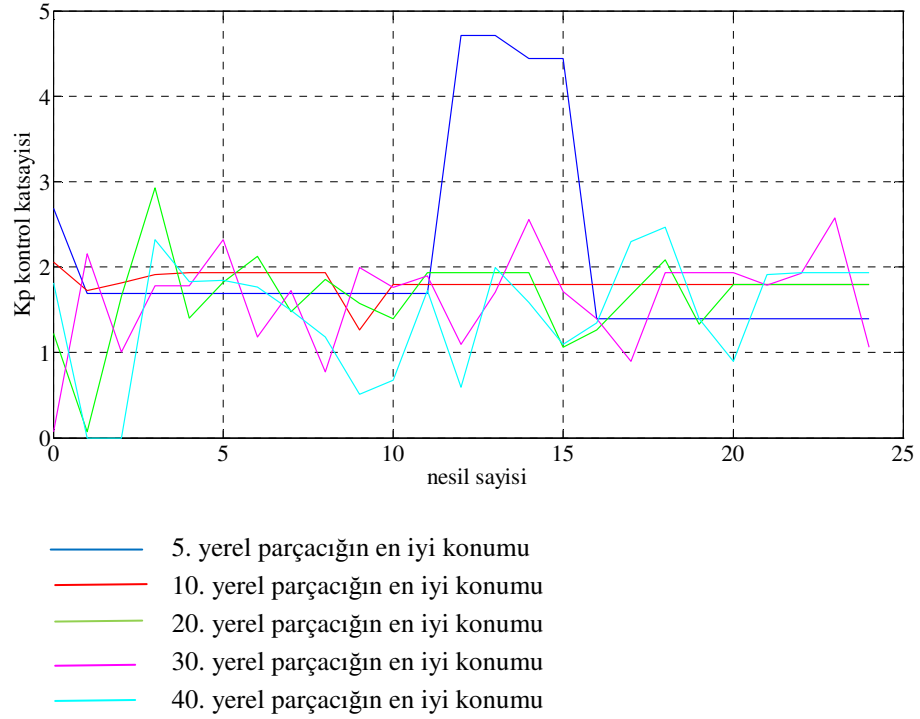
Şekil 6.27 : Karşık dalgaların gemiye kıç omuzluktan gelirken yön değiştirerek kıçtan boyuna gelmesi durumuna geçişte THEPSO-PDD² kontrol.

THEPSO-PDD² denetleyicisinde, iterasyon sonucunda hesaplanan genel en iyi konum değerlerinin nesil sayılarına göre değişimi Şekil 6.28'de verilmiştir.

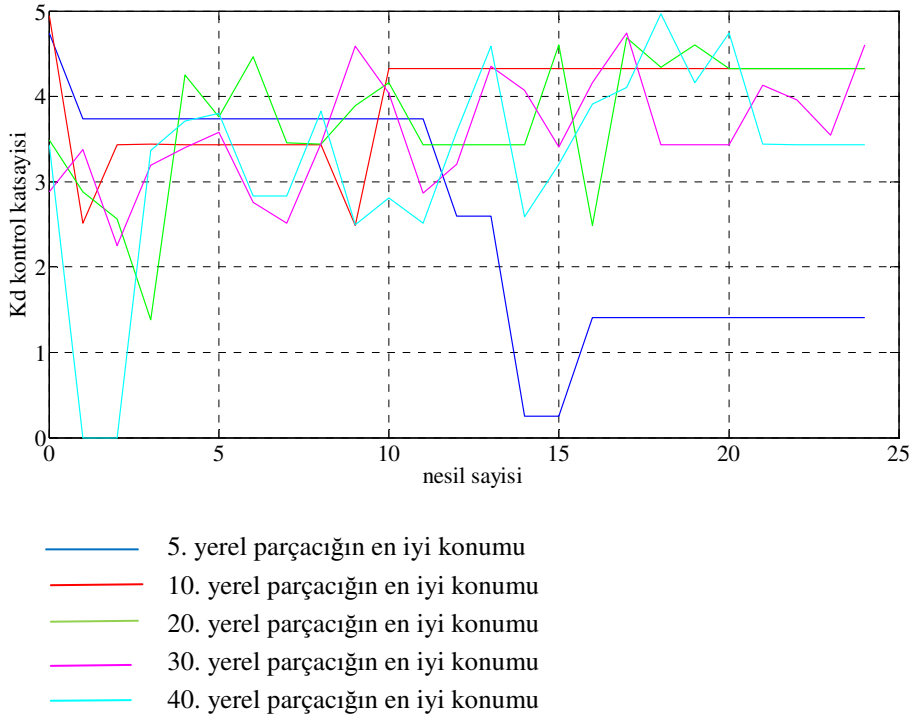


Şekil 6.28 : Karşık dalgaların gemiye önce kık omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında, genel en iyi denetleyici katsayı değişimleri.

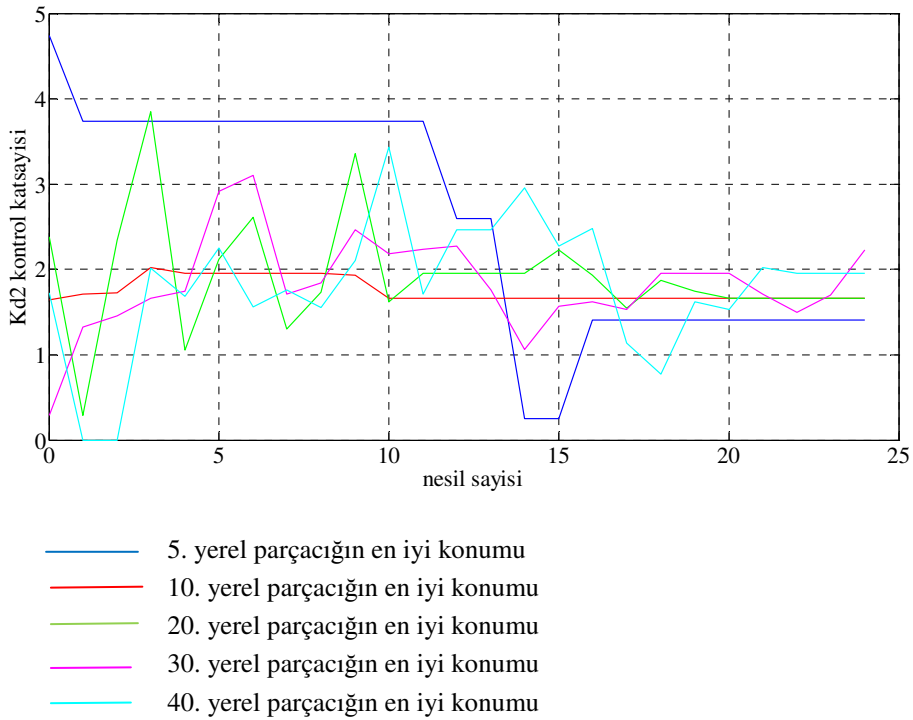
Bu uygulamadaki parçacıkların yerel en iyi konumlarının nesil sayılarına göre değişimi ise Şekil 6.29 - 6.31'de gösterilmiştir.



Şekil 6.29 : Karşık dalgaların gemiye önce kık omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında parçacıkların yerel en iyi K_p konum değişimi.

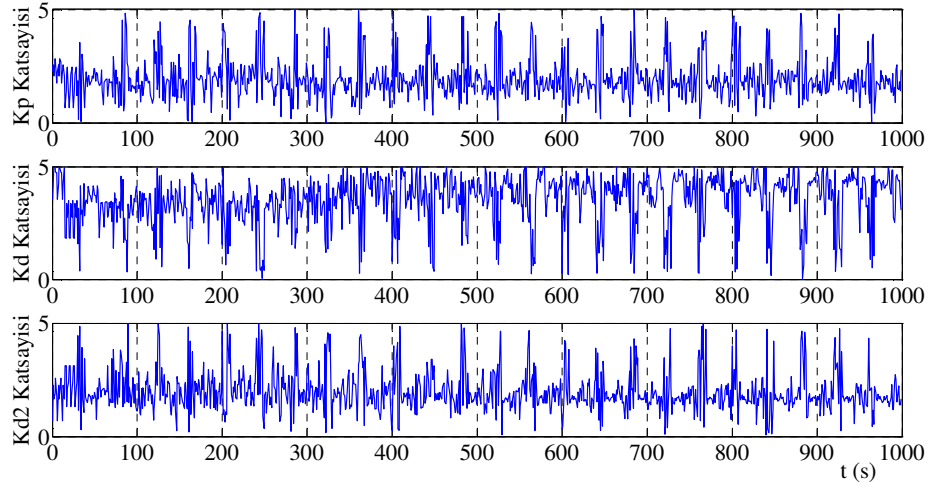


Şekil 6.30 : Karşık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında K_d katsayısı yerel en iyi konum değişimi.

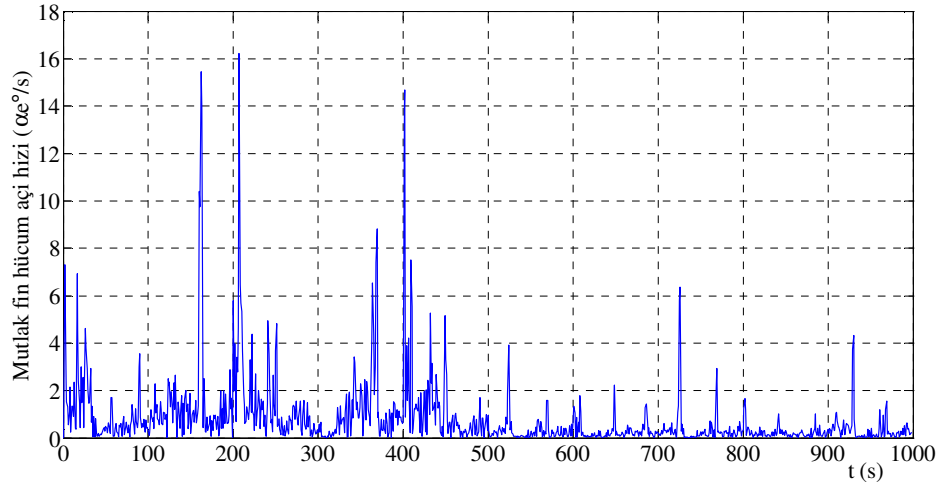


Şekil 6.31 : Karşık dalgaların gemiye önce kış omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında K_{d2} katsayısı yerel en iyi konum değişimi.

THEPSO-PDD² denetleyicisinde, K_p , K_d ve K_{d2} katsayılarının yerel olarak zaman göre ayarlanması, şekil 6.32'de verilmiştir. Fin hücum açısı hız değerlerinin mutlak değeri ise zamana göre Şekil 6.33'de gösterilmiştir.



Şekil 6.32 : Karşık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında K_p , K_d ve K_{d2} denetleyici katsayı yerel değişimi.



Şekil 6.33 : Karşık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelmesi durumunda THEPSO-PDD² kontrol uygulanmasında mutlak değerdeki fin hücum hız değerleri.

Sonraki uygulamada ise sadece gemiye kıçtan boyuna karışık dalgaların gelmesi durumunda elde edilen yakınsayan konum değerleri aktarılmıştır. Bu uygulamada, algoritmanın arama performansı araştırılmıştır. Bu iki uygulamanın karşılaştırması, Çizelge 6.8'de verilmiştir. Bu iki benzetim çalışmasında önemli fark, birinci uygulamadaki yani iki koşuldaki çözümleme bilgilerinin başlangıç şartlarında kullanılmasında, en büyük fin hücum açısı hız değeri $16^\circ/s^2$ ile limit değerin altında kalmıştır. Sonraki uygulamada ise, en büyük mutlak fin hücum açısı hız değeri, limit değerin biraz üzerine çıkmıştır. Ayrıca, en büyük yalpa açısı ivmesi de limit değerin iki katını biraz geçmiştir.

Bu uygulamalarda, iterasyon çözümlemesindeki başlangıç şartlarında ne kadar önceden tecrübe edilmiş bilgileri kullanırsak, o kadar yalpa hareketi sönümleyici hidrolik fin sisteminde daha iyi çözümlere yaklaşabiliyoruz.

Çizelge 6.8 : Ardışık kık omuzluktan ve kıçtan boyuna gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s. için THEPSO-PDD² denetleyicide hafıza etkisi .

	Güncelleme zamanı yok. B ₁ limit değeri: (1°), b ₂ limit değeri: 0.85. İki test sonucu elde edilen veriler, başlangıçta kullanıldı.	Güncelleme zamanı yok. B ₁ limit değeri: (1°), b ₂ limit değeri: 0.85. Bir test sonucu elde edilen veriler, başlangıçta kullanıldı.
Yalpa açısı sönümleme oranı (%)	%97.06	%96.92
Yalpa açısı F sönümleme katsayısı	0.0411	0.0428
Ortalama yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	0.1	0.1
En büyük yalpa açısı hızı ($^\circ/s$)	0.85	1.3
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	0.2	0.3
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^\circ/s^2$)	8.1	22.3
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^\circ/s$)	16	32
b ₁ , limit değerini aşma sayısı	6	10
b ₂ , limit değerini aşma sayısı	0	0
Toplam güncelleme sayısı	24	24

6.4 Gemiye Farklı Yönlerden Gelen Karışık Dalgalarda PDD² ve PSO/HEPSO/THEPSO-PDD² Denetleyici Cevaplarının Karşılaştırması

Bu çalışmada, klasik PDD² ve PSO/HEPSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerin performansları, gemiye gelen kık omuzluktan gelen ve kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda önce ayrı ayrı, sonra ardışık uygulanıp karşılaştırması yapılarak, etkileri

gözlemlenmiştir. Bu uygulamalar ayrıca, farklı kapalı çevrim denetleyici sürelerinde de uygulanmıştır.

Klasik PDD² kontrol için, gemiye periyodik gelen en büyük dalga kuvveti momenti 1.5 ton.m ve frekansı 0.3 Hz olan koşulda, PSO-PDD² denetleyicisi ile elde edilen K_p=4.9667, K_d=2.7379 ve K_{d2}=2.8871 katsayıları kullanılmıştır.

Çizelge 6.9 : PDD² denetleyicisinin, kıç omuzluktan gelen dalgalarda, farklı kapalı çevrim denetleyici süreleri için uygulanması

	Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi: 0.1 s	Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi: 0.2 s
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%93.25	%93.25
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.1190	0.1192
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.4	0.4
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	1.3	1.3
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.01	0.01
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.02	0.02
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	38.9	24.2
Yalpa frekansı (Hz)	0.15	0.15
Yalpa frekansı değişim aralığı (Hz)	0.05 – 0.17	0.1 – 0.17

Kapalı çevrim denetleyici süresinin uzamasının, sistem üzerindeki etkilerini incelemek için, PDD² denetleyicisi, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye kıç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu (a=1, b=5 ve c=1), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve en büyük yalpa ivme limit değerinin aşılmaması aynı zamanda fin hidrolik sisteminin doyma sınırına gelmemesi için, kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s ve 0.2 s şartlarında uygulanmıştır. Bu benzetim çalışmalarının sonuçları, Çizelge 6.9'da özetlenmiştir. Sonuçlara göre, kapalı çevrim denetleyici süresini uzatarak, fin hücum açısı hızının düşürülerek limit değeri olan $30^{\circ}/s$ 'nin altına inmesi sağlanmıştır. Toplam yalpa sönümlenme performans değerlerinde ve istatistiki sönümlenme F katsayılarında ise bir değişim olmamıştır.

PDD² ve PSO/HEPSO-PDD² denetleyicileri gemiye kıç omuzluktan gelen karışık dalga uygulamalarındaki performans karşılaştırması Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Klasik PDD² kontrol için, K_p=4.9667, K_d=2.7379 ve K_{d2}=2.8871 katsayıları kullanılmıştır. PSO-PDD² denetleyicisinde toplam parçacık sayısı 40 kullanılmıştır.

Çizelge 6.10 : K1ç Omuzluktan Gelen Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 0.1 s iken, PDD² ve PSO/HEPSO-PDD² Denetleyicilerin Performanslarının Karşılaştırılması .

	PDD ²	PSO-PDD ²	HEPSO-PDD ²
Yalpa aç1 sönümleme oranı (%)	%93.25	%94.59	%97.45
Yalpa aç1 F sönümleme katsayısı	0.119	0.0973	0.0497
Ortalama yalpa aç1 hızı (°/s)	0.4	0.3	0.13
En büyük yalpa aç1 hızı (°/s)	1.3	1.62	1.48
Ortalama yalpa aç1 ivmesi (°/s ²)	0.005	0.2	0.16
En büyük yalpa aç1 ivmesi (°/s ²)	0.02	7.64	9.5
Mutlak Fin Hücum Aç1 Hızı (°/s)	38.8	341.6	312.4
Yalpa frekansı (Hz)	0.15	0.15	0.15
Yalpa frekans band aralığı (Hz)	0.05 – 0.17	0.05 – 0.17	0.05 – 0.17
Toplam güncelleme sayısı	0	0	8

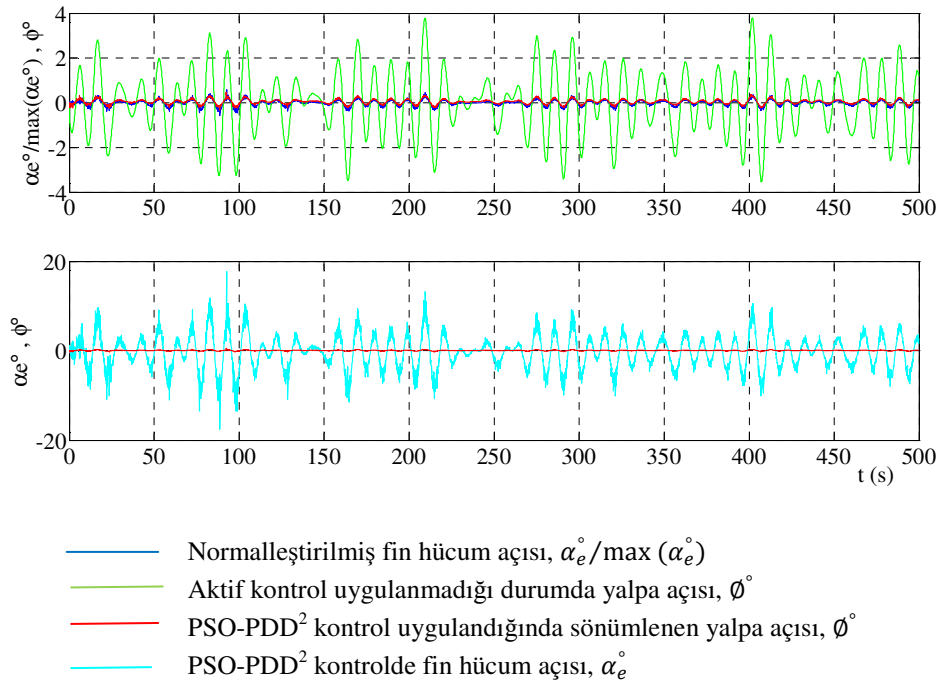
HEPSO iterasyon çözümlemesinde, güncelleme için rastgele atanacak iterasyon adımlarının tespiti için, belli iterasyon sayısı aralığı (1-25) arasında benzetim çalışması yapılmıştır. HEPSO algoritma yapısında, P₂ kümesinde arama yapmakla görevli parçacık sayısı 20, hafıza ile arama çözümlemelerinde geçişleri sağlamakta görevli P₁ kümesindeki parçacık sayısı 20 ve M kümesindeki parçacık sayısı 10 olarak atanmıştır.

7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye k1ç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, P:5, D:5, D²:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu (a=1, b=5 ve c=1), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 0.1 s şartlarında uygulanmıştır.

Yapılan uygulamalar sonucunda, en yüksek toplam yalpa sönümleme performansına HEPSO-PDD² denetleyicisi ile ulaşılmıştır. K_p, K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının değışkenliğinin az olması; büyük genlikli yalpa açılarında F sönümleme katsayısını arttırmaktadır. Bu nedenle, PSO-PDD² kontrol sonucu bulunan kontrol katsayılarının sabit olarak uygulanmasında, F sönümleme katsayısı diğerkontrol uygulamalarına göre yüksek çıkmıştır. Klasik PDD² kontrol uygulamasında, % sönümleme oranı diğerkontrol uygulamalarına göre düşük hesaplanmıştır. K_p, K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması ise, % sönümleme oranını artırmış, ancak, % sönümleme oranı artarken, F sönümleme katsayısı düşme göstermiştir. PSO-PDD² kontrolde, % sönümleme oranı az oranda artarken, F sönümleme katsayısı az oranda düşme gözlenmiştir. K_p, K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması, fine

gönderilen sinyalin, limit değerin üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Fine gönderilen sinyalin, limit değerin altına düşmesi için, kontrol sinyal gönderme süresinin artırılması gerekmektedir. Bu kontrol süresinin artırılması, yalpa sönümlenmesinde yeterli cevap hızı ile sınırlıdır. Fine gönderilecek kontrol sinyali, limit değerin aşılmasında için, anlık iletilmemesi gerektiğinden, denetleyici sinyal çıkışına filtre konulması gerekmektedir. K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması, yalpa açısı ivmesinin de limit değerini aşmasına neden olmaktadır.

Yukarıdaki uygulamayı tüm şartlar aynı kalırken, sadece dalga gemiye geliş yönünün kıçtan gelmesi ile oluşan küçük yalpa açıları, PDD^2 ve PSO/HEPSO- PDD^2 denetleyicileri uygulanmıştır. PSO- PDD^2 denetleyicisinin uygulanmasında elde edilen, sönümlenen yalpa açıları ile fin hücum açıları zamana göre değişimleri Şekil 6.34'de gösterilmiştir.



Şekil 6.34 : Gemiye kıçtan gelen boyuna gelen karışık dalgalar koşulunda PSO- PDD^2 Kontrol.

Yapılan bu çalışmaların performans değerleri ise, Çizelge 6.11'de verilmiştir. K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının değişkenliğinin az olmasında; küçük genlikli yalpa açıları F sönümlenme katsayısı azalmaktadır, yani klasik PDD^2 kontrol uygulamasında, küçük genlik yalpa açıları F sönümlenme katsayısının düştüğü hesaplanmıştır. Klasik PDD^2 kontrol uygulamasında, toplam % sönümlenme oranı, büyük genlikli yalpa hareketlerinin sönümlenme oranı ile yaklaşık aynı çıkmıştır.

PSO-PDD² kontrol uygulamasında, küçük genlikli yalpa açılarının F sönümleme katsayısı artmaktadır, toplam % sönümleme oranında, klasik PDD² kontrol uygulamasına göre bir artış sağlanmamıştır. HEP-PSO-PDD² kontrolde, toplam % sönümleme oranı PSO-PDD² ve PDD² ye göre yaklaşık % 4 oranında yine fazla çıkmıştır. HEP-PSO-PDD² kontrolde, F sönümleme katsayısı, PSO-PDD² ve PDD² kontrol uygulamasına göre azaldığı görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda, tüm denetleyici uygulamalarında kapalı çevrim denetleyici süreleri 1 s olarak alınmıştır. Klasik PDD² ve PSO/HEP-PSO-PDD² denetleyicileri önce kış omuzluktan gelen karışık dalgalarda, sonra kıştan gelen boyuna karışık dalgalarda ayrı ayrı uygulanmış, sonuçları sırası ile Çizelge 6.12 ve 6.13'de verilmiştir. Klasik PDD² kontrol için, $K_p=4.9667$, $K_d=2.7379$ ve $K_{d2}=2.8871$ katsayıları kullanılmıştır. PSO-PDD² denetleyicisinde toplam parçacık sayısı 40 kullanılmıştır.

Çizelge 6.11 : Kıştan Gelen Boyuna Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 0.1 s iken, PDD² ve PSO/HEP-PSO-PDD² Denetleyicilerin Performanslarının Karşılaştırılması .

	PDD ²	PSO-PDD ²	HEP-PSO-PDD ²
Yalpa aç sönümleme oranı (%)	%93.17	%93.01	%97.12
Yalpa aç F sönümleme katsayısı	0.0382	0.0415	0.0233
Ortalama yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.12	0.15	0.05
En büyük yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.41	0.82	0.24
Ortalama yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.002	0.66	0.1
En büyük yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.006	3.89	9.37
Mutlak Fin Hücum Aç Hızı ($^{\circ}/s$)	8.9	156.6	299.6
Yalpa frekansı (Hz)	0.1	0.1	0.1
Yalpa frekans band aralığı (Hz)	0.02 – 0.12	0.02 – 0.12	0.02 – 0.12
Toplam güncelleme sayısı	0	0	13

THEPSO algoritma yapısında, P_2 kümesinde arama yapmakla görevli parçacık sayısı 10 olarak belirlenmiş, hafıza ile arama arasında geçişleri sağlamakta görevli P_1 kümesindeki parçacık sayısı 30 ve M kümesindeki parçacık sayısı 10 olarak atanmıştır. Belli iterasyon aralığında rastgele atanan iterasyon adımlarında güncelleme şartı, benzetim süresi çok uzun olmadığından konmamıştır. Bununla birlikte, b_1 limit değeri 1° , b_2 limit değeri 0.85 olarak alınmıştır. Ayrıca, THEPSO optimizasyon çözümlemesinde başlangıçta toplam parçacıkların 2/3'ü yani 30 parçacığa, önce gemiye kış omuzluktan gelen karışık dalgalar durumunda aynı

zamanda gemiye kıçtan gelen boyuna karışık dalga durumlarında çözüm bilgilerini taşıyan hafızadaki parçacıkların konumları aktarılmıştır.

7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda, P:5, D:5, D2:5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.12 : Kıç Omuzluktan Gelen Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² Denetleyicilerin Performanslarının Karşılaştırılması .

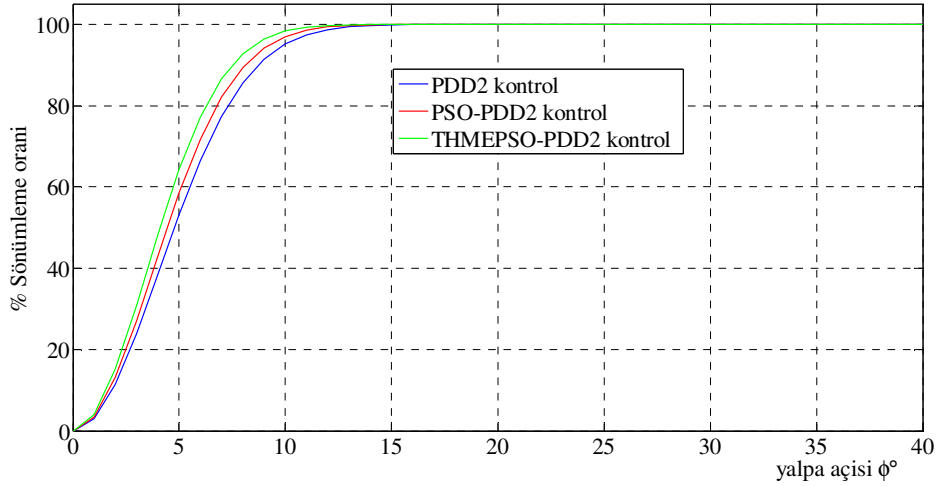
	PDD2	PSO-PDD2	THEPSO-PDD2
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%97.83	%97.64	%97.64
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.0447	0.0508	0.0497
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.13	0.14	0.13
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.5	2.5	0.68
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.002	0.2	0.24
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.007	7.6	10.1
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	10	7.3	31
Yalpa frekansı (Hz)	0.15	0.15	0.15
Yalpa frekans band aralığı (Hz)	0.05 – 0.17	0.05 - 17	0.05 - 17
b_1 , limit değerini aşma sayısı	0	0	6
b_2 , limit değerini aşma sayısı	0	0	0
Toplam güncelleme sayısı	0	0	11

Yukarıda belirtilen şartlarda, gemiye kıç omuzluktan gelen karışık dalgalar koşulunda yapılan çalışma sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir. Büyük yalpa genlikleri durumunda, üç denetleyicinin toplama % performans oranları hemen hemen aynı çıkmıştır. İstatistiksel F sönümlenme katsayısı ise, klasik PDD² denetleyicisinin uygulandığı durumda en düşük çıkmıştır. En büyük yalpa açısı ivme değerleri, PDD² ve PSO-PDD² denetleyicilerinin uygulanmasında limit değerinin altında kalmış, THEPSO-PDD² denetleyicisi uygulanması sonucunda ise limit değerine gelmiş, fakat bu limit değerini aşmamıştır. En büyük fin hücum açısı hızı limit değeri ise aşılmamıştır.

Sonraki uygulamada, gemiye karışık dalgaların kıçtan gelmesi durumunda denetleyicilerin karşılaştırması Çizelge 6.13'de verilmiştir. Bu uygulama sonucunda, klasik PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerinin toplam % sönümlenme performansı yine aynı kalmış, istatistiksel F sönümlenme katsayısında ise en düşük değer, PDD² denetleyicisi uygulanmasında hesaplanmıştır. En büyük yalpa açısı ivme

değerleri de, üç çalışmada da limit değerin oldukça altında kalmıştır. Ayrıca, en büyük fin hücum açısı ivmesi değerleri de limit değerinin oldukça altında kalmıştır.

Yapılan bir sonraki uygulama, ardışık olarak karışık dalgaların gemiye önce kıç omuzluktan sonra kıçtan boyuna gelmesi durumunda yapılmıştır. İstatistiki F sönümleme katsayılarının, yalpa açılara göre % sönümleme oranları, Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.35 : Önce kıç omuzluktan sonra kıçtan gemiye gelen boyuna dalgalar koşulunda, kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s iken, klasik PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² kontrol uygulamasında F sönümle katsayılarının karşılaştırması.

Çizelge 6.13 : Kıçtan Gelen Boyuna Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² Denetleyicilerin Performanslarının Karşılaştırılması .

	PDD ²	PSO-PDD ²	THEPSO-PDD ²
Yalpa açısı sönümleme oranı (%)	%97.93	%97.43	%97.48
Yalpa açısı F sönümleme katsayısı	0.0179	0.0246	0.0254
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.06	0.05	0.1
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.17	0.18	0.4
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.001	0.07	0.2
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.003	0.65	1.65
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	8.3	4.6	8.6
Yalpa frekansı (Hz)	0.1	0.1	0.1
Yalpa frekans band aralığı (Hz)	0.02 – 0.12	0.02 – 0.12	0.02 – 0.12
b ₁ , limit değerini aşma sayısı	0	0	5
b ₂ , limit değerini aşma sayısı	0	0	0
Toplam güncelleme süresi	0	0	11

Çalışma sonuçları, Çizelge 6.14'de özetlenmiştir. Bu uygulamada yine toplam % sönümle oranları hemen hemen aynı çıkmış, F sönümleme katsayısı değeri en yüksek

THEPSO-PDD² denetleyicisi ile elde edilmiştir. En büyük yalpa açısı ivmesi ve fin hücum açısı hızı değerleri ise limit değerlerin oldukça altında kalmıştır.

Çizelge 6.14 : Ardışık Kıç Omuzluktan ve Kıçtan Boyuna Gelen Karışık Dalgalarda, Kapalı Çevrim Denetleyici Süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² Denetleyicilerin Performanslarının Karşılaştırılması .

	PDD ²	PSO-PDD ²	THEPSO-PDD ²
Yalpa açısı sönümlenme oranı (%)	%97.79	%97.55	%97.06
Yalpa açısı F sönümlenme katsayısı	0.0303	0.0351	0.0411
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.1	0.1	0.1
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.5	0.8	0.85
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.002	0.3	0.18
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.007	2.6	8.1
Mutlak Fin Hücum Açısı Hızı ($^{\circ}/s$)	10	9	16
Yalpa frekansı (Hz)	0.15	0.15	0.15
Yalpa frekans band aralığı (Hz)	0.05 – 0.17	0.05 – 0.17	0.05 – 0.17
b ₁ , limit değerini aşma sayısı	0	0	6
b ₂ , limit değerini aşma sayısı	0	0	0
Toplam güncelleme sayısı	0	0	24

Tez çalışmasında ayrıca, farklı denetleyici sürelerinde ve PDD2 ile PSO/HEPSO/THEPSO-PDD2 denetleyici uygulamalarında, yalpa frekansı değişim gözlenmemiştir. Bu uygulama sonuçları, Çizelge 6.9-6.14’de belirtilmiştir. Kıç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, denetleyici süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerin yalpa frekansına etkileri, Frekans (Hz) – Güç spektrum yoğunluğu’na bağlı olarak Şekil B.14’de verilmiştir. Kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda yapılan uygulama sonucu ise Şekil B.15’de verilmiştir.

7. ALGORİTMANIN DENEYSEL UYGULAMASI

Yapılan uygulamalarda, yalpa sönümleyici PDD^2 ve $PSO-PDD^2$ denetleyicileri, 7 knot hızda seyreden Martı Gemisi'nde, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, durgun suda yapılmıştır. Deneylerde, yalpa hareketi hidrolik tahrikli fin sistemi ile sağlanmıştır. Martı Teknesinde, $\mp 30^\circ$ genlikleri arasında ve frekansı 1.5 rad/s periyodik fin hücum açılarındaki yalpa hareketi elde edilmiş, sonra PDD^2 ve $PSO-PDD^2$ denetleyicilerinin uygulaması yapılmıştır.

$PSO-PDD^2$ denetleyicisi; P, D, D^2 0-5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)'de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s şartlarında uygulanmıştır.

7.1 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma İle Gerçek Zamanlı Klasik PDD^2 Kontrol Uygulamaları

Gemilerde yalpa sönümleme denetleyicisi olarak, yalpa açısı, yalpa açısı hızı ve ivmesi değişkenlerine bağlı PDD^2 kontrol uygulanması gerektiği literatürde belirtilmiştir [6].

Yalpa hareketi sönümlemesinde, yalpa açısı değişkenine bağlı denetleyici sistem, geminin boyuna gelen dalgalarındaki hareketi sırasında avantajlıdır. Denetleyicide yalpa açısına bağlı K_p kontrol katsayısının değişimi, geminin metasantrik yüksekliği $\overline{GM}$ etkisine paraleldir. $\overline{GM}$, metasantrik yüksekliği arttıkça geminin salınım süresi kısalmış, benzer şekilde K_p denetleyici katsayısı arttıkça geminin salınım periyodu azalmış, ancak yalpa genliğini azaltmada çok etkili değildir.

Yalpa açısı hızı değişkenine bağlı denetleyici sistem, özellikle bordadan gelen dalgaların neden olduğu yalpa genliklerinin sönümlemesinde önemlidir. Denetleyicinin K_d katsayısı yalpa genliklerinin sönümlemesinde önemli derecede etkilidir.

Yalpa açısı ivme değişkenine bağlı olarak, K_{d2} denetleyici katsayısı ise periyodik olmayan, karışık veya büyük dalga boylu deniz koşullarında salınım periyodunu uzatır, dolayısı ile geminin metasantrik yüksekliği $\overline{GM}$ 'in küçülmesine durumuna

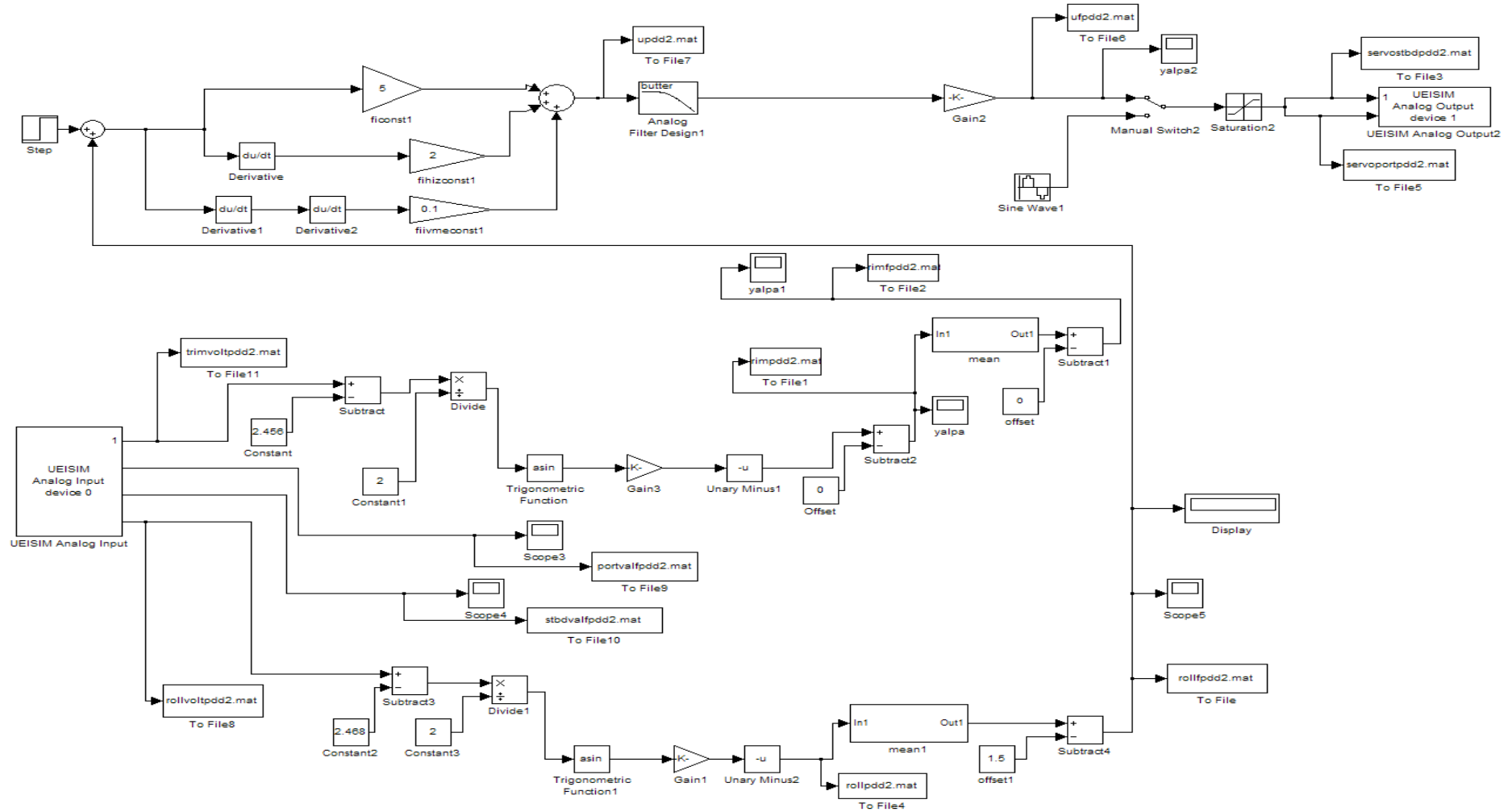
denk durumu oluşturur. Böylece, aşırı deniz şartlarında, büyük dalga boylarında geminin yalpa hareketinin rezonansa girmesini önlemekte etkilidir.

Deneylerde uygulanan PDD^2 denetleyici algoritmanın simülink diyagramı şekil 7.1’de verilmiştir.

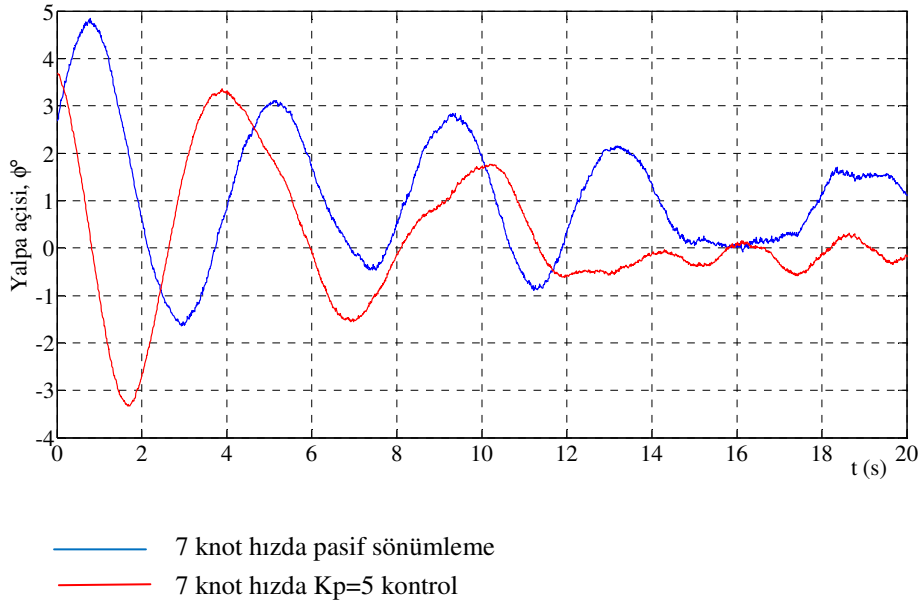
PDD^2 denetleyicisinde, öncelikle sadece P kontrol uygulanmıştır. Pasif sönümleme ile $K_p=5$ katsayısının uygulandığı aktif sönümleme karşılaştırması şekil 7.2’de verilmiştir. P kontrol etkisinin yalpa periyodunu azaltma etkili olduğu ve genlik sönümlemesinde etkili olmadığı grlmştir. Pasif snmlede, istatistiki sönümleme katsayısı $F=0.1055$ iken, aktif kontrolde $F=0.1273$ olarak hesaplanmıştır.

Sonraki uygulamada, PD kontrol uygulanmış ve pasif sönümleme ile karşılaştırması şekil 7.3’de verilmiştir. $K_p=5$, $K_d=3$ katsayıları, PDD^2 denetleyicisinde ayarlanmıştır. D katsayısının etkisi ile yalpa genliğinin snmlenmesindeki oranın arttığı grlmştir. İstatistiki sönümleme katsayısı $F=0.1900$ olarak hesaplanmıştır.

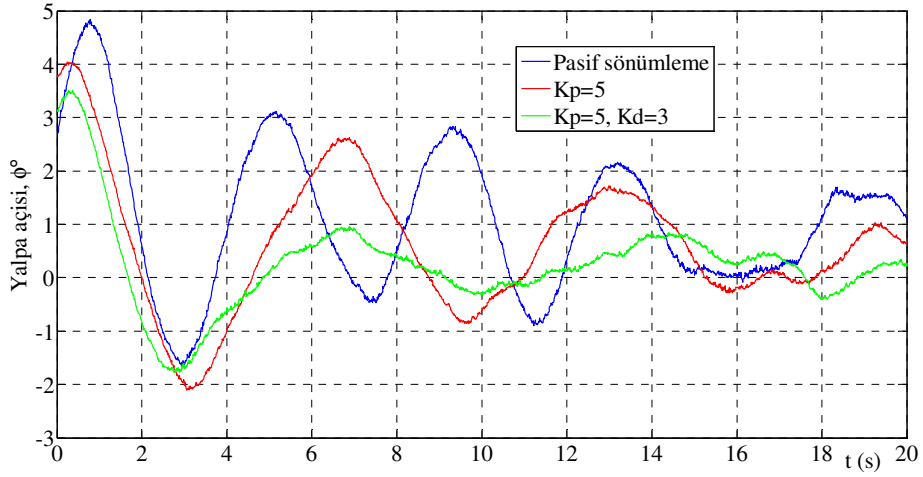
Bir sonraki test çalışması ise PDD^2 denetleyicisinde, D^2 etkisini gözlemlemek için gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, $K_p=5$, $K_d=3$ ve $K_{d2}=0.5$ olarak PDD^2 denetleyicisinin katsayıları ayarlanmıştır. Test sonucu, pasif sönümleme ile karşılaştırması şekil 7.4’de verilmiştir. Yapılan alışma sonucunda, aktif kontrolün yalpa genliği sönümlemesinde performansı artırıcı değil, yalpa hareketi periyodunu uzatmada etkili olduğu hesaplanmıştır. Yani, D^2 etkisinin, geminin metasantr yüksekliğinin ($\overline{GM}$) kk olmasına paralel olduğu deney çalışmaları sonucunda da tespit edilmiştir. Bu aktif kontrol uygulaması sonucu, istatistiki sönümleme katsayısı $F=0.0903$ olarak hesaplanmıştır.



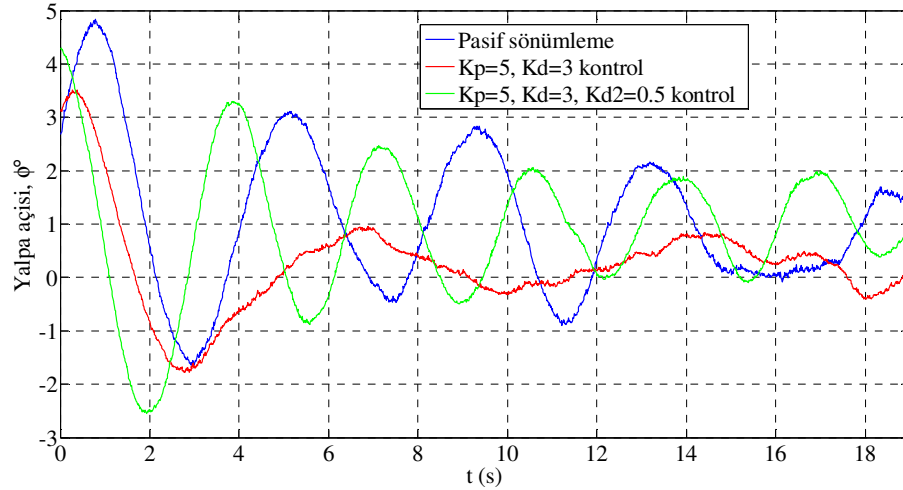
Şekil 7.1 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD² denetleyicisi SimülinkTM diyagramı.



Şekil 7.2 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sisteminde K_p katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.1273$.



Şekil 7.3 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sisteminde PD denetleyicisi, K_d katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.1900$.



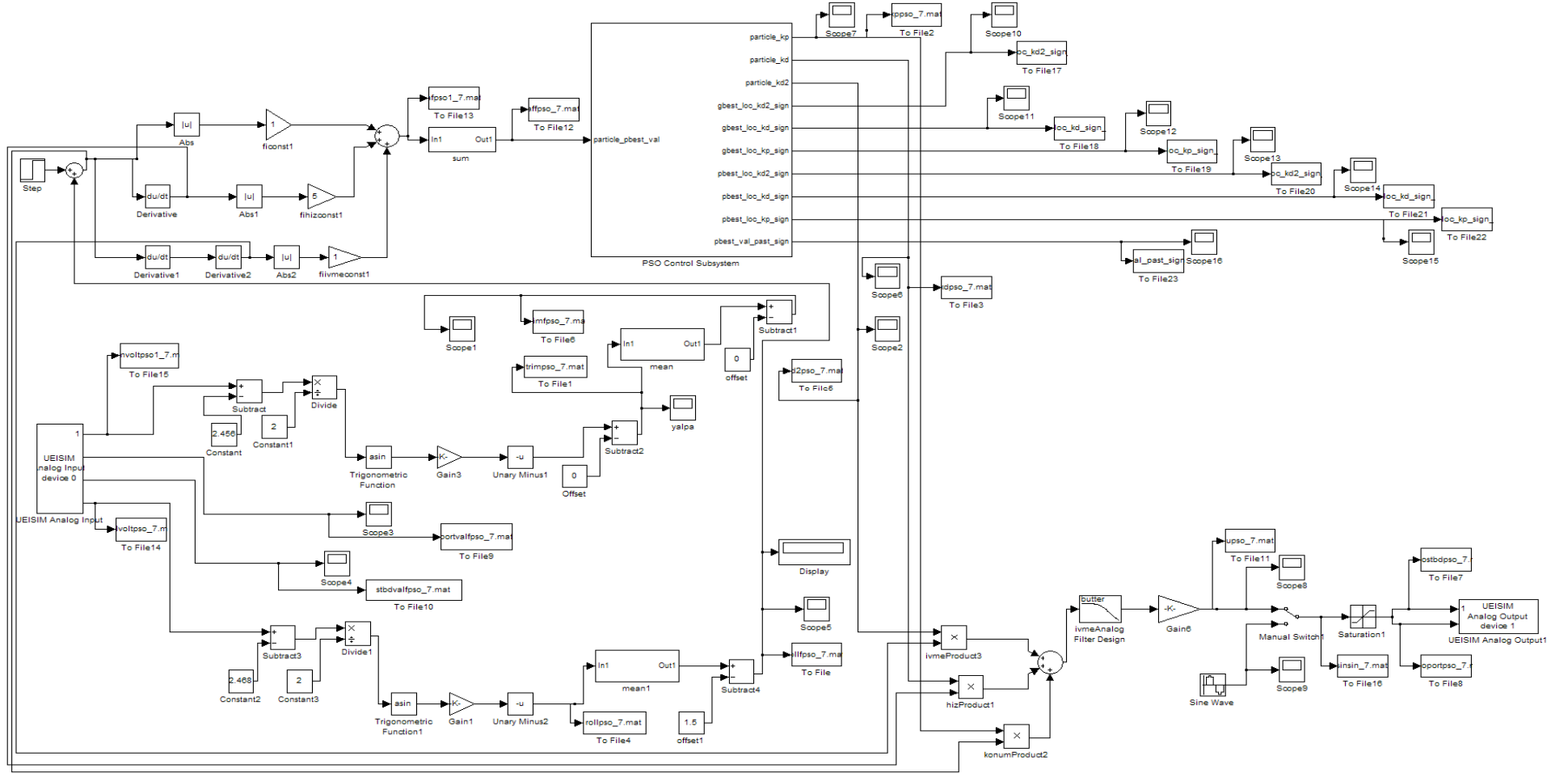
Şekil 7.4 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD^2 denetleyicisi, K_{d2} katsayısı etkisi, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı, $F=0.0903$.

7.2 Tam Ölçekli Deneysel Çalışma İle Gerçek Zamanlı PSO-PDD² Kontrol Uygulamaları

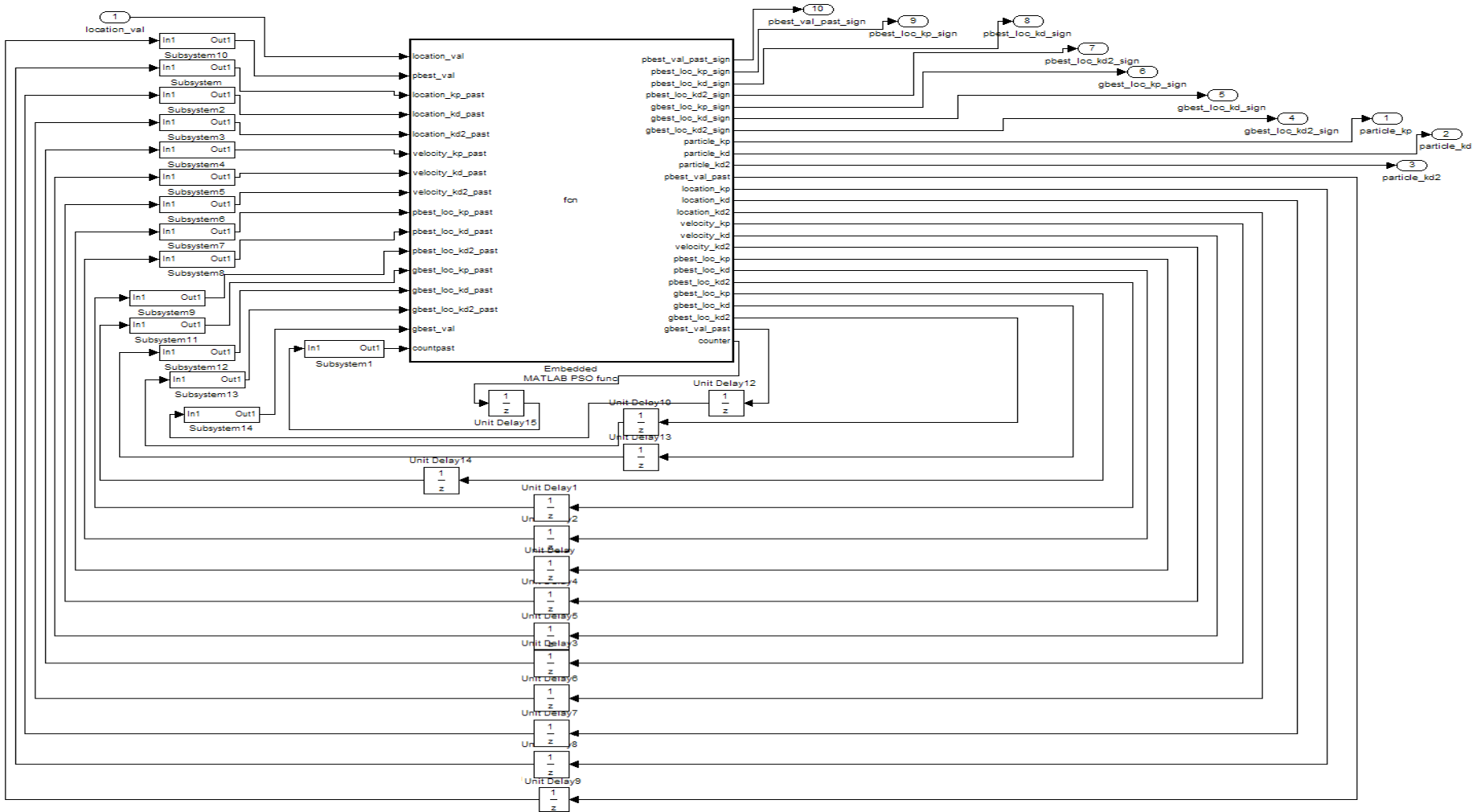
Yalpa hareketi sönümleyici PSO-PDD² denetleyicisinin gerçek zamanlı kontrol çalışmaları, Şekil 7.5’da verilen Simülink programı ile gerçekleştirilmiştir. PSO algoritmasının Matlab yazılım kodu, Simülink programında “Gömülü Matlab Fonksiyon”u bloğu ile PDD² denetleyici Simülink yazılımına eklenmiştir. Şekil 7.6’da, PSO algoritmasının Simülink blok diyagramı gösterilmiştir.

Deney çalışması, Martı Gemisi’nin 7 knot seyir hızında, deplasman değeri $\Delta = 30.94$ ton, $\overline{GM} = 0.5$ m yükleme koşulunda, durgun suda yapılmıştır. PSO-PDD² denetleyicisi; P, D, D² 0-5 katsayı aralıklarında, Denklem (6.14)’de verilen amaç fonksiyonu ($a=1$, $b=5$ ve $c=1$), yalpa açısı yalpa açısı örnekleme zamanı (T), 0.01 s ve kapalı çevrim denetleyici süresi 1 s şartlarında uygulanmıştır.

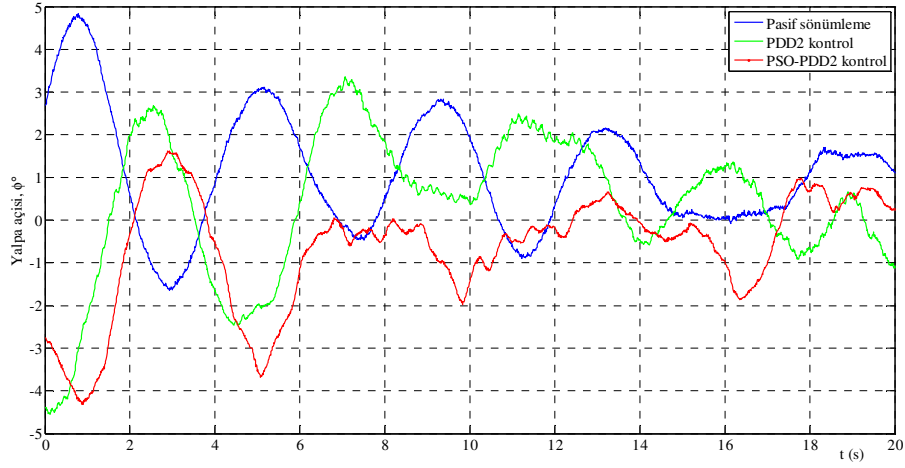
Yapılan uygulamalarda, PDD2 kontrol uygulamasında $F=0.0307$ elde edilmiştir. PDD² denetleyicisinin katsayılarının, PSO algoritması ile ayarlandığı kontrolde ise, istatistiki yalpa sönümleme katsayısı $F=0.1269$ olarak hesap edilmiştir. Pasif ve aktif sönümleme sonuçları Şekil 7.7’de verilmiştir. PSO-PDD² denetleyici uygulamasında servovalfe gönderilen sinyal Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici genel en iyi katsayılar Şekil B.16’da, parçacıkların yerel en iyi katsayıları ise Şekil B.17-B.19’da verilmiştir.



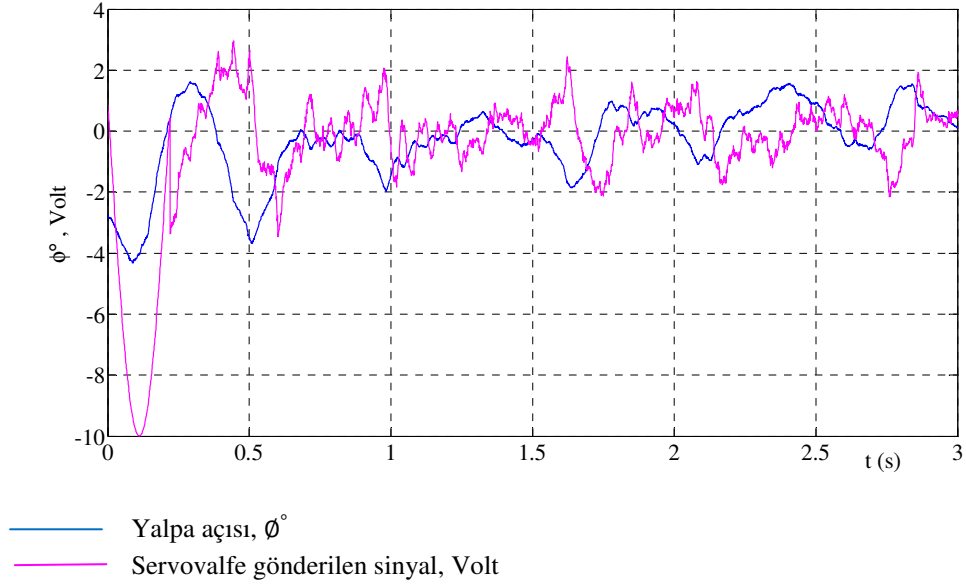
Şekil 7.5 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PSO-PDD² denetleyicisi Simulink diyagramı.



Şekil 7.6 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PSO-PDD² denetleyicisinde PSO algoritmasının Simülink diyagramı.



Şekil 7.7 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi PDD^2 ve $PSO-PDD^2$ denetleyici karşılaştırması.



Şekil 7.8 : Gerçek zamanlı yalpa sönümleyici fin sistemi $PSO-PDD^2$ denetleyici uygulamasında servovalfe gönderilen sinyal.

Durgun suda yapılan deneysel çalışmalarda, K_p , K_d ve K_{d2} katsayıları PSO algoritması ile ayarlanmış ve PDD^2 denetleyicisi sonuçlarına göre daha iyi performans elde edilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gemi inşaatında denetim sistemleri yurtdışından temin edilmektedir. Bu çalışmada, hidrolik tahrik sistemi ile çalışan aktif fin sistemi donanımının ve denetiminin yurtiçinde gerçekleştirilebilmesi için edinilen gerekli bilgi ve deneyim sonucunda ileri denetim tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı gerçekleştirilen Tetiklemeli Hafıza Etkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu uyarlamalı Oransal-Türev-İkinci Türev (THEPSO-PDD²) denetleyicisi ile yapılan çeşitli uygulamalarda toplam yalpa hareketi sönümleme performansı %95'in üzerinde elde edilmiştir. THEPSO-PDD² denetleyicisi, yalpa hareketi sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminde, yalpa açısı, yalpa aç hızı ve ivmesi verilerine göre hidrolik servovalflere, geminin bulunduğu çeşitli çevre ve yükleme koşullarına göre güncellenmiş kumanda sinyalinin göndermektedir.

8.1 Sonuçlar

Yapılan ilk çalışmalarda, laboratuvar ortamında yalpa sönümleyici hidrolik fin sisteminin gerçek zamanda bilgisayarla denetimi Simülink yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarının paralelinde, İ.T.Ü.'ye ait Martı gemisinin, Tuzla'da İ.T.Ü. Denizcilik Fakültesi kampüsünün konuşlandığı bölgenin açıklarında, durgun suda yapılan tam ölçekli deneysel çalışmalar sonucu, sıfır hızda ve çeşitli hızlarda geminin sönümleme katsayıları ve yalpa sönümleyici fin sisteminin çeşitli fin hücum açıları kaldırma kuvveti katsayıları elde edilmiştir. Tam ölçekli deneysel çalışmalar sonucu elde edilen geminin hidrodinamik katsayılarının kullanıldığı, tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı bileşik modeli benzetim çalışmaları, gemi tasarım programı Maxsurf-Hydromax-Seakeeping ve Matlab yazılım programları ile gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, tam ölçekli deneysel çalışmalarda, çeşitli deniz şartlarında Martı Gemisi'nin seyri sırasında, ultrasonik algılayıcı ile dalga yüksekliği, eğim ölçer ile yalpa ve trim açıları ve basınç algılayıcısı ile dalıp-çıkma hareketi verileri kaydedilmiştir. Alınan bu veriler doğrultusunda, gemi tasarım programı Seakeeping'de yaklaşık deniz şartları seçilmiştir. Programdan alınan frekansa bağlı genlik değişim sonuçlarından, tam ölçekli deney çalışmalarından geminin yalpa, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketi verilerinden elde edilen frekansa bağlı genlik değişim aralığındaki veriler, Matlab yazılım programında tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı bileşik modeli benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

Son yıllarda literatürde, yalpa sönümleyici fin sistem denetleyicileri için ileri algoritmalar olarak Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve Model Tabanlı kontrol üzerine birçok çalışma yapılmış olsa da, gemi otomasyon sistemlerinde hala yaygın olarak PID denetleyicileri kullanılmaktadır.

PDD² denetleyici katsayılarının, değişen dinamik durumlara göre uyarlanabilmesi için tek serbestlik dereceli yalpa hareketinin, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerine bağlı bileşik modeli benzetim çalışmaları ile ileri denetim algoritmasının tasarımı gerçekleştirilmiştir.

- Denetleyici tasarımı üzerine çalışma yaparken, geminin çeşitli çevre ve yükleme koşullarında altı serbestlik dereceli dinamik davranışına duyarlı ve hızlı cevap verebilecek algoritma yapısı olarak, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemi esas alınmıştır. Bu algoritma yapısında, her parçacık, arama uzayı içindeki uçuş yönünü, kuş sürülerinde olduğu gibi kendisinin ve tüm sürünün uçuş yönüne göre belirler. Parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden yararlanır. PSO, çok boyutlu optimizasyon problemlerin çözümünde, güçlü bir evrimsel algoritmadır.
- PSO algoritmasının, yalpa sönümleyici fin denetim sisteminde kullanılmasında, değişen dinamik şartlara çözüm getirebilmesi için, ileri PSO algoritma yapıları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Hafıza Etkili PSO (HEPSO) optimizasyon işleminde üç popülasyon grubunun kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Bu popülasyon grupları, optimizasyon problemlerinde,

geçmiş çözümlemelerin kaydedilmesi için “Hafıza Tabanlı Popülasyon Grubu”, gelecek çözümlemeler için araştırma yapabilecek “Araştırma Tabanlı Popülasyon Grubu” ve yeni çözümlemeler ile geçmiş çözümlemeler arasında köprü oluşturabilecek “Hafıza Tabanlı Göçmen Popülasyon Grubu”ndan oluşmaktadır.

- HEPSO çözümlemesinde, güncelleme iterasyon sayısının tamamlanması veya belli süre aralığında çevre koşullarının değişmediği durumlarda, yeni oluşabilecek çevre değişimine uyum göstermesine yönelik, ek olarak güncelleme yapılmasını tetikleyecek iki şartın eklenmesi ile Tetiklemeli Hafıza Etkili PSO (THEPSO) algoritmasının kullanımına karar verilmiştir. Bu şartlardan ilki, çözümlemede iterasyon süresince, son beş iterasyonda elde edilen genel en iyi konuma sahip parçacıkların amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamasının önceden belirlenen değerin üzerinde kalırsa, güncelleme gerçekleştirilir. Diğer güncelleme koşulu, arama yapmakla görevli P_2 kümesindeki parçacıkların yerel en iyi konumlarının, amaç fonksiyonu değerlerinin standart sapması belli bir değerin altında ise, yani yerel en iyi uygunluk değeri ile en kötü değer oranı birbirine yakın olduğu durumda gerçekleşir.
- Geminin karışık dalgalar etkisinde, klasik PDD² ve PSO/HEPSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerinin uygulaması üzerine çalışmalar yapılmış, performans değerleri karşılaştırılmıştır.
- Kapalı çevrim denetleyici süresi kısa ve büyük yalpa genliklerinde yapılan uygulamalar sonucunda;
 - En yüksek toplam yalpa sönümleme performans oranına HEPSO-PDD² denetleyicisi ile ulaşılmıştır.
 - K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının değişkenliğinin az olması durumunda; büyük genlikli yalpa durumunda F sönümleme katsayısının arttığı görülmektedir. Bu nedenle, PSO-PDD² kontrol sonucu bulunan kontrol katsayılarının sabit olarak uygulanmasında, F sönümleme katsayısı diğer kontrol uygulamalarına göre yüksek çıkmıştır.

- Klasik PDD² kontrol uygulamasında, % sönümleme oranı diğer kontrol uygulamalarına göre düşük hesaplanmıştır. K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması ise, % sönümleme oranını artırmış, ancak F sönümleme katsayısı düşme göstermiştir.
- PSO-PDD² kontrolde, % sönümleme oranı az oranda artarken, F sönümleme katsayısı az oranda düşme göstermiştir. K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması, fine gönderilen sinyalin, limit değerin üzerine çıkarak doymaya neden olmaktadır. Fine gönderilen sinyalin, limit değerin altına düşmesi için, denetleyici sinyal gönderme süresinin artırılması gerekmektedir.
- Bu kontrol süresinin artırılması, yalpa sönümlemesinde yeterli cevap hızı ile sınırlıdır. Fine gönderilecek kontrol sinyali, limit değerin aşılmaması için, anlık iletilmemesi gerektiğinden, denetleyici sinyal çıkışına filtre konulması gerekmektedir. K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının dinamik yapıda olması, yalpa açısı ivmesinin de limit değerini aşmasına neden olmaktadır.
- Kapalı çevrim denetleyici süresi kısa ve küçük yalpa genliklerinde yapılan çalışmalarda;
 - K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının değişkenliğinin az olmasında; küçük genlikli yalpa açılarında F sönümleme katsayısı azalmaktadır, yani klasik PDD² kontrol uygulamasında, küçük genlik yalpa açılarının F sönümleme katsayısı düştüğü hesaplanmıştır.
 - Klasik PDD² kontrol uygulamasında, toplam % sönümleme oranı, büyük genlikli yalpa açılarının sönümleme oranı ile yaklaşık aynı çıkmıştır.
 - PSO-PDD² kontrol uygulamasında, küçük genlikli yalpa hareketlerinde F sönümleme katsayısı artmaktadır, toplam % sönümleme oranında, klasik PDD² kontrol uygulamasına göre bir artış sağlanmamıştır.
 - HEPSO-PDD² kontrolde, toplam % sönümleme oranı PSO-PDD² ve PDD² ye göre yaklaşık % 4 oranında yine fazla çıkmıştır. HEPSO-PDD² kontrolde, F sönümleme katsayısı, PSO-PDD² ve PDD² kontrol uygulamasına göre azaldığı görülmüştür.

- Kapalı çevrim denetleyici süresi uzun ve büyük yalpa genliklerinde yapılan uygulamalarda;
 - Klasik PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerinin toplam % performans oranları hemen hemen aynı çıkmıştır.
 - İstatistiki F sönümlleme katsayısı ise, klasik PDD² denetleyicisinin uygulandığı durumda en düşük çıkmıştır.
 - En büyük yalpa açısı ivme değerleri, PDD² ve PSO-PDD² denetleyicilerinin uygulanmasında limit değerinin altında kalmış, THEPSO-PDD² denetleyicisi uygulanması sonucunda ise limit değerine gelmiş, fakat bu limit değerini aşmamıştır. En büyük fin hücum açısı hızı limit değeri ise aşılmamıştır.
- Kapalı çevrim denetleyici süresi uzun ve küçük yalpa genliklerinde yapılan uygulamalarda;
 - Klasik PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerinin toplam % sönümlleme performansı yine aynı kalmış, istatistiki F sönümlleme katsayısında ise en düşük değer, PDD² denetleyicisi uygulanmasında hesaplanmıştır.
 - En büyük yalpa açısı ivme değerleri de, üç çalışmada da limit değerin oldukça altında kalmıştır. Ayrıca, en büyük fin hücum açısı ivmesi değerleri de limit değerinin oldukça altında kalmıştır.
- Kapalı çevrim denetleyici süresi uzun, karma küçük ve büyük yalpa genliklerinde yapılan uygulamalarda;
 - Klasik PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerinin yine toplam % sönümlleme oranları hemen hemen aynı çıkmış, en yüksek F sönümlleme katsayısı değeri THEPSO-PDD² denetleyicisi ile elde edilmiştir.
 - En büyük yalpa ivmesi ve fin hücum açısı hızı değerleri ise limit değerlerin oldukça altında kalmıştır.
- THEPSO-PDD² denetleyicisinin gemilerde yalpa sönümleyici fin sistemine uygulanması ile mümkün olan gemi seyir tecrübeleri sonucu hafıza bilgilerinin kaydedilmesi ve gerekli cevap süresini aşmayacak kapalı çevrim denetleyici süresinin belirlenmesi durumunda, büyük genlikli yalpa

hareketlerinin %95'in üzerinde sönümlenmesinin yanısıra küçük yalpa genliklerinin de sönümlenmesi sağlanmıştır.

8.2 Öneriler

Tez çalışması sonucu, ileri PSO algoritması yalpa sönümleyici fin sistemi PDD² denetleyicisinin K_p , K_d ve K_{d2} kontrol katsayılarının gerçek zamanlı olarak ayarlanabilmesi için kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalara, elde edilen ileri denetleyici algoritmasının geliştirilmesi alanlarında devam edilecektir.

- İleri PSO algoritmasının, yalpa hareketi sönümleyici fin sistemi denetleyicisi uygulamasında, sabit fin hücum açısı hız limiti $30^\circ/s$ olarak alınmıştır. Halbuki, fin kaldırma kuvvet katsayısı (C_L) içinde bulunduğu düzensiz akışlardan dolayı, yani hidrodinamik kavitasyon etkisi ile zamana bağlı değişim göstermektedir. Dolayısı ile fin hücum açısı hız limit değeri, gerçek uygulamalarda değişim göstermektedir. Örneğin, normal deniz şartında fin sistemi $30^\circ/s$ 'nin üzerinde doyma sınırına gelirken, aşırı deniz şartlarında $20^\circ/s$ 'nin üzerinde doyma sınırına gelmektedir. Bu nedenle, ileriki çalışmalarda denetleyici sisteme, kuvvet algılayıcısı ile fin kaldırma kuvveti geri beslemesi eklenebilir.
- Ayrıca, tez çalışması sonucunda önerilen THEPSO-PDD² denetleyici sisteminin küçük yalpa hareketlerinin sönümlenmesinde de yüksek performans gösterdiğinden, sıfır hızdaki motoryatların yalpa sönümleyici fin sistemlerine de uygulanabilir. Fakat, motoryat sıfır hızda iken, yalpa sönümleyici fin sisteminin daha yüksek kapasitede enerji beslemesine ve fin yüzey alanının artırılmasına gerek vardır. Motoryatın seyri esnasında veya limana yanaşma sırasında finin katlanabilir yapıda tasarımı yapılması ve üretilmesi gerekmektedir.
- Önerilen ileri PSO algoritmasında, P, D ve D² sisteme bağlı katsayı aralıkları deneysel ve benzetim çalışmaları sonucu hesaplanmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, algoritma geliştirilerek, katsayı aralıkları sistemden bağımsız hale getirilebilir. Ayrıca, algoritmadaki az sayıda olan katsayıların kendi kendine ayarlanması da, geliştirilecek algortima ile sağlanabilir. Böylece,

geliştirilecek ileri PSO algoritması her gemi tipine, önceden katsayıların ayarlanması çalışmalarına gerek kalmadan uygulanabilir.

- İleriki çalışmalarda PSO algoritmasında, parçacıkların amaç fonksiyonu sonuçlarındaki benzerliklerine göre alt parçacık grupları tanımlanabilir. Böylece, çok boyutlu çözümlemeler elde edilebilecektir.
- Ayrıca, THEPSO algoritmasında, arama yapmakla görevli P_2 kümesinin parçacıkların bir kısmı atomik şarjlı parçacıklar olarak atanabilir. Atomik şarjlı parçacıkların hız hesaplanmasında ivme faktörü de eklenebilir. Böylece, nötr durumdaki parçacıkların konum hesaplanması birinci mertebeden matematik model iken, atomik şarjlı parçacıkların konum hesaplanması ikinci mertebeden matematik model ile gerçekleştirilebilir.
- Bahsedilen algorithmada başka bir iyileştirme de, hafıza kısmında yapılabilir. Geminin çalışma koşullarının çok çeşitlilik göstermesi nedeni ile üç katmanlı hafıza tanımlanabilir. THEPSO algoritmasında, koşulların değişmesi ile bulunan genel en iyi çözüm bilgilerinin kaydı, önce bulunan çözüm bilgilerinden en kötü uygunluk değerine sahip parçacığa aktarılmaktadır. Ancak, bulunduğu koşulda iyi konuma sahip olmayan parçacık, önce oluşan koşulun iyi çözümü olabilmektedir. Bu nedenle, hafızanın güncellenmesinde, önceki bilgilerin kaydının silinmesi yerine, bu önceki çözüm bilgilerinin kayıtlarının ikinci sonra üçüncü hafıza katmanına kayıt edilmesi algorithmaya eklenebilir. Bu durumda, algoritma çözümlemelerindeki güncellemelerde, bulunduğu koşula en uygun çözüm bilgilerini taşıyan hafıza katmanı aktif olacaktır.
- Önerilen ileri PSO algoritması, gemideki sadece yalpa sönümleyici fin sisteminde değil diğer gemi makinelerindeki denetleyicilerde, yani dümen otopilot, konum kontrollü pervane sistemleri gibi alanlarda da uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Milgram, Jerome H.** (2007). Strip Theory for Underwater Vehicles in water of Finite Depth. *Journal of Applied Mathematics*, Cilt 58, Sayı 1-4, Sf. 31-50.
- [2] **Milgram, Jerome H.** (2003). *Numerical Methods in Incompressible Fluid Mechanics*, ders notu, MIT, USA.
- [3] **Vanden Berg, Scott M.** (1991). *Non-Linear of Ships in Large Dea Waves*, (yüksek lisans tezi), MIT, USA.
- [4] **Newman, J. N.** (1977). *Marine Hydrodynamics*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, and London, England.
- [5] **Sabuncu, Tarık** (1993). *Gemi Hareketleri*, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Atölyesi, İTÜ.
- [6] **Burger, W., Corbet, A. G.** (1966). *Ship Stabilizers*, Birinci Baskı, Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford, London, England
- [7] **Fossen, Thor I.** (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., England.
- [8] **Perez, Tristan** (2005). *Ship Motion Control, Course Keeping and Roll Stabilization Using Rudders and Fins*, Springer-Verlag London Ltd., England.
- [9] **Kawazoe, T., Nishikido, S., Wada, Y.** (1994). Effect of Fin Area and Control Methods on Reduction of Roll Motion with Fin Stabilizers. *Bull. Of the M.E.S.J.*, Cilt 22, Sayı 1, Sf. 25-32.
- [10] **Ghassemi, H., Dadmarzi, F. H., Ghadimi, P., Ommani, B.** (2010). Neural network-PID controller for fin stabilizer. *Polish Maritime Research*. 2(10), Cilt 17, Sf. 23-28. 10.2478/v10012-010-0014-3.
- [11] **Mahalatkar, K. K.** (2003). *Cavitating Flow over Oscillating Hydrofoils and Hydrofoil-Based Ship Stabilization System*, (yüksek lisans tezi), University of Cincinnati, Ohio, USA.
- [12] **Ulusoy, T.** (2006). *State-space Modeling and Optimal Control of Ship Motions in a Seastate*, (doktora tezi), MIT, USA.
- [13] **Perez, T., Blanke M.** (1989). Mathematical Ship Modeling for Control Applications. *Technical Report*, Sf. 1-22.
- [14] **Khan, A., Bil, C., Marion, E.** (2005). Theory and Application of Artificial Neural Networks for the Real Time Prediction of Ship Motion. *Lecture Notes in Computer Science*, Cilt 3681, Sayı 155, DOI:10.1007/11552413_151, Sf. 1064-1069.

- [15] **Mahfouz, A.B.** (2004). Identification of the nonlinear ship rolling motion equation using the measured response at sea. *Ocean Engineering*, Cilt 31, Sayı 17-18, Sf. 2139-2156.
- [16] **Haddara, M.R.** (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, Copenhagen, Denmark*, Sf. 127-135.
- [17] **Yu, Y., Shenoi, R.A., Zhu, H., Xia, L.** (2006). Using wavelet transforms to analyze nonlinear ship rolling and heave-roll coupling. *Ocean Engineering*, Cilt 33, Sf. 912-926.
- [18] **Nayfeh, A.H., Sanchez, N.F.** (1990). Stability and complicated rolling responses of ships in regular beam seas. *International Shipbuilding Progress*, Cilt 37, Sf. 331-352.
- [19] **Liaw, C.Y., Bishop, S.R.** (1995). Nonlinear heave-roll coupling and ship rolling. *Nonlinear Dynamics*, Cilt 8, Sf. 197-211.
- [20] **Benstead, N.W.J., Bishop, B.E.** (2005). On wave prediction for ship roll stabilization. System Theory, *Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium*, Sf. 25-29.
- [21] **Loyd, A.R.J.M.** (1989). *Seakeeping-Ship Behaviour in Rough Weather*, Ellis Horwood Publishing, England.
- [22] **Nicolau, V., Palada, V., Aiordachioaie, D., Mihalca, C.** (2007). Neural network prediction of the roll motion of a ship for intelligent course control. *11th International Conference, Italy, Workshop On Neural Networks, Proceedings, Part III*, Sf. 284-291.
- [23] **Bell, J.** (1957). Ship Stabilisation: Automatic Controls, Computed and in Practice. *Proceedings of the IEE-Part B:Radio and Electronic Engineering*, Cilt 104, Sf. 20-26.
- [24] **Perez, T., Goodwin, G.C.** (2008). Constrained Predictive Control of Ship Fin Stabilizers to Prevent Dynamic Stall. *Control Engineering Practice*, Cilt 16, Sf. 482-494.
- [25] **Surendran, S., Lee, S.K., Kim, S.Y.** (2007). Studies on an algorithm to control the roll motion using active fins. *Ocean Engineering*. Cilt 34, Sf. 542-551.
- [26] **Luigi, F., Giovanni, M.** (1996). A Roll Stabilization System for a Monohull Ship: Modeling, Identification, and Adaptive Control. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, Cilt 4, Sayı 1, Sf. 18-28.
- [27] **Frank, M.C., Zhuo, Y.Z., Lee, Z.Y.** (2010). The Application of The Self-Tuning Neural Network PID Controller On The Ship Roll Reduction in Random Waves. *Ocean Engineering*, Cilt 37, Sf. 529-538.
- [28] **Nejim, S.** (2000). Rudder Roll Damping System for Ships Using Fuzzy Logic Control. *IEE, Oceans Conference and Exhibition*, Cilt 2, Sf. 1137-1143.

- [29] **Liut, D.** (1999). *Neural Network and Fuzzy-Logic Learning and Control of Linear and Nonlinear Dynamic Systems*, (doktora tezi), Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- [30] **Ghaemi, R., Sun, J., Kolmanovsky, I.V.** (2009). Robust Control of Ship Fin Stabilizers Subject to Disturbances and Constraints. *American Control Conference, USA*, Sf. 537-542.
- [31] **Kennedy, J., Eberhart, R.** (2001). *Swarm Intelligence*, Academic Press, USA.
- [32] **Kennedy, J., Eberhart, R.** (1995). Particle Swarm Optimization. *Proc. Of the IEEE Int. Conf. On Neural Networks*, Cilt 4, Sf. 1942-1948.
- [33] **Clerc, L., Kennedy, J.** (2002). The Particle Swarm: Explosion, Stability, And Convergence In Multidimensional Complex Space. *IEEE Trans. Evol. Comp.*, Cilt 6, Sayı 1, Sf. 58-73.
- [34] **Kennedy, J.** (2003). Bare Bones Particle Swarms. *Swarm Intelligence Symposium*, DOI: 10.1109/SIS.2003.1202251, Sf. 80-87.
- [35] **Cooren, Y., Clerc, M., Siarry, P.** (2011). MO-TRIBES, an adaptive multiobjective particle swarm optimization algorithm. *Journal Computational Optimization and Applications*, doi:10.1007/s10589-009-9284-z, Cilt 49, No: 2, Sf. 379-400.
- [36] **Cooren, Y., Clerc, M., Siarry, P.** (2009). Performance Evoluion of TRIBES, an adaptive particle swarm optimization algorithm. *Swarm Intell*, DOI 10.1007/s11721-009-0026-8, Cilt 3, Sf. 149-178.
- [37] **Clerc, M.** (2011). From Theory to Practice in Particle Swarm Optimization. *Handbook of Swarm Intelligence, Adaptation, Learning, and Optimization*, DOI: 10.1007/978-3-64217390-5_1, Cilt: 8, Kısım 1, Sf. 2-36.
- [38] **El Dor, A., Clerc, M., Siarry, P.** (2011). A multi-swarm PSO using charged particles in a partitioned search space for continous optimization. *Comp. Optim. Appl.* DOI: 10.1007/s10589-011-9449-4, Sf. 1-25.
- [39] **Cooren, Y., Clerc, M., Siarry, P.** (2008). Initialization and Displacement of the Particles in TRIBES, a Parameter-Free Particle Swarm Optimization Algorithm. *Adaptive and Multilevel Metaheuristics*, SCI 136, Sf. 199-219.
- [40] **DeBao, C., ChunXia, Z.** (2009). Particle Swarm Optimization with Adaptive Popolation Size and Its Application. *Applied Sof Computing*, Cilt 9, Sf. 39-48.
- [41] **Kulkarni, R. V., Venayagamoorthy, G. K.** (2007). An Estimation of Distribution Improved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Proc. Of the Third Int. Conf. On Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information (ISSNIP)*, Sf. 539-544.
- [42] **Chen, J., Ren, Z., Fan X.** (2006). Particle Swarm Optimization with Adaptive Mutation and Its Application Research in Tuning of PID Parameters. *Systems and Control in Aerospace and Astronautics, ISSCAA 1st International Sysmposium*, Harbin, Çin, 10.1109/ISSCAA.2006.1627490, Sf. 990-994.

- [43] **Samanta, B.** (2008). Design of Intelligent Ship Autopilots Using Particle Swarm Optimization. *IEEE Swarm Intelligence Symposium St. Louis MO USA*, 10.1109/SIS.2008.4668327, Sf. 1-7.
- [44] **Yang, S.** (2008). Genetic Algorithms with Memory- and Elitism- Based Immigrants in Dynamic Environments. *MIT Press Journals, Cilt 16*, Sayı 3, Sf. 385-416.
- [45] **Branke, J.** (1999). Memory Enhanced Evolutionary Algorithms for Changing Optimization Problems. *MProc. Of the Congress on Evolutionary Computation*, Cilt 3, Sf. 1875-1882.
- [46] **Wang, H., Wang, D., Yang, S.** (2007). Triggered Memory-Based Swarm Optimization in Dynamic Environments. *Applications of Evolutionary Computing, LNCS 4448*, Sf. 637-646.
- [47] **Socha, K., Dorigo, M.** (2008). Ant colony optimization for continous domains. *European Journal Of Operational Research*. Sf. 1155-1173.
- [48] **Gao, Y., Hu, X., Liu, H., Li, F.** (2010). Cloud Estimation of Distribution Particle Swarm Optimizer. *Fourth International Conference On Genetic And Evolutionary Computing*, 10.1109/ICGEC.2010.12, Sf. 14-17.
- [49] **Richter, H., Yang, S.** (2009). Learning Behavior in Abstract Memory Schemes for Dynamic Optimization Problems. *Soft Comp.*, DOI: 10.1007/s00500-009-420-6, Cilt 13, Sf. 1163-1173.
- [50] **Liang, Y., Leung, K.** (2011). Genetic Algorithm with Adaptive Elitist-Population Strategies for Multimodal Function Optimization. *Applied soft Computing*, Cilt 11, Sf. 2012-2034.
- [51] **Yuan, B., Orłowska, M., Sadiq S.** (2008). Extending A Class Of Continous Estimation Of Distribution Algorithms To Dynamic Problems. *Optimization and Letters*, Cilt 2, Sayı: 3, Sf. 433-443.
- [52] **Meeter, M., Veldkamp, R.** (2008). Multiple Memory Stores And Operant Conditioning: A Rationale For Memory's Complexity. *Brain Cognition*, Cilt 69, Sayı:1, Sf. 1-16.
- [53] **Blackwell, T.M., Bentley, P.** (2002). Don't Push Me! Collision-Avoiding Swarms. *Evolutionary Computation, Congress on Honolulu, HI*, 10.1109/CEC.2002.1004497, Sf. 1691-1696.
- [54] **Blackwell, T., Branke, J.** (2006). Multiswarms, Exclusion, and Anti-Convergence in Dynamic Environments. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Cilt: 10, Sayı: 4, Sf. 459-472.
- [55] **Blackwell, T., Branke, J.** (2004). Multi-Swarm Optimization in Dynamic Environments. *Applications Of Evolutionary Computing*, Cilt:3005/2004, DOI: 10.1007/978-3-540-24653-4_50, Sf. 489-500.
- [56] **Richer, T., Blackwell, T.M.** (2006). The Levy Particle Swarm. *IEEE Congress On Evolutionary Computation, Canada*, Sf. 808-815.
- [57] **Richer, T., Blackwell, T.M.** (2006). When Is A Swarm Necessary?. *IEEE Congress On Evolutionary Computation, Canada*, Sf. 1469-1476.

- [58] **Blackwell, T.M.** (2005). Particle Swarms And Population Diversity. *Soft Computing*, Cilt 9, Sf. 793-802.
- [59] **Blackwell, T.** (2011). A study of Collapse in Bare Bones Particle Swarm Optimization. *IEEE Transaction On Evolutionary Computation*, Cilt 16, Sayı: 3, Sf. 354-372.
- [60] **Zhan, Z., Xiao, J., Zhang, J.** (2007). Adaptive Control of Acceleration Coefficients for Particle Swarm Optimization Based On Clustering Analysis. *Evolutionary Computation, IEEE Congress on Singapore*, 10.1109/CEC.2007.4424893 Sf. 3276-3282.
- [61] **Liang, Y.** (2009). Efficient Fitness Estimation And Genetic Operation In Dynamic Environments. *The 1st International Conference On Information Science And Engineering*, Sf. 207-210.
- [62] **Leung, K., Liang, Y.** (2003). Adaptive Elitist-Population Based Genetic Algorithm for Multimodal Function Optimization. *Proceeding GECCO'03 International Conference On Genetic and Evolutionary Computation: Part I*, ISBN: 3-540-40602-6, Sf. 1160-1171.
- [63] **Parrot, D., Li, X.** (2006). Locating and Tracking Multiple Dynamic Optima by a Particle Swarm Model Using Speciation. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Cilt: 10, Sayı: 4, Sf. 440-458.
- [64] **Yang, S., Li, C.** (2010). A Clustering Particle Swarm Optimizer for Locating and Tracking Multiple Optima in Dynamic Environments. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Cilt 14, Sayı: 6, Sf. 959-974.
- [65] **CXTA02 2 eksenli eğim ölçer.** Alındığı tarih: 16.10.2009, adres: <http://www.xbow.com.cn/LinkClick.aspx?fileticket=imP8IhvA8TY%3D&tabid=91>
- [66] **UEISIM300 gerçek zamanlı gömülü denetleyici sistemi.** Alındığı tarih: 15.10.2009, adres: <http://www.ueidaq.com/data-acquisition-chassis/simulink-rtw-targets/ueisim-300.html>
- [67] **Technical Manual For Fin Stabilization System.** Alındığı tarih: 16.01.2009, adres: <http://www.krosys.com/pdf/fin/fin-technic.pdf>
- [68] **Howarth, H.V., Griffin, M.J.** (2003). Effect of roll oscillation frequency on motion sickness. *Aviat Space Environ Med.*, Cilt 74, Sayı: 4, Sf. 326-331.
- [69] **Quetin, F., Clement, P., Griffin, M.J., Lobb, B.L.** (2001). Studies about motion sickness. *World Congress on Railway Research, Cologne, Germany*. Sf. 1-11.
- [70] **Joseph, J.A., Griffin, M.J.** (2008). Motion sickness: effect of the magnitude of roll and pitch oscillation. *Aviat Space Environ Med.* Cilt 79, Sayı: 4, Sf. 390-396.

EKLER

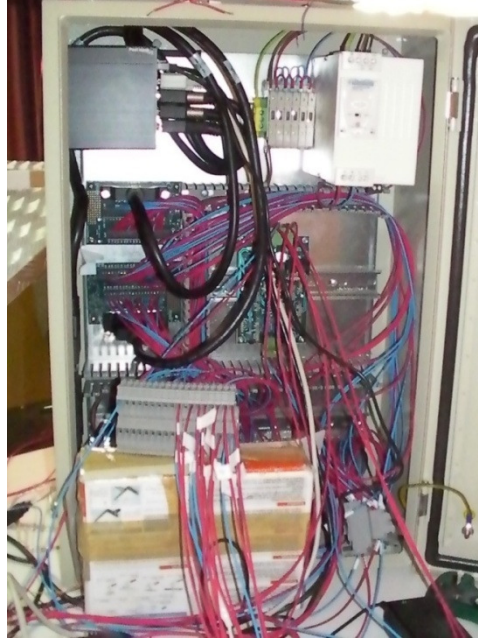
EK A: Tam Ölçekli Deney Çalışmalarının Yapıldığı Mekanik ve Elektronik Sistem

EK B: PDD^2 ve PSO/HEPSO/THEPSO- PDD^2 Kontrol Uygulamaları

EK A: Tam Ölçekli Deney Çalışmalarının Yapıldığı Mekanik ve Elektronik Sistem



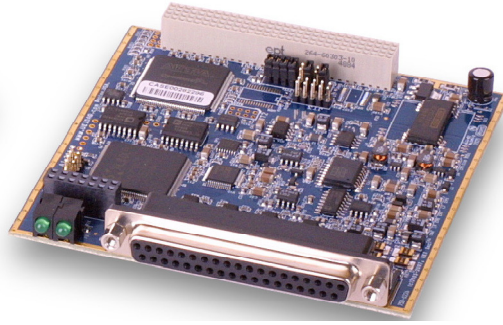
Şekil A.1: Yalpa sönümleyici aktif fin sisteminin uygulanacağı, Martı Teknesi.



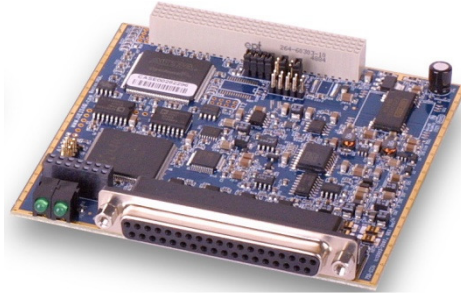
Şekil A.2: Yalpa sönümleyici aktif fin sisteminden veri toplama, kontrol sinyali çıkışı alınan, elektrohidrolik valflerin sürüşü sağlanan elektronik donanım panosu.



Şekil A.3: UEISIM300 Veri toplama ve kontrol elektronik donanımı.



Şekil A.4: DNA-AI-201 analog giriş kartı, $\pm 15 V$ analog giriş yapılabiliniyor. Çözünürlüğü 16 bit, 24 kanal (single ended), 12 kanal (diferansiyel)'a sahiptir.



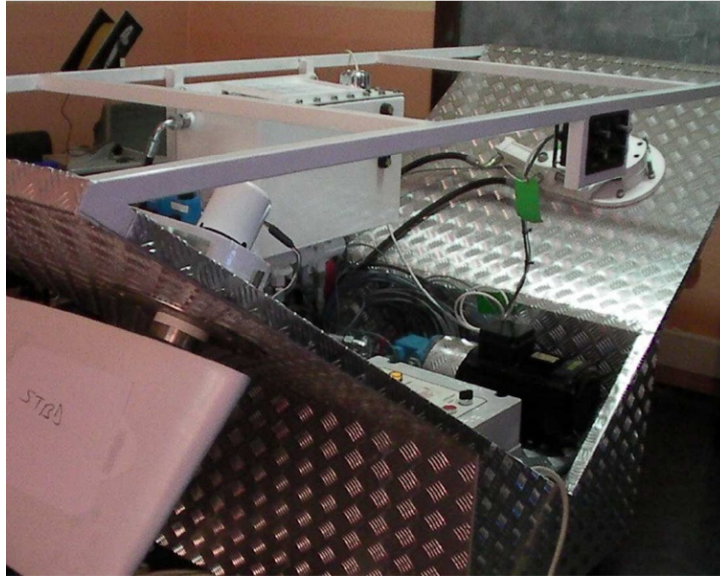
Şekil A.5: DNA-AO_308 analog çıkış kartı, $\pm 10 V$ analog çıkış verebiliyor. Çözünürlüğü 16 bit, 8 kanala sahiptir.



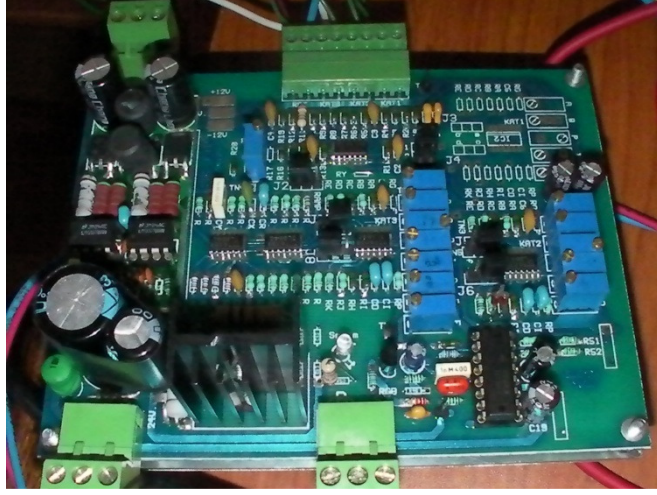
Şekil A.6:DNA-DIO-403 dijital giriş/çıkış kartı. 5 V dijital giriş/çıkış yapılabiliniyor. Çözünürlüğü 8 bit, 48 kanala sahiptir.



Şekil A.7: 2 eksenli $\pm 75^\circ$ açı ölçen eğim sensörü, çözünürlüğü 0.05° 'dir.



Şekil A.8: Laboratuvarda, gemilerde yalpa sönümleyici aktif fin hidrolik sistemi üzerine prototip çalışması.



Şekil A.9: Yalpa sönümleyici fin sisteminin servohidrolik valf PID denetleyici elektronik kartı.



Şekil A.10: Yalpa hareketi sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminin montajı.



Şekil A.11: PID denetleyicisi ile konum kontrolü yapılan servohidrolik valfi.



Şekil A.12:Karada, Martı Teknesi'ne yalpa sönümleyici hidrolik tahrikli fin sisteminin montajı.

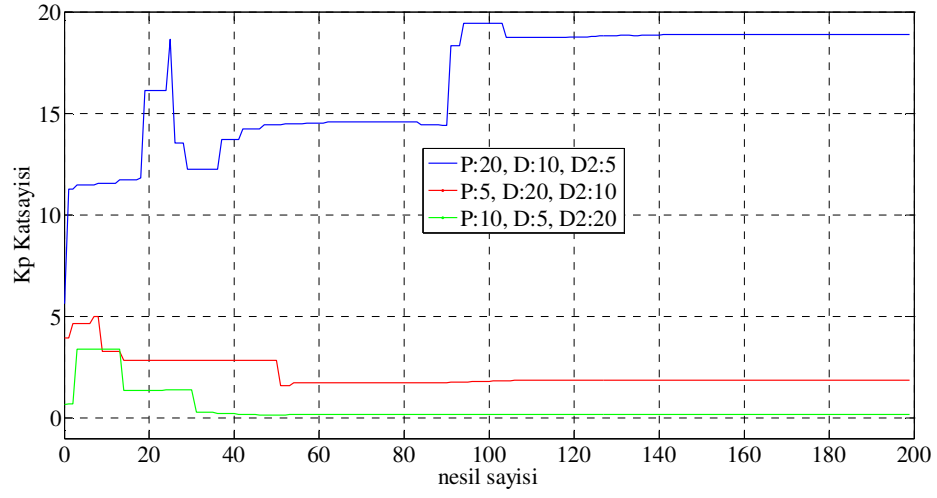


Şekil A.13:Yalpa hareketi sönümleyici sisteminin montajının tamamlanmasından sonra Martı Teknesi'nin denize indirilişi.

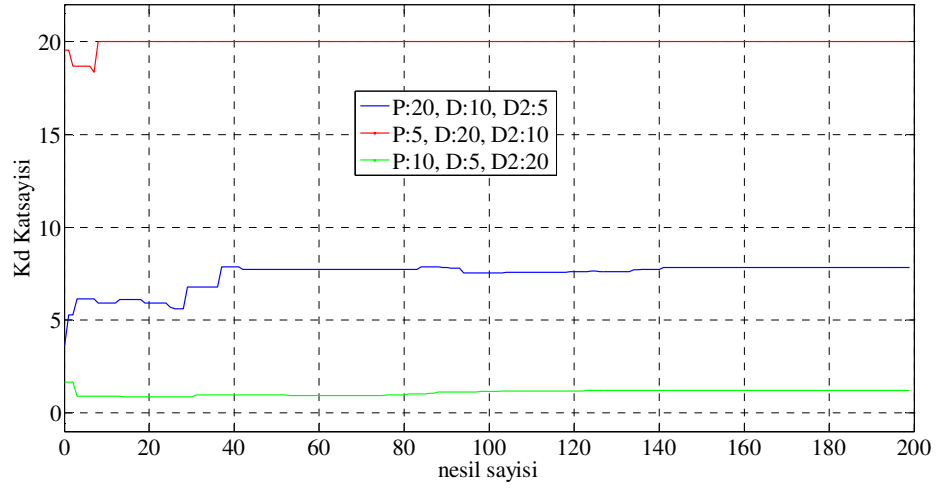


Şekil A.14:Martı Teknesi'nde yalpa sönümleyici fin sisteminin gerçek zamanlı kontrol uygulaması.

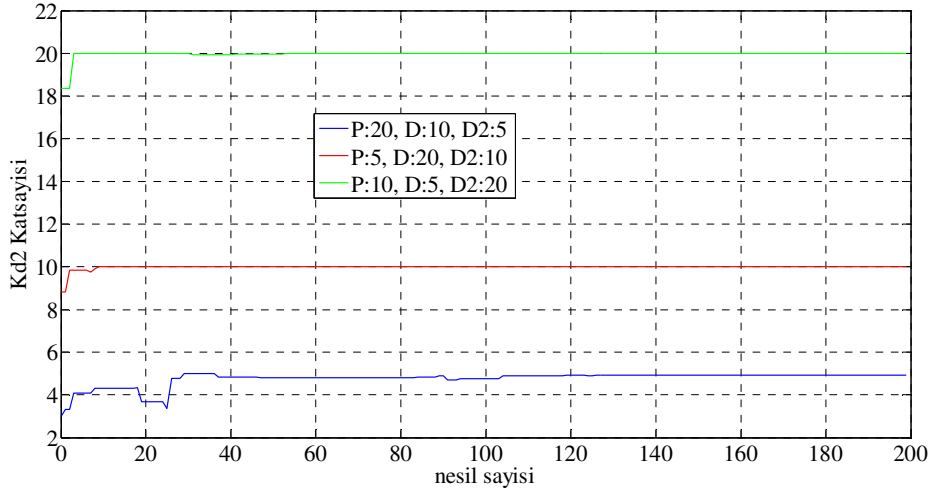
EK B: PDD² ve PSO/HEPSO/THEPSO-PDD² Kontrol Uygulamaları



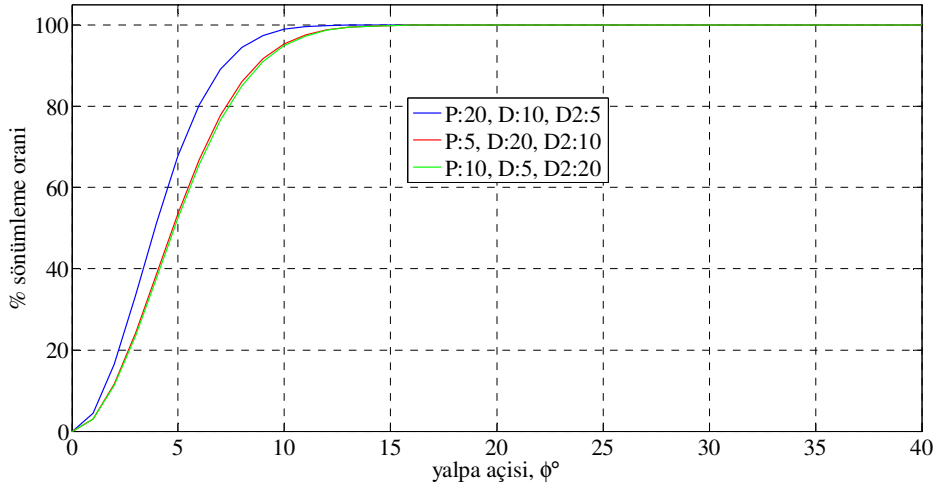
Şekil B.1: PSO-PDD² denetleyicisinde, farklı P, D ve D² katsayı aralıklarında K_p katsayı değişimi.



Şekil B.2: PSO-PDD² denetleyicisinde, farklı P, D ve D² katsayı aralıklarında K_d katsayı değişimi.



Şekil B.3: PSO-PDD² denetleyicisinde, farklı P, D ve D² katsayı aralıklarında K_{d2} katsayı değişimi.



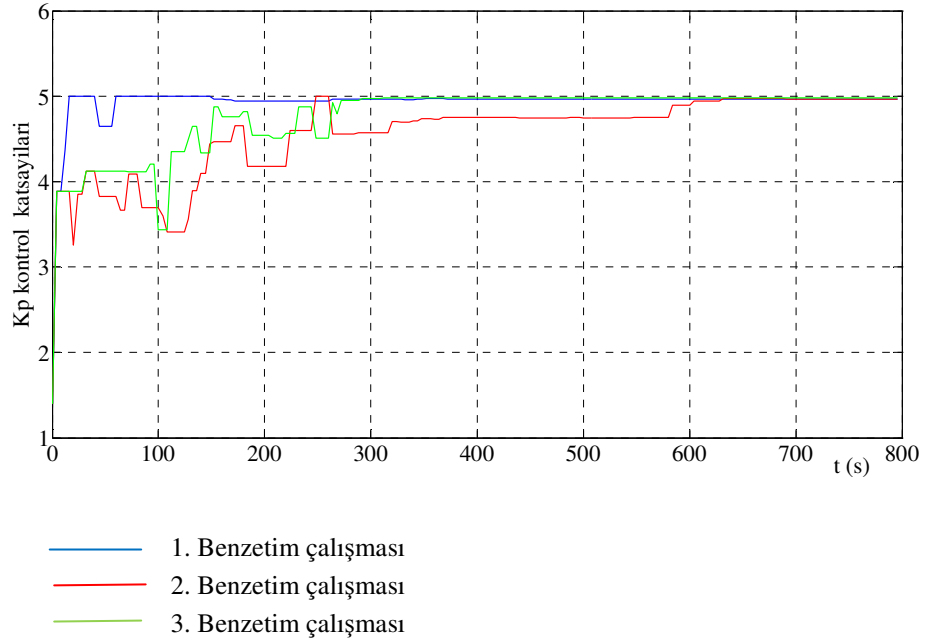
Şekil B.4: PSO-PDD² denetleyicisinde, farklı P, D ve D² katsayı aralıklarında F sönümleme katsayılarının karşılaştırması.

Çizelge B.1: PSO-PDD² denetleyicisinde, P, D ve D² katsayı aralıkları farklı ve farklı kombinasyon uygulamalarında performans karşılaştırması.

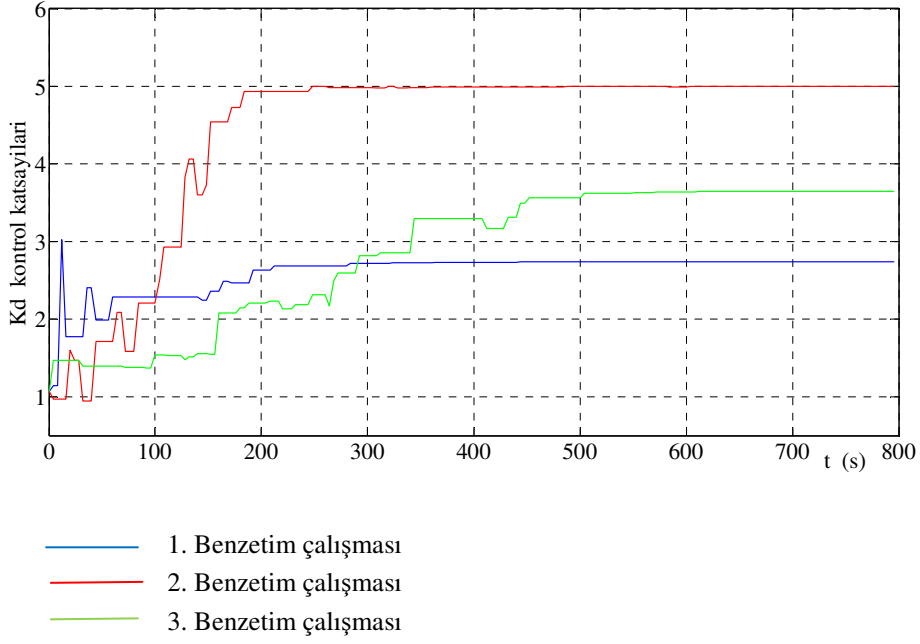
	P:20,D:10, D ² :5	P:5,D:20, D ² :10	P:10,D:5, D ² :20
Yalpa aç sönümleme oranı (%)	%97.64	%98.68	%98.84
Yalpa aç F sönümleme katsayısı	0.0452	0.0307	0.0297
Ortalama yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.1	0.08	0.1
En büyük yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.6	1.2	1.16
Ortalama yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.62	0.1	0.5
En büyük yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	5.4	3.6	8.4

Çizelge B.2: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç koşullarında uygulanması.

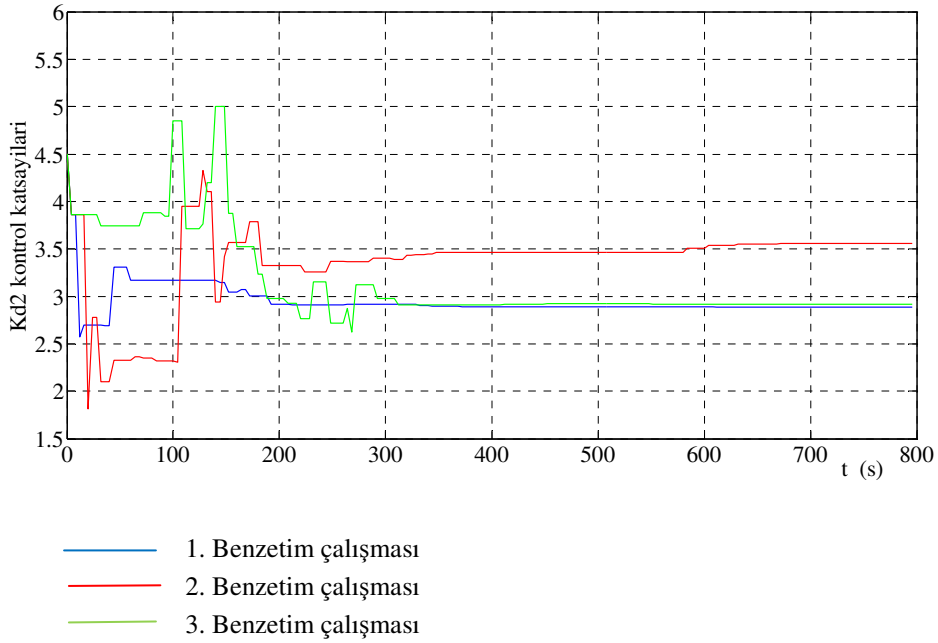
	1.Benzetim Çalışması	2.Benzetim Çalışması	3.Benzetim Çalışması
Yalpa açısı sönümleme oranı (%)	%95.21	%95.98	%95.47
Yalpa açısı F sönümleme katsayısı	0.0256	0.0309	0.0281
Ortalama yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.28	0.22	0.26
En büyük yalpa açısı hızı ($^{\circ}/s$)	0.91	0.9	0.92
Ortalama yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.08	0.08	0.17
En büyük yalpa açısı ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	11.28	11.28	11.28



Şekil B.5: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



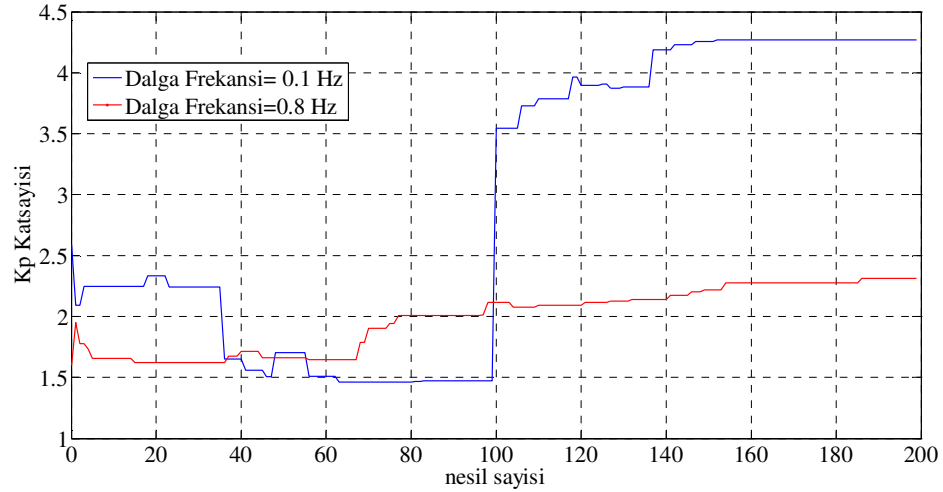
Şekil B.6: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



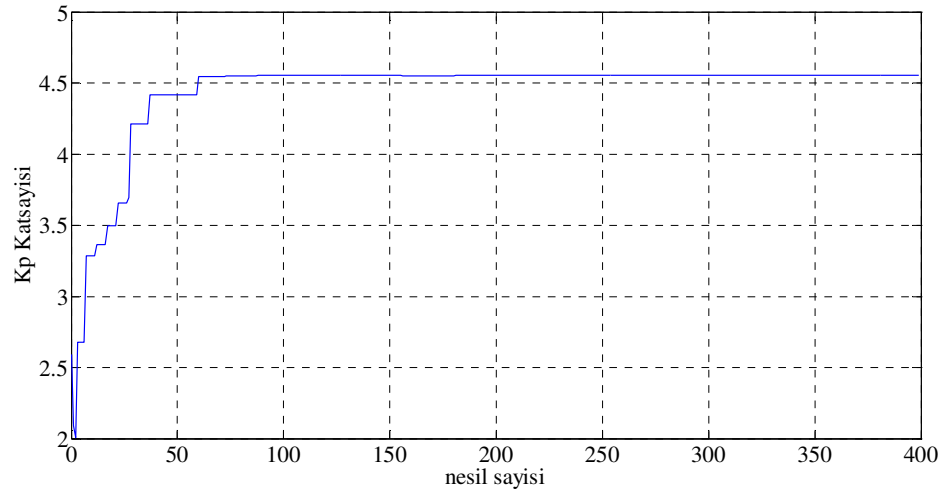
Şekil B.7: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.

Çizelge B.3: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı frekanslarda uygulanması .

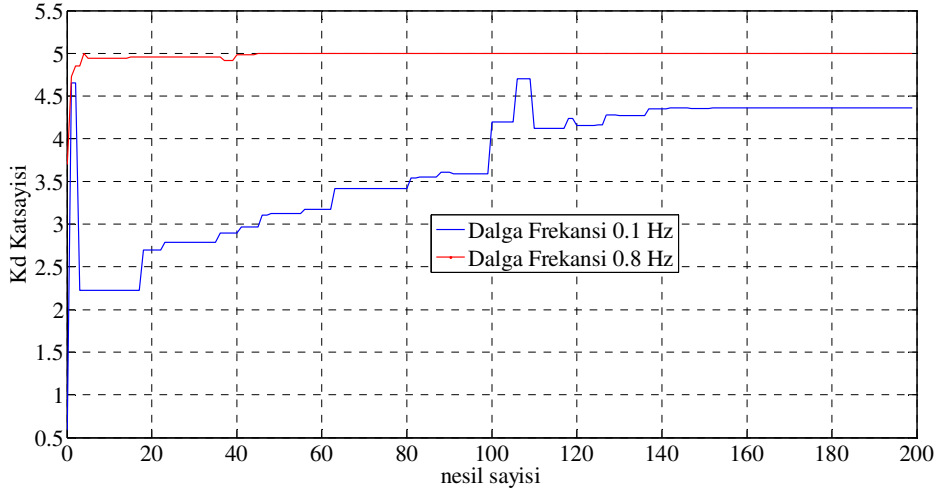
	Dalga Frekansı 0.1 Hz	Dalga Frekansı 0.8 Hz	Ardışık Dalga Frekansları 0.1 ve 0.8 Hz
Yalpa aç sönümleme oranı (%)	%95.21	%95.13	%95.46
Yalpa aç F sönümleme katsayısı	0.0899	0.0914	0.0852
Ortalama yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	0.27	0.27	0.26
En büyük yalpa aç hızı ($^{\circ}/s$)	1.1	0.99	1.06
Ortalama yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	0.15	0.06	0.1
En büyük yalpa aç ivmesi ($^{\circ}/s^2$)	9.75	5.83	9.75



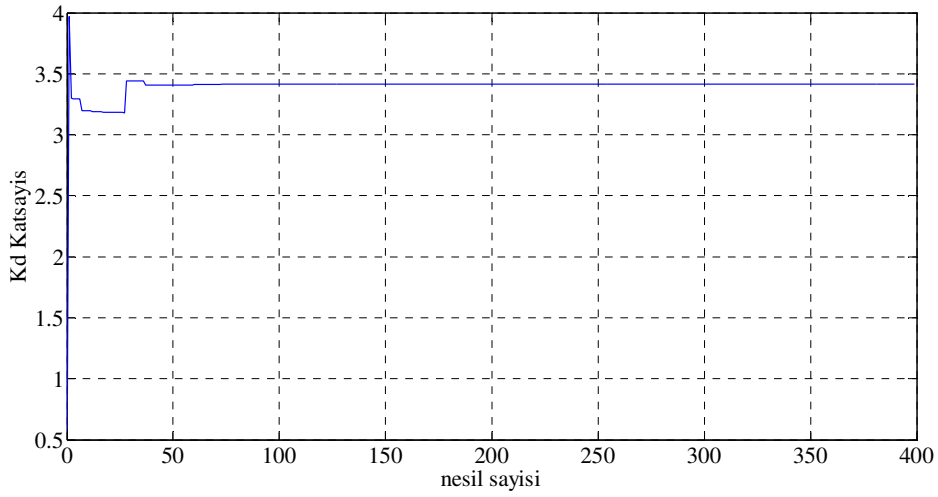
Şekil B.8: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



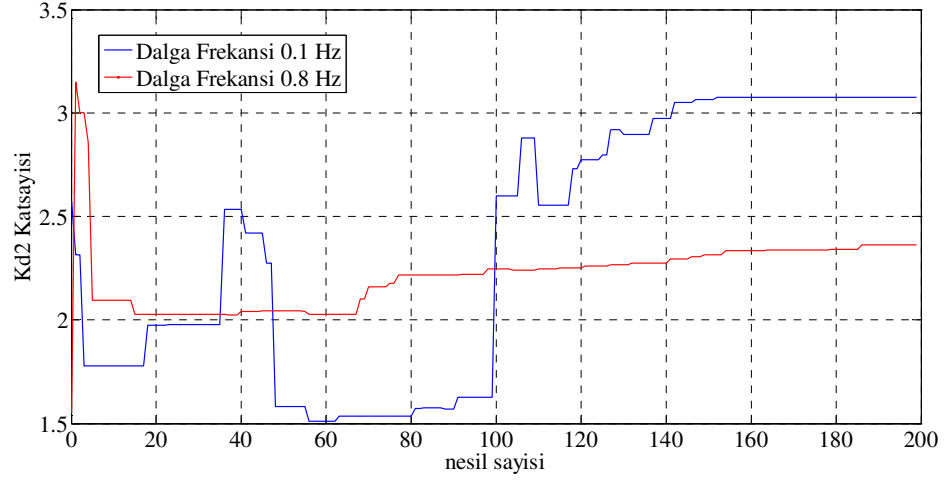
Şekil B.9: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_p katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



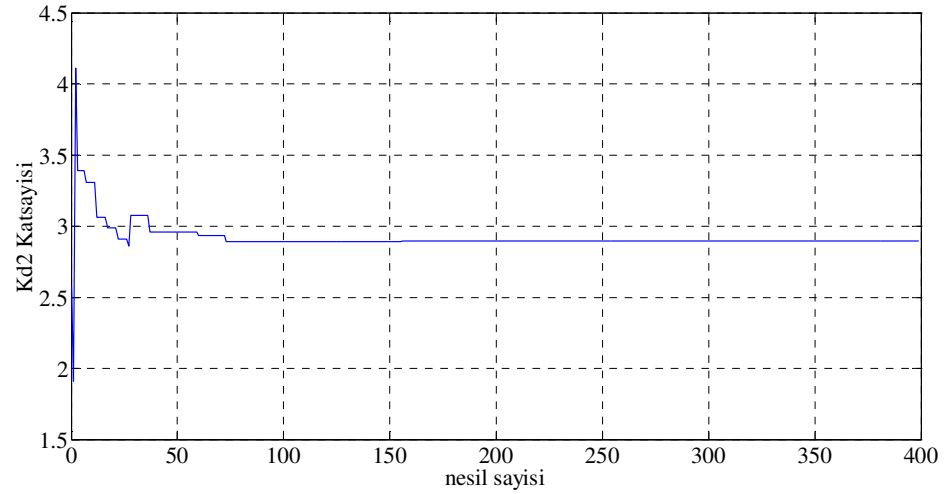
Şekil B.10: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



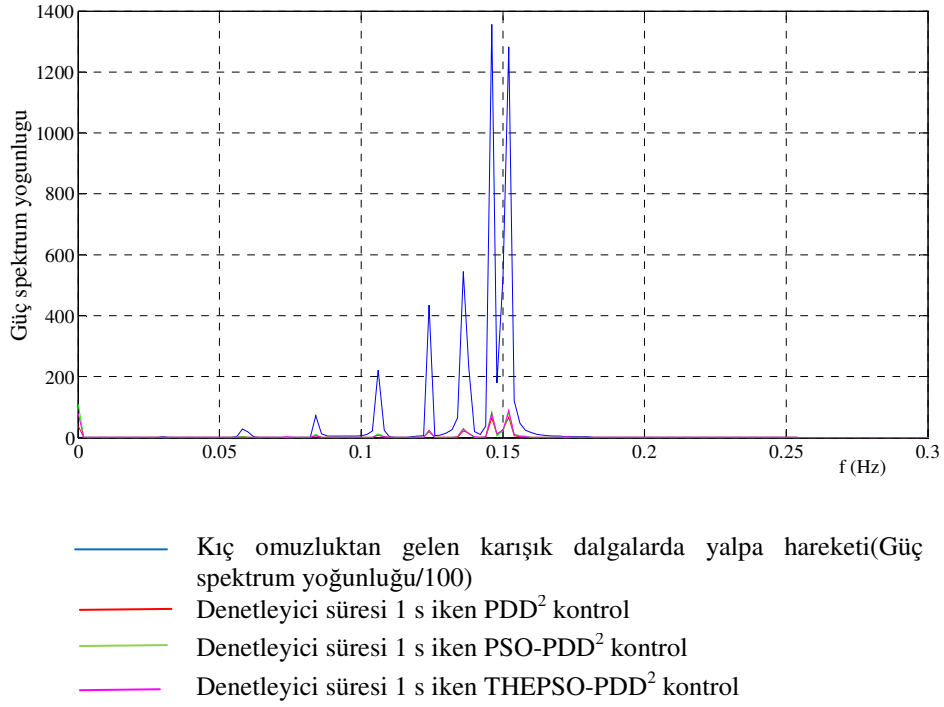
Şekil B.11: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_d katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



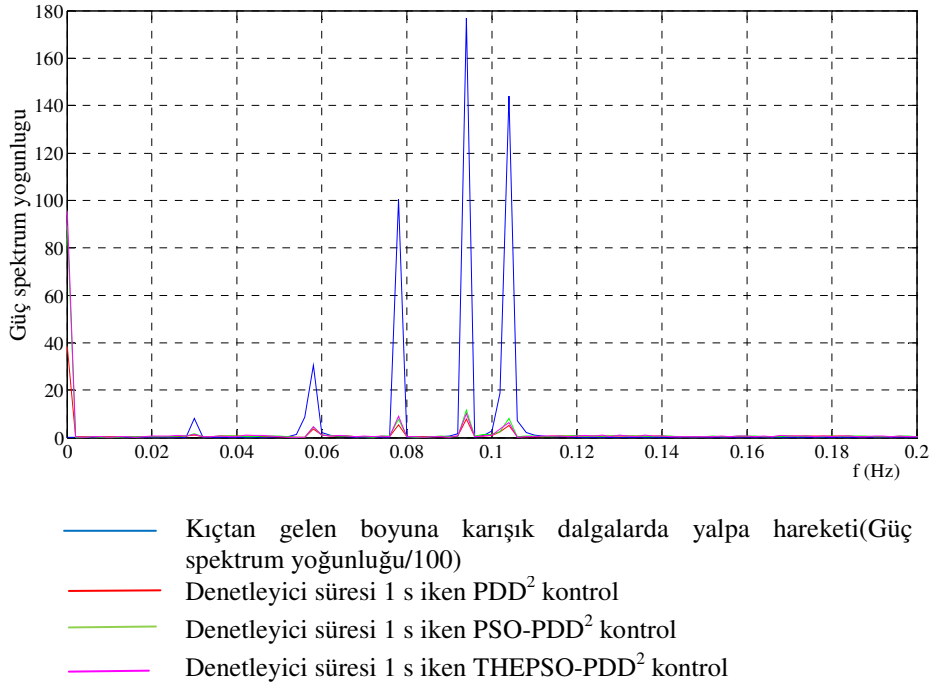
Şekil B.12: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



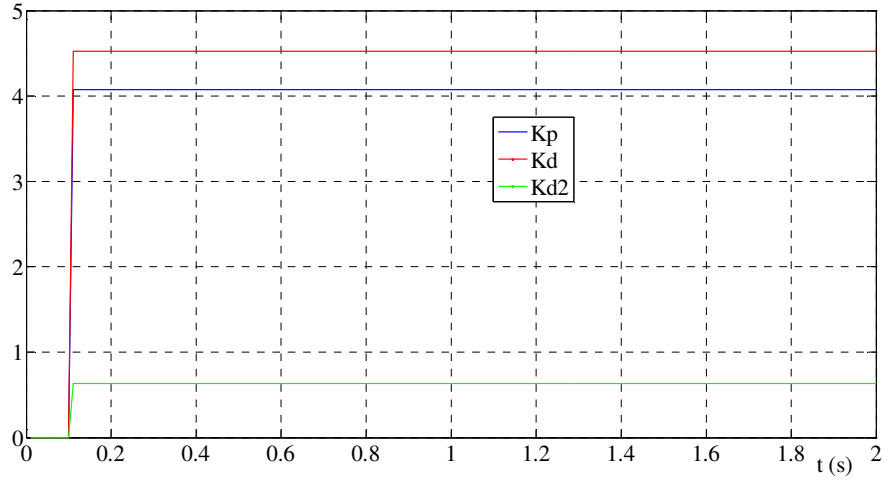
Şekil B.13: PSO-PDD² denetleyicisinin aynı rastgele başlangıç şartlarında, bordadan gelen ardışık farklı dalga frekanslarında sönümsüz dalgalarda uygulanması sonucu, K_{d2} katsayısını belirleyen parçacıkların genel en iyi konumlarının zamana bağlı değişimi.



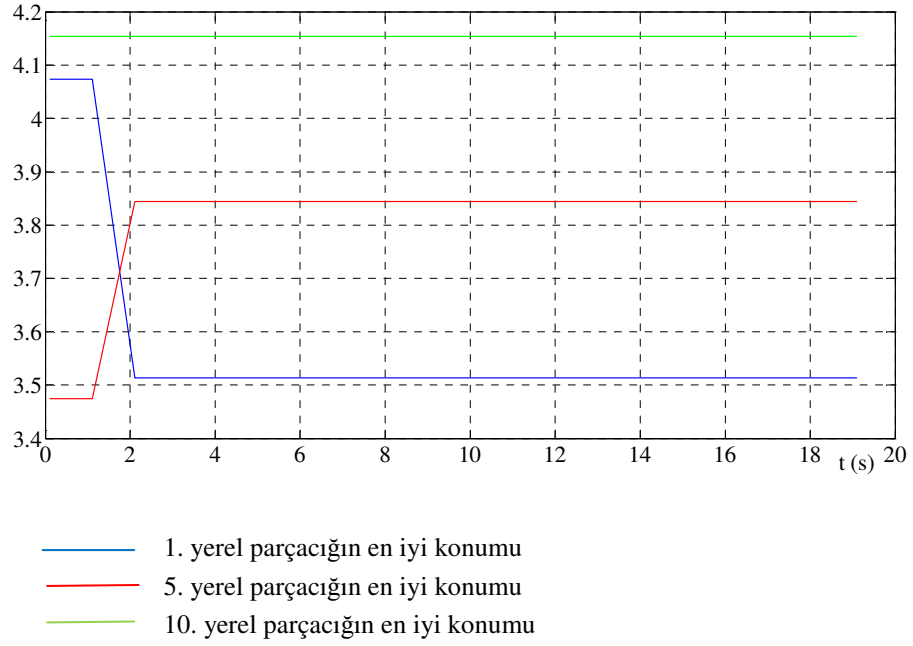
Şekil B.14: Kıç omuzluktan gelen karışık dalgalarda, kapalı çevrim süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerin yalpa frekansına etkileri.



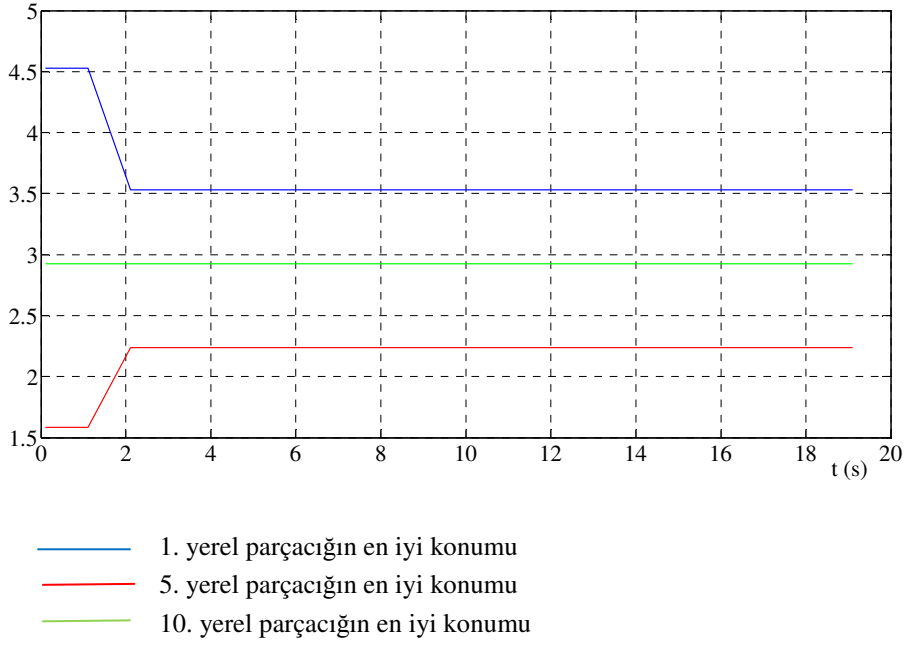
Şekil B.15: Kıçtan gelen boyuna karışık dalgalarda, kapalı çevrim süresi 1 s iken, PDD² ve PSO/THEPSO-PDD² denetleyicilerin yalpa frekansına etkileri.



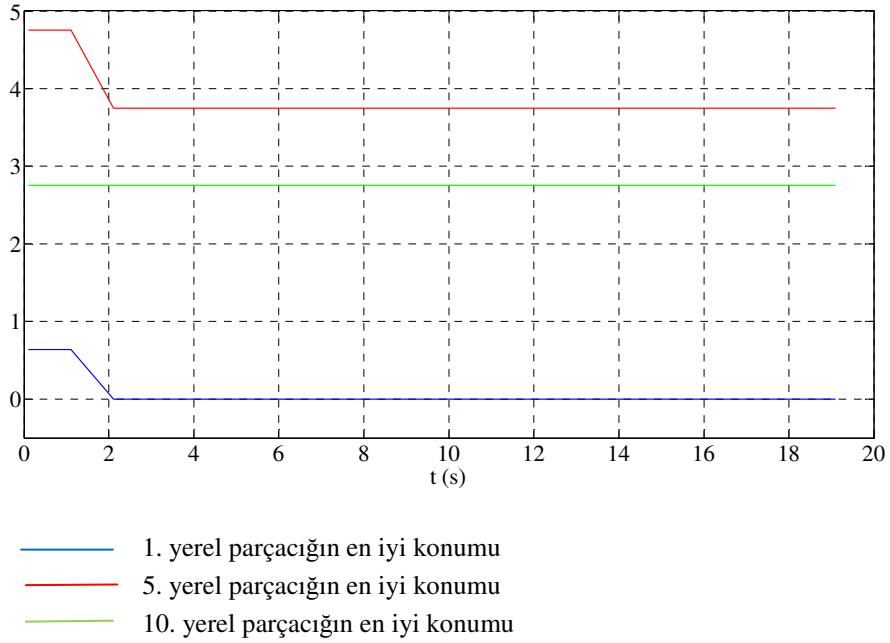
Şekil B.16: Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında genel en iyi K_p , K_d ve K_{d2} katsayıları.



Şekil B.17: Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_p katsayıları.



Şekil B.18: Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_d katsayıları.



Şekil B.19: Gerçek zamanlı PSO-PDD2 denetleyici uygulamasında yerel en iyi K_{d2} katsayıları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Melek Ertogan

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul – 02 Mart 1975

Adres: İTÜ Denizcilik Fakültesi Tuzla, İstanbul

E-Posta: ertogan@itu.edu.tr

Lisans: İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi,
Gemi İnşaatı ve Makinaları Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,
Gemi İnşaatı Programı

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2009-2010 TC Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından verilen “Teknogirişim Sermaye Desteği” ile “Gemilerde Yalpa Azaltıcı Kontrol Yüzeylerinin Kontrol Sistem Tasarımı” konulu projeyi tamamladı.

2006- İTÜ Denizcilik Fakültesi, Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü’nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

2004-2006 Proteksan Turquaz Yat, Tuzla Tersaneler Bölgesi İstanbul’da, Proje Mühendisi olarak görev yaptı.

2000-2004 İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Bölümü’nde Araştırma Görevliliği yaptı.

1998-2000 Sedef Tersanesi Tuzla Tersaneler Bölgesi, İstanbul’da Ticari Proje Mühendisi olarak görev yaptı.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Ertogan M., Ertuğrul Ş., Taylan, M., 2011: Gemilerde Yalpa Sönümleyici Aktif Fin Sistemi Benzetimi ve Deneysel Uygulaması, *4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS, Ankara.*

