

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BALIKÇI TEKNESİNİN YALPA HAREKETİNİN DİNAMİK ANALİZİ VE
KONTROLÜ**

HAKAN DEMİREL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ.DR. FUAT ALARÇİN**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR BALIKÇI TEKNESİNİN YALPA HAREKETİNİN DİNAMİK ANALİZİ VE
KONTROLÜ**

Hakan DEMİREL tarafından hazırlanan tez çalışması 26.09.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Fuat ALARÇİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fuat ALARÇİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muhsin AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Fuat ALARÇİN beye, konunun tespitinden itibaren her zaman vakit ayırarak çok değerli fikirleri ile çalışmalarına yön veren ve tezin bu noktaya gelmesine yardımcı olan hocalarım Yrd. Doç. Dr Bekir ŞENER, Yrd. Doç. Dr Muhsin AYDIN ve her zaman desteğini aldığım çalışma arkadaşlarım Arş.Gör. Ahmet YURTSEVEN ve M.Ertuğrul SU beye, teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 2013

Hakan DEMİREL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez	7
BÖLÜM 2	
GEMİ YALPA HAREKETİ	8
2.1 Matematik model.....	8
2.2 Yalpa Dengeleme Sistemi	11
2.3 Yalpa Dengeleme Sistemlerinin Çalışma Prensipleri.....	11
2.4 Yalpa Kanat Geometrisi	12
2.5 Yalpa Hareketinin Kararlılık Analizi	17
BÖLÜM 3	
KONTROL UYGULAMALARI	20
3.1 Pıd ve Mpıd Kontrol.....	20

BÖLÜM 4	
MODEL GEMİ VE ÖZELLİKLERİ ve NACA PROFİLİ CFD SONUÇLARI	25
4.1 Model Gemi ve Özellikleri	25
4.2 Naca Profili Cfd Sonuçları	28
BÖLÜM 5	
SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	38
BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	46

SİMGE LİSTESİ

A_F	Yalpa Kanat Alanı
B	Gemi genişliği
CL	Kaldırma Katsayısı
Δ	Deplasman
\emptyset	Yalpa açısı
GM	Metasantır Yüksekliği
GZ	Doğrultma Moment Kolu
l_F	Yalpa kanadı kuvvet kolu
KG	Ağırlık merkezinin düşey konumu
L	Gemi boyu
M_F	Yalpa dengeleme kanat momenti
M_w	Dalga momenti
ρ	Akışkanın yoğunluğu
T	Geminin draftı
ω_e	Karşılaşma Frekansı

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
IMO	International Maritime Organization
ISM	International Code on Intact Stability
MPID	Modified Proportional-Integral-Derivative
PID	Proportional-Integral-Derivative

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Altı serbestlik dereceli gemi hareketleri (Peşman, 2011)8
Şekil 2. 2	Yalpa hareketinde tepki kuvvetlerinin gösterimi (Alarçin, 2005)10
Şekil 2. 3	GZ- $\dot{\phi}$ eğrisinin grafiği (Surendran,2007)10
Şekil 2. 4	Yalpa omurgaları - Yalpa tankları - Yalpa kanatları12
Şekil 2. 5	Aktif Kanat Dengeleme Sistemi.....13
Şekil 2. 6	Hücum açısı ile kaldırma ve sürtünme kuvvetleri13
Şekil 2. 7	Yalpa Dengeleme Sistemi Yerleşimi14
Şekil 2. 8	Lyapunov fonksiyon grafiği19
Şekil 3. 1	Değişik yapılarda oluşturulmuş PID kontrollü kapalı çevrim sistemleri21
Şekil 3. 2	Klasik PID kontrolcü kapalı çevrimi22
Şekil 3. 3	Modifiye PID kontrolcünün kapalı çevrimi23
Şekil 4. 1	Balıkçı gemisinin formu (Aydın, Akyıldız, 2005)26
Şekil 4. 2	Model Gemimizin GZ- $\dot{\phi}$ eğri grafiği26
Şekil 4. 3	Kaldırma Katsayıları(C_L)28
Şekil 4. 4	0 Derece hücum açısı hız gradyeni30
Şekil 4. 5	0 Derece hücum açısı basınç gradyeni30
Şekil 4. 6	5 Derece hücum açısı hız gradyeni31
Şekil 4. 7	5 Derece hücum açısı basınç gradyeni31
Şekil 4. 8	10 Derece hücum açısı hız gradyeni32
Şekil 4. 9	10 Derece hücum açısı basınç gradyeni32
Şekil 4. 10	15 Derece hücum açısı hız gradyeni33
Şekil 4. 11	15 Derece hücum açısı basınç gradyeni33
Şekil 4. 12	20 Derece hücum açısı hız gradyeni34
Şekil 4. 13	20 Derece hücum açısı basınç gradyeni34
Şekil 4. 14	25 Derece hücum açısı hız gradyeni35
Şekil 4. 15	25 Derece hücum açısı basınç gradyeni35
Şekil 4. 16	30 Derece hücum açısı hız gradyeni36
Şekil 4. 17	30 Derece hücum açısı basınç gradyeni36
Şekil 4. 18	35 Derece hücum açısı hız gradyeni37
Şekil 4. 19	35 Derece hücum açısı basınç gradyeni37
Şekil 5. 1	Kontrollü ve kontrolsüz durumda yalpa açısı38
Şekil 5. 2	Kontrollü ve kontrolsüz durumda yalpa hızı39
Şekil 5. 3	MPID ve PID kontrolcü çıkışları40

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Üç Farklı Gemi Tipi İçin Boyutsuz Sönüm Katsayıları (Zhang,2009)15
Çizelge 3. 1	Kontrolcü parametreleri23
Çizelge 4. 1	Balıkçı gemisi ve yalpa dengeleyici kanata ait parametreler27
Çizelge 4. 2	Balıkçı gemisinin sönüm ve doğrultucu moment katsayıları27
Çizelge 4. 3	NACA 0015 Kanat profili analiz sonuçları.....29
Çizelge 5. 1	Kontrollü ve Kontrolsüz Durumdaki Yalpa Açısı ve Hızı Değerleri.....40

BİR BALIKÇI TEKNESİNİN YALPA HAREKETİNİN DİNAMİK ANALİZİ VE KONTROLÜ

Hakan DEMİREL

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Fuat ALARÇİN

Gemiler mevcut kuralların getirdiği gereklilikleri sağlamalarına rağmen stabilite konusundaki eksiklikler nedeniyle araştırmacılar için geçerliliğini koruyan bir alan olmuştur. Seyir halindeki bir geminin, zorlayıcı hidrodinamik kuvvetlerden dolayı yalpa hareketinin kararlı bölgenin dışına çıkabileceği bilinmektedir. Çalışmamızda yalpa hareketi için doğrusal olmayan bir yalpa denklemi kullanılmıştır. Yalpa hareketini optimum seviyelere getirmek için yalpa dengeleyici kanat tercih edilmiştir.

Model gemi olarak alınan bir balıkçı gemisi yalpa denkleminin, Lyapunov metoduyla stabilite analizi yapılmış ve sistemin kararlı bölgede olduğu ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan yalpa denklemindeki doğrultucu moment ve sönüm katsayıları ampirik formüllerle hesaplanmıştır. Yalpa dengeleyici kanata ait kaldırma katsayıları ise StarCCM+ paket programı ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi yapılarak bulunmuştur.

Balıkçı gemilerinde avlanma ve seyir durumları göz önüne alındığında stabilite konusunun daha önemli olduğu görülmektedir. Bu yüzden iki farklı kontrol yöntemi kullanılarak yalpa dengeleyici kanat sayesinde doğrusal olmayan yalpa hareketinin ve kararlılığının optimum değerlere gelmesi sağlanmıştır.

PID ve MPID kontrol yöntemleriyle yalpa hareketi minimize edilmiştir. Kontrollü ve kontrolsüz durumlardaki yalpa açısı ve hız diyagramları çizilmiş ve sonuçlar mukayese edilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, balıkçı gemisi yalpa dengeleyici kanat sisteminde

MPID kontrol yönteminin PID'ye göre daha verimli bir kontrol yöntemi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lyapunov metodu, CFD, PID, Yalpa Dengeleyici Kanat

**DYNAMIC ANALYSIS AND CONTROL OF THE FISHING BOAT'S ROLL
MOTION**

Hakan DEMİREL

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Fuat ALARÇIN

Ships remain a research subject for researchers as they lack fundamentals about stability despite meeting the requirements of current laws. It is known that a ship on route is likely to be off the stable zone due to disrupting hydrodynamic forces of a ship roll motion. Non-linear roll equation was used for roll motion in our study. Fin roll stabilizer was preferred for roll motion' optimum levels.

Fishing boat is our model ship. Stability analysis was conducted using Lyapunov method and it was realized that system was stable. Non-linear roll motion equation's roll restoring moment coefficients and damping coefficients were expressed by empirical formulas. Computational fluid dynamics analysis had been done with Star CCM + package software for lift coefficients related to fin roll stabilizer. All values were used for control applications.

Stability is more important subject for fishing boat because hunting and navigation conditions effect fishing boat significantly. So two different control methods were used for obtain optimum non-linear roll motion thanks to fin roll stabilizer.

Roll motion was minimized via PID (Proportional-Integral-Derivative) and MPID control methods. Roll angle and velocity graphes were plotted for controlled and uncontrolled conditions. Graphes were compared eachother.It realized that MPID control method is more effective than PID control method.

Keywords: Lyapunov Method, CFD, PID, Active Fin Roll Stabilizer

1.1 Literatür Özeti

Dalgalar arasında seyir yapan bir geminin üç tane öteleme, üç tane dönme hareketi olmak üzere altı serbestlik dereceli bir hareket yaptığı bilinmektedir. Gerçeğe yakın bir matematiksel model için altı farklı harekete ek olarak bu hareketlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Ancak, altı serbestlik dereceli bir modeli matematiksel olarak çözüme ulaştırmak farklı zorlukları beraberinde getirmektedir. Bütün bu bilgiler, modeli oluşturan denklemlerin ya lineer olmasını ya da lineer olmayan terimlerinin olabildiğince az olmasını gerektirmekte, lineer olmayan terimlerin yetersiz oluşu da elde edilen sonuçların hassasiyetini etkilemektedir.

Fossen (1994), belirli bir rota üzerinde ilerleyen geminin davranışını inceleyebilmek için nonlineer gemi hareket denklemlerini sistematik bir şekilde basitleştirmek gerektiğini ifade etmiştir. Bunun için, geminin hareketinde referans alınan eksenin başlangıç noktasının ağırlık merkezinde olduğu kabulünü yaparak ve gemide enine ve boyuna simetri alınmak suretiyle hesaplamalarda kolaylık sağlanacağını ifade etmiştir [1].

Paulling ve Rosenberg (1959) dalgalar arasındaki bir geminin hareketlerini üç serbestlik derecesinde teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında doğal frekansın zorlama frekansına oranının yaklaşık olarak yarısı civarında stabilite kayıplarının gerçekleştiğini göstermişlerdir [2].

Gemilerin stabilitesi günümüze kadar olan zaman dilimi içinde araştırmacılar için geçerliliğini koruyan bir alan teşkil etmiştir. Bu alanda kabul edilen IMO (International Maritime Organization) kurallarının ve IS (International Code on Intact Stability)

kodunun mevcut gemiler için yetersiz kalması, yani gemilerin kuralların getirdiği gereklilikleri sağlamalarına rağmen devrilebilmeleri ayrıca bu durumlara ek olarak yalpa hareketinin de tam anlamıyla açıklanamamış olması bu konuları daha ilgi çekici hale getirerek üzerine yapılan incelemelerin sayısını artırmıştır.

PiereBouger 1746 yılında enine metasantr yarıçapı BM'i, su hattı atalet momentinin deplasman hacmine oranı olarak ifade etmiştir. Bu durumda da gemilerin stabilitelerinin belirlenmesinde kullanılan enine metasantr yüksekliği GM, denklem (1.1)' de gösterildiği gibi tanımlanmıştır [3].

$$GM=KB+BM-KG \text{ (1.1)}$$

Burada KB yüzme merkezinin dikey koordinatı ve KG ağırlık merkezinin dikey koordinatıdır

Grim (1952), dalgalar arasında doğrultma momentinin zamanla değişimini farklı bir amaç için kullanmıştır ve bir yalpa denklemini modellemiştir [4].

Grim, Mathiue denkleminin stabilitesi hakkında bilinenleri kullanarak yalpa denkleminin olası stabil olmayan bölgelerini göstermiştir. Grim (1954) yılında yalpa denklemini daha genel halde bir denklem tipinde düşünmüştür [5].

Yalpa hareketi ile ilgili ilerleyici çalışmalar Dalzell (1978) tarafından yapılmış ve alternatif sönüm modellerini ortaya koymuştur [6]. Özel balıkçı gemileri için sönüm momenti modelleri üzerine deneysel çalışmalar Haddara (1984), Haddara vd. (1999) devam etmiş, çalışmalar sadece hızabağlıquadratik sönüm modelinin iyi sonuç verdiğini göstermiştir [7,8]. Özkan (1977), durgun denizde yüzen bir geminin ağırlık ve su altı kuvvetlerinin eşit olması ile dengede olduğunu vebu denge kavramının doğrultma moment kolu (GZ) ile belirleneceğini ifade etmiştir [9].

Haddara (1995), geminin rastgele deniz koşullarında seyri sırasında belirlenen yalpa açıları değerlerine göre, istatistik analizindeki rastgele azalan ve yapay sinir ağları yöntemleri ile tek serbestlik dereceli yalpa hareketi modeli katsayılarını, belli bir yaklaşımla hesaplamıştır [10].

Bir serbestlik dereceli nonlinear yalpa hareketinin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de nümerik yollarla çözüm elde etmektir. Nonlinear diferansiyel

denklemlerin nümerik çözümü üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Soliman ve Thompson (1991) çalışmalarında, bir nonlinear diferansiyel denklemlerle modellenen yalpa hareketinin güvenli bölgelerini dördüncü mertebeden Runge-Kutta yöntemiyle elde etmiş, girişim eğrileri ile sönüm, zorlama kuvveti genliği ve frekansına bağlı olarak temel güvenli bölgenin (zorlamamış yalpa hareketinin güvenli bölgesi) nasıl değiştiğini ifade etmişlerdir [11].

Taylan (1999), bir nonlinear yalpa hareketi modeli ve bu modelin zaman düzleminde, genelleşmiş Krylov-Bogoliubov asimptotik metoduyla çözümünü incelemiştir. Modelde nonlinear düzeltme terimleri üçüncü dereceden bir polinoma, nonlinear sönüm de ikinci dereceden bir terime benzetilmiştir [12]. Taylan(2000), dalgalar arasında ilerleyen bir geminin yalpa hareketini ifade eden nonlinear denklem formunu genelleştirip, Duffing metoduyla çözdüğünü belirtmiş ve durumu frekans düzleminde incelemiştir [13].

Peşman (2011) doktora tezinde düzenli dalgalar için, lineer olmayan sönüm ve doğrultma momenti terimlerinden oluşan 1 serbestlik dereceli “parametrik yalpa hareketi modeli” oluşturmuştur. Modelde, zaman ve anlık yalpa açısıyla değişen analitik doğrultma momenti kullanılarak, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin yalpa hareketi üzerindeki etkisini modelin bünyesine katmıştır. Çalışmasında oluşturduğu bilgisayar koduyla sönüm katsayılarının, zamana bağlı olarak hesaplanabildiğini ifade etmiştir. Ayrıca bu çalışmada, başlangıç şartlarının yalpa hareketi üzerindeki etkisi de incelenmiş olup, son olarak karışık deniz durumu için yalpa hareketi analizi yapıldığını, sonuçların düzgün deniz için yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığını, özellikle baş dalgalarında sonuçların birbiriyle uyum içerisinde olduğunu göstermiştir [14].

Üçer (2007) doktora tezinde, gemilerin enine stabilitesiyle ilgili olarak kullanılan yöntemlerin bazılarını geliştirerek yeni bir yorum içerisinde bir uygulama yapmıştır. Mevcut uygulanmakta olan IS kodunun geliştirilmesi için çekirdek bölge kavramını ortaya atmış, stabilite kurallarında yer almayan sönüm momentinin, rüzgar momentinin ve başlangıç meyil açısının önemini, yalpa hareketi güvenli bölgeleri, girişim eğrileri ve enerji-zaman grafiklerini kullanarak ortaya koymuştur. Bu çalışmada gemilerin enine stabilitesini, bordadan gelen dalgalarda gemilerin stabilitesi ve

parametrik zorlama etkisi altında yalpa hareketi (özellikle kış ve kış omuzluktan gelen dalgalarda gemilerin stabilitesi) olmak üzere iki başlık altında incelemiştir [15].

Gemi hareketlerinin analiz aşamasında davranışlarının kararlı olup olmadığını anlamak büyük bir öneme sahiptir. Hareketlerin kararsızlığını gidermek için çeşitli kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Bu kontrolcü algoritmaları hareketin en uygun genlik ve ivme değerini sağlamak için tasarlanır.

Kararlılık üzerine bugüne kadar yapılan çalışmaların en önemlilerinden birisi Lyapunov'un (1892) doktora tezidir [16]. Lyapunov kararlılık problemini n. dereceden sistemler için genelleştirmiş ve iki ayrı yöntem önermiştir. Birinci yöntem denklem çözümlerinden yararlanır. "Lyapunov Direkt Yöntemi" olarak bilinen ikinci yöntem ise sistemi tanımlayan denklemleri nitelik yönünden incelenmesini içerir. (Jordan ve Smith, 1979) [17].

Gemi hareket kontrol sistemleri, doğrultu ve yalpa dengelemesi, dinamik pozisyonlama, yalpa sönümü konuları ile ilgilenmektedir (Sorensen ve Strand, 2000; Kallström, 2000; Morawskive Pomirski,1998) [18,19,20]. Bu kontrol sistemlerinin tasarımında, gemi dinamik karakteristiği hakkında kapsamlı bilgiye sahip olunması önerilmiştir (Fossen, 2002) [21]. Yapılan çalışmalar da genelde iki hedef üzerinde durulmuştur. Bunlardan biri yolcunun ve yüklerin etkilenmesini en aza indirmek diğeri ise seyir karakteristiğini düzenlemektir. Bu iki özelliğin birbirine bağlı olması nedeniyle birinin iyileşmesinin diğerin de iyileşmesi anlamına gelmektedir.

Alarçin (2005) doktora tezinde, gemilerin dalgaların karakteristiklerine ve gemiye geliş yönlerine göre hem savrulma ve hem de yalpa hareketini diğer hareketlere göre daha belirgin yaptığını vurgulamış, çalışmasında aynı anda hem savrulma hareketi ve hem de yalpa hareketinin sönümlenmesi için, dümen ve yalpa kanat kontrol sistemlerine Dahili Model Kontrol (DMK) metodunu uygulamıştır. Bu kontrol metodu için bulanık mantık ayarlama mekanizmasının geliştirildiğini ve model alınan gemide kullanılmak üzere Bulanık Ayarlamalı Dahili Model Kontrol (BA-DMK) metodunun iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir [22].

Yalpa hareketinin dengelenmesinde, geminin her iki tarafına optimum kanat alanına sahip hidrolik kanat sistemi yerleştiren Kawazoe vd. (1994) bu uygulamada optimum kanat alanının yalpa sönüm performansını arttırdığını ifade etmiştir [23].

Vetus (2003) gövdenin dış kuvvetlere cevabının gövdedeki yalpa dengeleme sistemi performansına etkisinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle optimum kanat alanı seçmek için hem dalga meyil kapasitesi hem de gövde hareket simülasyonlarına dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir [24].

Sgobbo ve Persons (1999), bir serbestlik dereceli modeli esas alarak aktif kanat dengeleme sistemi ile yalpa hareketini sönümlemeye çalışmışlardır. Aynı zamanda üç serbestlik dereceli WMEC901 sınıfı geminin model alındığı bu çalışmada yalpa dengeleme sistemlerinin yalpa genliğini %35 azalttığı görülmüştür [25].

Perez ve Goodwin (2008), kötü deniz şartlarında düzensiz hidrodinamik etkilerden dolayı gemi yalpa sönümleyicisinin performansının ciddi bir biçimde kötüleşebildiğini belirtmişlerdir. Bu lineer olmayan etkilerin yalpa kanadının hücum açısı belli bir sınır açısını aştığında çok daha bozucu olduğunu ifade etmişlerdir [26].

Ghassemi vd. (2010) tarafından çalışmalarında yalpa kanatlarıyla alakalı olarak yalpa dengeleyicilerinin dalgaların ürettiği kuvvetlere karşı gemi yalpa hareketini kontrol etmek için çok verimli ekipmanlar olduğu ifade edilmiştir. Hücum açısıyla yalpa dengeleyicisinin etrafındaki akıştan dolayı oluşan kaldırma kuvvetlerinin aksi bir yalpa momenti oluşturduğu belirtilmiştir. Bu yüzden hücum açısının kontrolünün gemi yalpasını azaltmada önemli bir rol oynadığını vurgulayarak rasgele dalgalarda yalpa genliğini azaltmak için PID ve Yapay Sinir Ağı kombinasyonunun kullanıldığını ifade etmişlerdir [27].

Karakaş vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada bordadan alınan dalgalarda geminin yalpa sönümleyici kanat sistemleri için Lyapunov metoduna dayalı bir kontrolcü dizayn etmişlerdir. Örnek alınan geminin yalpa hareketinin matematik modelini oluşturunken tek serbestlik dereceli kabulü yapılmış ve modele üçüncü mertebeden doğrusal olmayan terimler ilave edilmiştir. Lyapunov metoda dayalı yalpa sönümleyici kontrol sisteminin düzgün çalıştığı ve servis hızına yakın hızlarda geminin alabora olma ihtimalinin kontrol sistemi tarafından önemli ölçüde azaltıldığı vurgusu yapılmıştır [28].

Nicolau vd. (2007) tarafından yalpa açısı verilerine bağlı, dalga etkisini öngören diğer bir modellemede yapay sinir ağları ile yapılmıştır. Yalnızca rota kontrolünü sağlayan dümenin, oluşabilecek yalpa hareketlerini azaltmak veya daha da arttırmamak amacıyla kullanılabilmesi için, dalga etkilerinden meydana gelebilecek yalpa hareketlerini öngörebilen bir modelden elde edilecek ikinci bir değişkene ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir. 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. Simülasyon çalışmaları sonucunda; daha ileri adımları öngörebilmek için, modelin girişindeki veri sayısının artırılması gerektiği ifade edilmiştir [29].

Bunlara ek olarak Guan ve Zhang (2009) ise geri adımlamalı kontrol teoremiyle çalışan dayanıklı yalpa dengeleyicisi konusu incelemişlerdir. Yapılan çalışmada kontrolcünün iki kısımdan oluştuğu ifade edilmiştir. Birincisinin kapalı döngülü biçimli bir algoritmayla dizayn edilen bir PID kontrolcüye dönüştüğü belirtilmiştir. İkincisinin ise bu PID kontrolcünün performansına katkı sağlamak düşüncesiyle düzeltme ve sönümlenme momentlerinin lineer olmayanlarını alarak lineer olmayan bir eşitlik sağlandığı durum olduğu belirtilmiştir. Kontrolcüyü uygulamayı daha kolay hale getirmek için, yüksek dereceli lineer olmayan terimlerin yüksek doğruluklu şartlar taşımadığı düşüncesiyle dışarıda bırakılabileceği ifade edilmiştir. Aynı zamanda kontrolcünün farklı sefer şartları için dayanıklı olmakla beraber basit ve anlaşılır bir dizayn prosedürüne sahip olduğu ifade edilmiştir [30].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada bir balıkçı teknisinin doğrusal olmayan yalpa hareketi incelenip Lyapunov metodu ile stabilite analizi yapılarak sistemin kararlı olduğu görülmüştür. Avlanma ve seyir açısından optimum şartları sağlamak için yalpa dengeleyici kanadın kontrolü PID ve MPID kontrol yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yalpa açısının her iki durum içinde minimize edildiği görülmüş yalpa açısı ve hız diyagramları çıkarılarak en verimli kontrol yönteminin tespiti amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

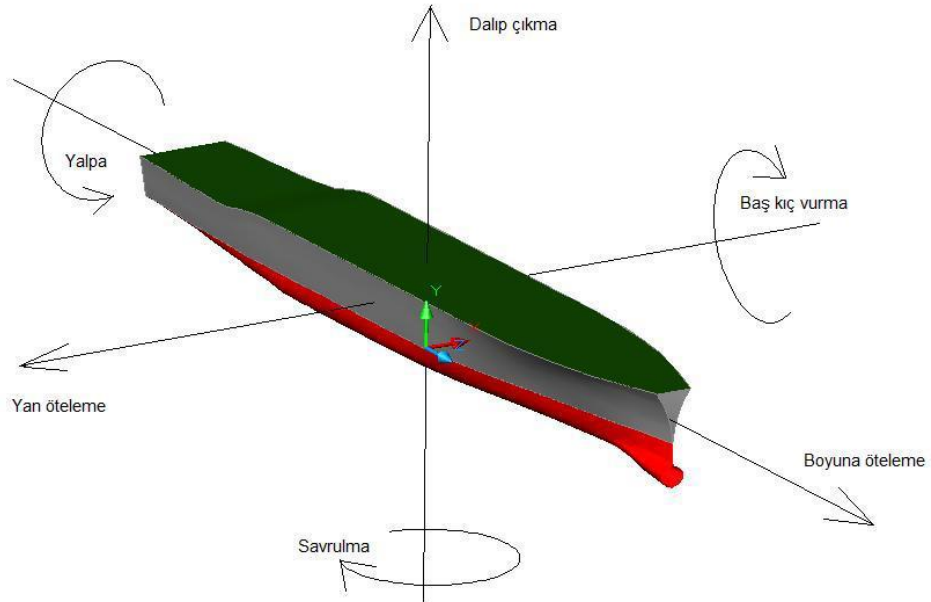
Önceki başlıkta bahsedilen kontrolcü yapıları ile yalpa açısı minimize edilebilir ve istenilen sönüm değerlerine ulaşılabilir.

GEMİ YALPA HAREKETİ

Bu bölümde bir balıkçı gemisi için doğrusal olmayan yalpa hareketinin sönümlenmesinde kullanılan yalpa dengeleme kanat sisteminden bahsedilecektir.

2.1 Matematik model

Dalgalar arasında seyir yapan bir geminin dinamiği şekil 2.1’ de gösterildiği gibi dalıp çıkma, baş-kıç vurma, boyuna öteleme, yan öteleme, savrulma ve yalpa hareketlerinden oluşan altı serbestlik dereceli bir harekettir.



Şekil 2. 1 Altı serbestlik dereceli gemi hareketleri (Peşman, 2011)

Gemilerin çevre koşullarına bağlı olarak her hareketi aynı genlikte ve ivmede yapamadığı düşünüldüğünde, serbestlik derecesinin düşürülmesi çözüm kolaylığı sağlamaktadır. Fiziksel modeli oluşturan bileşenler ve yalpa hareketi için oluşturulmuş olan tek serbestlik dereceli matematiksel model daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan modeller Fossen (1994), Taylan (1999), Surendran (2007), Şafak vd. (2012) ve aşağıda yapılan kabuller esas alınarak ifade edilmiştir.

- Gemi sancak ve iskele doğrultusunda simetriye sahiptir.
- Geminin bütün diğer serbestlik dereceleri ihmal edilmiştir.
- Gemi rijid kabul edilmiştir.

Bu kabullere ve referanslarda esas alınan denklemlere dayanarak doğrusal olmayan yalpa hareketi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$(I + J)\ddot{\emptyset} + B_1\dot{\emptyset} + B_2\dot{\emptyset}|\dot{\emptyset}| + B_3\dot{\emptyset}^3 + \Delta(c_1\emptyset + c_3\emptyset^3 + c_5\emptyset^5 + c_7\emptyset^7) = \omega_e^2 \alpha_m I \cos(\omega_e t) - M_f \quad (2.1)$$

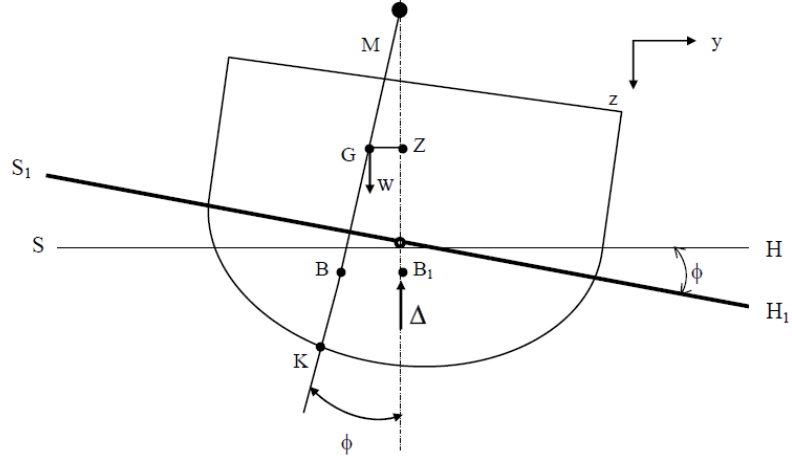
$(I + J)$: Geminin harekete karşı reaksiyonundan doğan yalpa atalet momentiyle, deniz suyunun gemi hareketine karşı reaksiyonundan doğan ek kütle atalet momentinin toplamını göstermektedir ve hareketin ivmesine bağlıdır.

\emptyset : Yalpa açısı (radyan)

B_1, B_2, B_3 ($\dot{\emptyset}$): Sönüm momentini ifade etmektedir. Bu terim, gemi boyunca dalgaların oluşturduğu yalpa hızıyla değişen direnç momentiyle, yalpa hızının karesiyle orantılı olarak suyun viskozite etkisine bağlı olarak değişen momentin toplamına eşittir.

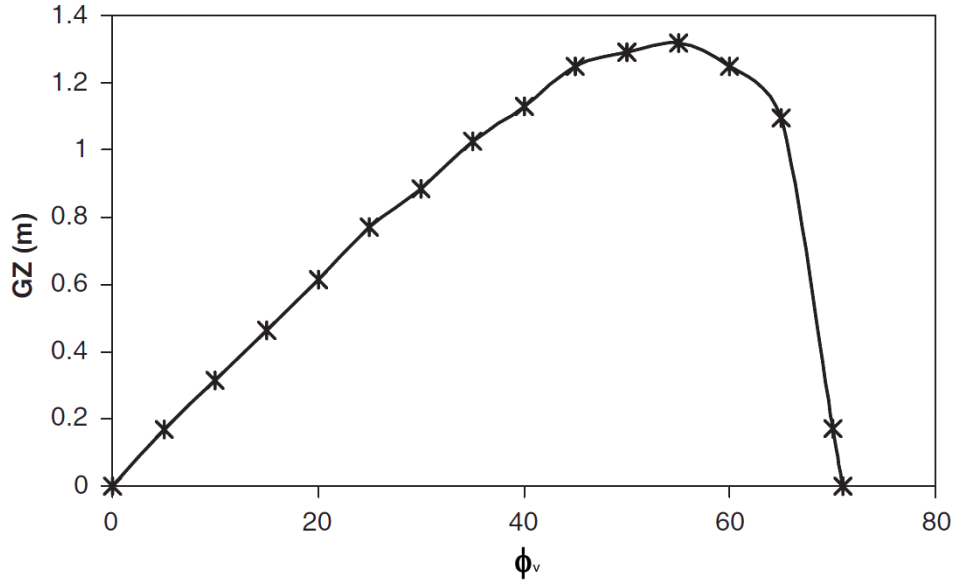
c_1, c_3, c_5, c_7 : Yalpa doğrultucu moment katsayılarını ifade etmektedir.

Geminin deplasmanı (Δ), başlangıç metasantr yüksekliği (\overline{GM}), doğrultucu moment kolu (\overline{GZ}), ağırlık merkezinin düşey mesafesi (\overline{KG}) şekil 2.2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. 2 Yalpa hareketinde tepki kuvvetlerinin gösterimi

Genellikle gemi stabilitesi $GZ(\phi)$ eğrisine göre değerlendirilmektedir. Bu durumda herhangi bir meyil açısındaki doğrultucu moment kolu; $GZ(\phi) = GM \sin \phi$ şeklinde ifade edilir. GM ise; $GM = KB + BM - KG$ şeklindedir. Şekil 2.3 de örnek bir $GZ - \phi_v$ eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2. 3 $GZ - \phi_v$ eğrisinin grafiği (Surendran, 2007)

ϕ_v : Devrilme açısı,

A_{ϕ_v} : $GZ - \phi_v$ eğrisi altındaki alan olarak ifade edilmektedir.

2.2 Yalpa Dengeleme Sistemi

Denge konumunda, yani düşey veya buna yakın bir konumda, yüzmekte olan bir gemi bellibir geçici tesir altında bu konumdan ayrıлып, denge konumu etrafında salınım hareketi yaparak zamanla eski konumuna ulaşıyorsa, bu durumda denge konumuna kararlıdır denir (Özkan, 1977).

Eğer dalga, rüzgâr gibi geminin denge durumunu bozucu olan etkiler kısa bir süre değilde gemiye sürekli olarak etki ediyorsa geminin ilk konumuna dönmesi olanaklı değildir. Bununla beraber, yalpa hareketi yapan bir gemide başlıca; yüklerin zarar görmesi, yolcular için rahat bir seyahat ortamı sağlanamaması, gemideki görevlilerin işlerini gerektiği gibi ve zamanında yapamaması, gemi rotasının dalgalara göre sürekli değiştirilmesi gibi sıkıntılarla karşılaşmaktadır.

Bu nedenle yalpa hareketinin genel karakteristiği ve meydana gelen problemler düşünülerek birçok yalpa sönümleyici sistem teorisi ve tasarımı ortaya çıkarılmıştır. Gemilerde yalpa azaltıcı sistemler, pasif yalpa azaltıcı ve aktif yalpa azaltıcı sistemler olarak ikiana başlıkta ifade edilir.

Pasif yalpa azaltıcılarda, ek bir güce ve özel bir kontrol aygıtına ihtiyaç yoktur. Yalpa hareketi yardımıyla harekete zıt yönde moment oluşturularak enerji absorbe edilir. Bu gruba ait en önemli yalpa azaltıcıları, yalpa omurgaları, sabit kanatlar, pasif yalpa tankları ve pasif hareketli yalpa ağırlıklarıdır.

Aktif yalpa azaltıcı sistemlerde gemi su altı yüzeyinden dışarı çıkabilen kontrol yüzeyleri, bordadan bordaya sıvı veya katı ağırlıklar hareket ettirilerek veya dümen sistemi ile yalpa genlikleri azaltılabilir. Bütün aktif yalpa azaltıcılarının çalışma prensibi yalpaya karşı zıt bir moment oluşturma esasına dayanır. Başlıca yalpa azaltıcı sistemler aktif yalpa kanatları, aktif yalpa tankları, aktif hareketli ağırlıklardır.

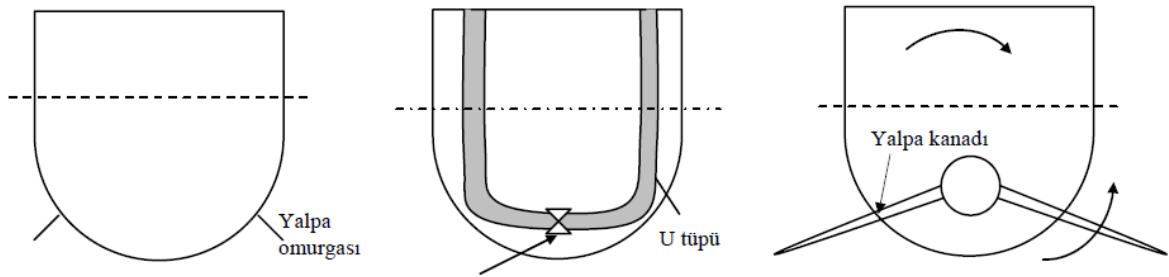
2.3 Yalpa Dengeleme Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

Genel olarak yalpa azaltıcı sistemlerle yapılmaya çalışılan yalpa açılarının küçültülmesi ve periyotlarının rahatsızlık çıkarmayacak kadar uzatılmasıdır. Yalpa omurgaları ilerleme yönünde ve en az direnç oluşturacak şekilde, gemi gövdesinde sintine dönümüne dik olacak şekilde ve akım hatlarına paralel olarak yerleştirilirler (Şekil 2.4).

Yalpa omurgaları ucuz olmasına karşın gövde direncini arttırmaktadır. Bununla birlikte önemli miktarda seyir hızında azalmalar görülür.

Yaygın olarak kullanılan yalpa azaltıcı tanklar, serbest su yüzeyli tanklar, U borusu biçimindeki ve ayrılmış şeklindedir. Bu sistemler, düşük hızlarda yalpa hareketi sönümü sağlamaktadır. Dezavantajı ise serbest su yüzeylerinden dolayı metasantryüksekliğini azaltmaktadır. Ayrıca oldukça fazla yer kaplamaktadırlar. İlk olarak 1874 yılında kullanılmışlardır.

Yalpa azaltıcı kontrol yüzeyleri yüksek seyir hızlarında oldukça iyi yalpa sönümü sağlamaktadır. Gemide daha az yer işgal etmesi, hafif oluşu nedenleriyle çok kullanılmaktadırlar. Bu tip kontrol yüzeyinin dezavantajı gövde direncini arttırması ve yatırım maliyetinin pahalı oluşudur. Aynı zamanda düşük seyir hızlarında yalpa azaltmadaki etkinliği hemen hemen ortadan kalkar.



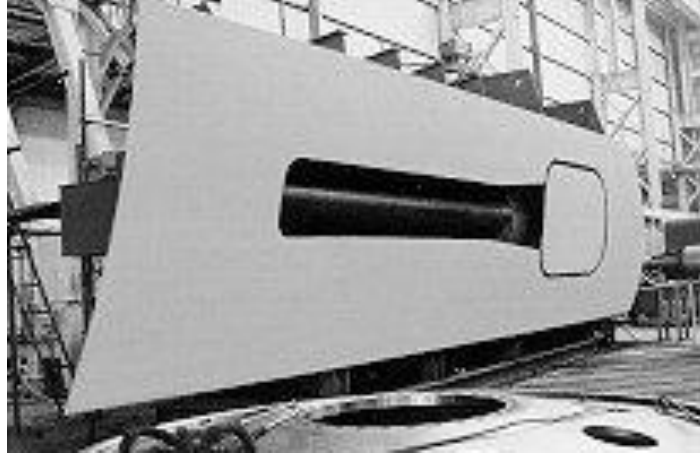
Şekil 2. 4 Yalpa omurgaları

Yalpa tankları

Yalpa kanatları

2.4 Yalpa Kanat Geometrisi

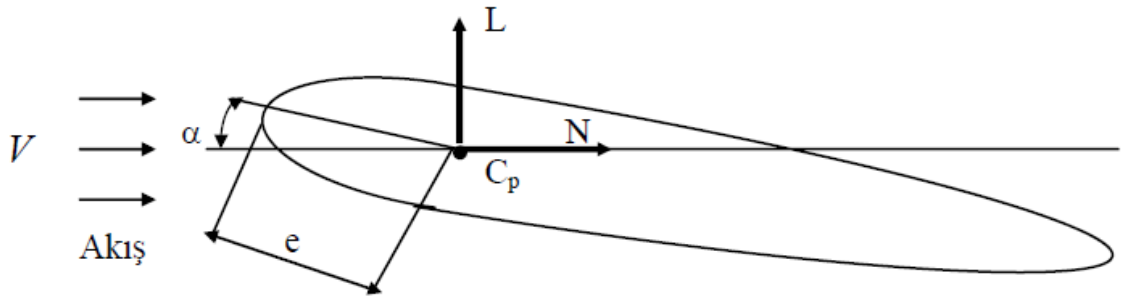
Yalpa kanatları, gemi sintine dönümü civarında, gemi yüzeyine dik olarak bu yüzezdendişarıya doğru uzanan, içeriye çekilebilir veya katlanabilir tiplerde olabilen geminin sancak ve iskelesinde eşit büyüklükte ve aynı eksen üzerinde düzenlenmiş dümene benzer kanatçıklardır. Çoğunlukla simetrik hidrofoil kesitlere sahiptirler. Yalpa kanatları tek parçaolarak imal edilebildikleri gibi hareketli olarak da üretilebilmektedir. Şekil 2.5'de aktif kanat sistemlerinin montajı gösterilmektedir.



Şekil 2. 5 Aktif Kanat Dengeleme Sistemi

Yalpa dengeleme sistemleri ile donatılmış gemilerde karşılaşılabilecek en önemli sorun bazen gemi hızının kaldırma kuvveti yaratamayacak kadar düşük olmasıdır. Özellikle geminin hızının sıfır olduğu durumlarda hiçbir kaldırma kuvveti oluşmayacaktır. Kanat dengeleme sistemi savaş gemilerinde, özellikle uçak gemileri ve helikopter inişine gerek duyulan gemilerde pistlerin sabit bir seviyede sallantisız tutulmasına gerek olan durumlarda sıkça kullanılır. Günümüzde yalpa kanatları petrol tankerleri, savaş gemileri, konteyner gemileri arabalı vapurlar ve yolcu gemilerinde de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yalpa kanatları akışkan etkisi ile belli bir hücum açısı yapacak şekilde ilerler. Dönme ve hücum açısı sebebiyle oluşan kuvvetler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Hücum açısı ile kaldırma ve sürtünme kuvvetleri, (Perez vd.,2000)

Yukarıdaki şekilde gösterilen kuvvetler aşağıda ifade edilen formüller ile hesaplanabilmektedir.

$$L = \frac{1}{2} \rho V A_F C_L \quad (2.2)$$

$$N = \frac{1}{2} \rho V^2 A_F \left(C_{D0} + \frac{C_L \alpha^2}{0,9\pi\alpha} \right) \quad (2.3)$$

$$C_L = \frac{L}{0,5\rho V^2 A_F} \quad (2.4)$$

$$A_F = \frac{3,5BD}{T^2 V^2} \quad (2.5)$$

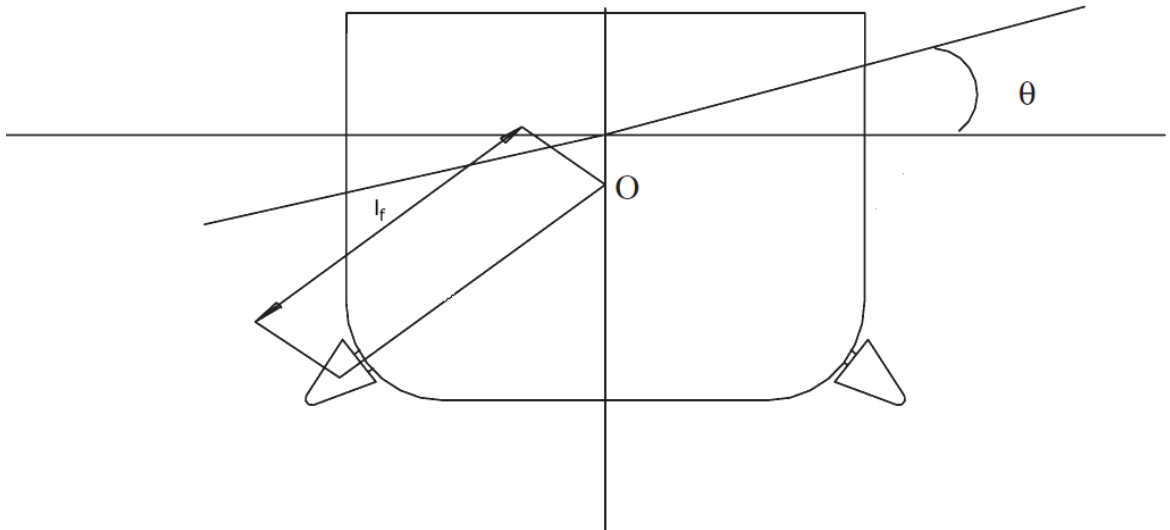
L : Kaldırma kuvveti, N : Sürtünme kuvveti, ρ : Akışkanın yoğunluğu, A_F : Yalpa kanat alanı, C_L : Kaldırma katsayısı, V : Gemi hızı, α : Yalpa kanadının hücum açısı, D :Geminin deplasmanı, C_{D0} : Minimum kesit sürtünmesi (NACA 15 profilinde $C_{D0} = 0.0065$)

B : Geminin su hattı genişliği, T : Yalpa periyodu olarak ifade edilmektedir.

Bu durumlar dikkate alındığında dalga ve yalpa dengeleyici kanata ait denklemler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$M_F : \rho V^2 A_F C_L l_F \propto \quad (2.6)$$

M_F : Yalpa dengeleme kanat momenti, l_F : Yalpa kanadı kuvvet kolu



Şekil 2. 7 Yalpa Dengeleme Sistemi Yerleşimi

Dalga momentinin fonksiyonu aşağıdaki gibidir bozucu bir kuvvet olarak sinüsoidal bir dalga fonksiyonunda kontrolcüyü zorlayıcı bir faktör olarak sisteme dahil edilmiştir.

$$M_w: \omega_e^2 \alpha_m I \cos(\omega_e t) \quad (2.7)$$

M_w : Dalga momenti

$$\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w^2}{g} V \cos(\mu_w) \quad (2.8)$$

ω_e : Karşılaşma frekansı, ω_w : Dalga frekansı, α_m : Maksimum dalga açısı

μ_w : Geminin dalgayla karşılaşma açısı olarak ifade edilir.

Doğrusal olmayan yalpa denklemini dikkate alındığında karşılaşılan önemli bir ifade de atalet kavramıdır. Atalet değeri geminin deplasmanına, genişlik ve ağırlık merkezinin düşey mesafesine bağlı olarak aşağıdaki gibi kabul edilmiştir (Zhang,2009).

$$(I + J) = \frac{\Delta}{12g} (B^2 + 4KG^2) \quad (2.9)$$

Bir serbestlik dereceli nonlinear yalpa denklemindeki sönüm katsayıları, farklı gemi tipleri için boyutsuz sönüm katsayılarının da hesaba katılmasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$B_1 = \frac{2a\sqrt{(I+J)\Delta GM}}{\pi} \quad (2.10)$$

$$B_2 = \frac{3}{4} b(I + J) \quad (2.11)$$

$$B_3 = 0.7B_2 \quad (2.12)$$

Çizelge 2. 1 Üç Farklı Gemi Tipi İçin Boyutsuz Sönüm Katsayıları (Zhang,2009)

Gemi Türleri	a	b
Yolcu Gemisi	0.05	0.0125
Kargo Gemisi	0.03	0.0155
Balıkçı Gemisi	0.1	0.0140

Doğrultucu moment katsayıları yaralı bir gemi için; $c_1 > 0, c_3 < 0, c_5 > 0$ and $c_7 < 0$ şeklinde ifade edilir ancak hasarsız bir gemi için $c_7 = 0$ kabulü yapılır. Yalpa doğrultucu

moment katsayıları aşağıdaki şekilde ifade edilir. Taylan (2000). Doğrultucu moment katsayıları;

$$C_1 = \frac{d(GZ)}{d\phi} = GM \quad (2.13)$$

$$C_3 = \frac{4}{\phi_v^4} (3A_{\phi_v} - GM\phi_v^2) \quad (2.14)$$

$$C_5 = -\frac{3}{\phi_v^6} (4A_{\phi_v} - GM\phi_v^2) \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir.1.denklem, atalet terimlerine bölüldüğünde sönüm katsayıları ve nonlineer doğrultucu moment katsayıları,

$$b_1 = \frac{B_1}{(I+J)} \quad (2.16)$$

$$b_2 = \frac{B_2}{(I+J)} \quad (2.17)$$

$$b_3 = \frac{B_3}{(I+J)} \quad (2.18)$$

$$b_{f1} = \frac{\rho V^2 A_f C_l l_f}{(I+J)} \quad (2.19)$$

$$b_{f2} = \frac{\rho V A_f C_l l_f^2}{(I+J)} \quad (2.20)$$

$$w_{\phi}^2 = \frac{\Delta GM}{(I+J)} \quad (2.21)$$

$$m_3 = \frac{c_3}{(I+J)} \quad (2.22)$$

$$m_5 = \frac{c_5}{(I+J)} \quad (2.23)$$

$$m_7 = \frac{c_7}{(I+J)} \quad (2.24)$$

olarak elde edilir. Denklemin son hali aşağıda gösterilmiştir.

$$\ddot{\phi} + b_1 \dot{\phi} + b_2 \phi |\dot{\phi}| + b_3 \phi^3 + w_0^2 \phi + m_3 \phi^3 + m_5 \phi^5 + m_7 \phi^7 = -b_{f1} a_f + \Delta - b_{f2} \dot{\phi} \quad (2.25)$$

a_f : Göreceli yalpa kanadı açısı, Δ : Dalganın momentini ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan bu denklemin kararlı olup olmadığı, başlangıç koşulları dikkate alınarak incelenmelidir. Kararsız olan sistemin kararlı bölgede çalışması için yalpa hareketinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

2.5 Yalpa Hareketinin Kararlılık Analizi

Lyapunov yöntemi ile stabilite analizine geçmeden önce metodun işleyişinden, temelde dayandığı noktalardan bahsetmek gerekir. Lagrange'ın enerji teoremi dengede olan bir cismin potansiyel enerjisini minimum kabul eder. Lyapunov yöntemide bu prensibe dayanmaktadır ancak tümüyle eşdeğer bir yapıda değildir.

Herhangi bir fiziksel sistemin toplam enerjisi giderek azalıyorsa, sistem denge konumuna doğru yönelecektir ve böylelikle enerji fonksiyonunun türevi negatif olacaktır.

Lyapunov yöntemi bu kavramın bir genelleştirilmesidir. Bu yöntemle, bir sistemin stabilite problemi, Lyapunov fonksiyonu adı verilen ve denge konumları dışında daima pozitif olan bir fonksiyonun araştırılması problemine dönüşmektedir. Lyapunov fonksiyonu zamanı takiben alınan türevi ise pozitif olmayan bir fonksiyon olacaktır.

Bir fiziksel olayı gösteren denklemlerin gerçekte, genellikle nonlineer oldukları göz önünde bulundurulursa bu durum, yöntemin en büyük avantajı olarak kendini gösterir. Çünkü 'Lyapunov Yöntemi' ile stabilite analizinde denklemlerin çözümlerine ihtiyaç yoktur. Stabilite ve asimtotik stabilite için verilen iki genel teorem sistemin nonlineerlik özelliklerini gözönüne almamıza olanak verir ve stabilitenin sınırını saptamamıza yardım eder (Özkan 1977).

Denkleminizi faz düzeninde yazarsak;

$$\dot{\phi} = \dot{\phi}_1 = \phi_2$$

$$\dot{\phi}_2 = -(w_0^2 \phi_1 + m_3 \phi_1^3 + m_5 \phi_1^5 + m_7 \phi_1^7) - (b_1 \phi_2 - b_2 \phi_2 |\phi_2| + b_3 \phi_2^3)$$

denklemini elde edilmiş olur. Doğrusal olmayan yalpa denklemine ait Lyapunov fonksiyonunun türevini aldığımızda;

$$\dot{V}(t) = \frac{dV(\vec{x})}{dt} = \nabla V^T \vec{\dot{x}} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} = & \alpha_{11} \phi_1 \phi_2 + \alpha_{12} \phi_2 - \alpha_{21} w_0^2 \phi_1^2 - \alpha_{21} m_3 \phi_1^4 - \alpha_{21} m_5 \phi_1^6 - \alpha_{21} m_7 \phi_1^8 \\ & - \alpha_{21} b_1 \phi_1 \phi_2 - \alpha_{21} b_2 |\phi_2| \phi_1 \phi_2 - b_3 \alpha_{21} \phi_1 \phi_2^3 - \alpha_{22} w_0^2 \phi_1 \phi_2 \\ & - \alpha_{22} m_3 \phi_1^3 \phi_2 - \alpha_{22} m_5 \phi_1^5 \phi_2 - \alpha_{22} b_1 \phi_2^2 - \alpha_{22} b_2 |\phi_2| \phi_2^2 - \alpha_{22} b_3 \phi_2^4\end{aligned}$$

denklemini elde edilir. Lyapunov fonksiyonunun türevinin sıfır olması için simetrik katsayılar sıfıra eşit kabul edildiğinde denklem aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dV}{dt} < 0 \text{ olması için } \alpha_{21} = \alpha_{12} = 0$$

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} = & \alpha_{11} \phi_1 \phi_2 - \alpha_{22} w_0^2 \phi_1 \phi_2 - \alpha_{22} m_3 \phi_1^3 \phi_2 - \alpha_{22} m_5 \phi_1^5 \phi_2 - \alpha_{22} b_1 \phi_2^2 \\ & - \alpha_{22} b_2 |\phi_2| \phi_2^2 - \alpha_{22} b_3 \phi_2^4\end{aligned}$$

Bir önceki denklem ortak paranteze alındığında;

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} = & \phi_1 \phi_2 (\alpha_{22} w_0^2 + m_3 \alpha_{22} \phi_1^2 + m_5 \alpha_{22} \phi_1^4 - \alpha_{22} w_0^2) - \alpha_{22} b_1 \phi_2^2 - \alpha_{22} m_3 \phi_1^3 \phi_2 \\ & - \alpha_{22} m_5 \phi_1^5 \phi_2 - \alpha_{22} b_2 |\phi_2| \phi_2^2 - \alpha_{22} b_3 \phi_2^4\end{aligned}$$

şeklinde ifade edilir. Lyapunov fonksiyonunun kararlı olması için aşağıdaki kabul yapılırsa;

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} w_0^2 + m_3 \alpha_{22} \phi_1^2 + m_5 \alpha_{22} \phi_1^4$$

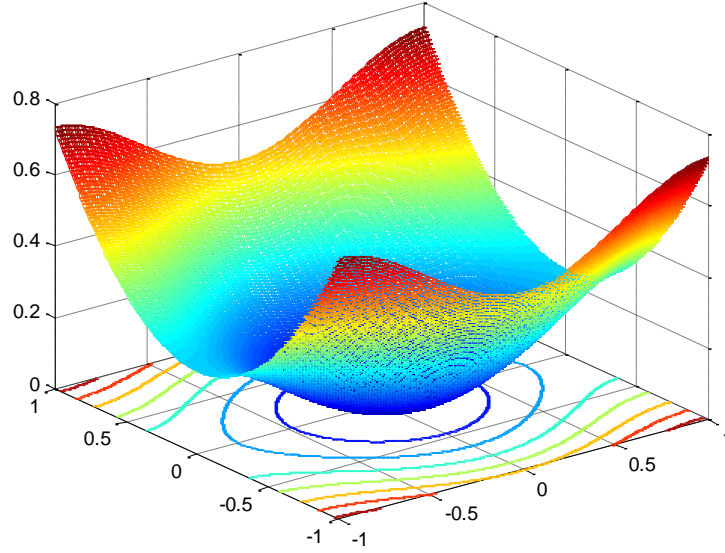
$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} = & \phi_1 \phi_2 (\alpha_{22} w_0^2 + m_3 \alpha_{22} \phi_1^2 + m_5 \alpha_{22} \phi_1^4 - \alpha_{22} w_0^2) - \alpha_{22} b_1 \phi_2^2 - \alpha_{22} m_3 \phi_1^3 \phi_2 \\ & - \alpha_{22} m_5 \phi_1^5 \phi_2 - \alpha_{22} b_2 |\phi_2| \phi_2^2 - \alpha_{22} b_3 \phi_2^4\end{aligned}$$

$$\frac{dV}{dt} = -\alpha_{22} b_1 \phi_2^2 - \alpha_{22} b_2 |\phi_2| \phi_2^2 - \alpha_{22} b_3 \phi_2^4$$

$$\frac{dV}{dt} = -\phi_2^2 \alpha_{22} (b_1 + b_2 |\phi_2| + b_3 \phi_2^2)$$

$$\dot{V}(x) = -\phi_2^2 (b_1 + b_2 |\phi_2| + b_3 \phi_2^2) < 0 \quad (2.27)$$

Lyapunov fonksiyonu doğrusal olmayan yalpa sönüm katsayılarına bağlı olarak elde edilir. Bu değerin sıfırdan ufak olması durumunda doğrusal olmayan yalpa hareketinin kararlı olduğu söylenebilir. Şekil 2.8'de Lyapunov fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2. 8 Lyapunov fonksiyon grafiği

KONTROL UYGULAMALARI

3.1 Pıd ve Mpıd Kontrol

Birçok araştırmada çok sayıda değişik çözüm yolları önerilmesine karşın, çoğuuygulamalarda kontrol sistemi PID kontrol esasına dayanmaktadır. Bu yaygın kullanımın bazı sebepleri řu şekilde sıralanabilir.

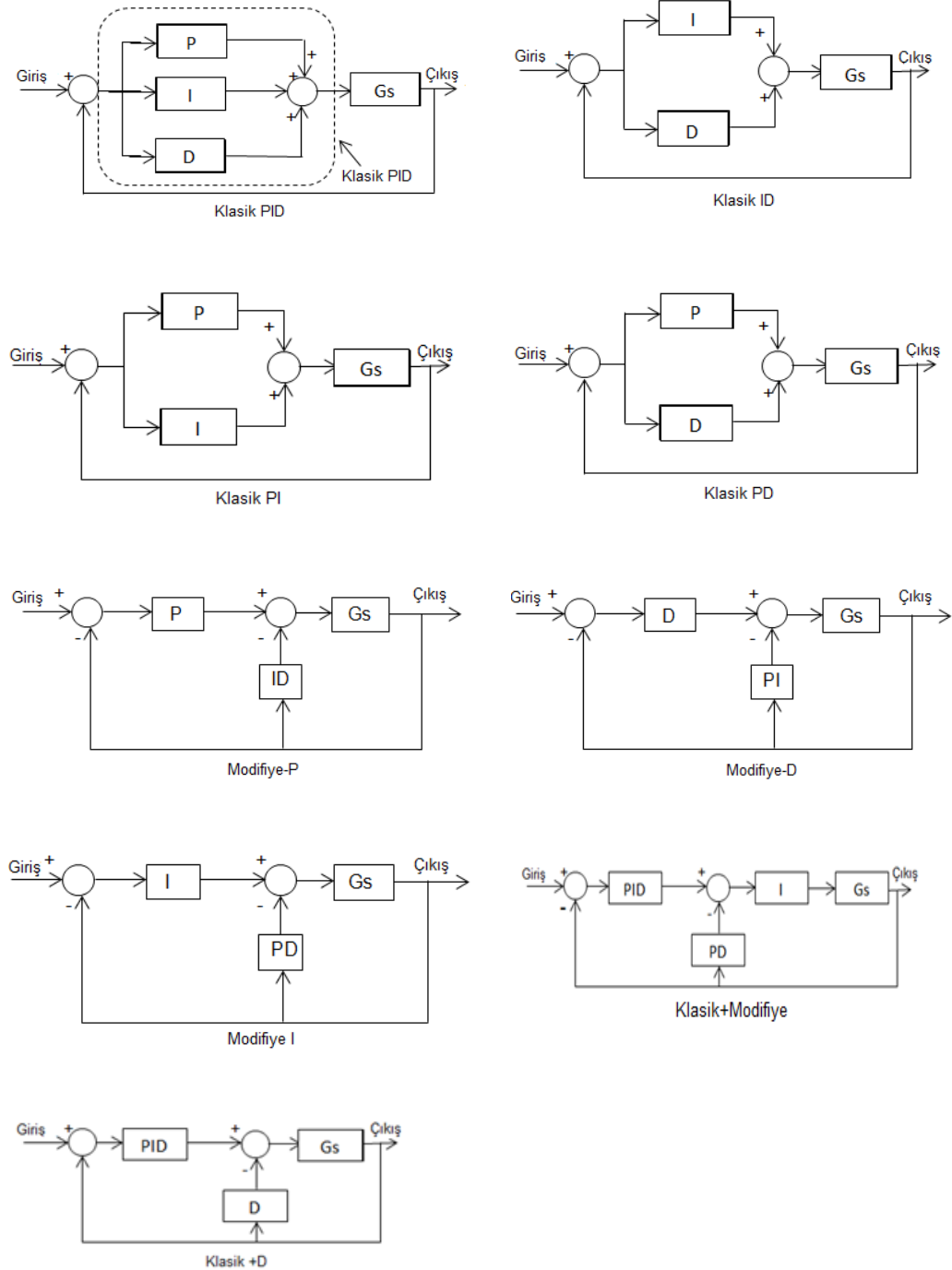
- 1) PID kontrol sistemi dayanıklı ve tasarımı basittir.
- 2) PID ile sistem cevabına ait parametreler arasında belirgin bir ilişki mevcuttur.
- 3) Son yıllarda parametrelerin ayarlanmasına ilişkin birçok değişik yöntem önerilmiştir.

PID kontrolcü tasarımının temel hedefi K_p , K_d ve K_i kontrol katsayılarının hesaplanması ve verilen kapalı döngü sisteminin performans koşullarını sağlayacak şekilde ayarlanmasıdır.

PID kontrol edici tasarımında izlenecek temel basamaklar:

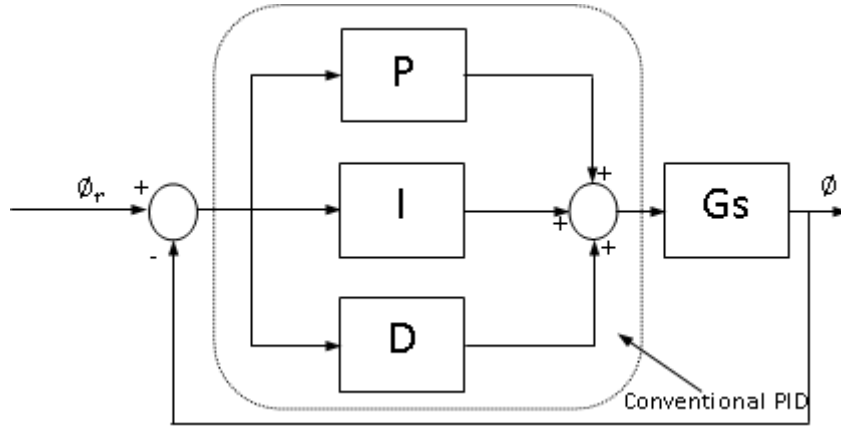
1. Sistemin transfer fonksiyonu elde edilmesi.
2. Sisteme yükselme zamanını iyileştirmek için oransal kontrolcü eklenmesi.
3. Sistemde ani tepkinin iyileřtirilmesi için türevsel kontrolcünün sisteme eklenmesi.
4. Kararlı durum hatasını yok etmek için integral kontrolcünün sisteme eklenmesi.
5. Bütün K_p , K_d ve K_i katsayılarının istenilen genel tepkiyi verene kadar ayarlanması şeklinde ifade edilebilir.

Değişik yapılarda PID kontrolcü yapıları parametrelerin optimum sonuç vermesi için kullanılır. Çalışmamızda Klasik ve Modifiye PID kontrolcü kullanarak yalpa hareketinin kabul edilebilir düzeyde tutulması sağlanmıştır. Şekil 3.1’de değişik yapıda PID kontrolcülerini gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Değişik yapılarda oluşturulmuş PID kontrollü kapalı çevrim sistemleri [33,34]

PID ve Modifiye PID kontrolcü yapıları sistem üzerinde farklı etkiler yapmaktadır. Şekil 3.2’de kullandığımız PID kontrolcüyü ait kapalı çevrim ifade edilmiştir.



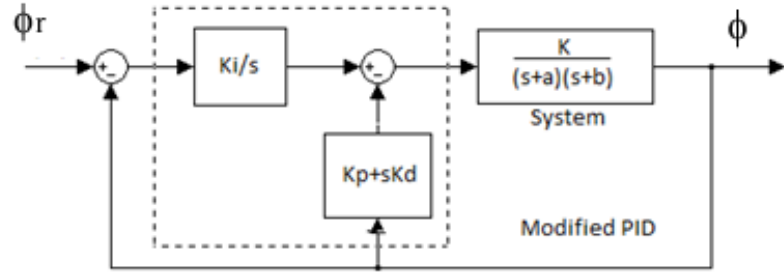
Şekil 3. 2 Klasik PID kontrolcü kapalı çevrimi

Klasik PID kontrolcüyü ait transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade gösterilmektedir.

$$G_c(t) = K \left[e + \frac{1}{\tau_i} \int d(t) + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.1)$$

Klasik PID kontrolcü kontrolcülerin en basit formudur kontrol sistemlerinin düzenlenmesinde de bu kontrolcü türev ve integrasyon işlemlerini kullanır. Bu kontrolcünün esnekliği birçok uygulama ve kontrol problemi için onu daha kolay kullanılır yapmaktadır.

Modifiye PID kontrolcünde integrasyonun konumu geri besleme ve referans sinyali arasındaki farkın etkisidir bu ileri yolda değişmeden aynen kalmaktadır. Bununla beraber türevsel ve orantılı etkiler sadece çıkış sinyali etkisi için geri beslemede hareket etmektedir. Amaç verilen bir sınır referans değerini izlemek için sistemin çıkışını kuvvetlendirmektir.



Şekil 3. 3 Modifiye PID kontrolcünün kapalı çevrimi

Modifiye PID kontrolcüyü aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;

$$Gc(t) = K \left[\frac{1}{\tau_i} \int d(t) - e - \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.2)$$

PID kontrolcünün Laplace dönüşümü aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$Gc(s) = \frac{K_i}{s} - (sK_d + K_p) \quad (3.3)$$

Bu yüzden modifiye PID kontrolcü aşağıdaki gibi gösterilir;

$$Gc(s) = \frac{K_i - sK_p - s^2K_d}{s} \quad (3.4)$$

Kapalı çevrimin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_i K}{s^3 + s^2(a+b) + s(ab + K_i K_d K) + K_i K_p K} \quad (3.5)$$

Yukarıda ifade ettiğimiz Klasik ve Modifiye PID kontrolcü yapıları referans alınarak model gemi ve yalpa dengeleyici kanata ait değerler kullanılarak yalpa hareketi sönümlenmiş, ileriki bölümlerde bu kontrolcülere ait diyagramlar ve grafikler ifade edilmiştir.

Bu değerlerle birlikte iki kontrolcü için de kullandığımız K_p , K_d ve K_i değerleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 3. 1 Kontrolcü parametreleri

K_p	K_d	K_i
0.2145	1.2288	2.89

yukarıdaki değerler kontrol diyagramlarında kullanılarak doğrusal olmayan yalpa hareketinin optimum değerlere gelmesi sağlanmıştır.

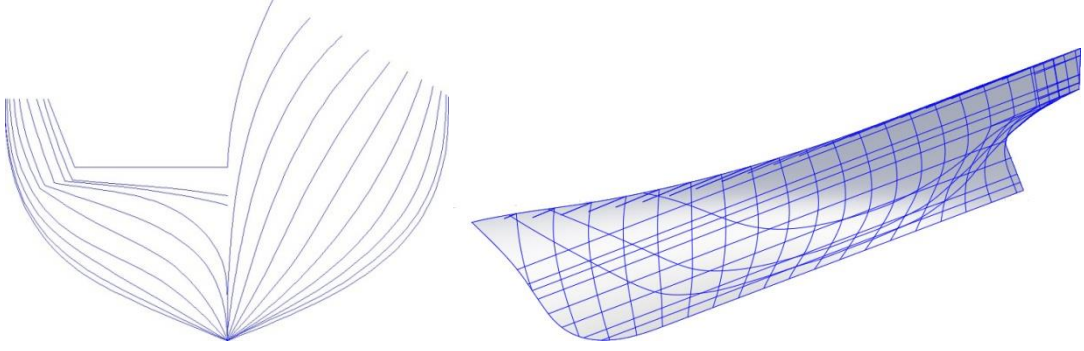
MODEL GEMİ VE ÖZELLİKLERİ ve NACA PROFİLİ CFD SONUÇLARI

4.1 Model Gemi ve Özellikleri

Model gemi olarak 13 farklı blok katsayısına sahip, yüklü ve boş durumda karakteristik değerleri 10 farklı KG değeri için incelenmiş balıkçı teknelerinden uygulamamız için birisi referans alınmıştır (Aydın ve Akyıldız, 2005).

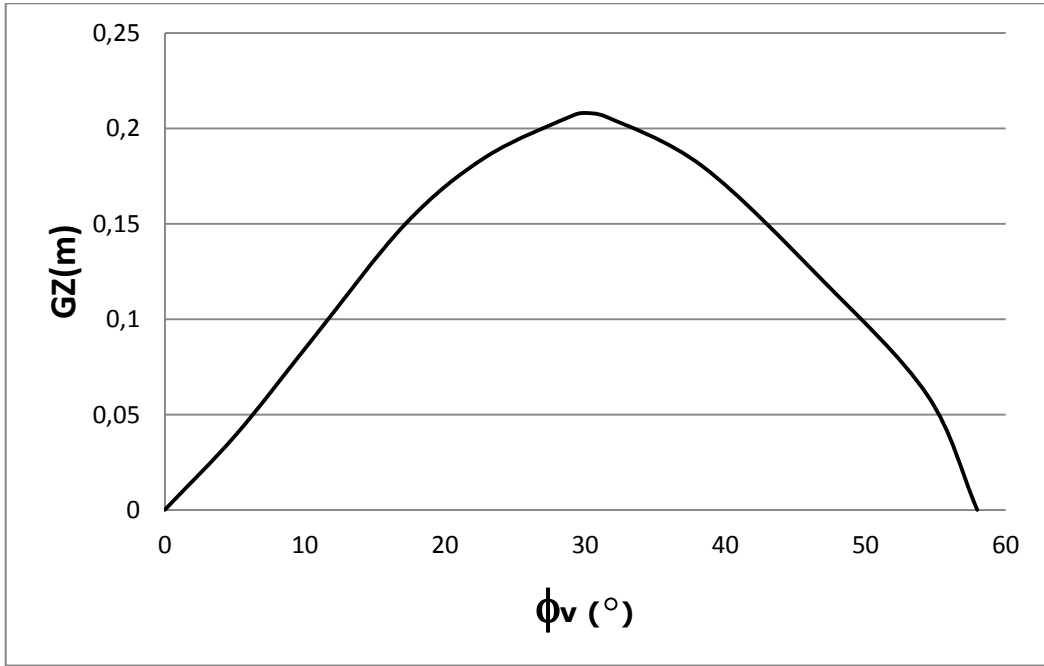
Bir balıkçı gemisinde yatırıcı bileşke momenti oluşturan etkenler; kötü hava ve deniz koşulları, kötü yükleme durumu ve avlanma operasyonunda ağın gemiye alınmasının veya ağın çekilmesi ile meydana gelen bileşke direnç kuvvetinin oluşturduğu bileşke moment olarak sıralanabilir. Ayrıca ağ toplanırken, ağ içinde biriken balıkların meydana getirdiği moment ile, güç bloğuna asılı durumdaki dolu ağın oluşturduğu moment de oldukça önemlidir (Kafalı,1989).

Stabilite balıkçı gemilerinde denizciliğin en önemli yönünü oluşturmaktadır. Çalışmamızda yüklü durumda stabilite incelemesi yapılarak oluşturulan parametreleri kullanarak, farklı kontrolcü tasarımlarıyla yalpa hareketinin optimum düzeylerde olması istenmiştir. Gemimize ait form, karakteristik değerler ve kullandığımız yalpa dengeleyici kanata ait özellikler aşağıda ifade edilmiştir.



Şekil 4. 1 Balıkçı gemisinin formu (Aydın ve Akyıldız, 2005)

Balıkçı gemilerinde stabilitenin önemini vurgulayarak, Lyapunov metoduyla stabilite analizi daha önceki bölümlerde yapıldı. Balıkçı gemisinin stabilitesinin grafik olarak gösterimide aşağıda ifade edilmiştir. Bu grafikte ϕ_v devrilme açısı, GZ doğrultucu moment kolu, $GZ - \phi_v$ eğrisinin altında kalan alan ise A_{ϕ_v} olarak ifade edilir dolayısıyla bu alan dahilinde stabilite kararlı yapıya sahiptir.



Şekil 4. 2 Model Gemimizin $GZ - \phi_v$ eğri grafiği

Çizelge 4. 1 Balıkçı gemisi ve yalpa dengeleyici kanata ait parametreler (NACA 0015)

Sembol	Parametreler
L_{BP}	20m
B	5.714m
D	3.2m
T	2.285m
∇	119.34m ³
GM	0.57m
KG	2.4m
C_B	0.457
V	10 kn
A_F	2.5m ²
C_L	0.65
ϕ_v	58°

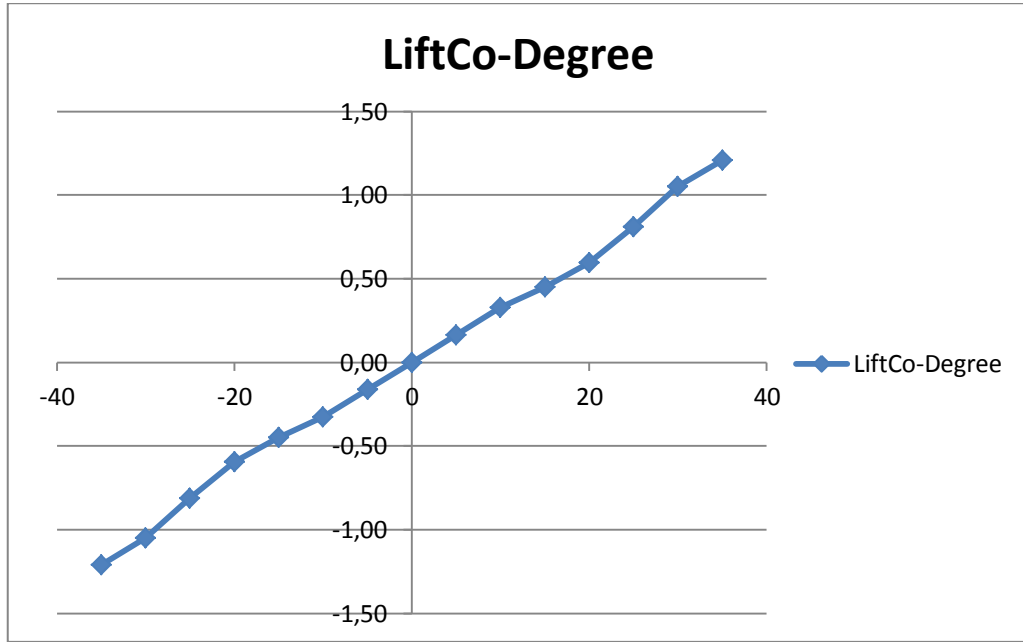
Çizelge 4.1’de ifade ettiğimiz değerler doğrultusunda daha önceki bölümlerde belirttiğimiz formülasyonu kullanarak doğrusal olmayan yalpa denkleminize ait karakteristik katsayılar çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Balıkçı gemisinin sönüm ve doğrultucu moment katsayıları

b_1	b_2	b_3	m_1	m_3	m_5	m_7
0.069	0.010	0.007	1.204	-1.80	0.61	0

4.2 Naca Profili Cfd Sonuçları

Model gemimiz için kullandığımız yalpa dengeleyici kanat özelliklerini bir önceki bölümde ifade ettik. Yaptığımız hesaplamalarda C_L değerini bulurken ampirik formüller kullanmak yerine StarCCM+ paket programı ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yaparak bu değer hesaplanmıştır, Şekil 4.3.



Şekil 4. 3 Kaldırma Katsayıları(C_L)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi StarCCM+ paket programı ile 24 GB RAM ve 8 Paralel İşlemci konfigürasyonunda bir donanımda yapılmıştır. Ön işlem, koşturma ve son işlem kısımları programda entegre haldedir. Ön işlem kısmında Trimmer, SurfaceRemesher ve PrismLayerMasher çözüm ağı özellikleri eş olarak kullanılmıştır. Hexahedral çözüm ağı oluşturulmuştur. 3 boyutlu modelimiz için sırasıyla 170000, 970000 ve 1500000 hücreli varyasyonlar üretilmiş içlerinden çözüm ağı bağımsızlaştırması (mesh independence) sonucu 970000 hücreli 2900000 yüzeye sahip model ile çözüme devam edilmiştir.

Koşturma süreci için çözücü olarak ayırık çözüm (segregatedflow), Reynolds ortalama NavierStokesçözümü(reynoldsaveragedNavierStokes) ve k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Yakınsama koşulları $1E-5$ (10^{-5}) mertebelerinde tutulmuştur. Koşturma 8 çekirdekte paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Son işlem sürecinde model üzerinden hız

ve basınç gradyenleri yanı sıra direk olarak kaldırma kuvveti katsayısı değeri alınmıştır. Bu katsayı kanatın hücum açlarına (-35 den +35 e) bağlı olarak elde edilmiştir.

Çözümde yapılan kabuller;

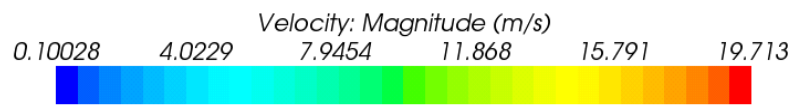
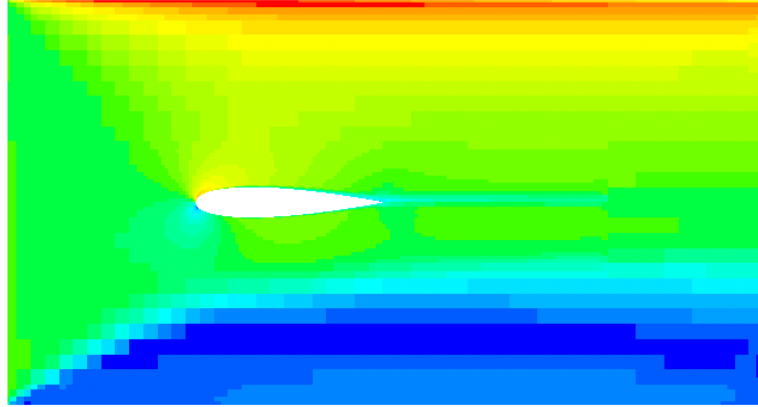
1. Model akışı daimi akıştır.
2. Yalpa kanat yüzeyinde kavitasyon olmamaktadır.
3. Yükleme su hattında meydana gelen kayma gerilmeleri ihmal edilmiştir.

Yukarıda yaptığımız açıklamalar doğrultusunda aldığımız analiz sonuçları çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

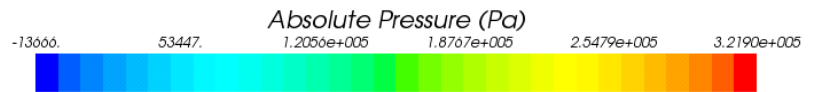
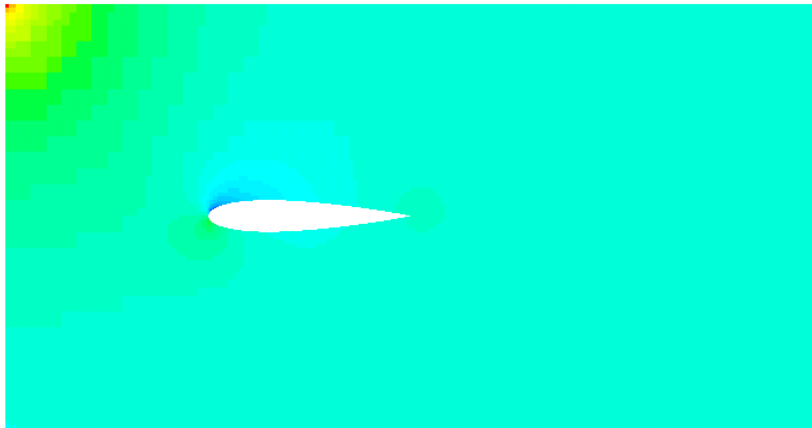
Çizelge 4. 3 NACA 0015 Kanat profili analiz sonuçları

Açı(°)	x	y	lift	drag	Cl değeri
0	10	0	-2,201539	107,207207	0
5	9,962	0,872	466,783691	101,79538	0,162613
10	9,848	1,736	940,705689	85,956169	0,32772
15	9,659	2,588	1296,63074	59,955364	0,451008
20	9,397	3,42	1713,77295	18,697754	0,596112
25	9,063	4,226	2328,51782	-54,485035	0,811351
30	8,66	5	3015,22632	-166,07262	1,050399
35	8,192	5,736	3478,34302	-284,32394	1,209412

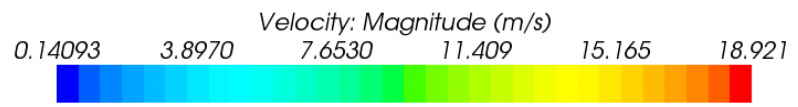
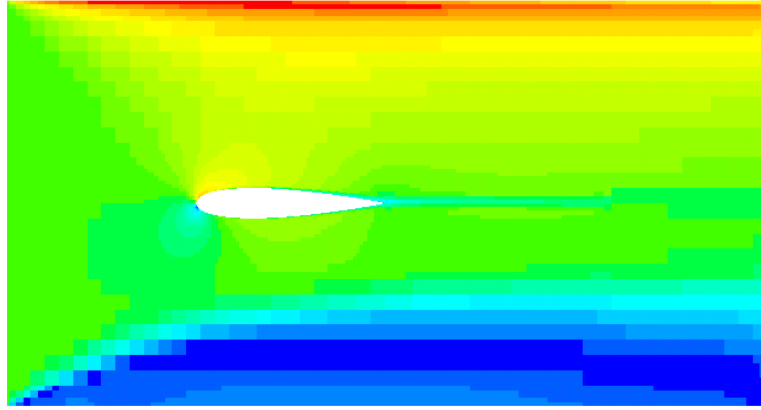
Kullanmış olduğumuz NACA 0015 profiline ait analiz resimleri aşağıda gösterilmiştir.



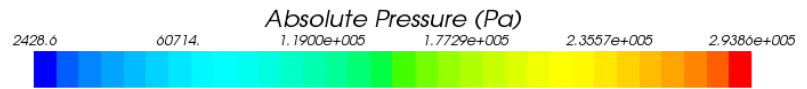
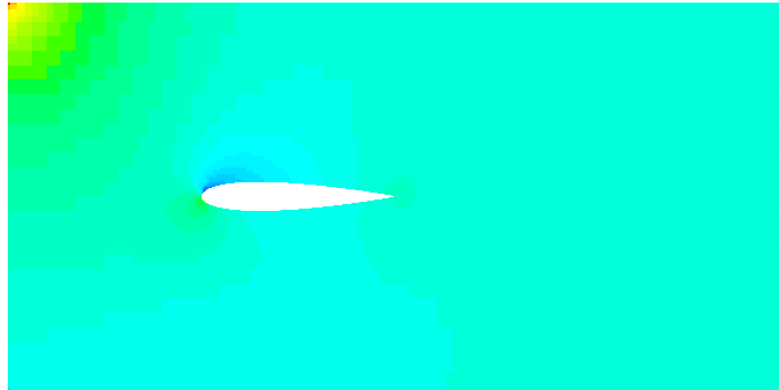
Şekil 4. 4 0 Derece hücum açısı hız gradyeni



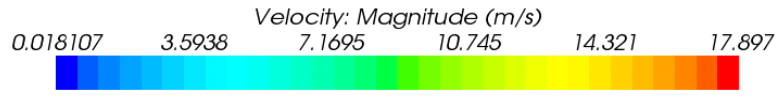
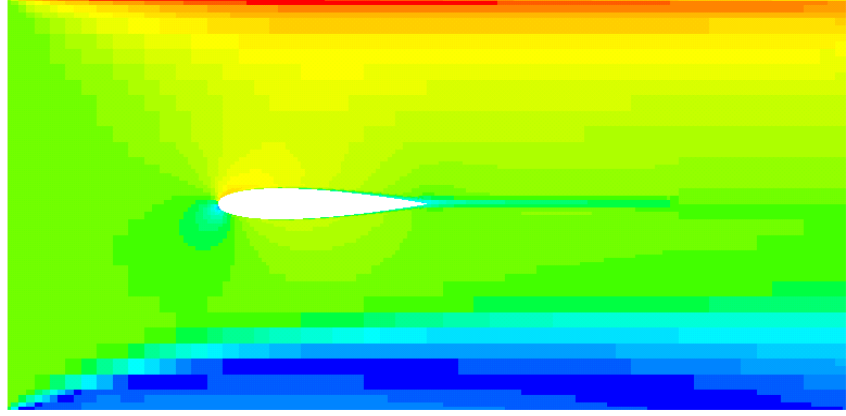
Şekil 4. 5 0 Derece hücum açısı basınç gradyeni



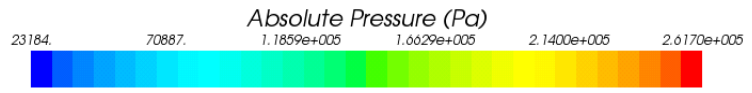
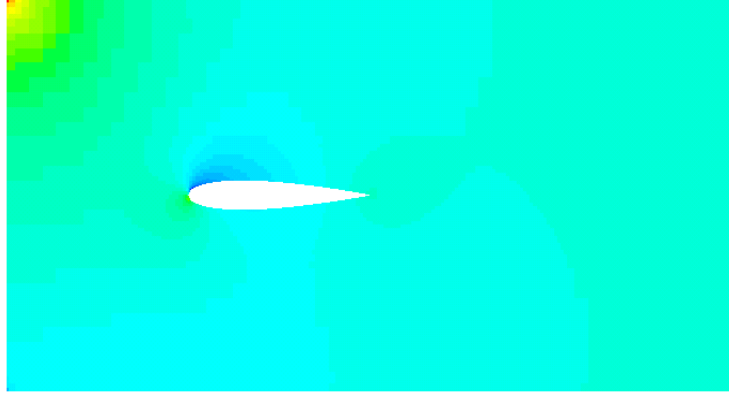
Şekil 4. 6 5 Derece hücum açısı hız gradyeni



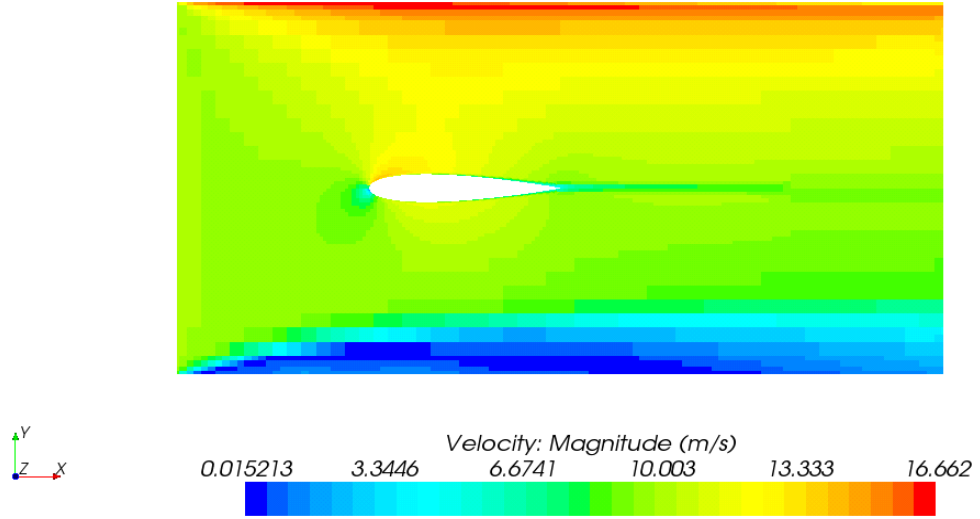
Şekil 4. 7 5 Derece hücum açısı basınç gradyeni



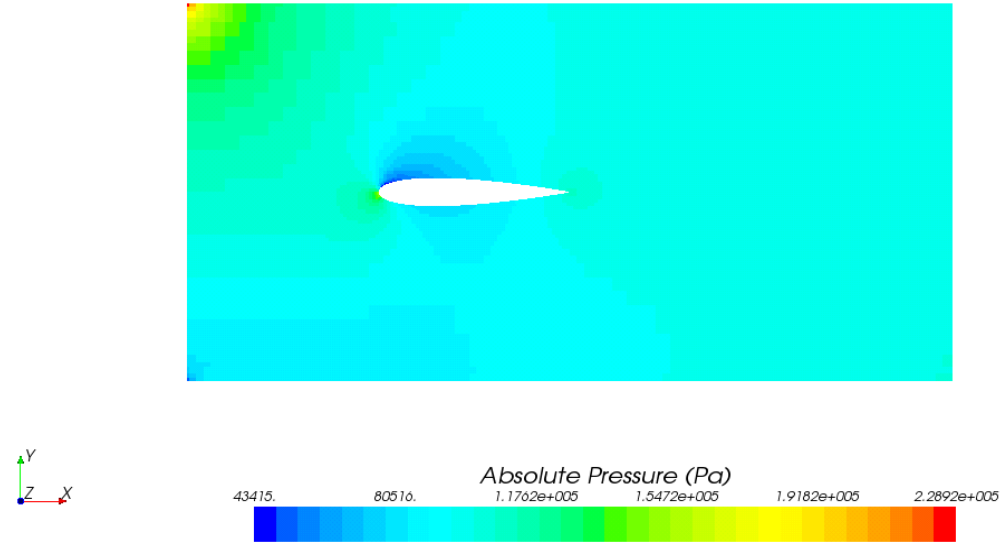
Şekil 4. 8 10 Derece hücum açısı hız gradyeni



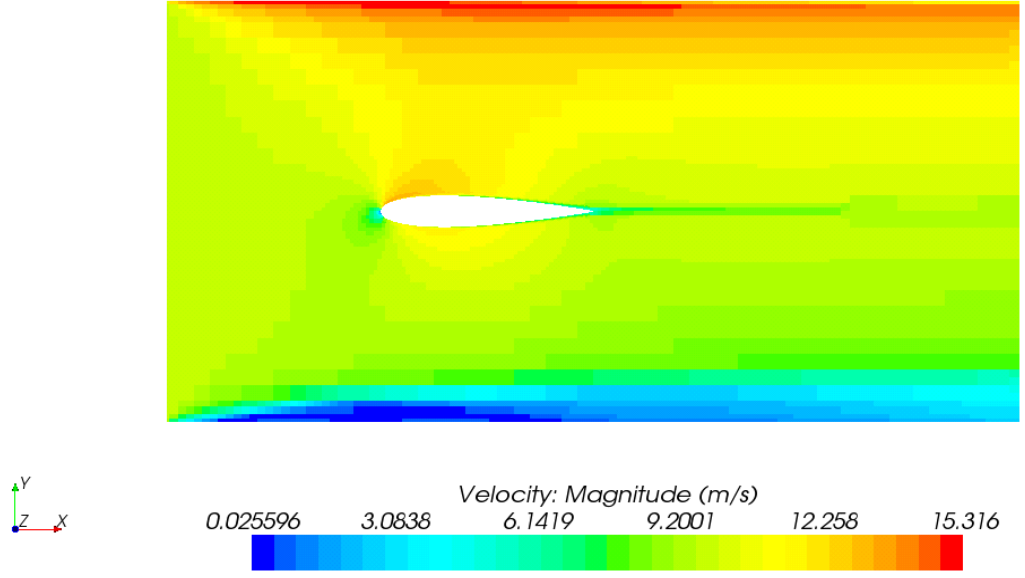
Şekil 4. 9 10 Derece hücum açısı basınç gradyeni



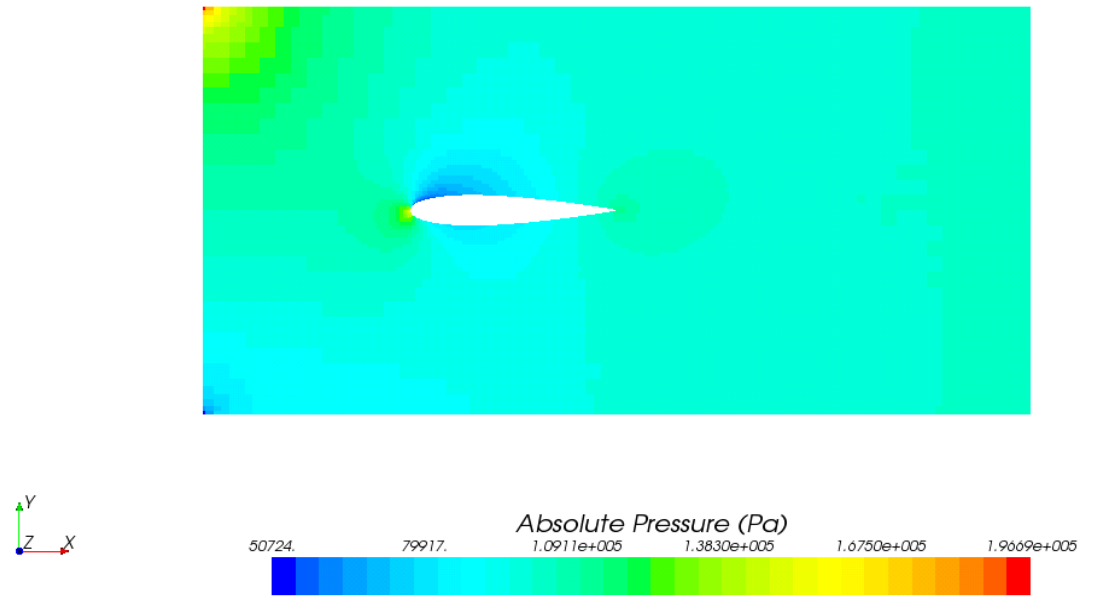
Şekil 4. 10 15 Derece hücum açısı hız gradyeni



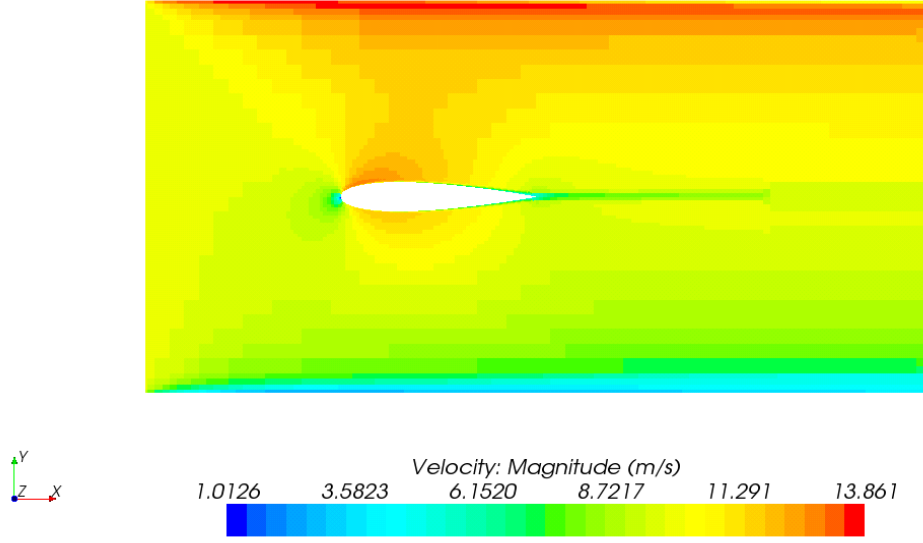
Şekil 4. 11 15 Derece hücum açısı Basınç gradyeni



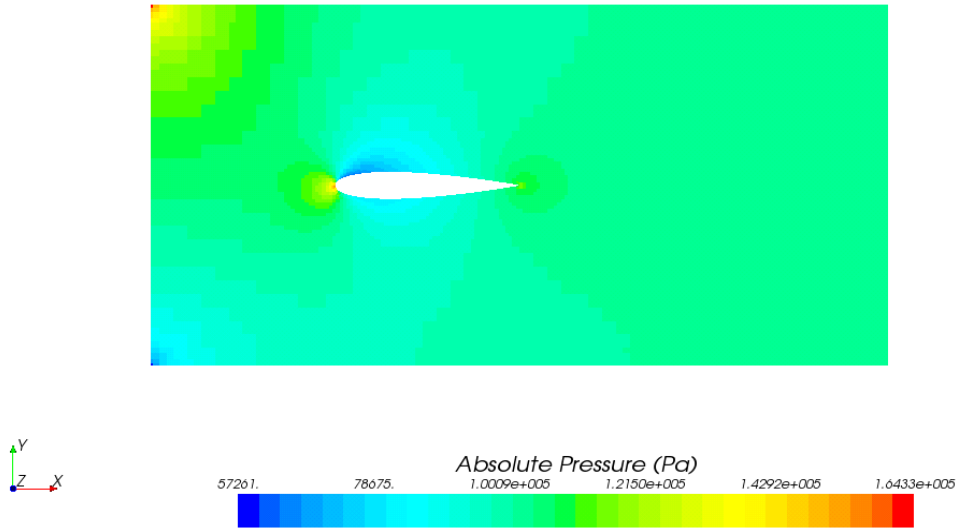
Şekil 4. 12 20 Derece hücum açısı hız gradyeni



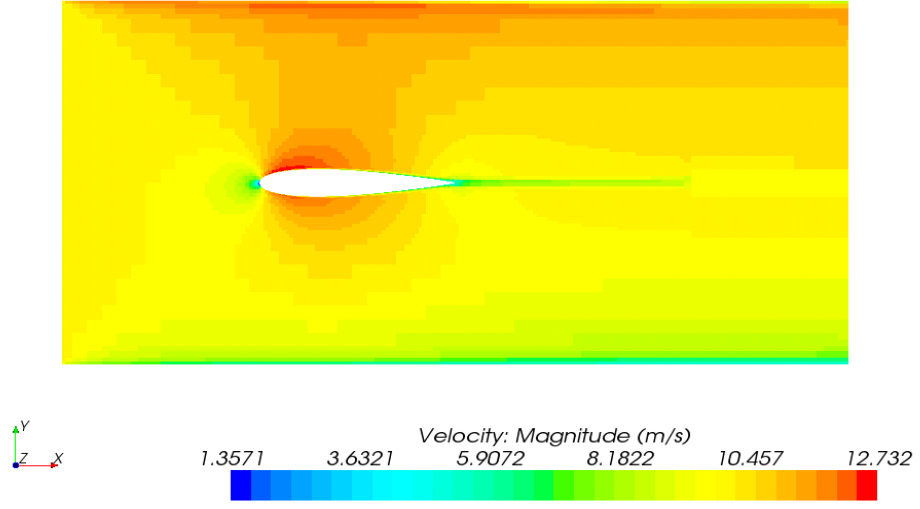
Şekil 4. 13 20 Derece hücum açısı basınç gradyeni



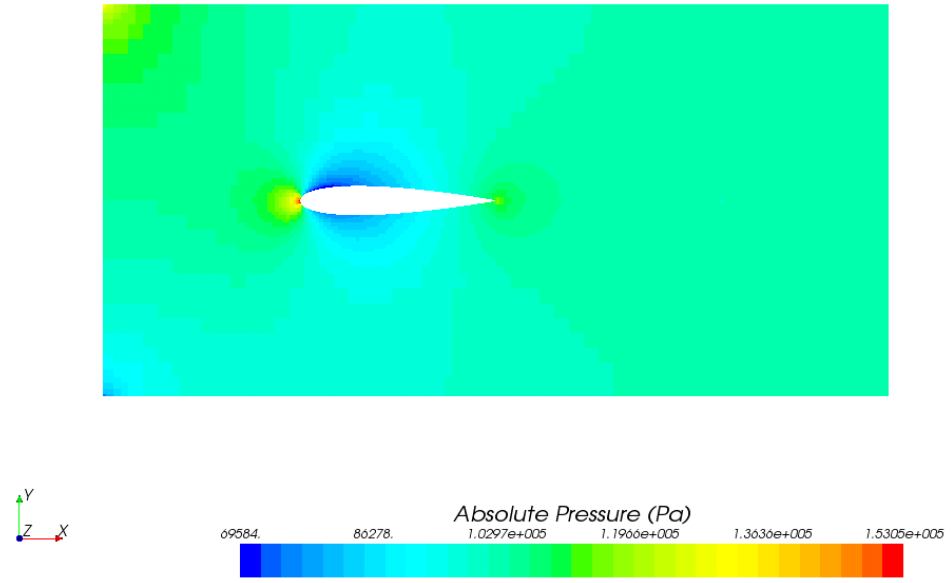
Şekil 4. 14 25 Derece hücum açısı hız gradyeni



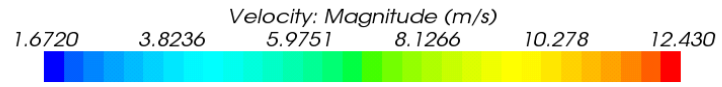
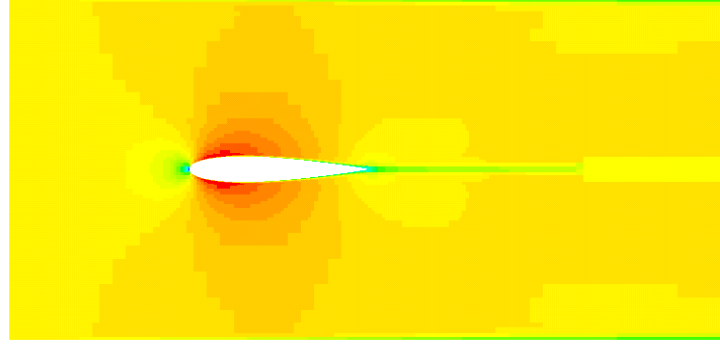
Şekil 4. 15 25 Derece hücum açısı basınç gradyeni



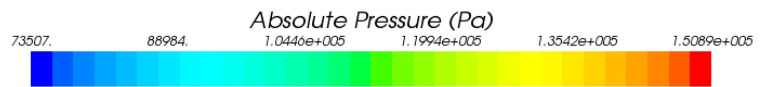
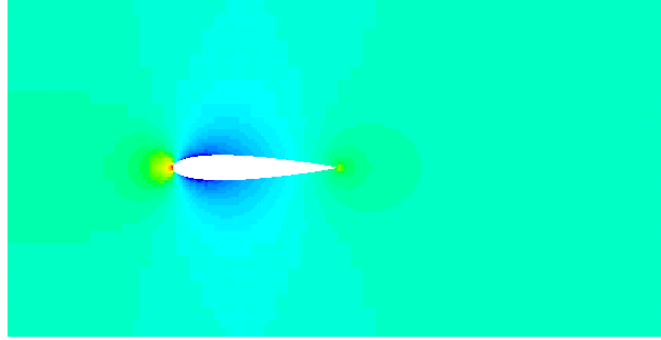
Şekil 4. 16 30 Derece hücum açısı hız gradyeni



Şekil 4. 17 30 Derece hücum açısı basınç gradyeni



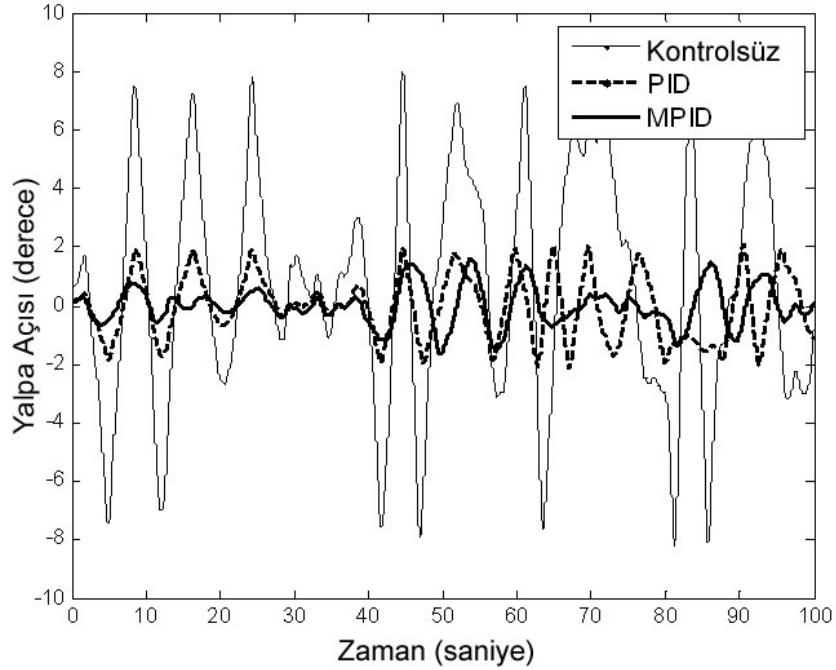
Şekil 4. 18 35 Derece hücum açısı hız gradyeni



Şekil 4. 19 35 Derece hücum açısı basınç gradyeni

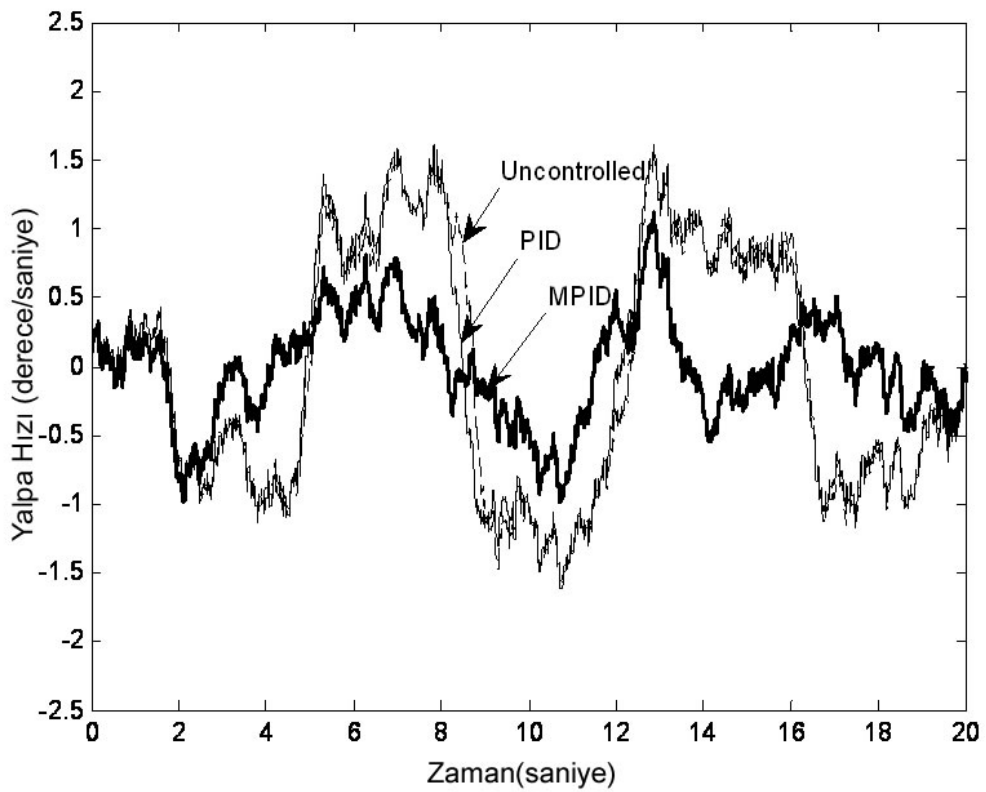
SİMÜLASYON SONUÇLARI

Model gemi olarak uygulama yaptığımız balıkçı gemisinin yalpa hareketinin kontrolü için kullandığımız kontrol metodları ve işleyişleri daha önceki bölümlerde anlatıldı. Bu metodlarla yalpa dengeleyici kanat sayesinde yalpa hareketinin optimum seviyelere indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda klasik PID ve modifiye PID kontrol metodları kullanılarak kontrollü ve kontrolsüz durumdaki yalpa hareketi incelenmiş ayrıca hız ve yalpa açısı diyagramları çizdirilmiştir.



Şekil 5. 1 Kontrollü ve kontrolsüz durumda yalpa açısı

Şekil 5.1’de kontrolsüz durumdaki yalpa hareketiyle klasik PID ve Modifiye PID kullanılarak kontrol edilen yalpa hareketinin değişimi gösterilmiştir. Kontrolsüz durumda yalpa hareketinde PID kontrolcü kullanıldığında yaklaşık olarak %73 oranında bir azalma görüldüğü, MPID kontrolcü kullandığında ise yaklaşık olarak %86.6 oranında bir azalma görüldüğü açıktır. MPID kontrolcü PID kontrolcüye nazaran yalpa hareketini daha çok minimize ederek balıkçı gemisi için avlanma ve seyir açısından daha verimli bir kontrolcü olarak ifade edilebilir. Yalpa açısının optimum seviyeler düşürülmesi kontrolcünün iyi tepki vermesiyle mümkündür. Grafik dikkatle incelendiğinde 100 saniyelik bir zaman diliminde yalpa açısı incelemesi yapılmış ve balıkçı gemisinin optimum seviyelerde seyir etmesi sağlanmaya çalışılmıştır.



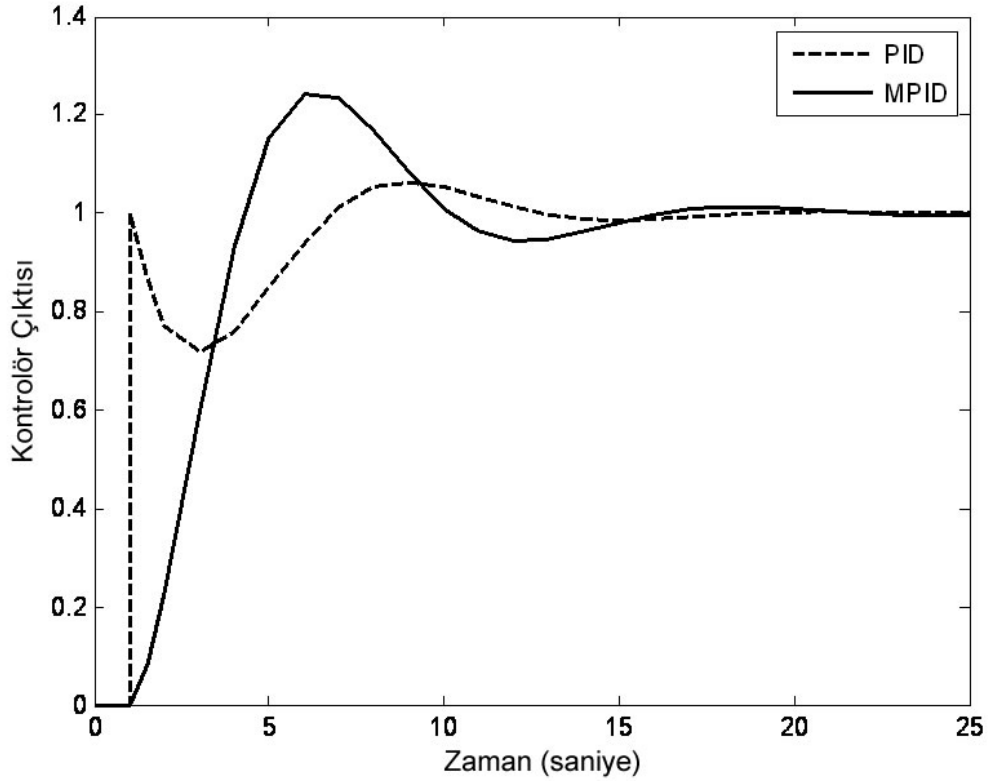
Şekil 5. 2 Kontrollü ve kontrolsüz durumda yalpa hızı

Şekil 5.2’de ise kontrollü ve kontrolsüz durumda yalpa hızının 20 saniyelik bir zaman dilimi içerisindeki değişimi ifade edilmiştir. Kontrolsüz durumdaki yalpa hızının PID ve MPID kontrolcü kullanıldığında minimize edildiği görülmektedir. MPID kontrolcü yalpa hızını yaklaşık %43 oranında PID kontrolcü ise yalpa hızını yaklaşık %13 oranında azalttığı grafikten elde edilen değerlerle aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 5. 1 Kontrollü ve Kontrolsüz Durumdaki Yalpa Açısı ve Hızı Değerleri

Kontrolcüler	MaksimumYalpaAçısı (derece)	MaksimumYalpaHızı (derece/s)
Kontrolsüz	7.5 ⁰	1.5
PID	2 ⁰	1.3
MPID	1 ⁰	0.8

Şekil 5.3'te ise MPID ve PID kontrolcülerin 25 saniyelik zaman dilimi içerisinde kontrolcü çıkışları mukayese edilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere MPID kontrolcü PID kontrolcüye göre optimum seviyeleri daha hızlı yakalamaktadır.



Şekil 5. 3 MPID ve PID kontrolcü çıkışları

Bu aşamaya kadar grafiklerle ifade ettiğimiz klasik ve modifiye PID kontrolcünün sonuçları yalpa dengeleyici kanatla uyumlu çalıştığını göstermiş olup bu sayede model

olarak kullandığımız balıkçı gemisinin yalpa hareketini optimum seviyelere çektiği söylenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemiler için yalpa hareketinin geçmişten günümüze önemini artıran bir konu olduğu bilinmektedir. Özellikle model gemi olarak kullandığımız balıkçı gemisi için seyir ve avlanma şartları da göz önüne alındığında yalpa hareketinin optimum seviyelere indirilmesi daha da önem arz etmektedir. Öncelikli olarak Lyapunov Metoduyla yapılan stabilite analizi ifade ettiğimiz doğrusal olmayan yalpa denkleminin kararlı bir yapıda olduğunu göstermiştir. Daha sonra ampirik formüllerle sönüm ve doğrultucu moment katsayıları bulunmuştur.

Ayrıca yalpa dengeleyici kanata ait C_L değeri StarCCM+ paket programı ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapılarak bulunmuştur. Bütün bu değerler kontrol uygulamalarında kullanılmıştır. Yalpa dengeleyici kanat sayesinde doğrusal olmayan yalpa hareketini minimize ederken iki farklı kontrol yöntemi kullanılmıştır. PID ve MPID kontrol yöntemleri yalpa dengeleyici kanata uygulanmış, yalpa ve hız diyagramları çizdirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Balıkçı gemisi için kullandığımız yalpa dengeleyici kanat ekipmanının verimli sonuç vermesi için bu iki farklı kontrol yönteminden en efektif olanın MPID yöntemi olduğu grafiklerle gösterilmiştir. Bu yöntemle stabilitenin kararlı bölgede kalması sağlanarak balıkçı gemisinin güvenli bir seyir ve avlanma yapması sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Fossen, T.I., (1994). Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley&Sons.
- [2] Paulling, J.R. ve R.M.Rosenberg., (1959). "On Unstable Ship Motions Resulting from Nonlinear Coupling", Journal of Ship Research, 3: 36–46.
- [3] Bouger, P., (1746). "Traite du Navire de la Construction et de les Mouvements", Paris.
- [4] Grim, O., (1952). "Roll schwingungen Stabilitat und Slicherheitin Seegang", Schiffstechnik, 20-35.
- [5] Grim, O., (1954). "Zur Stabilitat der Periodisch Erzwungenen Roll Schwingungen eines Schiffes", Ingenieur-Archive, 22: 55-59.
- [6] Dalzell, J.F., (1978). "A Note on the Form of Ship Roll Damping", Journal of Ship Research, 22: 178-185.
- [7] Haddara, M., (1984). "A Note on the Effect of Damping Moment Form on Rolling Response", International Ship building Progress, 31: 285-290.
- [8] Haddara, M. ve Wang, Y., (1999). "Parametric Identification of Maneuvering Models for Ships", Int. Shipbuild. Programs, 445: 5-27.
- [9] Özkan, R., (1977). Lyapunov Direkt Yöntemi İle Gemilerin Stabilitate Teorisi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] 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, 127-135.
- [11] Soliman, M. ve Thompson, J.M.T., (1991). "Transient and Steady State Analysis of Capsize Phenomena", Applied Ocean Research, 13: 82-92.
- [12] Taylan, M., (1999). "Solution of the Nonlinear Roll Model by a Generalized Asymptotic Method", Ocean Engineering, 26: 1169-1181.

- [13] Taylan, M., (2000). "The Effect of Nonlinear Damping and Restoring in Ship Rolling, Ocean Engineering", 27: 921-932.
- [14] Peşman E., (2011). Boyuna Dalgalarda Gemilerin Yalpa Hareketi Analizi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Üçer E., (2007). Gemilerin Enine Stabilitesinin Matematiksel Yöntemlerle İrdelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Lypunov, A.M., (1892). The General Problem of the Stability of motion, Princeton Univ. Press.
- [17] Jordan, D.W. ve Smith, P., (1979). Nonlinear Ordinary Differential Equations, Oxford University Press.
- [18] Sorensen, A. ve Strand, J.P., (2000). "Positioning of Small-Waterplane-Area Marine Constructions with Rolland Pitch Damping", Control Engineering Practice, 205-213.
- [19] Kalström, C.G., Aström, K.J. ve Thorell, N.E., (1979). "Adaptive Autopilots for Tankers", Automatica, 15: 254-284.
- [20] Morawski, L. ve Pomirski, J., (1998). "Ship Track-Keeping Experiments with a Physical Tanker Model", Control Engineering Practice, 6, 763-769.
- [21] Fossen, T.I., (2002). Marine Control Systems, Marine Cybernetics, Trondhiem, Norway.
- [22] Alarçin F., (2005). Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Kawazoe, T., Nishikido, S. ve Wada, Y., (1994). "Effect of Fin Area and Control Methods on Reduction of Roll Motion with Fin Stabilizers", Journal of the MESJ, 28.
- [24] Vetus., (2003). "Marintek, Deniz ve Yat Malzemeleri Tic. A.Ş."
- [25] Sgobbo, J.N. ve Parsons, M., (1999). "Rudder/Fin Roll Stabilization of the USCG WMEC 901 Class Vessel", Marine Technology, 36: 157-170.
- [26] Perez, T. ve Goodwin, G.C., (2008). "Constrained Predictive Control of Ship Fin Stabilizers to Prevent Dynamic Stall", Control Engineering Practice, 16: 482-494.
- [27] Ghassemi, H., Dadmarzi, F.H., Ghadimi, P. ve Ommani, B., (2010). "Neural Network-PID Controller for Roll Fin Stabilizer", Polish Maritime Research, 17: 23-28.
- [28] Karakas, Ş.C., Üçer E. ve Pesman E., (2012). "Control Design of Fin Roll Stabilization in Beam Seas Based on Lyapunov's Direct Method", Polish Maritime Research, 19: 25-30.
- [29] Nicolau, V., Palada, V., Aiordachioaie, D. ve Miholca, C., (2007). "Neural Network Prediction of the Roll Motion of a Ship for Intelligent Course Control", 11th International Conference, Italy, 284-291.

- [30] Guan, W. ve Zhang, X.K., (2009). "Concise Robust Fin Roll Stabilizer Design Based on Integrator Backstepping and CGSA", 978-1-4244-6044-1/10/\$26.00 IEEE.
- [31] Kafalı, K., (1989). "Balıkçı Gemilerinde Form, Stabilite, Direnç ve Sevk", Balıkçı Gemileri ve Yat Teknolojisi Yaz Okulu, İzmir, 22 Ağustos-1 Eylül, 52-74.
- [32] Perez, T., Goodwin, G., ve Skelton, R., (2000). "Analysis of Performance and Applicability of Rudder-Based Stabilizers", Technical Report, University of California, USA.
- [33] Vukic, Z. ve Kuljaca, O., (2002). "Lectures On PID Controllers", April.
- [34] Surendran, S., Lee, S.K. ve Kim, S.Y., (2007). "Studies on an Algorithm to Control the Roll Motion Using Active Fins", Ocean Engineering, 34: 542–551.
- [35] Aydın, M. ve Akyıldız, H., (2005). "Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemilerinin Stabilite Karakteristiklerinin İncelenmesi", İtü Dergisi/d Mühendislik Cilt:4, Sayı:6, 3-12 .

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Hakan DEMİREL
Doğum Tarihi ve Yeri :01.01.1988-TOKAT
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :demirelhakan60@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gemi müh.	Y.T.Ü	2011
Lise	Fen Bilimleri	T.A.Ö.L	2006