

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALPA SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLERİN ANALİZİ

Gemi İnşaatı ve Deniz Müh. Seyfi ÖZÇELİK

FBE Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
YALPA ÖNLEYİCİ SİSTEMLERİN ANALİZİ.....	ix
ÖZET	ix
ANALYSIS OF ANTI ROLL SYSTEMS	x
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	2
1.2 Tezin Amacı.....	4
2. GEMİ DİNAMİĞİ	6
2.1 Gemi Hareket Notasyonları	6
2.2 Hidrodinamik Kuvvet ve Momentler.....	8
3. YALPA HAREKETİ	10
3.1 Sakin Suda Sönümsüz Yalpa Hareketleri	10
3.2 Yalpa Hareketinde Direncin İncelenmesi	14
3.2.1 Yalpadaki Direnç Bileşenleri.....	16
4. DENİZCİLİK KRİTERLERİ	17
4.1 Yalpa Hareketi İle İlgili Kriterler	19
5. YALPA SÖNDÜRÜCÜ SİSTEMLER	22
5.1 Yalpa Sönümlleme Sistemlerinin Çalışma Prensipleri.....	23
5.1.1 Pasif Yalpa Söndürücü Sistemler	24
5.1.1.1 Yalpa Omurgaları	24
5.1.1.2 Pasif Yalpa Tankları	27
5.1.2 Aktif Yalpa Söndürücü Sistemler	32
5.1.2.1 Aktif Yalpa Kanatları	32
5.1.2.2 Aktif Yalpa Tankları.....	40

6.	YALPA ÖNLEYİCİLERİN SEÇİMİ.....	43
6.1	Yalpa Omurgaları	44
6.2	Pasif Tanklar	44
6.3	Yalpa Kanatları	46
6.4	Sistemlerin Bir Arada Kullanılması.....	47
6.5	Harp Gemilerinde Yalpa Sönümlleme Sistemi Seçim Kriterleri.....	49
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGE LİSTESİ

B	Gemi genişliği
C_B	Blok katsayısı
C_P	Prizmatik katsayı
C_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
C_D	Direnç kuvveti katsayısı
GM	Enine metasantr yüksekliği
g	Yerçekimi ivmesi
H	Dalga yüksekliği
L	Gemi boyu
T_n	Sönümsüz yalpa periyodu
u	İlerleme hızı
v	Yan öteleme hızı
w	Dalıp çıkma hızı
Δ	Deplasman ağırlığı
$\omega_{n\phi}$	Sönümsüz yalpa hareketinde doğal frekans
J_ϕ	Yalpa eksenine göre kütle atalet momenti
M_{st}	Hidrostatik doğrultucu moment
r	Savrulma açısal hızı
L	Ağırlık merkezi koordinatları
x	İlerleme miktarı
y	Yan öteleme miktarı
z	Dalıp çıkma miktarı
ϕ	Yalpa açısı
θ	Baş - kık vurma açısı
ψ	Savrulma açısı
p	Yalpalama açısal hızı
q	Baş – kık vurma açısal hızı
ΔH	Genel hız ifadesi

KISALTMA LİSTESİ

PM	Pierson Moskowitz
SNAME	The Society of Naval Architects and Marine Engineers
IMO	International Maritime Organisation
ITTC	International Towing Tank Conference
PLC	Programmable Logic Controllers
RRS	Rudder Roll Stabilisation
UHL	Ultra High Lift
ASW	Anti Submarine Warfare
RMS	Root Magnitude Square

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Gövdeye ve yere sabitlenmiş referans eksen takımı.	7
Şekil 2.2 Potansiyel sönüm etkilerinin gösterimi (Alarçin, 2005).	8
Şekil 3.1 Yalpa hareketinde kuvvetler.	12
Şekil 3.2 Sakin suda salınım sayılarına göre yalpa sönüm eğrisi.	15
Şekil 3.3 Sakin suda yalpa açılarındaki azalma eğrisi.	15
Şekil 4.1 İvme değerlerine göre insan etkinliği (Conolly, 1974).	20
Şekil 4.2 Yalpa açısı değerlerine göre insan etkinliği (Conolly, 1974).	20
Şekil 5.1 Yalpa omurgalı ve omurgasız modelin karşılaştırılması (Sabuncu, 1983).	26
Şekil 5.2 Pasif tank sisteminde suyun hareketi.	29
Şekil 5.3 Tank içerisindeki suyun momentinin zorlayıcı dalga momentini sönümlemesi.	30
Şekil 5.4 Serbest yüzey tankı genel görünüşü.	31
Şekil 5.5 Aktif kanat dengeleme sistemi	33
Şekil 5.6 Yalpa dengeleme hidrolik sistem diyagramı (Kawazoe vd., 1994)	34
Şekil 5.7 Kontrol yüzeyi geometrisi	37
Şekil 5.8 Hücum açısı ile kaldırma ve sürtünme kuvvetleri.	38
Şekil 5.9 Kanat kaldırma katsayılarının hücum açısına bağlı değişimi (Perez vd., 2000).	39
Şekil 5.10 U - tüp tank genel görünüş.	40
Şekil 5.11 Tank içindeki su miktarlarının yalpa hareketine göre değişimi.	41
Şekil 5.12 Aktif yalpa tankı sisteminin gemi kesitinde görünüşü.	41
Şekil 5.13 Hava üfleli aktif yalpa tankı çalışma sistemi.	42
Şekil 6.1 Yolcu gemilerinde kullanılan kanat sistemi (Sperry Marine).	47
Şekil 6.2 Harp gemisi yalpa sönümleme seçim kriterleri (Alarçin, 2005).	49
Şekil 6.3 Model harp gemisi.	49

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Gemi hareket notasyonları (Fossen, 1994).....	7
Çizelge 4.1 Yalpa hareketi limit ivme değerleri (Graham, vd., 1992).	21
Çizelge 5.1 Yalpa sönümleyici sistemlerin sınıflandırılması.	23
Çizelge 5.2 Yalpa omurgalarının avantaj / dezavantajları.....	27
Çizelge 5.3 Pasif tankların avantajları / dezavantajları.	32
Çizelge 5.4 Yalpa kanatlarının avantajları / dezavantajları.	36
Çizelge 5.5 Aktif yalpa tanklarının avantajları / dezavantajları.	42
Çizelge 6.1 Yalpa Önleyici sistemlerin Seçim Kriterleri.	48
Çizelge 6.2 Model gemi bilgileri.....	50
Çizelge 6.3 Kanat bilgileri NACA 0015.	51

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Fahri ÇELİK'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat ALARÇİN'e teşekkür ederim. Tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ, Sayın Prof. Dr. Mesut GÜNER'e, Sayın Prof. Dr. Tamer YILMAZ'a eğitim süresince vermiş oldukları destek nedeniyle teşekkür ederim. Yapmış olduğum çalışmayı Annem ve Babama ithaf ediyorum.

YALPA ÖNLEYİCİ SİSTEMLERİN ANALİZİ

ÖZET

Yalpa hareketi gemilerin denizlerde yaptığı hareketler arasında en fazla önlem alınması gerekenidir. Yalpa hareketi yapan bir gemide karşılaşılan başlıca sorunlar; yüklerin hasar görmesi, yolcular için rahat bir seyahat ortamı sağlanamaması, gemideki personelin işlerini gerektiği gibi ve zamanında yapamaması, gemi rotasının dalgalara göre sürekli değiştirilmesi ve gemi mukavemeti açısından ortaya çıkan problemlerdir.

Geminin bir başka hareketi olan baş - kış vurma hareketi ile bir karşılaştırma yapıldığında ortaya çıkan momentler daha küçük olduğu için yalpa hareketinin kontrol altına alınması daha kolaydır. Bu kuvvetlerden yalpa hareketinin kısıtlanması ile geminin daha kısa sürede daha fazla yol alması sağlanır.

Yalpa hareketinin genel karakteristiklerine ilişkin birçok çalışma yapılmış olup genel olarak istenilen yalpa açılarının küçültülmesi ve periyot sürelerinin uzatılmasıdır. Bu sistemlerden bazıları kağıt üstünde kalırken büyük kısmı başarı ile uygulanabilmiş ve geliştirilmiştir.

Dizayn edilen bazı tasarımlar gemiye verebilecekleri ciddi hasarlar ve çözölememiş güvenlik sorunları nedeniyle kullanımda pek sık görülmez.

Yalpa sönümleyici bir sistemle donatılması gereken bir gemide mevcut koşullar iyice araştırılmalı, kapsamlı bir değerlendirmeden sonra en uygun sisteme karar verilmelidir. Unutulmaması gereken yalpa sönümlemek için birçok başarılı sistem tasarlanmıştır. Ancak, her geminin ihtiyacı farklıdır. Kapsamlı bir çalışma yapılmadan tercih edilen yalpa sönümleme sistemi sonucunda, işe yaramayan ve boş yere hacim kaplayan bir grup teçhizat yığını ile baş başa kalınabilir.

Bu tezde kullanılmakta olan başlıca yalpa sönümleme sistemleri ele alınacak ve seçim kriterleri hakkında bir fikir verilmeye çalışılacaktır. Tezde belirtilen noktalara dikkat edildiği sürece çalışma şartları belirli bir gemi için ne tür bir yalpa sönümleme sistemi seçilmesi gerektiği hakkında bir fikir elde edilebilir.

Anahtar kelimeler: Yalpa hareketi, yalpa sönümleme sistemleri, yalpa sönümleme sistemi seçilmesi.

ANALYSIS OF ANTI ROLL SYSTEMS

ABSTRACT

Roll motion is one of the most important motions of the vessels that should be taken into precaution. The most seen problems on a rolling vessel are; cargo damage, uncomfortably of the passengers, the difficulties in working of the crew and the problems that may occur in the strength of the vessel.

It is easier to control roll motion of the vessel compared with the pitch motion as the moments occurred are less. In the situation forces can be controlled, the vessel has to move on a certain course by considering roll and pitch motions. By decreasing the roll motion, the vessel gathers way more distance in a less time.

Many system theories and designs are studied in roll motion. In general the aim is to decrease the roll angle and increase the period. Most of these systems succeeded and were applied since some failed.

Some of the designs can not be applied in real because of the serious damages and unsolved safety problems that may occur on the vessel.

The conditions of a vessel that will be fit with roll stabilization should be examined well and after investigations the most suitable system should be fit on the vessel. A random selection can cause results that are not expected and a group of equipments that occupy unnecessary volume.

This thesis gives views on the mainly roll stabilization systems that are applied and the criteria about the selection of the systems. In case working conditions for a vessel is considered, a good decision can be made about the selection of the system.

Keywords: Roll motion, roll stabilization systems, selection of the roll stabilization system.

1. GİRİŞ

Her türlü deniz ve hava koşulunda gemilerden beklenen iyi nitelikler gemilerin denizciliği kavramı altında toplanır. Genellikle gemiler fırtınalı ve karışık dalgalı denizlerde birtakım dalga bileşenleriyle senkronize olmak suretiyle çok büyük salınım hareketleri yaparlar.

En kötü olasılıkla stabilite sahasının dışına çıkılmak suretiyle geminin devrilmesi tehlikesiyle karşılaşılır. Özellikle büyük yalpalara düşen gemilerde yükler kaymak suretiyle gemi tehlikeli meyiller yapar. Oluşan aşırı şiddetteki atalet kuvvetleri gemideki cihazlara donanımına hasar verir. Geminin dümen dinleme kabiliyeti azalarak arzu edilen rotayı izleyebilmesi güçleşir.

Genellikle fırtınalı ve dalgalı denizlerde gemilerin hızları düşer. Hız düşmesi doğrudan doğruya veya dolaylı bir şekilde olur. Rüzgar, gemiye çarpan dalgalar, salınım hareketine zorlanan gemiden alınan enerji sonucunda geminin sevk veriminde azalmalara sebep olur.

Yalpa ve baş-kıç vurma hareketlerinin birlikte olduğu hallerde ayrıca oluşmuş bulunan jiroskopik kuvvetlerin de zorlamasıyla geminin dümen dinleme kabiliyeti azalır. Arzu edilen rotanın izlenmesi güçleşerek sürekli dümen müdahalesi gerekir. Aşırı hareketler ve bunların doğurduğu ivmeler gemideki personelin olumsuz etkilenmesine neden olur.

Dalga, akıntı ve rüzgar etkisi ile oluşan gemi hareketleri seyir esnasında yolcu ve çalışanları etkilerken rotadan sapma ve devrilme problemlerine de yol açmaktadır. Bu hareketler dalgaların karakteristiklerine ve gemiye geliş yönlerine göre değişim göstermektedir. Gemi dinamiğinin analizi aşamasında bu hareketlerin nasıl bir davranışa sahip olduğunu anlamak büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle gemi hareketlerinin dinamik analizlerinin teorik ve deneysel olarak yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Gemilerin dinamik davranışlarını kontrol etmek için dümen ve yalpa dengeleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler geminin kullanılacağı amaç doğrultusunda boyutlarına ve deniz şartlarına göre tasarlanmaktadır. Fossen (1994), yalpa sönümleme sistemlerinin gemilerde kullanılmasının ana nedenini, yüksek yalpa açılarında taşınan yükün hasar görmesi ve gemi personelinin bundan menfi etkilenmesi olarak tanımlamıştır. Yüksek yalpa açıları gemi personeli üzerinde çalışma verimini azaltmakta, hata yapma olasılığını arttırmaktadır. Harp gemilerinde ise yalpa hareketinin azaltılması durumunda top atışları daha isabetli olabileceği gibi uçak ve helikopterlerin gemiye iniş ve kalkışları da daha güvenli olur. Bu nedenle yalpa hareketlerinin kontrol edilebilmesi önemli bir inceleme konusudur. Bir çok sınıf gemide yalpa hareket genliğinin azaltılması maksadıyla değişik sistemler geliştirilmiştir. Bunlar yalpa

omurgaları, aktif ve pasif tanklar, yalpa kanatları olarak tanımlanabilir. Yalpa omurgaları, pasif tanklar ve sabit yalpa kanatları 1870 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Aktif ve pasif tank sistemleri düşük süratlerde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ancak bu sistemler gemi bünyesinde çok fazla hacim işgal etmektedir. Yüksek tonajlı ve düşük süratli gemilerde kullanımı daha avantajlıdır.

Bütün yalpa sönümleme sistemleri ayrı ayrı kullanılabildiği gibi kombine olarak da kullanılmaktadır. Aktif yalpa kanadı ile yalpa omurgası birçok gemide kombine olarak kullanılmaktadır.

Birçok gemide kullanılan yalpa sönümleme sistemleri gemilerin hizmet amaçlarına, sınıflarına göre uygulanmaktadır. Özellikle yüksek süratli teknelerde yalpa kanat sisteminin uygulanması avantajlı olabileceği gibi, yüksek tonajlı ve seyir hızı oldukça düşük olan gemilerde kullanılması efektif olmayacaktır. Önemli olan gemi sınıfına ve hizmet amacına en uygun olan sistemin seçilebilmesidir. Bu durumda iyi bir inceleme yapılmadan seçilen sistemin gemiye avantaj yerine çok büyük dezavantajlar meydana getirebileceği değerlendirilmiştir.

1.1 Önceki Çalışmalar

Gemi yalpa sönümü ile ilgili çalışmalar yıllar öncesine dayanmakta ve günümüzde de devam etmektedir. Bu çalışmalar genel olarak sakin suda gemi yalpa hareketinin incelenmesi, aktif ve pasif yalpa hareketinin sönümlemesini içermektedir. Yalpa azaltıcı sistemler üzerine yapılan çalışmalar iki ana gruba ayrılır. Pasif yalpa azaltıcı sistemler ve aktif yalpa azaltıcı sistemler olarak ifade edilir. İlk gruba ait önemli yalpa azaltıcıları, yalpa omurgaları, sabit kanatlar, pasif yalpa tankları ve pasif hareketli yalpa ağırlıklarıdır. Başlıca aktif yalpa azaltıcı sistemler ise aktif yalpa kanatları, aktif yalpa tankları, aktif hareketli ağırlıklar ve dümen sistemlerinden oluşmaktadır.

Bu uygulamalar başlangıçta pasif sönümleme sistemi olarak dizayn edilmiş, daha sonraki dönemlerde teknolojik gelişmelere bağlı olarak aktif kontrol sistemleri olarak geliştirilmişlerdir.

Çok büyük bir jiroskop kullanılarak yalpa hareketine ters yönde gemi bünyesinde ağırlık kaydırmak suretiyle belli bir moment kolu oluşturulmuş, yalpa hareketi azaltılmış ve bu sistem 1906 yılında Alman torpido botlarında uygulanmıştır (Moaleji ve Greig, 2006). İlk serbest yüzey pasif yalpa tankları Watts (1885) tarafından geliştirilmiştir. Minorsky (1941),

pasif sistemlerde kullanılan tanklar arasına aktif bir pompa yapılandırılmış, suyun tanklar arasındaki hareketini bu pompa yardımıyla sağlayarak aktif bir tank sistemini geliştirmiştir. Webster (1967), bu aktif tank sistemine basit bir kontrolör adapte etmiş, yalpa hareketinin azaltılmasında daha iyi sonuçlar almıştır.

Bell ve Walker (1966) aktif ve pasif sistemler üzerinde çalışmalar yapmış, aktif tank sistemlerinde tanklar arasında sıvı hareketini sağlayan pompa sistemini kontrol valfleriyle desteklemiştir. Pompa motorunun bir kontrolör üzerinden sinyal almasını sağlamışlardır. Motor ve valfler kontrolör vasıtasıyla kumanda altına alınmıştır.

Field ve Martin (1975), U tanklar ve serbest yüzey tankları üzerine çalışma yapmışlardır. Birçok fiziksel parametre üzerine yapılan çalışmada tanklar bünyesindeki su sütunu yüksekliği, tank kesit alanları, tanklar arasındaki boru devrelerinin mevkisi, çapı ve tankların gemi bünyesindeki mevkileri ve bunun yalpa hareketinin azalması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Her iki sistemde de yalpa hareketinde % 30 – 35 oranında azalma olduğu, ancak her iki sisteminde sınırlı kullanım imkanları olduğu, aktif tank sistemlerine göre daha az emniyetli olduğunu tespit etmişlerdir.

Webster vd. (1988), serbest yüzey tanklarının kullanımının daha emniyetli hale getirilmesi ve yalpa sönümleme performansının artırılmasına yönelik yapmış oldukları çalışmalarda, serbest yüzey tanklarının hızlı salınımlarda yalpa açısını arttırdığı, karışık deniz durumunda yalpa sönümleme performansının diğer sistemlere göre daha az olacağı, tanklar bünyesindeki çalkantı perdelerinin yapısında yapılacak değişimlerin yalpa sönümleme performansını arttırabileceği değerlendirilmiştir.

Baitis ve Schmidt (1989) dümen yelpazesi ile yalpa hareketinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmış (RRS), geminin yalpa hareketine ters yönde dümen yelpazelerini hareket ettirerek yalpa hareketini % 40 oranında azaltmışlardır. Amerikan donanmasında Spruance sınıfı destroyerlerde bu sistem uygulanmıştır.

Sellers ve Martin (1992) değişik yalpa sönümleme sistemlerinin karşılaştırılması, gemi sınıflarına göre seçim kriterleri ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, düşük hızlarda yalpa kanat sistemlerinin yalpa sönümleme performansının efektif olmadığını, yalpa kanat sistemlerinin ticari gemilerde kullanımının çok fazla hacim kaplaması nedeniyle ekonomik olmadığını, aktif ve pasif tank sistemlerinin ticari gemiler için daha uygun olduğunu, tank sistemlerinin düşük hızlarda da etkili olduğunu yalpa sönümleme performanslarının da % 60 oranında olduğunu belirtmişler, yüksek süratli teknelerde yalpa kanat sistemlerinin % 80

oranında performans gösterebildiğini, bu nedenle yüksek süratli teknelerde yalpa kanat sisteminin kullanılmasının uygun olacağını, düşük süratli yük gemilerinde ise tank sisteminin kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Kawazoe (1994), teknenin dış kuvvetlere vermiş olduğu tepkiler ile tekne bünyesindeki yalpa sönümleme sistemi performansına etkisini incelemiş, optimum kanat alanının seçimi için hem dalga meyil kapasitesi hem de tekne hareket simülasyonları yapmıştır. Yalpa hareketinin dengelenmesinde, geminin her iki tarafına optimum kanat alanına sahip hidrolik kanat sistemini modellemiş, seçilen optimum kanat alanının yalpa sönüm performansını arttırdığını tespit etmiştir.

Alarçin (2005), bir konteyner gemisinin seyir gereksinimlerinin karşılanması amacıyla klasik ve modern kontrol yaklaşımları kullanarak gemi savrulma ve yalpa hareketlerinin dengelenmesi modellemiş, dalga kuvvet ve momentleri etkisindeki bir ve üç serbestlik dereceli bir konteyner gemisinin savrulma hareketini dümen ile yalpa hareketini yalpa dengeleme kanatları kullanılarak modellemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Gemilerin her türlü sert hava koşulunda hız ve rotasını muhafaza ederek güvenle seyredebilmesi ve dizayn amacına uygun olarak kendisinden beklenen görevleri başarı ile yerine getirebilmesi istenir. Bu kavram genel bir yeteneği ifade etmekte ve her türlü sistem ve personeli ile birlikte gemiyi bir bütün olarak kapsamaktadır. Gemilerin, fırtınalı ve karışık dalgalı denizlerde bir takım dalga bileşenleri ile senkronize olarak aşırı büyük salınım hareketleri yapmaları sonucu, genel performanslarında meydana gelen azalmaların dizayn safhasında tespiti, denizcilik konusunda yapılan araştırmaların en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Kısaca her türlü deniz ve hava koşullarında gemilerden beklenen iyi nitelikler gemilerin denizciliği kavramı altında toplanır.

Gemilerde bulunan sistemler geliştikçe, denize dayanıklılık konusu daha karmaşık hale gelmiştir. Gemilerin fırtınalı denizlerde her yönden gelen şiddetli dalgalardan çok fazla etkilenmeden görevlerini yerine getirmeleri beklenmektedir.

Yalpa hareketi, gemilerin arzu edilmeyen karakteristik bir hareket şeklidir. Yalpa, gemi bünyesinde gerilmeler doğurarak gemiyi zorladığı gibi aynı zamanda yolcu ve personeli de etkileyerek çok rahatsız eder. Ambarlarda yüklerin bir bordasından diğer bordaya kaymasına ve geminin tehlikeli meyiller yapmasına neden olur. Yalpa, gemilerde doğrudan doğruya hız

azaltılmasını gerektirdiği gibi, dalgaları bordadan almamak için gemi rotasının değiştirilmesiyle geminin şiddetli baş-kıç vurma hareketleri sonucu dolaylı olarak hızının düşmesine de etken olur. Ancak gemilere yalpa yaptıran kuvvet ve momentlerin, baş-kıç vurma hareketi yaptıran kuvvet ve momentlere nazaran, oldukça küçük olmaları nedeniyle yalpa hareketini kolaylıkla azaltarak kontrol altına alınabilen yalpa azaltıcı cihazlar geliştirilmiştir.

Yalpa hareketinin azaltılmasıyla elde edilecek sonuçlar :

1. Geminin rota tutuş performansını arttırmak,
2. Yakıt tüketimi ve seyir süresini azaltmak,
3. Dalgalı deniz durumlarında yalpa etkisi ile oluşabilecek devrilme olayını önlemek,
4. Gemi personelinin şiddetli deniz ortamından etkilenmesini önlemek, daha verimli çalışmasını sağlamak,
5. Ticari gemilerde yükün yalpa hareketinden zarar görmesini önlemek,
6. Harp gemilerinde yüksek yalpa açısı değerlerinde atış kontrol sistemlerinde meydana gelebilecek arızaları önlemek,
7. Silah sistemlerinin daha yüksek performansta çalışmasını temin etmek, ticari gemilerde olduğu gibi personel verimini yüksek tutmaktır.

Geçmişte yapılan çalışmalarda genel olarak yalpa sönümleme sistemlerinin performansı incelenmiş, bu sistemlerde kullanılan kontrolörler ve yazılımlar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ancak gemi sınıfına bağlı herhangi bir seçim kriteri oluşturulmamıştır. Armatörler için en önemli konu sistemlerin maliyeti ve bu sistemin yapılandırılmasından sonra elde edebileceği verimdir. İyi bir inceleme yapmadan oluşturulan yalpa önleme sistemi gemiye avantaj sağlamayacaktır. Armatör yüksek maliyetle satın aldığı sistemi kullanamayacağı gibi, çok fazla yer işgal eden ve atıl kalan bu sistem geminin taşıma kapasitesine de menfi yönde etki edecektir. Seçim kriterlerinin oluşturulması bu nedenle önemlidir.

Bu çalışmada, bu istekler dikkate alınarak yalpa hareketini sönümleyen aktif ve pasif sistemler incelenmiş, gemilerin sınıf ve kullanım amaçlarına uygun yalpa sönümleme sistemleri tarif edilmiştir. Bu sistemlerin avantajları/dezavantajları belirtilmiştir. Sistem seçimine yönelik kriterler, sistemlerin maliyeti ve verimi dikkate alınarak oluşturulmuştur.

2. GEMİ DİNAMİĞİ

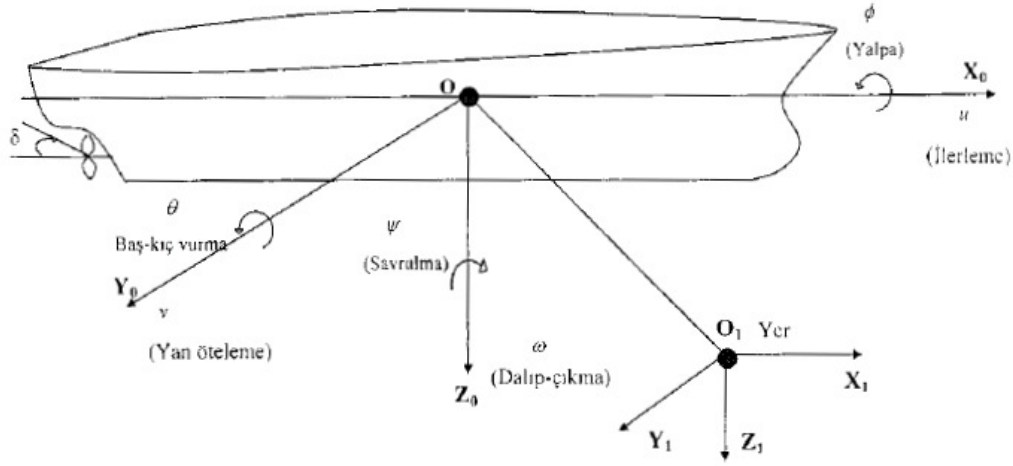
Dinamik sistemlerin analizinde sistemin hangi kısımlardan meydana geldiği ve nasıl hareket edeceği belirlenmelidir. İlk olarak, gerçek deniz durumunu tanımlayabilecek bir dalga teorisine ihtiyaç vardır. Salınan cisim ürettiği dalgalarla enerjisinin bir kısmını sönümler. Genellikle karışık dalgalar arasında bulunan gemiler, hareketleri her an bir arada yapmaya zorlanırlar. Ancak dalgaların karakterine ve gemiye geliş yönlerine göre türlü şekilde zorlanan gemi bir tür hareketi veya daha fazla türden birleşik hareketi diğerlerine göre belirgin bir biçimde yapabilirler. Örneğin, baştan gelen dalgalarda gemiler dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketini en belirgin şekilde yapabilirler. Bu tip bileşik hareketler aynı zamanda geminin simetrik hareketleri olarak tanımlanabilir. Bordadan gelen dalgalarda, eğer gemi sıfır ilerleme hızında ise, yalpa, dalıp-çıkma ve yan öteleme birleşik salınım hareketleri oluşur. Düzgün karakterdeki dalgaları omuzluklardan alan gemilerde, genellikle yukarıda sayılan altı tür hareket bileşeni bir arada meydana gelir. Ancak, yalpa, yan-öteleme ve savrulma bileşik hareketi bunlar içinde geminin yapabileceği en belirgin hareketlerdir.

2.1 Gemi Hareket Notasyonları

Denizde ilerleyen bir gemi göz önüne alındığında, işletim ve çevre etkileri geminin yönünü ve pozisyonunu değiştirmeye zorlamakta ve bunun sonucunda zaman bağlı olarak değişik kuvvetlerin etkilemesine ve haliyle deplasmanında bir değişim oluşmasına neden olmaktadır. Bu zorlayıcı etkiler, gemide altı serbestlik dereceli salınım hareketlerini oluşturmaktadır. Gemilerin seyir ve değişik servis hallerinde oluşan bu salınım hareketleri üçü öteleme ve üçü dönel hareketler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu hareketler aşağıda kısa tanımlar halinde verilmiştir.

1. İlerleme : Boyuna eksende geminin ileri ve geri doğrusal hareketi,
2. Yan öteleme : Enine eksende geminin her iki yöndeki doğrusal hareketi,
3. Savrulma : Geminin düşey eksen etrafındaki dönel veya açısal hareketi,
4. Dalıp-çıkma : Düşey eksende geminin her iki yöndeki doğrusal hareketi,
5. Yalpa : Geminin boy eksen etrafındaki yaptığı dönme hareketi,
6. Baş-kıç vurma : Geminin enine eksende kıçta ve başta açısal hareketi.

Gerçek halde yüzen bir cisim eşzamanlı olarak yukarıda tanımlanan altı serbestlik derecesine sahip hareketleri yapmaktadır. Bu hareketlerden ilerleme, savrulma ve yan öteleme hareketleri geminin konumunu ifade ederken dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri de geminin denge pozisyonunu bozan dış kuvvetlere verdiği tepki hareketidir.



Şekil 2.1 Gövdeye ve yere sabitlenmiş referans eksen takımı.

Çizelge 2.1 Gemi hareket notasyonları (Fossen, 1994).

No	Hareketler	Kuvvet / Moment	Hızlar	Konumlar
1	İlerleme	X	$u = \frac{dx}{dt}$	x
2	Yan öteleme	Y	$u = \frac{dy}{dt}$	y
3	Dalıp-Çıkma	Z	$u = \frac{dz}{dt}$	z
4	Yalpa	K	$u = \frac{d\phi}{dt}$	ϕ
5	Baş-Kıç vurma	M	$u = \frac{d\theta}{dt}$	θ
6	Savrulma	N	$u = \frac{d\psi}{dt}$	ψ

2.2 Hidrodinamik Kuvvet ve Momentler

Gemi birleşik hareketlerini elde edebilmek için gemiye etkiyen zorlayıcı kuvvet ve momentlerin hesaplanması gerekir. Bu kuvvet hidrodinamik, doğrultucu ve ek kütle atalet kuvvetleridir. Herhangi bir anda gemi birim boyuna etkiyen kuvvet ve momentler,

$$\tau_H = - \underbrace{M_A \dot{v} - C_A(v)v}_{\text{Ek kütle}} - \underbrace{D_p(v)v}_{\text{Sönüm}} - \underbrace{G(\eta)}_{\text{Doğrultucu kuvvetler}} \quad (2.1)$$

sembolik olarak ifade edilir. Burada M_A ve C_A ek su kütlesi, D_p potansiyel sönüm kuvveti katsayısı ve G doğrultucu kuvvet katsayılarıdır. Hidrodinamik ek kütle kuvvetleri, geminin ivmeli hareketiyle beraber gemi hareketine ters yönde meydana gelir. Gemiye etkiyen doğrultucu moment yatırıcı kuvvete zıt yönde tepki verir. Gemiye etkiyen doğrultucu moment yatırıcı kuvvete zıt yönde ve kaldırıcı su kuvvetlerinin momentine eşittir. Sönüm kuvveti, geminin hareketi ile iki yanında meydana gelen dalgalar, gövdeden aldıkları potansiyel enerji ile sönüm etkisini oluşturur. Potansiyel sönüm, hareket ile meydana gelen diğer sönüm etkilerini de içerir (Şekil 2.2).

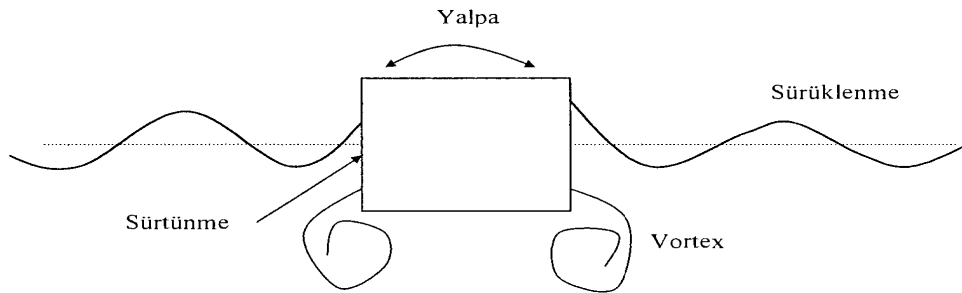
Bunlar,

- Yüzey sürtünme sönümü,
- Dalga sürüklenme sönümü,
- Vortex sönümü veya viskoz sönüm ile tanımlanır.

$$D_p = - \underbrace{D_s(v)v}_{\text{Yüzey sürtünmesi}} - \underbrace{D_d(v)v}_{\text{Dalga sürüklenme sönümü}} - \underbrace{D_v(v)v}_{\text{Vorteks sönümü}} \quad (2.2)$$

Sönüm kuvvetleri, hidrodinamik ve potansiyel sönüm eşitliklerinin toplamı ile gösterilir.

$$D(v) \cong D_p(v) + D_H(v) \quad (2.3)$$



Şekil 2.2 Potansiyel sönüm etkilerinin gösterimi (Alarçin, 2005).

Gemiye harekete zorlayan dış kuvvetler;

- Dalgalar,
- Rüzgar,
- Akıntı,
- Hidrodinamik kuvvetler.

$$\tau = \tau_{dalga} + \tau_{rüzgar} + \tau_{akıntı} + \tau_H \quad (2.4)$$

gibi istenmeyen kuvvetler mevcuttur. Bu kuvvetlere genel bozucu etkiler denir. Rota performansında karşılaşılan en önemli denge bozucu etkenler deniz dalgaları ile ani rüzgar sağanaklarıdır.

3. YALPA HAREKETİ

Yalpa, yan öteleme ve savrulma hareketleri aynı zamanda yansal hareketler olarak da tanımlanır. Bu hareketleri inceleyebilmek için başlangıçta dalgaların gemiye tam olarak bordadan geldikleri kabul edilecektir. Bunun sonucu olarak gemi, yalnızca yalpa, yan öteleme ve dalıp-çıkma hareketleri yapabilir. Bu arada doğabilecek olan baş-kıç vurma ve savrulma hareketleri ise ikinci dereceden küçük hareketlerdir. Yalpa hareketini incelenmesinde dalgaların gemiye tam olarak bordadan geldikleri kabul edilir. Yalpa, gemilerin arzu edilmeyen karakteristik bir hareket şeklidir. Yalpa, gemi bünyesinde gerilmeler doğurarak gemiyi zorladığı gibi aynı zamanda yolcu ve personeli de etkileyerek çok rahatsız eder. Ambarlarda yüklerin bir bordasından diğer bordaya kaymasına ve geminin tehlikeli meyiller yapmasına neden olur. Yalpa, gemilerde doğrudan doğruya hız azaltılmasını gerektirdiği gibi, dalgaları bordadan almamak için gemi rotasının değiştirilmesiyle geminin şiddetli baş-kıç vurma hareketleri sonucu dolaylı olarak hızının düşmesine de neden olur. Ancak gemilere yalpa yaptıran kuvvet ve momentlerin, baş-kıç vurma hareketi yaptıran kuvvet ve momentlere nazaran, oldukça küçük olmaları nedeniyle yalpa hareketini kolaylıkla azaltarak kontrol altına alınabilen yalpa azaltıcı cihazlar geliştirilmiştir. Bugün, yalpa azaltıcı cihazlar gerek harp ve gerekse ticaret gemilerinde gittikçe artan bir oranda kullanılmaktadır. Bu cihazlarla donatılmış bir gemide, kullanıcı personel yalpa hareketinden sakınmak yerine daha az baş-kıç vurma hareketi yapmak amacıyla rotasını dalgaları bordadan alacak biçimde değiştirebilme olanağına sahiptir.

3.1 Sakin Suda Sönümsüz Yalpa Hareketleri

Uygulanan her hangi bir dış kuvvetin etkisi altında sakin suda meyilli olarak yüzen bir gemi, bu kuvvetin kaldırılması sonucu periyodik karakterde bir hareket olan yalpa hareketini yapar. Uygulanmış dış momentle meyilli olarak yüzen gemide, sualtı formuna ait simetrisinin bozulması sonucu kaldırıcı su kuvvetleri, tekneyi zıt yönde etkileyen doğrultucu moment değerini oluştururlar. Eğer sıvının viskozitesiz olduğu ve su yüzeyindeki dalga oluşumunun da olmadığı kabul edilirse, bu halde sıvıda harekete karşı bir direnç doğamayacağından, gemide doğmuş bulunan potansiyel enerji, gemiyi meylettiren dış momentin yapmış olduğu tüm işe eşit olur. Eğer gemiyi etkileyen dış moment kaldırılırsa, serbest kalan gemiyi etkileyen doğrultucu moment, gemiyi dikey duruma doğru döndürür. Geminin meyilli durumunda kazanmış olduğu potansiyel enerji geminin tam dikey duruma gelmesiyle tamamen eşit değerdeki kinetik enerjiye dönüşür. Bu şekilde dikey duruma gelen gemi

üzerindeki hızın etkisiyle tüm kinetik enerjisini bitirene kadar diğer tarafa doğru meyillenir. Böylece geminin harekete başladığı andaki potansiyel enerjisine eşit olarak, potansiyel enerjisi en yüksek düzeyine ulaşmış olur. Bu durumun başlangıç anındaki duruma tam bir benzerlik göstermesi nedeniyle gemi, tekrar mukabil tarafına dönerek, sönümsüz yalpa hareketi kabulüne uygun olarak, sonsuz sayıda sabit genlikteki yalpa hareketini sürdürür. Eğer bir denizaltı tamamen suya dalmış olarak bu tür salınım hareketlerini yapmış olsaydı, hareketler denizaltının ağırlık merkezinden geçen boy ekseni etrafında olurdu. Halbuki gemi, hava-su gibi iki ayrı ortam içinde bulunduğundan gemiyle temasta bulunan su ve havaya ait farklı dinamik etkenler nedeniyle yalpa hareketleri, tam olarak ağırlık merkezinden geçen eksenler etrafında oluşmazlar.

Bunlar, her an değişebilen merkezlerden geçen eksenler etrafında meydana gelirler. Genellikle G ağırlık merkezi gemi yüklü su hattında veya üzerinde ise dönme ekseni G ağırlık merkezinin altında kalır. Buna karşılık, eğer G merkezi yüklü su hattından çok aşağılarda ise, dönme ekseni G' nin üzerinde kalır. Gerçekte yalpa hareketinin etraflarında oluştukları yalpa ekseni gerek sabit ve gerekse gemiye bağlı eksen takımlarına göre sabit bir doğrudan ibaret olmayıp bunlar uzayda doğrulardan oluşmuş bir yüzey meydana getirirler. Normal tekne formundaki ve nispeten küçük açılarda yalpa yapan gemilerde ani dönme eksenleri G ağırlık merkezine oldukça yakın geçerler. Problemi basitleştirmesi ve gerçeğe nazaran da büyük bir fark oluşturmaması nedeniyle, yalpa hareketinin incelenmesinde hareketin G ağırlık merkezinden geçen boy ekseni etrafında olduğu kabul edilecektir. Bundan sonra bu eksene yalpa ekseni adını vereceğiz. Herhangi bir anda yalpa ekseni etrafındaki açısal ivmeyle orantılı atalet kuvvetlerinin momentine eşitlemek suretiyle,

$$J_{\phi} \frac{d^2\phi}{dt^2} = -M_{st} \quad \text{veya} \quad J_{\phi} \frac{d^2\phi}{dt^2} + M_{st} = 0 \quad (3.1)$$

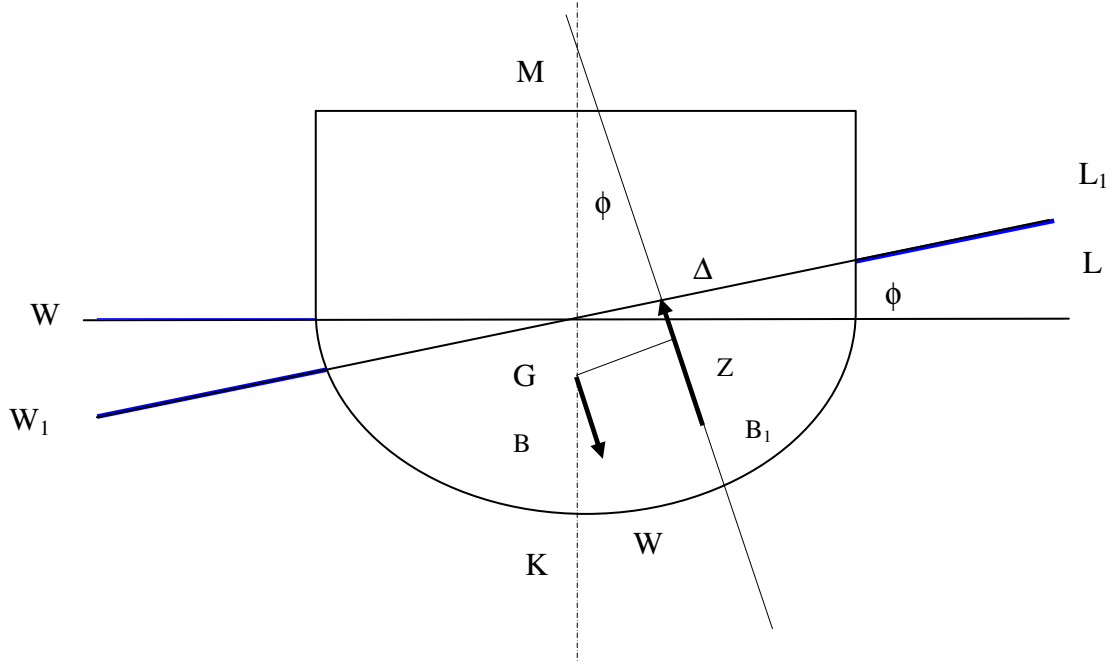
yazılabilir.

Burada;

ϕ : Her hangi bir anda geminin dik durumdan olan yalpa meyil açısı,

J_{ϕ} : Yalpa ekseni etrafındaki gemi kütlesi atalet momenti,

M_{st} : Dış kuvvetlerin aynı eksen etrafındaki momentidir.



Şekil 3.1 Yalpa hareketinde kuvvetler.

Dış kuvvetlerin M momenti deplasman kuvvetinin doğrultucu momentine eşittir.

$M_{ST} = \Delta \overline{GZ}$ dir. $J_\phi = \frac{\Delta}{g} k_\phi^2$ alınabilir. k_ϕ : yalpa eksenine göre gemi kütlesi jirasyon

yarıçapıdır. 10° 'den küçük yalpa açıları için, $M_{st} = \Delta \overline{GZ} \cong \Delta \overline{GM} \cdot \phi$ olarak alınabilir.

Yukarıdaki denklemlerde yerine konulmak suretiyle ;

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{g \cdot \overline{GM}}{k_\phi^2} \phi = 0 \quad (3.2)$$

elde edilir.

$\omega_{n\phi}^2 = \frac{g \cdot \overline{GM}}{k_\phi^2}$ ile gösterilirse ve (3.2)'de yerine konursa;

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \omega_{n\phi}^2 \phi = 0 \quad (3.3)$$

Yalpa periyodu:

$$T_{n\phi} = \frac{2\pi k_{\phi}}{\sqrt{g \cdot \overline{GM}}} \text{ (sn)} \quad (3.4)$$

olarak bulunur.

Sonuç olarak metasantr yüksekliği $\overline{GM}$ ne kadar büyük olursa yalpa periyodu ($T_{n\phi}$) o kadar küçük olur. Yalpa periyodu çok kısa olursa, salınımlar yolcu ve mürettebat açısından rahatsız edici olabilir. Yalpa hareketinde ortaya çıkan teğetsel kuvvetler açısal ivme ile orantılıdır. Gemilere yalpa yaptırarak $\overline{GM}$ metasantr yüksekliğinin bulunması maksadıyla, $T_{n\phi}$ periyodu deneysel olarak ölçülür. Gerçekte gemiler sönümlü yalpa hareketi yapmış olduklarından bu harekete ait periyot değeri $T'_{n\phi}, T_{n\phi}$ den çok az farklılıklar arz eder. Bu bakımdan pratikte eşitlik (3.4)' ü kullanmakta bir sakınca yoktur. $T_{n\phi}$ yalpa periyodu ϕ yalpa açısından bağımsız olup küçük yalpa açılarındaki salınımlar için yani eş zamanlıdır.

Eşitlik (3.3) ile verilen hareketin denklemini integre edilirse;

$$\phi = A \cdot \cos(\omega_{n\phi} \cdot t) + B \cdot \sin(\omega_{n\phi} \cdot t) \quad (3.5)$$

çözümü bulunur.

Burada A ve B başlangıç şartlarından tayin edilecek sabitlerdir. Eğer $t = 0$ ile belirlenen başlangıç anında $\phi = \phi_0$ ve $\frac{d\phi}{dt} = \omega_{0\phi}$ ise çözüm,

$$\phi = \phi_0 \cdot \cos(\omega_{n\phi} \cdot t) + \frac{\omega_{0\phi}}{\omega_{n\phi}} \cdot \sin(\omega_{n\phi} \cdot t) \quad (3.6)$$

veya $\omega_{n\phi} = \frac{2\pi}{T_{n\phi}}$ olması nedeniyle bunu (3.6) 'da kullanmak suretiyle periyot yönünden,

$$\phi = \phi_0 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_{n\phi}} \cdot t\right) + \frac{\omega_{0\phi} \cdot T_{n\phi}}{2\pi} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_{n\phi}} \cdot t\right) \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.

Eşitlik (3.6) ve (3.7) sakin suda sönümsüz yalpa hareketini veren genel çözümler olup, ϕ 'nin zamana göre değişimi ϕ_0 ve $\omega_{0\phi}$ 'nin verilmesiyle tanımlanır (Sabuncu, 1983).

3.2 Yalpa Hareketinde Direncin İncelenmesi

Deniz suyu viskoz ve serbest yüzeyle sınırlandırılmış bir sıvı olması nedeniyle gemilerin yalpa hareketlerinde bu harekete karşı direnç kuvvet ve momentleri doğar. Bir bordasına meyil yaptırılarak serbest bırakılan gemi, bundan sonra genlikleri gittikçe azalan sönümlü yalpalar yapmak suretiyle bir süre sonra hareketi durur. Eğer gemi sakin sudaki yalpa hareketinde bir bordasına ϕ_0 açısı ile belirtilen en büyük meyilini yapmışsa su direnci nedeniyle diğer bordasına ϕ_0 ve ϕ_1 yalpa açılarına karşıt gelen dinamik stabiliteler arasındaki fark, yalpaya karşı direnç kuvvetlerinin yapmış olduğu işe eşittir. Küçük açılarda yapılan yalpalar için $GZ = \overline{GM} \phi$ alınabileceğinden ϕ_0 açısındaki dinamik stabilite;

$$Y_0 = \int_0^{\phi_0} \Delta \overline{GM} \phi d\phi = \frac{1}{2} \overline{GM} \Delta \phi_0^2 \quad (3.8)$$

ϕ_1 açısındaki dinamik stabilite ;

$$Y_1 = \int_0^{\phi_1} \Delta \overline{GM} \phi d\phi = \frac{1}{2} \overline{GM} \Delta \phi_1^2 \quad (3.9)$$

olur. Bir bordadan diğer bordaya yapılan tek salınımda dinamik stabilitedeki azalma;

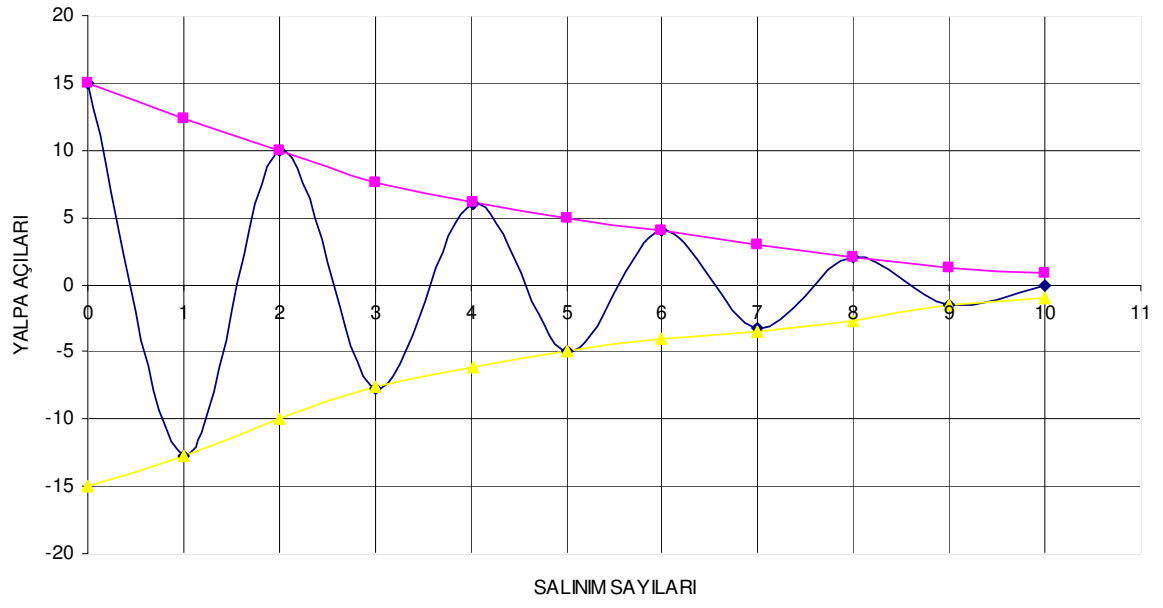
$$E_r = Y_0 - Y_1 = \frac{1}{2} \overline{GM} (\phi_0^2 - \phi_1^2) \quad (3.10)$$

$$= \Delta \overline{GM} \frac{\phi_0 + \phi_1}{2} (\phi_0 - \phi_1) \quad (3.11)$$

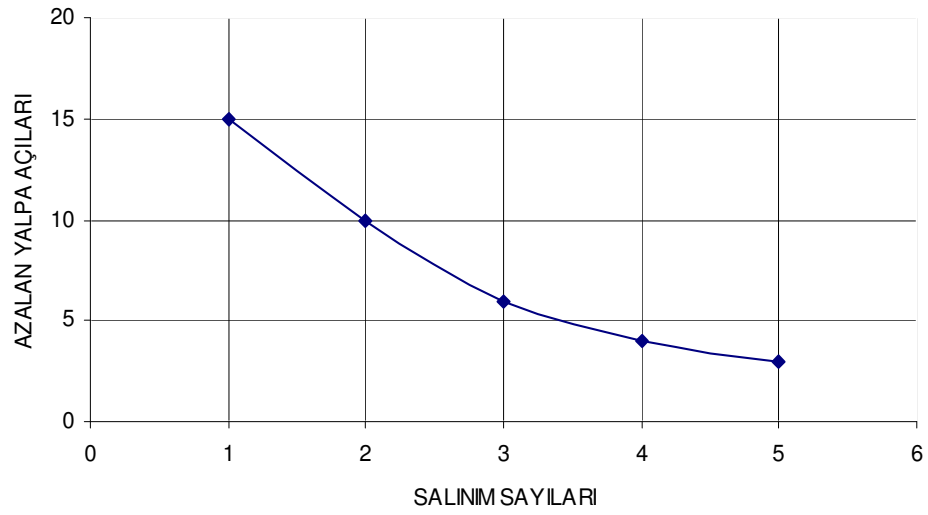
$$= \Delta \overline{GM} \phi_m \delta \phi \quad (3.12)$$

olur. Burada, $\phi_m = \frac{\phi_0 + \phi_1}{2}$ ardışık iki yalpaya ait ortalama yalpa açısı ve $\delta\phi$ de her salınımdaki azalmadır.

Gemilerde sakin suda yapılan yalpa deneyleri t zamanına göre çizilirse yalpa eğrisinin karakteristik görünümü Şekil 3.2' de olduğu gibidir. Eğer bu eğri, aynı bir eksen üzerinde eşit aralıklı alınmış yalpa sayıları üzerine sıradan sancak iskeleye yapılan maksimum yalpa açılarını gösterecek biçimde değiştirilerek çizilirse Şekil 3.3' teki eğri elde edilir. Yalpa açısı değerleri derece olarak tanımlanmıştır. Bu yalpa açısındaki azalma eğrisi olarak tanımlanır (Sabuncu, 1983).



Şekil 3.2 Sakin suda salınım sayılarına göre yalpa sönüm eğrisi.



Şekil 3.3 Sakin suda yalpa açılarındaki azalma eğrisi.

3.2.1 Yalpadaki Direnç Bileşenleri

Gerçek sıvıda yalpa hareketine zıt yönde oluşan direnç kuvvet ve momentleri açısal hız ve açısal hızın karesiyle orantılı olarak değişirler. Aşağıdaki analizde bu husus açıklanmaya çalışılacaktır. Yalpaya karşı suyun içerisinde doğan çeşitli direnç bileşenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Suyun viskozitesi nedeniyle suyla temasta bulunan gemi ıslak yüzeyinin yalpa hareketinde oluşturduğu sürtünme direnci ve buna ait direnç momenti,
2. Yalpa hareketinde gemi su altı formu suda anaforlar oluşturur. Bunlara harcanan enerji karşılığı hareketi zıt yönde etkileyen direnç momenti,
3. Yalpa hareketinde serbest su yüzeyinde oluşan dalgalara harcanan enerji karşılığı meydana gelen direnç momenti,
4. Hava ile temasta bulunan gemi su üstü bünyesinin yalpa hareketinde oluşturduğu direnç.

Yukarıda sayılmış bulunan çeşitli dirençlerin hepsi pasif direnç bileşenleridir. Yani dışarıdan herhangi bir etki yaratmaksızın yalpa yapan her gemide doğabilecek olan pasif direnç bileşenleridir (Sabuncu, 1983).

4. DENİZCİLİK KRİTERLERİ

Bir geminin denizcilik performansının ölçümü, yaşanabilirlik, denize dayanıklılık, hareket kabiliyeti faktörlerinin dikkate alınmasıyla olur. Bugün bu kriterlerin çoğu değişik denizcilik olaylarına dayandırılmış sınırlandırıcı değerler olarak ifade edilir. Sayısallaştırılması, gemi geometrisi ve ağırlık dağılımı bilgileri gerektiren sayısal ve deneysel metotlar ile yapılabilir. Harekat ihtiyaçlarına uygun gemi inşasını mümkün kılmak amacıyla, denizcilik özelliğinin genel gemi performansı üzerine etkilerinin, dizayn safhasında tespit edilmesini ve bunların kabul edilebilir seviyelerde kalmasını sağlayacak bir kısım mukayese imkanlarının kullanılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu mukayeseyi sağlamak maksadıyla denizcilik özelliği olaylarının tanımlarından hareket edilerek “Denizcilik Kriterleri” tesis edilmiştir. Denizcilik Kriterleri, yeni inşa edilecek gemilerin denizcilik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılabileceği gibi, hem yeni dizaynların hem de mevcut gemilerin denizcilik bakımından kendi aralarında mukayeselerini ve müşterek hareketlerinin incelenmesini mümkün kılacak şekildedir. Denizde çalışan gemilerin çalışma performanslarını tahmin etmek için üç detay bilgiye ihtiyaç vardır. Geminin çalıştığı denizdeki dalga ve rüzgarın istatistiksel tanımı, gemi reaksiyonlarını tanımlayan bilgisayar programları ve çalışma performans hareketlerinin etkilerini tanımlayan denizcilik kriterleridir.

Gemi dizaynerleri denizcilik performansına ilk önce emniyet standartları açısından, daha sonra ekonomiklik açısından bakarlar. Bu yüzden sonuç olarak seçilen dizayn en iyi denizciliğe sahip olmayabilir. Dizayn için rehber oluşturabilecek unsurlar, belli deniz durumunda, belli hızda ve rotada geminin göstermiş olduğu tepki, verdiği cevap ve verilen bir deniz durumunda performans kriterlerinin sınırını aşmadan sürdürülebilir hız ve rota sınırı, ya da bunlar üzerine teorik yaklaşımlar sonucu yapılan tahminlerdir. Denizcilik performansı kriterleri, yaşanabilirlik, denize dayanıklılık, hareket kabiliyeti gibi unsurlarını derecelendiren, geminin denizciliğinin birer karakterlerini ifade eder. Yani, baş ıslaklığı gibi bir karakter, baştaki güverte suya girme frekansı ile ifade edilir.

Gemi Kriteri geminin hareket etkinliği ile teknenin hasara uğraması, gemi makinelerinin arıza yapması, yük kayması, su girmesi gibi olayların olasılığıyla ilgilidir. Genel olarak, kinistin alıcılarının sudan çıkması, büyük yalpa ve baş-kıç açıları nedeniyle sistem ve cihazlarda meydana gelen arızalar ve modern gemilerde bulunan seyir, muhabere, silah ve atış kontrol sistemleri ile bunların sensörlerinin performanslarının azalması ve ana tahrik sisteminin sevk

veriminin düşmesi, geminin hareket kabiliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Sistem ve sensörlerinin aşırı hareketleri takip edememeleri dolayısıyla, devre dışı kalmaları veya oluşan atalet kuvvetlerinin zorlamaları altında elektronik kartlar gibi hassas elemanlarının etkilenerek arızaların ortaya çıkması ihtimali, deniz şiddetine bağlı olarak artmaktadır.

Ayrıca, denizde ikmal ve yedek çekme donanımlarında faaliyet sırasında doğan zorlamalara bağlı olarak arızalar ortaya çıkmakta ve işlemin başarısı etkilenmektedir. Güverte üzerinde mevcut silah ve sistemlerin güverte ıslaklığı olayı nedeniyle deniz suyu ile ıslanmaları bu sistemlerin metal kısımları üzerinde korozyon etkisini arttırmakta ve uzun vadede önemli arızalara zemin hazırlamaktadır. Helikopter hareketinin önemine binaen genellikle helikopter ve ilgili sistemleri geminin diğer sistemlerinden ayrı olarak değerlendirilmektedir. Şiddetli denizlerde ilerleyen gemilerde, helikopterin iniş kalkışları sınırlanmakta ve hareketin genel akışı yavaşlamaktadır. Yakıt ve cephane alma işlemleri ile onarım ve diğer maksatlarla helikopteri güverte üzerinde hareket ettirme zorlaşmaktadır. Deniz serpintisi nedeniyle, helikopter ve sistemlerinin tuzlu suya maruz kalması korozyon olayını hızlandırmaktadır.

Mürettebat Kriteri ise personelin hareket etkinliği ile alakalıdır. Denizcilik olaylarının, personel üzerinde, deniz tutması, yorgunluk, performans düşüklüğü, çalışmayı engelleme gibi menfi etkileri yanında yaralanmaya yol açma, güverteden yuvarlanmaya sebep olma gibi tehlikeli yönleri ile ilgilidir. Gemiye seyir ettirme, makineleri çalıştırma, yemeklerin çıkması, helikopter kaldırma/indirme gibi olaylardır. Kısaca geminin yaşanabilirlik ve işletilebilirliğini ifade eder. Kriter personel ve işlerindeki etkinliğe tesir etmesi açısından göz önüne alınabilir.

Kriterler için limitler, kabul edilebilir yaşanabilirlik, işletilebilirlik ve dayanıklılık için en kötü denizcilik performansını tanımlayan sayısal değerlerdir. Dizayn hesaplarında kullanılan limitler verilen deniz durumunda verilen bir hızda ya da verilen bir deniz bölgesinde uzun süre çalışmasıyla ilgilidir. Pratikte aksi olabileceği halde gemi bu limitleri aşmayacak şekilde dizayn edilebilir. Bu değerler yaşanabilirlik, işletilebilirlik ve denize dayanıklılığı tanımlamada kullanılır.

Kullanıcı limitleri; Kaptanın rota ve hızını, denizcilik performansını arttırmak için değiştireceği limitlerdir. Ekonomik koşullar, genelde kaptanın yaşam mahallerini biraz daha iyileştirmesini engeller. Yaşanabilirliğin kötü olması performansını tehlikeli bir şekilde azaltabilir. Kaptanın limitlerini tanımlamak zordur. Çünkü çoğu subjektif ve bilinçaltı kararlara bağlıdır. Ancak, bu limitler işletilebilirliğin temel limitleridir. Geçerli oranlar, her karakterin ne kadar önemli olduğuna bağlı uygun bir ağırlık değerlendirmesini kullanarak tüm

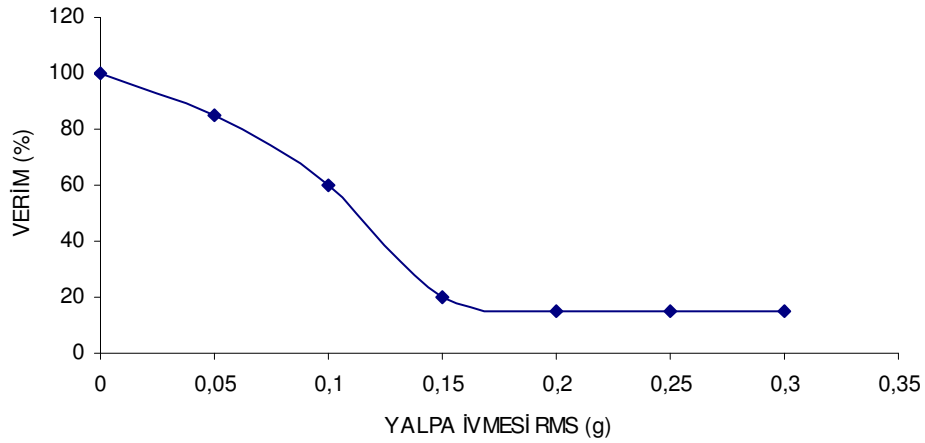
performans kriterlerini birleştiren, geminin denizcilik performansının tek şekilli tanımlarıdır. Farklı kriterlerde birbirlerinden iyi olsalar bile, bu şekilde gemilerin kendi aralarındaki basitleştirilmiş karşılaştırmaları yapılır.

Yalpa, baş-kıç vurma, düşey ve yatay hareket kriterleri ise genel olarak geminin harekate elverişli olması gereğinden ortaya çıkmaktadır. Sınırlamalar hareketlerin genlik ve ivmelerine konmaktadır. Harekat sırasında faal olması gerekli olan cihaz ve sistemlerin özellikleri ile helikopter hareketi gibi özel ihtiyaçları, bahse konu gemi hareketlerinin limit değerinin tespitine ilişkin en önemli kaynakları teşkil etmektedir. Burada sadece yalpa hareketi ile ilgili kriterler incelenmiştir.

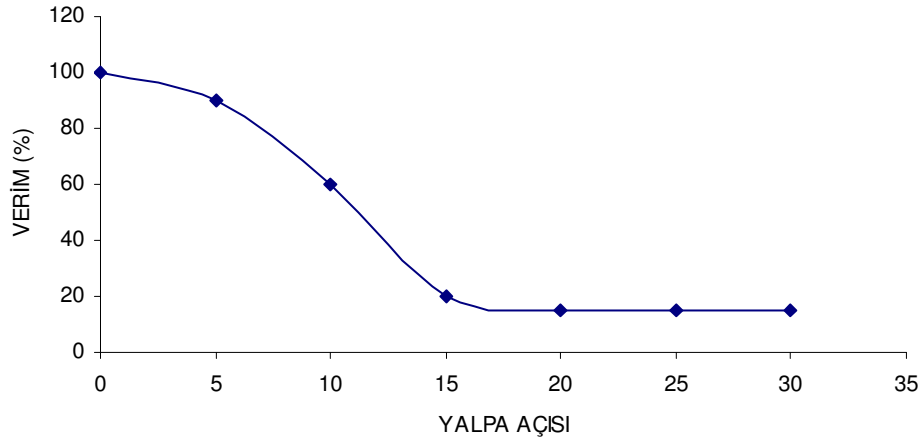
4.1 Yalpa Hareketi İle İlgili Kriterler

Yalpa endeksli ivmelenmeler geminin herhangi bir yerindeki yanal ivmelenme savrulma ve yalpa hareketlerinin birleşik etkilerinin bir sonucudur. Yalpa bileşeni, yalpa ekseninin herhangi bir mevkiisi için önemli olabilir. Yalpa endeksli yerçekimsel yükler doğal yalpa açısı, gemi üzerindeki tüm nesneler için ağırlığın yatay bileşenlerini ortaya çıkarır. Büyük yalpa açıları, kayma ve hasar ihtimaliyle birlikte açık şekilde yük üzerinde yerçekimsel yükler üretmektedir. Yalpa endeksli yerçekimsel yükler yalpa açısı sinüsü ile değişir. Yanal ivmelenme bölümünde verilen limitlerle karşılaştırıldığında bu büyük bir değerdir. Yalpa eksenini güverteden geçse bile yürümek gibi pek çok olaylar yalpa yapan güvertede sabit bir platforma göre daha zordur. Monk (1987), 6 derecelik yalpa açısında personel etkinliğinin % 20-30 oranında azaldığını, yalpa hareketindeki ivme değerinin 0.07 g olması durumunda ise personel etkinliğinin % 50 oranında azalacağını belirtmiştir. Andrew vd. (1984), yalpa sönümleme sistemi olan denizaltı savunma harbi (ASW) maksatlı kullanılan fırkateynlerin, sönümleme sistemi olmayan fırkateynlere göre % 70 oranında daha etkin kullanıldığını Kuzey Atlantik denizinde yapılan deniz denemelerinde tespit etmişlerdir. Bu seviyede hareketlerin personelin faaliyetini engelleyecek derecede olduğu tespit edilmiştir. Conolly' e (1974) göre 0.32g'lık bir değeri hem çalışmak hem de yaşamak için gerçekten çok zor durumlar ortaya çıkarmaktadır. Dikey ivmelenmenin personel üzerindeki etkisine gelince, 0.05g ve 0.1g değerleri Amerikan donanması standartlarına göre iki ve yarım saatlik yıpratıcı periyotlar için rahatsızlık limitleri olarak verilmiştir. Frekans 10 Hz ve 0.315 Hz arasında değişmektedir. Bu büyüklükler, iyi havalandırılmayan bir yerde oturan veya ayakta duran kimselerin %10'unda deniz tutmasına sebep olmaktadır. Çalışmalar göstermiştir ki personel deniz tutmasına karşı en çok 0.2 Hz civarında hassastır (Conolly, 1974).

Bu personelin emniyet, performans ve geçiş, savaş ve denizde ikmal uygulamalarına dayandırılmıştır. Harp gemilerinde yalpa hareketlerinin geminin hareket kabiliyeti ve personel etkinliği üzerinde çok büyük etkisi vardır. Kısıtlayıcı yalpa açıları sık sık çeşitli silahlar, ekipmanlar ve görevler için belirlenir. Yalpanın hareketinin personel üzerindeki etkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de belirtilmiştir. Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi 4° ’ den küçük yalpa açıları personel üzerinde az bir etkiye sahiptir. Fakat 10° ’ de verim azalmaya başlar. Emniyetle ayakta durmak için 14° ’lik bir kritik yalpa açısı belirtilmiştir.



Şekil 4.1 İvme değerlerine göre insan etkinliği (Conolly, 1974).



Şekil 4.2 Yalpa açısı değerlerine göre insan etkinliği (Conolly, 1974).

Çizelge 4.1 Yalpa hareketi limit ivme değerleri (Graham, vd., 1992).

Gemi Sınıfı	RMS (g) (ivme)
ABD donanması limiti	0.25
Yük gemisi Ana güverte	0.2
Ticaret gemileri	0.15
Konteyner gemisi	0.15
ABD Donanması Köprüsütü	0.12
% 20 insan performansı	0.30
Helikopter Harekatı maksimum	0.08
Helikopter Harekatı emniyetli	0.06
%100 insan performansı	0.05
Yolcu gemileri	0.05

Çizelge 4.1’ den görüldüğü gibi hassas operasyonlarda helikopter harekatı gibi 0.08 g’ lik yalpa hareketindeki ivme değeri maksimum değerdir. Bu durumda harp gemisi kısıtlı hareket yapabilecektir. Ticari gemilerde 0.2 g’ lik bir değerde personel ağır işleri yapamaz. Ancak seyir emniyetine kumanda eden personel kısa süreli görev yapabilir. Bu nedenle, hem askeri hem ticari gemilerde yalpa hareketini kontrol altına alabilen sönümleme sistemlerinin kullanılması ihtiyaç olarak görülmektedir. Özellikle yolcu gemilerinde çok daha etkin sönümleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Yolcu gemilerinde 0.05 g’ lik limit değerinin temin edilebilmesi her türlü çevresel şartlarda oldukça zordur. Bu tip gemilere uygulanacak sistemlerin kombine olarak kullanılması durumunda yalpa sönümleme performansı çok daha makul seviyelerde olacaktır. Konteyner gemilerinde yüksek yalpa açıları ve ani ivmelenmeler yüke hasar verebilir. Geminin rotasını değiştirmesi dalgaları baş taraftan alması daha riskli bir durumdur. Hız azaltması ya da dalgaları borda istikametine yakın açı değerlerinde alması, yalpa açılarının azaltılmasına ve ivme değerlerinin minimum seviyelere çekilmesine bağlıdır.

5. YALPA SÖNDÜRÜCÜ SİSTEMLER

Yalpa genliğini azaltan birçok sistem vardır. Bunların amacı doğrultucu momente eklenebilecek kuvvetler oluşturmaktır. En basit ve en ucuz sistem yalpa omurgalarıdır. Denge konumunda, yani düşey veya buna yakın bir konumda, yüzmekte olan bir gemi belli bir geçici tesir altında bu konumdan ayrılıp, denge konumu etrafında salınım hareketi yaparak zamanla eski konumuna ulaşıyorsa, bu durumda denge konumuna kararludur denir (Özkan, 1977).

Eğer, geminin denge konumunu bozucu tesirler kısa bir süre için etki etmek yerine gemiye sürekli olarak etki ediyorsa, dalga, rüzgar gibi, bu takdirde geminin ilk konumuna dönmesi söz konusu değildir. Yalpa hareketinin genel karakteristiği ve meydana gelen problemler göz önüne alınarak ortaya birçok yalpa söndürücü sistem teorisi ve tasarımı çıkartılmıştır. Gemilerde yalpa azaltıcı düzenler, pasif yalpa azaltıcı sistemler ve aktif yalpa azaltıcı sistemler olarak iki ana grupta 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 ağırlıklardır.

Aktif yalpa azaltıcı sistemlerde ise 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 azaltıcı sistemlerin çalışma prensibi yalpaya karşı zıt bir moment oluşturma esasına dayanır. Başlıca yalpa azaltıcı sistemler aktif yalpa tankları, aktif yalpa kanatları ve aktif hareketli ağırlıklardır.

Baş-kıç vurmada oluşan kuvvet ve momentler, bunları azaltıcı donanımlara harcanacak olan güçler, yalpadakilere nazaran çok daha büyüktür. Gemilerde yalpa, gemi hareketleri içinde insanı en fazla rahatsız edeni olduğu gibi genlikler büyük ve tehlikeli boyutlara ulaşabilir. Bu nedenle ilk olarak yalpa hareketinin azaltılması gerekir. Gemi bünyesi mukavemet elemanlarında elde edilen gelişmeler ve baş taraf su altı formlarının iyileştirilmeleri, bu durumu biraz daha rahatlatmış ve bir süre sonra gemilerin fırtınalı denizlerde herhangi bir hasar görmeden makine güçlerini kullanarak ilerlemeleri mümkün olmuştur. Ancak, zamanımızda modern ve hızlı gemiler için durum değişmiştir. Artık, daha az makine gücüyle, daha fazla hız ve seyir sıası sağlanması, ileri teknoloji ürünü daha hafif konstrüksiyon ve malzeme kullanılmak suretiyle inşa edilen çok sayıda karmaşık ve hassas sistemlerle donatılarak etkinlikleri arttırılan gemilerin fırtınalı denizlerde, belirlenen rotalarında hasar

görmeden ilerleyebilmesi yeterli olmamakta, personeli de dahil olmak üzere her türlü silah ve sistemlerin faaliyetlerini sürdürerek, kendilerinden beklenen planlı görevleri aksatmadan yerine getirebilmeleri istenmektedir. Gerçekten yalpa azaltıcı donanımlara sahip gemilerde yolcu ve personel daha konforlu ve uygun koşullarda yaşama ve yolculuk yapma imkanına sahip olmaktadır. İtme organında bulunan ve insanın dengesini sağlayan sistem, deniz tutmasında en önemli rolü oynar. Gemi hareketleri nedeniyle, bunların amacı doğrultucu momente eklenecek ek moment kuvvetleri oluşturmaktır.

5.1 Yalpa Sönümlleme Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

Genel olarak yalpa azaltıcı sistemlerle yapılmaya çalışılan yalpa açılarının küçültülmesi ve periyotlarının rahatsızlık vermeyecek şekilde uzatılmasıdır. Yalpa omurgaları ilerleme yönünde ve en az direnç oluşturacak şekilde, gemi gövdesine sınına dönümüne dik ve akım hatlarına paralel olarak yerleştirilir. Yalpa omurgaları ucuz olmasına karşın gövde direncini arttırmaktadır. Bununla birlikte önemli oranda 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 metasantr yüksekliğini azaltmaktadır. Ayrıca oldukça fazla yer kaplamaktadır. 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 olmasıdır. Aynı zamanda düşük seyir hızlarında yalpa azaltmadaki etkinliği hemen hemen ortadan kalkar. Yalpa azaltıcı sistemle donatılması gereken bir gemide mevcut koşullar iyice araştırılmalı, kapsamlı bir değerlendirmeden sonra en uygun sisteme karar verilmelidir.

Çizelge 5.1 Yalpa sönümleyici sistemlerin sınıflandırılması.

Çalışma ilkelerine göre yalpa söndürücü sistemlerin sınıflandırılması	Kuvvetlere göre yalpa söndürücü sistemlerin ayrımı
Pasif yalpa söndürücü sistemler	Ağırlık kuvvetleri
Aktif yalpa söndürücü sistemler	Hidrodinamik kuvvetler

5.1.1 Pasif Yalpa Söndürücü Sistemler

Bu tip yalpa azaltıcı sistemlerde donanımı çalıştıran ek bir güce ve özel bir kontrol aygıtına ihtiyaç yoktur. Bu tip sistemlerde, yalpa hareketi yardımıyla harekete zıt yönde moment oluşturulur. Bunlar yardımıyla geminin yalpadaki enerjisi azaltılarak veya kısmen yok edilerek hareket söndürülür.

- Yalpa omurgaları,
- Sabit kanatlar (finler),
- Pasif yalpa sarnıçları,
- Pasif hareketli ağırlıklar,

olarak sınıflandırılır.

5.1.1.1 Yalpa Omurgaları

En basit ve en ucuz yalpa sönümlleme sistemi yalpa omurgalarıdır. Yalpa omurgaları gemi boyunca geminin dip kısmına yakın kaynatılan çelik profillerdir. Yalpa omurgalarının iki görevi vardır. Birincisi yalpa hareketini karşılayan hidrodinamik direnç kuvveti oluştururlar. İkinci olarak yalpa omurgaları girdaplar oluşturur ve bunlarda yalpa hareketi ile viskoz baskıyı artırır. Yalpa omurgaları yalpayı azaltmak için gemiye takılmış olan ve hemen hemen her gemide bulunan en basit düzenlerdir. Genellikle yalpa omurgaları sintine dönümüne dik olarak ve ilerleme yönünde gemiye en az direnç verecek şekilde gemi akıntı çizgileri boyunca monte edilirler. Bu bakımdan yalpa omurgalarının en iyi şekilde yerlerinin saptanabilmesi ancak gemi model deneyleri ile mümkün olabilmektedir. Genellikle yalpa omurgalarının alanları, gemi projeksiyon alanının % 2 ila % 4'ü ve derinlikleri de gemi genişliğinin %3 ila %5'i civarındadır. Yalpa omurgalarının derinliklerini sınırlayan en önemli faktör, bunların gemi boyutlarının dışına taşırılmamasıdır. Aksi halde, gemi omurga hattından daha aşağıda ve gemi genişliğinden daha dışarıda olarak düzenlenmiş yalpa omurgaları, havuzlamalarda ve rıhtıma yanaşmalarda kendisine ve gemiye hasar verebilir.

Buna karşılık gemi etrafında oluşan sınır tabaka dışına çıkamayacak kadar genişliği az tutulan yalpa omurgaları da efektif değildir. Çok dolgun orta kesit alanına sahip gemilerde sınır tabaka çok kalın olduğundan bu kesitler civarında yalpa omurgası efektif bir şekilde geniş tutulamaz. Dolayısıyla buralara yalpa omurgaları takılmasından çok kere vazgeçilir. Bu

yüzden gemi büyüklüğüne ve tipine bağlı olarak yalpa omurgalarının genişlikleri 0.30 ila 1.20 m. arasında değişir. Bunların boyları ise gemi boyunun % 25 ila % 75'i civarındadır. Şekil 5.1'de sakın bir suda bir gemi modeli ile yalpa omurgasız ve yalpa omurgalı olarak yapılmış yalpa deneyleri gösterilmiştir. Özellikle büyük açılardaki yalpa hareketi, yalpa omurgalı modelde çok çabuk sönmektedir. Genellikle gemilerde yalpa genliğinde % 20 ila % 35 arsında bir azalma görülür. Yalpa omurgalı gemilerde yalpa periyodu izokron olmayıp yalpa genliğinin artması oranında periyot uzar. Yalpa omurgalarının gemi ile birlikte daha büyük bir su kütlesini ivmelendirerek harekete geçirmesidir. Böylece ek su kütlesi artarak yalpa genliği ile orantılı olarak periyot uzar. Yalpa omurgalarının yalpaya karşı göstermiş oldukları direncin hesap edilmesinde bazı ampirik formüller kullanılabilirse de en doğru olarak bunların bu amaçla yapılmış olan model deneyleri sonuçlarından hesaplanması gerekir. Yalpa omurgalarının yalpa hareketine karşı göstermiş oldukları direncin, yalpa omurgasına dik olarak etkiyen lineer hızın karesiyle orantılı olduğu kabul edilir. Bu kuvvetin yalpa eksenini etrafındaki momenti,

$$M_{rk} = C_k \frac{\rho}{2} S_k r_k^3 \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 (kg.m) \quad (5.1)$$

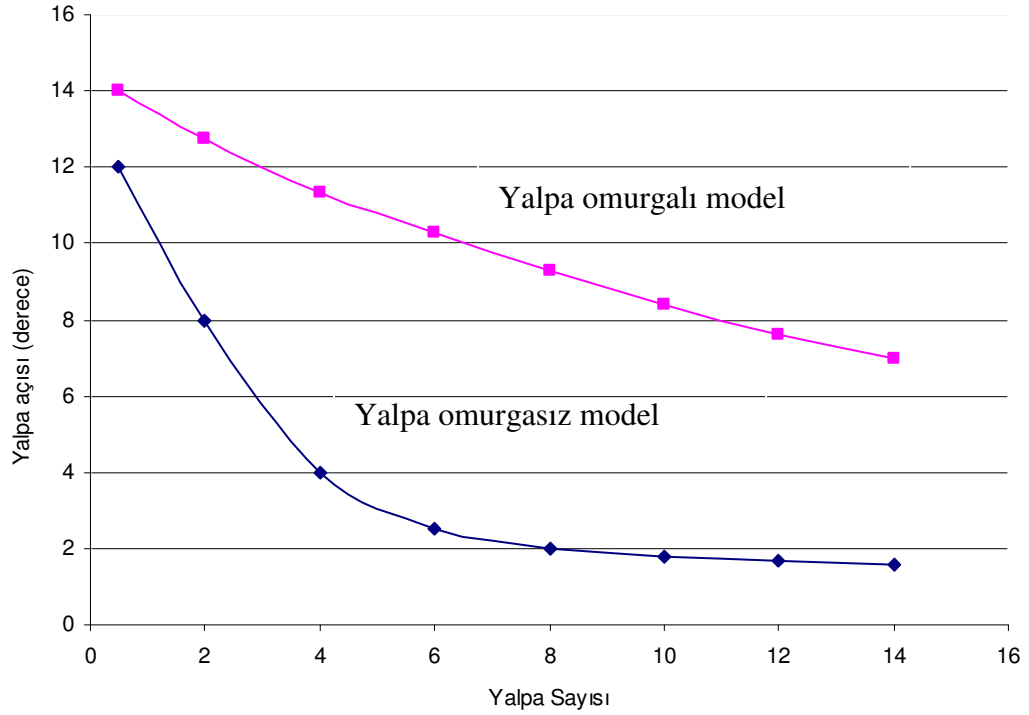
Burada,

S_k = Sancak iskele toplam yalpa omurgası alanı (m^2),

r_k = Yalpa omurgasının yalpa ekseninden ortalama uzaklığı (m),

ρ = Deniz suyu yoğunluğu,

C_k = Normal basınç katsayısı (1.1 - 1.7) .



Şekil 5.1 Yalpa omurgalı ve omurgasız modelin karşılaştırılması (Sabuncu, 1983).

Yükseklikleri, maksimum gemi genişliğinin dışına taşmamalıdır. Yalpa omurgalarının toplam alanları yaklaşık olarak gemi projeksiyon alanının % 2 - 4' ü kadardır. Gemi etrafında oluşan sınır tabaka kalınlığından daha az yükseklikteki yalpa omurgalarının yalpa söndürmeye bir etkisi yoktur. Levha kesitinde olan omurga formu, gemi uzunluğu arttıkça “V” formunu alır ve içi dolgu ile takviye edilerek daha mukavim hale getirilir.

Yapılan deney ve gözlem sonuçlarına göre, geminin ileri hareketi sırasında yalpa omurgalarının etkinliği de artmaktadır. Yalpa omurgalarının ön kesitlerinde ortaya çıkan hidrodinamik kuvvet, yalpanın yatay kuvvetine karşı koyar. Gemiye eklenen yalpa omurgaları gemi ile beraber hareket eden su kütlelerini arttırır. Yalpa omurgaları tip ve büyüklükten bağımsız olarak her gemiye konabilirler. Bu tip bir önlem çok etkin olmamakla beraber yalpayı % 35 oranında azaltabilir. Yalpa omurgalarının tercih edilmesindeki en büyük neden ucuz ve bakım tutumlarının masrafsız olmasıdır. Yalpa omurgalarının etkin olabilmesi için gemi etrafında oluşan sınır tabaka kalınlığından fazla olması gerekir. Dolgun orta kesit alanına sahip gemilerde yalpa omurgası kullanılmamalıdır. Takılabilecek maksimum yükseklikteki yalpa omurgaları bile oluşacak sınır tabaka kalınlığının içinde kalacağı için eklenen levhaların etkinliği çok az olacaktır. Yalpa omurgalı ve yalpa omurgasız modeller

üzerinde yapılmış olan deney sonuçları Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Yalpa omurgalı modelde yalpa hareketi azalmaktadır. Hidrodinamik kaldırma kuvvetinin etkisi altında çalışan yalpa omurgalarının tek bir parça yerine bir kaç parçadan yapılabilir. Bu sayede akıma giren ve kaldırma kuvveti oluşturan parça sayısı artırılmış olur. Hidrodinamik kuvvetlerden daha iyi yararlanabilmek için akıma göre yönlendirilebilir kanat kullanmak daha da etkilidir. Yalpa omurgaları yalpa Finlerine göre düşük hızlarda etkinliklerini koruyabilirler. Basit ve ucuz olmaları nedeniyle çok geniş bir yelpazede kullanılırlar. Alanlarındaki artışa ve yalpa ekseninden olan uzaklıklarına bağlı olarak etkileri artar. Daha büyük yalpa açılarında daha etkindirler. Yalpa omurgalarının etkisi geminin yalpa eksenini etrafındaki atalet momentiyle ters orantılıdır. Bu nedenle ağırlıkların gemi merkezine konsantre olduğu ve daha düşük atalet momentlerinin bulunduğu teknelerde daha etkindirler.

Çizelge 5.2 Yalpa omurgalarının avantaj / dezavantajları.

Avantajları;	Dezavantajları;
Montaj maliyeti düşük	Direnç artışı
Düşük hızlarda verim yüksek	Denizcilik özelliğini menfi etkiler
Ağırlığı çok az	-
Stabiliteye menfi etkisi yok	-
Geminin taşıma kapasitesi değişmez	-

5.1.1.2 Pasif Yalpa Tankları

Pasif yalpa tankları genelde gemi hızına bağlı olamadan yüksek süratlerde yada düşük süratlerde kullanılabilir. Yalpa hareketini sönümlemesi hidrodinamik kuvvetlere bağlı olmaması nedeniyle gemi hızından bağımsız çalışır. Bu da diğer sistemlere göre pasif yalpa tanklarına çok büyük bir avantaj kazandırır. Özellikle Petrol platformlarında, boru döşeme gemilerinde, sondaj gemilerinde, konteyner gemilerinde oşinografi araştırma gemilerinde, yalpa tanklarının kullanımı efektiftir (Hsueh ve Lee, 1997). Diğer sönümleme sistemleriyle mukayese edildiğinde maliyet olarak çok daha fazla ekonomiktir. Yalpa sönümleme oranı % 40 – 60 oranındadır (Sellars ve Martin, 1992). Serbest yüzey tankı 1874 yılında W. Froude tarafından hareket dengeleyicisi olarak etkisinin test edilmesi amacıyla kullanıma sokulmuştur. 1910 yılında Frahm serbest yüzey tank sisteminden daha etkin bulunan U-tipi

tankları kullanmaya başlamıştır. Çalışma ilkesi, tank içindeki akışkanların iskele ve sancak yönüne hareket etmesiyle oluşan momentlerin yalpayı söndürmesidir. Bu tip dengeleyici sistemlerin dezavantajları dengeleme esnasında tank içindeki akışkanın çalkalanmasıdır. Yalpa hareketinin büyümesiyle çalkalanmalarda artar. Tank içindeki akışkan tankın tavanına çarptığında, yalpanın dengelenmesindeki etkinlik azalmaya başlar. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan birisi tank yüksekliğidir. Pasif yalpa önleyici tank sistemleri geminin kendi yalpası ile tanklardaki suyu hareketin tersi yönüne aktarır. Çalışma prensipleri eğer gemi sancağa yatarsa, maksimum yalpa açısına ulaşıncaya kadar su sancaktan iskeleye akar. Gemi eski haline dönmeye çalışırken aynı hareketi suda yapmaya çalışacak fakat gemiye göre geride kalacaktır. Bu durumda, tank kolunda kalan suyun oluşturduğu moment yardımıyla yalpa önlenmeye çalışılacaktır. Ayrıca tüpün direnci fazla ise hareket halindeki su tank bünyesinde kalacak geminin yalpa hareketini sönümleyecektir. Pasif sistem kollarındaki su seviyeleri ya da tankın tümündeki seviyeler bu gecikmeleri ayarlamak için doldurulup boşaltılabilir. Gecikme fazı 90 derece olduğu zaman en iyi sonuçlar alınır. Genel olarak bilinen pasif tank sistemleri aşağıdakilerdir;

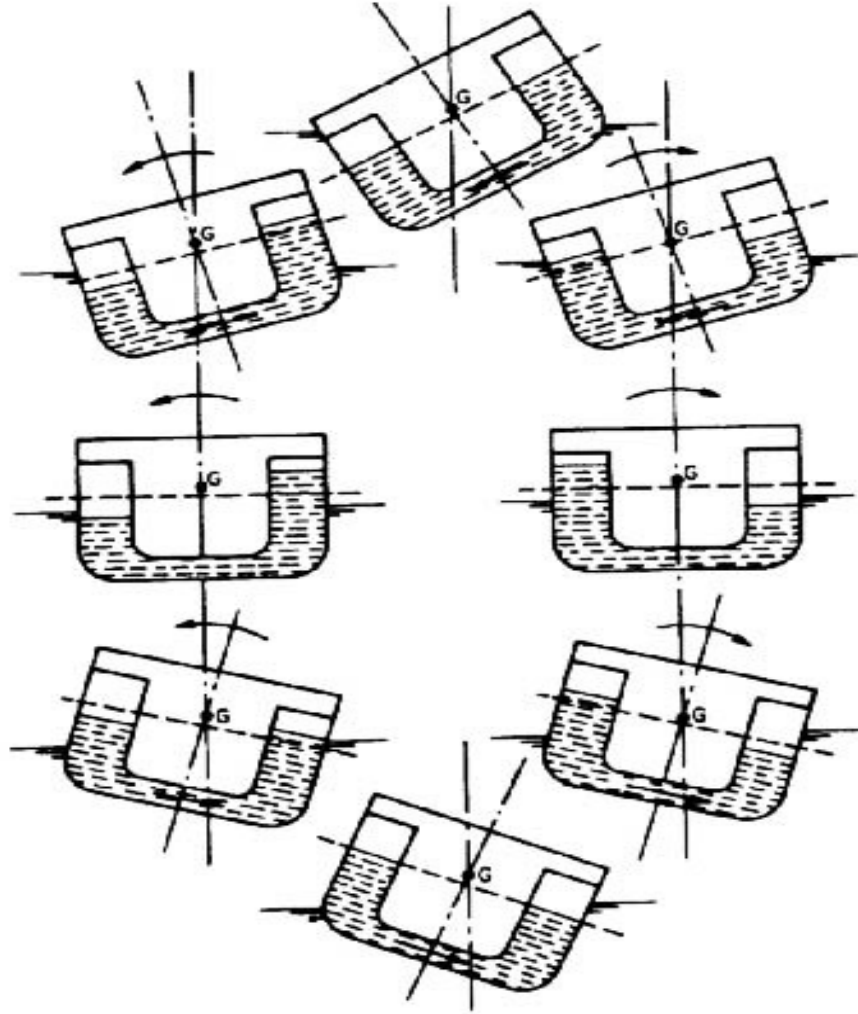
- U-tube tanklar,
- Form stabilitesine etki eden tanklar,
- Flume tipi yalpa sarnıçları,
- Maierform tipi tanklar.

Yalpa önleyici tanklar yüklü hallerde değişikliklerin nadiren ayarlanması haricinde tek başlarına bırakıldıklarında pasif tank (sarnıç) olarak anılırlar. Pasif sistemde, aktif sistemde geçerli olan komplike kontrol sistemi geçerli değildir. Bu durum pasif sistemleri aktif sistemlere göre daha uygun hale getirir.

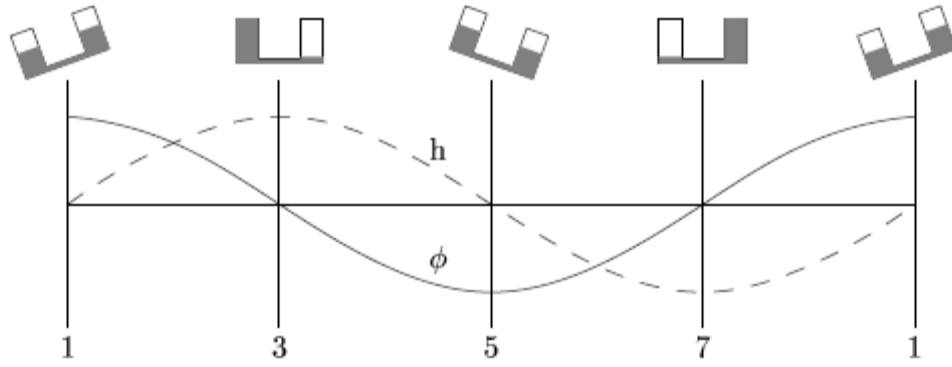
Gemi yalpa hareketinin etkisiyle meyillenen tankın içinde daima aşağıya doğru akan su geminin yalpa hareketindeki potansiyel enerjinin bir kısmını kullanarak bu enerjiyi ve dolayısıyla yalpa hareketini azaltmış olur. Suyun bir bordadaki tanktan diğerine akması anındaki ağırlık kuvvetleri ile geçiş hareketindeki atalet kuvvetleri yalpayı önleyici yöndeki ivmelenmesinden yararlanır.

U-tipi tankın etkin biçimde çalışabilmesi için U borusu biçimindeki tankın içinde suyun bir bordadan diğerine geçiş hareketindeki doğal periyodunun gemi yalpa periyoduna eşit olması gerekir. Bu da düşey tank kesit alanlarının yatay kesit alanlarına nazaran büyüklüklerinin

uygun şekilde seçilmiş olmasıyla sağlanabilir. Tank içindeki suyun hareketiyle dalganın zorlayıcı momenti arasında π kadar bir faz farkı oluşur. Gemi zorlayıcı dalga momentinin $\pi/2$ kadar gerisinde ve tank içindeki suda yalpa hareketine nazaran $\pi/2$ geride kalan birer faz farkına sahiptir. Böylece tank içerisindeki suyun meydana getirdiği moment dalganın zorlayıcı momentini zıt yönde etkileyerek yalpa hareketinin dinamik olarak söndürülmesini sağlar. Şekil 5.2' de pasif tank sistemi bünyesinde suyun hareketi görülmektedir.

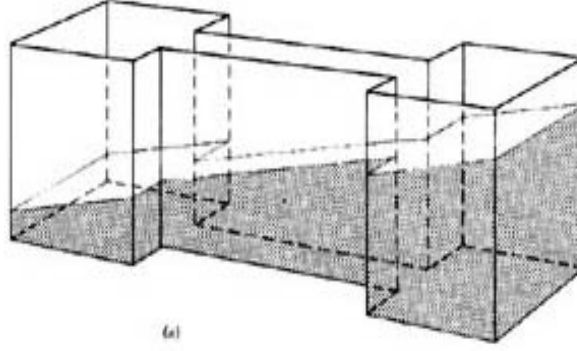


Şekil 5.2 Pasif tank sisteminde suyun hareketi.



Şekil 5.3 Tank içerisindeki suyun momentinin zorlayıcı dalga momentini sönümlemesi.

Şekil 5.3' te tank içerisindeki suyun momentinin zorlayıcı dalga momentini sönümlemesi gösterilmiştir. Tankların doğal frekansı genellikle geminin doğal frekansına eşittir. Tanklar genellikle ağırlık merkezinin üzerine yerleştirilir. Bu durumda serbest yüzey alanı etkisiyle GM azalır. Bu ise yalpa periyodunun artması demektir. Tankların ağırlık merkezi üzerine yerleştirilmelerinin bir başka etkisi de moment kolunun dolayısıyla momentin büyümesinde görülür. Tank içinde su ile geminin faz farkı 90 dereceye ayarlanır. Tank içindeki suyun yalpa periyodu gemi periyodunun 0.7 ile 1.0 katı arasında değişir. U tankları basit ve işletmesi kolay olan, yalpa hareketini %70 oranında azaltabilen pasif sistem yalpa sönümleyicilerdir. Gerekli durumlarda tank içindeki deniz suyu boşaltılabilmekte ve yerine yakıt yada diğer sıvılar konulabilmektedir. Yavaş çalışan ekipmanlar oldukları için düzensiz dalgalarda etkinliklerinde azalmalar gözlenir. Çok meyilli durumlarda etkinliklerinde yine önemli azalmalar görülür. Bütün bunların yanında geminin ağırlık merkezi üzerinde olmalarından ve serbest su yüzeyi etkilerinden dolayı gemi stabilitesini azaltırlar. Diğer yalpa sönümleme sistemlerine göre kullanımları çok kolaydır. İlave bir direnç oluşturmadığı için ek bir güce ihtiyaç duyulmamaktadır. Kullanım gerektirmeyen koşullarda tahliye edilebilmektedir. Yakıt, temiz su ve diğer sıvılar için ekstra bir hacim sağlar. Rezonans ayarlı Frahm tipi tanklardan başka doğal periyotları gemi periyodunun 2-3 katı az olan tanklarda mevcuttur. Yalpa anında tank içerisindeki akışkan yüzeyinin meyili, gemiye etki eden dalga meyiline eşit olur. Bu tankların gemi içine yerleştirilmesi başlangıç stabilitesini azaltıp doğal periyodun arttırılması anlamına gelir. Bu tip tanklarda hava kanalı yoktur. Eğer metasatr yüksekliği değişim aralığı fazla ise bu tip tasarımlar uygundur. Uygulamada bu tür tanklara sık rastlanmaz. Bunun nedeni ise bu tip tankların yüksek olması ve çok fazla suya gereksinim duymalarıdır.



Şekil 5.4 Serbest yüzey tankı genel görünüşü.

Bazı özel koşullarda pasif tanklı bir gemi tanksız haline göre daha fazla meyil yapabilir. Pasif tankların düzensiz denizlerde etkin olmadıkları herkes tarafından kabul edilmiştir. Şekil 5.4’ te serbest yüzey tankının genel görünüşü belirtilmiştir. Bu nedenle pasif tanklar içine motor gücüyle çalışan pervane, kompresör veya pompalar konularak aktif hale getirilebilirler. Aktif yalpa tankları pasif tanklara oranla çok daha iyi yalpa sönümleme kabiliyetine sahiptirler.

Açık tanklar gemilerin su seviyesinde olan bölümlerine veya sintine dönümlerine yerleştirilir. Bu tür bir tasarımda ayrıca sancak ve bordadaki tank kolları hava kanalı ile birbirine bağlıdır. U-tüp tank dizaynından farkı tank kollarının denize açık olmasıdır. Tank kolları ve hava kanalı alçak basınç etkisi altındadır. Yan tanklardaki su seviyesi, dalga meyil değeri 5 dereceyi geçince tankın merkez bölümüne hareket eder. Bu durumda yüksek yalpa açılarında serbest su yüzeyi etkisi ortadan kalkar. Tasarımın özelliği olan denize açık kanallardan suyun girip çıkması yalpa sönüm hızını artırır. Açık tankların yalpa sönümlemedeki etkinlikleri U-tüp tanklardan pek farklı değildir. U-tüp tanklarla karşılaştırıldıklarında tank kolları arasında su ile bağlantı kanalı olmadığı için daha az yer kaplarlar ve hafiftirler. Ayrıca başlangıç statik stabilitesinde neden oldukları azalma daha azdır. Bunların yanında denize açık oldukları için U-tüp tanklarında olduğu gibi ekstra bir hacim imkanı sağlamazlar. Yalpa söndürme dışında kapladıkları hacmin hiçbir faydası yoktur. Pasif tankların önemli avantajlarından birisi de tank haricinde ilave çalışan herhangi bir eşizenin olmaması nedeniyle arıza yapma olasılığı yoktur. Bakım tutum masrafları bu nedenle çok azdır. Ayrıca yalpa kanatları ve yalpa omurgaları gibi ilave bir direnç oluşturmazlar. Ancak geminin GM değerinde önemli oranda azalmalara sebep olurlar.

Çizelge 5.3 Pasif tankların avantajları / dezavantajları.

Avantajları;	Dezavantajları;
Yalpa söndürme oranı yüksek	Çok fazla hacim kaplar
Düşük hızlarda verim yüksek	Geminin yük kapasitesini azaltır
Ek güce ihtiyaç yok	Statik stabiliteye menfi etki
Kurulum maliyeti düşük	Hızlı salınımlarda yalpa da artış
Bakım tutum masrafı az	Her koşulda etkin değil

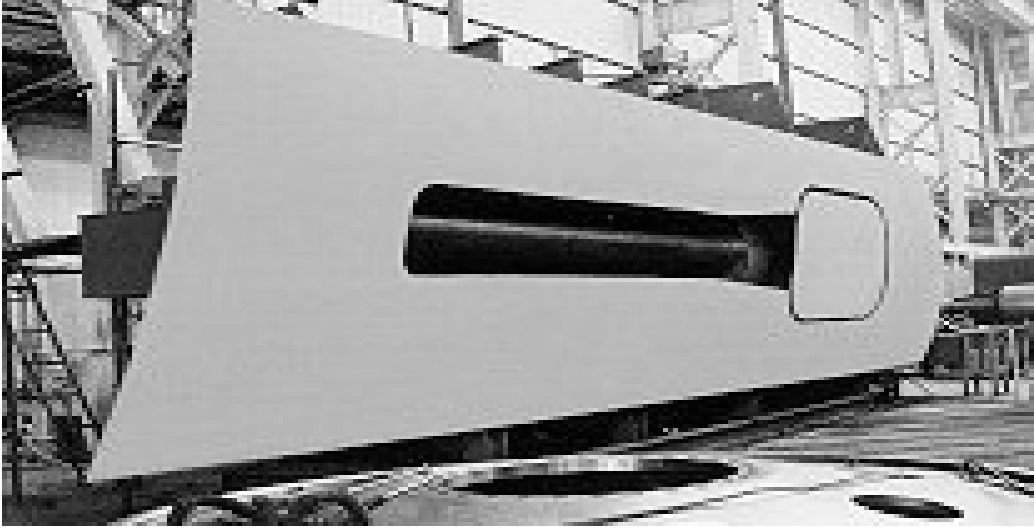
5.1.2 Aktif Yalpa Söndürücü Sistemler

Aktif yalpa söndürücü sistemlerde, yalpanın hareketinin azaltılması için donanımın dışarıdan ek bir güç ile çalıştırılması ve kuvvetin kontrolü için otomatik kontrol sistemleri gerekmektedir. Sağlanan bu güç ile gemi içinde ağırlık transferleri yapılır ya da su altındaki kontrol edilebilir yüzeylerin konumu üzerinde oynamalar yapılır. Bütün bu sistemlerin ortak yanı, gemide yalpaya karşı zıt bir momentin kontrollü bir şekilde oluşturulabilmesidir.

- Hareketli kanatlar (aktif finler),
- Aktif yalpa tankları,
- Aktif hareketli ağırlıklar,
- Jiroskoplar olarak sıralandırılır.

5.1.2.1 Aktif Yalpa Kanatları

Yalpa kanatları, gemi sintine dönümü civarında, gemi yüzeyine dik olarak bu yüzeyden dışarı doğru uzanan, içeriye alınabilir veya katlanabilir tipte olabilen geminin sancak ve iskelesinde eşit büyüklükte ve aynı eksen üzerinde düzenlenmiş dümen benzer kanatçıklardır. Çoğunlukla simetrik hidrofoil kesitlere sahiptirler. Yalpa kanatları tek parça olarak imal edilebildikleri gibi hareketli olarak da üretilmektedir. Şekil 5.5’ te açılır/kapanır tipte aktif kanat dengeleme sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Aktif kanat dengeleme sistemi .

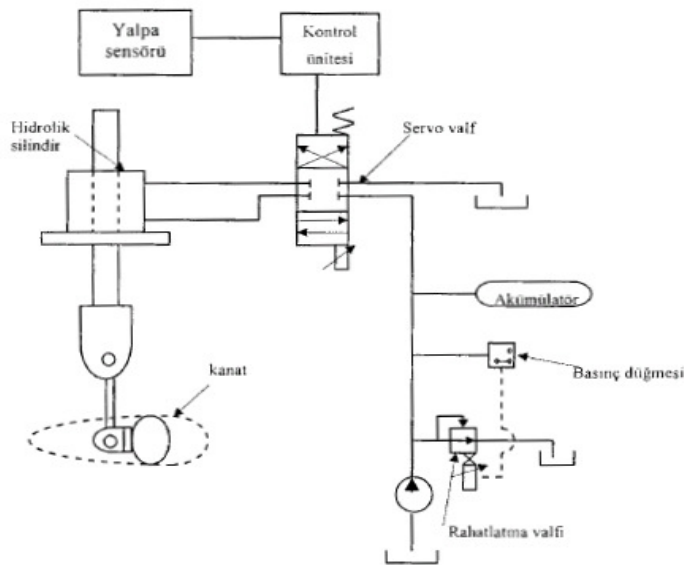
Yalpa dengeleme sistemleri ile donatılmış bir gemide karşılaşılabilecek en önemli sorun bazen gemi hızının kaldırma kuvveti oluşturmayacak şekilde düşük olmasıdır. Özellikle geminin hızının sıfır olduğu durumlarda hiçbir kaldırma kuvveti oluşmayacaktır. Kanat dengeleme sistemi savaş gemilerinde, özellikle uçak gemileri ve helikopter inişine gerek duyulan gemilerde pistlerin sabit bir seviyede sallantısız tutulmasına gerek olan durumlarda sıkça kullanılır. Günümüzde yalpa kanatları petrol tankerleri, konteyner gemileri ve arabalı vapurlarda kullanılır.

Kanat alanları, sistemin yalpa omurgası gibi çalışmasını sağlayacak kadar da geniş değildir. Yalpa kanat sistemlerinin oluşturduğu kaldırma kuvveti daima gemi hızının karesi ile orantılıdır. Yani gemi ne kadar hızlı gidiyorsa elde edilen momentlerde o kadar büyüktür. Aktif kanatlar 10 knot hızından daha düşük süratlerde etkin olmaları beklenemez. Ayrıca harekete geçirici mekanizma ve kanat eksenindeki yüklerden dolayı aktif kanatlar için maksimum açılabilir yer değiştirme belli bir hızda sabit kalır. Bu nedenle sistemin tam verimli olarak kullanılması belli hızlarda zorlaşır.

Yalpa kanatları yüksek süratli gemilerde uygulanmaktadır. Kaldırma kuvveti gemi hızıyla doğru orantılı olduğu için yüksek süratli gemilerde bu tür sistemlerin uygulanması son derece yerinde bir karardır. Gemi sürati arttıkça yalpa kanatlarının yalpa hareketine zıt yönde oluşturduğu dengeleyici moment de kaldırma kuvvetinin artmasına bağlı olarak etkinlik gösterir. Bunun yanında sürat arttıkça yalpa kanatlarının profil yapısından ötürü kanatlarda kaviteasyon gözlemlenebilir. Böyle bir durumda kaldırma kuvvetlerinde düşüşler gözlemlenebileceği gibi rahatsız edici gürültülerde ortaya çıkabilir.

Yalpa kanatları kontrolör yardımıyla kendi eksenleri etrafında döndürülebilirler. Eğer iskeledeki yalpa kanadı geminin ilerleme yönü ile pozitif hücum açısı yapacak şekilde döndürülmüşse buna karşılık sancaktaki yalpa kanadı da negatif hücum açısı yapacak kadar döndürülür. Bu şekilde geminin ilerleme yönüne dik olarak iskelede yukarıya ve sancakta aşağıya doğru kaldırma kuvvetleri elde edilir. Bu kuvvetlerin yalpa eksenindeki momentleri gemiyi sancağa meyile zorlar. Yalpa hareketlerine duyarlı bir kontrol sisteminin yalpa kanadına uygun bir şekilde uyarılar vermesiyle oluşan müdahaleler sonucunda yalpaya karşı zıt yönde etkiyen momentler oluşturulur.

Aktif yalpa kanatlarının yalpa sönümleme oranı %90 oranındadır. Yalpa kanatları kullanılmadıkları durumlarda gemi içine alınabilecek şekillerde tasarlanırlar. Bir başka koruma yöntemi de kanatların katlanabilir şekilde imalidir. Bu sistemler sayesinde yalpa kanatları kullanılmadıkları zaman gemi içine alınırlar ve hasar görmeleri engellenir. Kanatlar ve kontrol kısımlarının yanında, kanatların korunması için kullanılan hacimlerde ek bir kayıp oluşturur. Flaplı olarak imal edilen yalpa kanatlarında flap kanadın ana parçasından ayrı olarak kontrol edilebilir ve daha fazla kaldırma kuvvetinin elde edilmesine olanak sağlar. Flaplı kanatların sabit ve simetrik kesitlerden oluşan tek parçalı kanatlara göre dirençleri daha fazladır. Flaplar genellikle esas yüzeyin yapmış olduğu hücum açısına bağlı olarak, hücum açısının belirli bir oranında dönerler. Zorlayıcı kuvvet etkisi ile meyil yapan gemilerde kontrolcü kuvveti Şekil 5.6' daki kontrol ünitesi ile oluşturulur.



Şekil 5.6 Yalpa dengeleme hidrolik sistem diyagramı (Kawazoe vd., 1994)

Kanatlardan maksimum verim alınabilmesi için detaylı incelemeler ve model testleri yapılmalıdır. Geminin yalpa hareketi sırasında sebep olan oranla, tesir eden oranın toplamı yüksek bir açı olan 30° veya daha fazla bir giriş açısı ortaya koyar. Çok fazla yükleme dikkate alınırsa, kanadın durması gibi bir sorun ortaya çıkabilir. Daha doğrusu kanat çok az kaldırma kuvveti yaratır. Bu koşullar altında sabitleme momenti önemsiz bir duruma gelir.

Yalpa kanatları tasarım aşamasında kavitasyonun ortaya çıkmasını engellemek için profil formlarının incelenmesi ve test edilmesi gerekir. Tasarlanan profiller olabildiğince üniform basınç dağılımına sahip olmalıdırlar. Bazı özel hidrofoil kesitlerde basınç dağılımı profilin büyük bir kısmında düz bir gidiş göstermek suretiyle kavitasyon açısından tercih edilebilecek niteliktedirler. Bu durumda profil maksimum kalınlığı tasarımcıyı daha ince bir şaft kullanma yoluna iter. Bu noktada mukavemet açısından kontrol yapılması gerekir.

Yalpa kanatlarının kaldırma kuvvetinin beklenenden daha az olması Lloyd (1985) tarafından aşağıdaki nedenlere bağlanmıştır;

- Kanatlar ve yalpa omurgası arasında oluşan girişimler,
- Geminin kenar tabakası,
- Gemi hareketleri nedeni ile hücum açısının küçülmesi,
- Kavitasyon.

Küçük yan oranlı kanatlar gemi içinde daha az yer tutarlar. Bu tip kanatlarda kavitasyon riski düşüktür. Aynı kaldırma kuvvetinde kısa boylu kanatlar daha az bir eğilme momenti oluştururlar. Bu sayede şaft boyutlandırılması için daha uygundurlar. Ayrıca küçük kanatlarda, büyük hücum açılarında bile akım hatları ayrıışmaz.

Gemilerde yalpa kanatlarının kullanılması sonucu % 1 civarında bir hacim kaybı söz konusu olacaktır. Tasarlanan kanat yapıları maksimum kaldırma kuvveti yaratacak şekilde, aşağı yukarı döndürülebilmeli fakat bu işlemler esnasında en az direnci göstermelidirler. Bu döndürme esnasında kandi kontrol eden motorlar olabildiğince az ek güç harcamalıdırlar. Yüksek hızlarda oluşan maksimum kaldırma kuvvetlerine karşı mukavim olmalı ve bu kuvvetleri gemi bünyesine yansıtabilmelidirler. Kanatlar korozyona karşı dayanıklı olmalı ve katlanabilir kanatlar için yapılan yuvalar mümkün olduğu kadar küçük olmalıdırlar. Bu konuda deneyimli, tasarımcı firmalar tarafından sipariş üzerine üretilen aktif kanat sistemlerinin montajı ve kontrol sistemlerinin düzenlenmesi geminin inşası sırasında hızlı bir

şekilde yapılmalıdır.

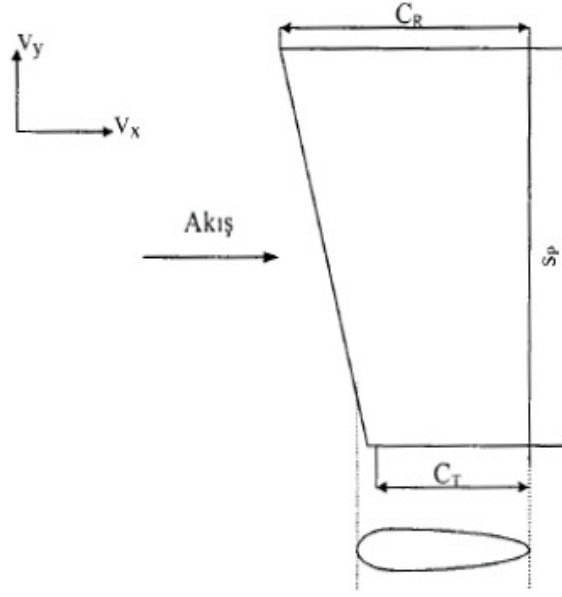
İyi bir kanat sisteminde olması gereken performans özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Maksimum kaldırma kuvvetinin yüksek olması,
- Düşük tork,
- Katlanabilirlik,
- Sağlamlık,
- Kaviteasyona dayanıklılık.

Çizelge 5.4 Yalpa kanatlarının avantajları / dezavantajları.

Avantajları;	Dezavantajları;
Yalpa sönümleme oranı yüksek (% 90)	Düşük süratlerde efektif değil
Statik stabilitede kayıp yok	Orta derecede hacim işgali
Yalpa omurgalarına göre daha az direnç	Maliyet yüksek
Tank sistemlerine göre daha az enerji	Kullanım zor ve karışık
Farklı boylardaki gemiler için kullanım	Ek enerji tüketimi var

Şekil 5.7' de en basit ve en çok kullanılan tam hareketli bir kontrol yüzeyi gösterilmiştir. Kontrol yüzeylerinin boyutları, bunlara ait ortalama kiriş uzunluğu ve açıklığı ile belirlenir. Kanatın tekneye yakın en yakın olarak takıldığı kenarına kök, bunun karştı olan kenarına uç denir. Böylece kök kiriş uzunluğu C_R , uç kiriş uzunluğu C_T ve s_p ' de ortalama açıklık olarak tanımlanır. Ortalama kiriş uzunluğu $\bar{C}$, kanat alanı A_k ve yan oranı 'a' kanadın hidrodinamik karakteristiğini belirlemek için kullanır. Geometrik özelliklerin birbirleri ile ilişkisi aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 5.7 Kontrol yüzeyi geometrisi .

$$\bar{C} = \frac{C_R + C_T}{2}, \quad A_k = s_p \bar{C} \quad a = \frac{2s_p}{\bar{C}} \quad (5.2)$$

Yalpa dengeleme kanatlarının konumlandırılabilceği en uygun yer, gemi su hattı boyunun kıçtan başlamak sureti ile % 40 - % 50 hizasıdır. Kanatların alt ucunun geminin eninden dışarı taşmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde geminin yanaşma durumunda zarar görebilir. Uygun kanat boyutları aşağıdaki formül uygulanarak tespit edilir.

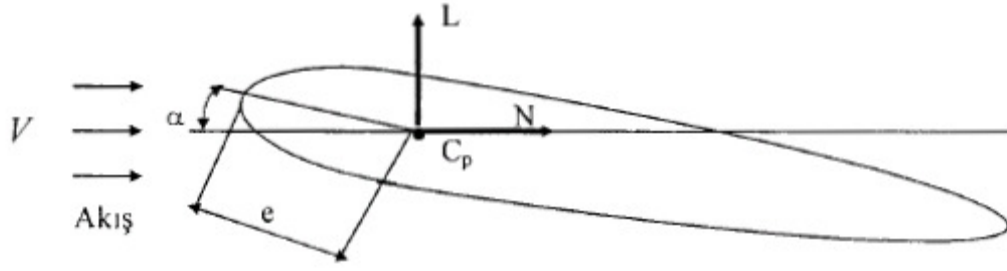
$$A_k = \frac{3.5 B D}{T^2 V^2} \quad (5.3)$$

Burada,

B : Geminin su hattı genişliği T : Yalpa periyodu

D : Geminin deplasmanı V : Geminin hızı (knot)

Akışkan etkisi ile kanat belli bir hücum açısı yapacak şekilde ilerler. Dönme ve hücum açısı nedeniyle oluşan kuvvet ve momentler Şekil 6.9' da görülmektedir. 'V' akış hızıyla hareket eden sıvı içindeki kanatın bir yüzeyinde oluşan kuvvetler basınç merkezine C_p ' ye etkirler. Kaldırma kuvveti 'L' akış yönüne dik doğrultuda iken sürtünme kuvveti 'N' ise akış yönüne paralel olarak basınç merkezine etkirler. Bu merkez kanatın kenarından 'e' kadar mesafededir. Basınç merkezi ufak hücum açılarında $e = 0.25 \bar{C}$ kabul edilir (Perez vd., 2000).



Şekil 5.8 Hücüm açısı ile kaldırma ve sürtünme kuvvetleri.

Kaldırma kuvveti (L) ve sürtünme kuvveti (N) iki boyutlu kanat geometrisine uygun olarak ifade edilir. Kanat yüzeylerindeki kaldırma ve sürtünme kuvvetleri,

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_k C_L \quad (5.4)$$

$$N = \frac{1}{2} \rho V^2 A_k \left(C_{Do} + \frac{C_L^2}{0.9 \pi \alpha} \right) \quad (5.5)$$

bağıntılarına göre hesaplanır (Alarçin, 2005).

C_L : Kaldırma kuvveti katsayısı

V : Geminin ilerleme hızı(m/s)

A_k : Tek taraflı kontrol yüzeyinin alanı (m^2)

C_{Do} : Minimum kesit sürtünmesi (NACA 15 profilinde $C_{Do} = 0.0065$)

Toplam kuvvet, paralel akıma dik doğrultuda kaldırma ve akım yönünde sürtünme kuvvetleri olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilir.

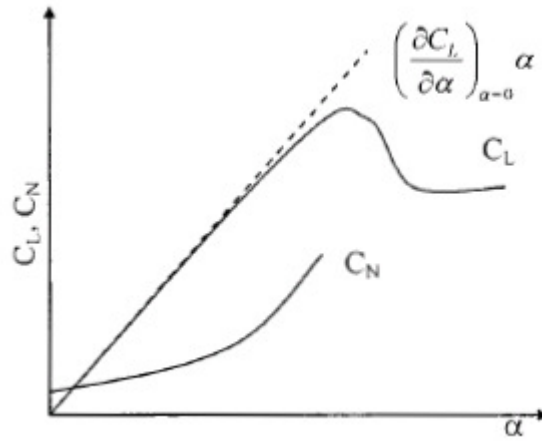
$$F = \sqrt{L^2 + N^2} \quad (5.6)$$

Pratik çalışmalardan, kaldırma ve sürtünme boyutsuz ifadeleri aşağıdaki gibi gösterilir.

$$C_L = \frac{L}{0.5 \rho V^2 A_k} \quad \text{ve} \quad C_N = \frac{N}{0.5 \rho V^2 A_k} \quad (5.7)$$

$$C_L = \left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \right) \quad (5.8)$$

Bu ifade de, $C_L = f(\alpha)$ eğrisinin α apsis ekseni ile yapmış olduğu eğim olup, pratik olarak durma açısına kadar sabit kaldığı durma açısından büyük açı değerlerinde kaldırma kuvvetlerinde süreksizlik olduğu görülür. Kanat kaldırma katsayılarının (C_L) hücum açısına bağlı değişimi Şekil 5.9' da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Kanat kaldırma katsayılarının hücum açısına bağlı değişimi (Perez vd., 2000).

Bu şekilden, hücum açısı arttıkça kaldırmanın yaklaşık olarak lineer değiştiği görülür. Bu lineer davranış (5.8) eşitliğindeki C_L ifadesinin sonucudur.

Hücum açısı,

$$\alpha_k = -a \tan \frac{R_{vk} p}{V} \quad (5.9)$$

ve toplam kanat açısı,

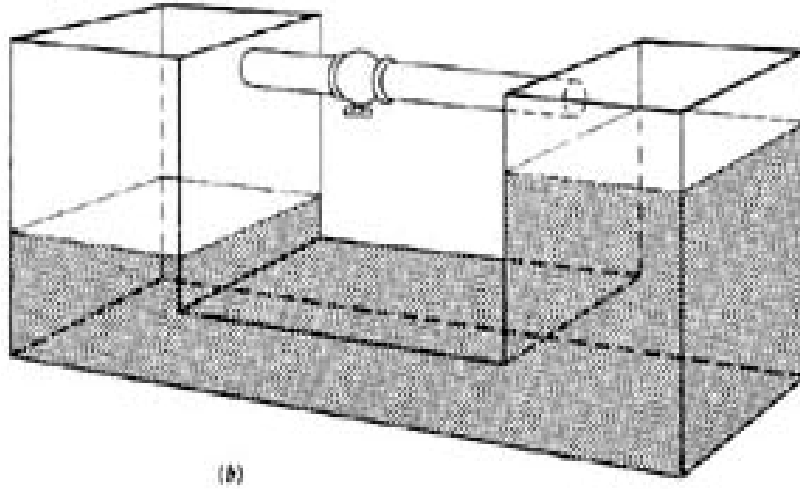
$$\alpha = \alpha_k - \frac{R_{vk} p}{V} \quad (5.10)$$

ile ifade edilir. Burada α_k kanat sapma açısı, $\phi = p$ yalpa hızı, R_{vk} ise yalpa yüzeyi basınç merkezi ile gemi yalpa ekseni arasındaki düşey mesafedir (Alarçin, 2005).

5.1.2.2 Aktif Yalpa Tankları

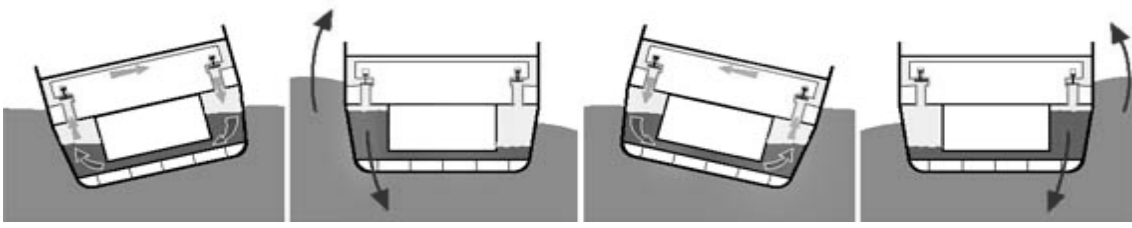
Pasif tankların kullanımından sonra yalpa genliği göz önünde bulundurularak kontrol edilebilen aktif tanklar kullanılmıştır. Karşılıklı birleşimli U-tip tankın içine pompa koymak ve sistemin vereceği tepkiyi hızlandırmak için aktif tanklar tasarlanmıştır.

Frahm tanklarının çalışma prensibi inip kalkan su dalgalarının tankın yapısına bağlı olarak doğal bir frekanslı salınma sistemi oluşturmalarıdır. Bu aşamada tankın doğal frekansı ile geminin doğal frekansı aynıdır. Geminin doğal frekansı çeşitli yükleme durumlarına göre değişiklik gösterebilir. Böyle bir durumda tankın ve geminin doğal frekanslarını eşitlemek için tankın üst kısmını birleştiren tüpe hava valf sistemi yerleştirilir. Bu tür bir tasarımda hava için, sıvı seviyesinin üstünde hareket edebileceği bir boş hacim bırakılır. U- tüp tanklarında her iki sarnıç yukarıda anlatıldığı biçimde vanalı bir boru ile bağlanmıştır. Aynı zamanda vana sistemi sayesinde tank kollarındaki su seviyeleri de ayarlanabilir. Vananın çalışması için ayrıca bir uyarıcı otomatik kontrol sistemi de kullanılabilir. Şekil 5.10’ da bu tip bir sistem gösterilmiştir.



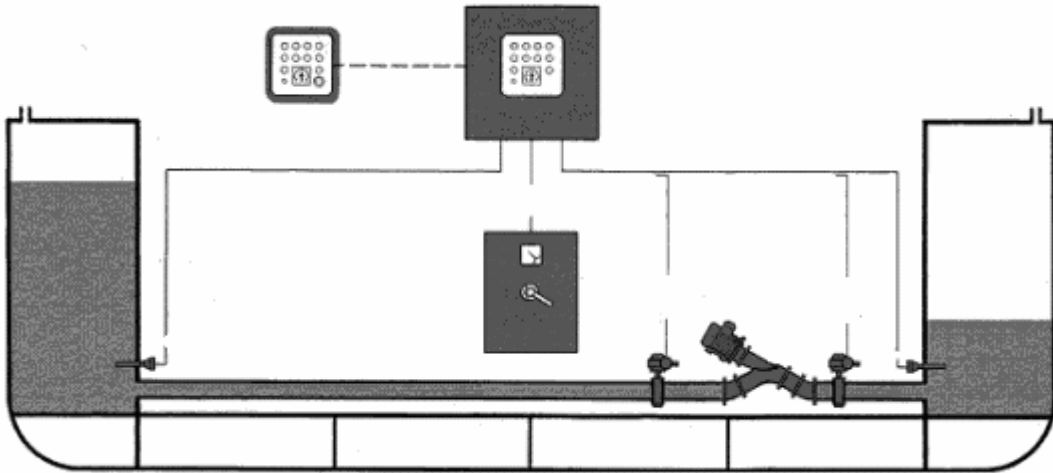
Şekil 5.10 U - tüp tank genel görünüş.

Tank içindeki suyun miktarı geminin açısal hızı ile orantılıdır. Tankın içindeki su miktarının gemi açısal hızına göre değişiminin sağlanabilmesi, deniz ile bağlantılı otomatik kontrolle çalışan tanklarla mümkün olabilmektedir. Şekil 5.11’ de tank içindeki suyun yalpa hareketine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Tank içindeki su miktarlarının yalpa hareketine göre değişimi.

Aktif sistemlerin en önemli özelliği suyu dikey tank kollarından bir diğerine pompalamalarıdır. Bu tür bir çalışma sonucu dengeleyici moment daha çabuk oluşturulur. Aktif sistemde Şekil 5.12’ de belirtildiği gibi, yalpa hareketlerine göre kontrolör yardımıyla kelebek valfler açılır/kapatılır, pompa suyun bir sancak/iskele yan duvar bünyesinde bulunan tanklardan tahliyesini sağlar. Seviye ölçerler şamandıra vazifesi görerek suyun belli bir yükseklikte kalmasını sağlar. Eğer su belli bir seviyeyi geçerse bir pompa üzerine gelen akım bu seviye şamandıraları yardımıyla kesilir. Kelebek valf kapatılır. Sistemin kullanımı kontrolöre bağlıdır, arıza yapma olasılığı yüksektir.

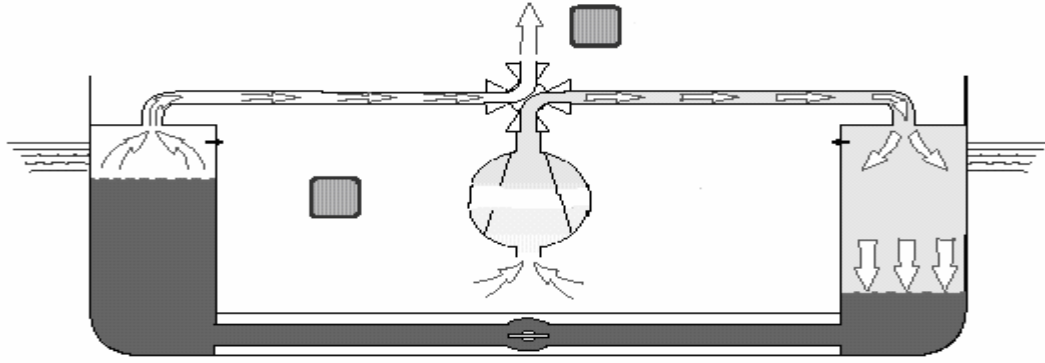


Şekil 5.12 Aktif yalpa tankı sisteminin gemi kesitinde görünüşü.

Murhead Brown sisteminde ise, sabit hızla dönen bir pervane merkez kanala konulur ve her iki taraftaki valfler su akışının yönünü kontrol eder. Pompa suyun seviyesini yükseltir ve üst valfler içine su girmesi için açılır. Diğer taraftan üstteki valfler açılır ve su oradan diğer tarafa geçer. Gemi dik durumda iken valfler açılır ve su serbestçe hareket eder. Sistem basınç ölçerden oluşan koruyucu bir mekanizmaya sahiptir. Murhead Brown pasif tank sisteminde valfler aktif sistemdeki gibi korunurlar. Pasif ve aktif sistem arasındaki fark suyun pervane ile

akması için zorlanmasıdır. Su akışı zorlandığı için daha çabuk tepki verir ve pasif tanklara oranla daha iyi sönüm sonuçları elde edilir. Aktif sistemlerde kontrol bölümleri olduğu için pasif sistemlere göre daha fazla yer kaplarlar ve kurulumları zordur. Bu zorlukların yanında aktif sistemler her koşulda etkinliklerini korurlar.

Yükleme-boşaltma işlemleri sırasında gemiyi meyilsiz durumda konumlandıran ve hızlı reaksiyon gösteren, aktif yalpa tankı sistemi Şekil 5.13’ te gösterilmiştir. Aktif sistemlerin ana bölümleri uyarı düzenekleridir. Bu sistemler düşey durumdaki değişiklikleri kontrolör yardımıyla tespit ederek, sistem bünyesinde bulunan kompresörü aktif hale getirir, sarnıç bünyesinde hava basıncı oluştururlar. Bu hava basıncı yardımıyla sıvı yan duvar bünyesinde bulunan bir sarnıçtan diğer sarnıca tahliye olur. Bu şekilde gemiyi uygun pozisyona getirmeye çalışırlar.



Şekil 5.13 Hava üfleli aktif yalpa tankı çalışma sistemi.

Çizelge 5.5 Aktif yalpa tanklarının avantajları / dezavantajları.

Avantajları;	Dezavantajları;
Yalpa sönümleme oranı yüksek (%85)	Çok fazla hacim kaplar
Düşük hızlarda verim yüksek	Geminin yük kapasitesini azaltır
Çalkantılı deniz durumunda etkin	Maliyet yüksek
-	Kullanım zor ve karışık
-	Ek enerji tüketimi var

6. YALPA ÖNLEYİCİLERİN SEÇİMİ

Yalpa hareketi geminin denizdeki hareketleri arasında en rahatsız edici olanıdır. Kargo üzerinde yarattığı hasarlar, yolculara verdiği rahatsızlık, mürettebatın işini yapmasında yarattığı sorunlar ve geminin denizciliği açısından gemi hareketleri arasında en fazla önlem alınan harekettir. 19'uncu yüzyılın son çeyreğinden itibaren bu tip gemi hareketleri üzerinde detaylı sönüm çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Yalpa omurgaları gibi basit sistemlerle başlayan yalpa söndürücü ekipman tasarımı bugün aktif kanatlar ve kontrol edilebilir tank sistemleri gibi son derece pahalı ve kapsamlı düzeneklerle devam etmektedir.

Yalpa söndürücü ekipmanlar günümüzde son derece zengin bir yelpazede kullanıcıların hizmetindedir. Gitgide etkinleşen ve pahalılaşan birçok ekipmanın arasından en uygun olanını seçmek maliyetler açısından bir zorunluluk olmuştur.

Yalpa söndürücü seçiminde göz önünde bulundurulması gereken çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlar özetlenecek olursa;

- Yatırım maliyeti,
- Sistem etkinliği,
- İşletme giderleri,
- Bakım-tutum masrafları,
- Ekipmanın enerji ihtiyacı,
- Gemi bünyesinde kapladığı hacim,
- Konfor,
- Gemi yapısı ve denizciliği üzerindeki etkileri olarak ifade edilir.

Şüphesiz ki bunca parametrenin geçerli olduğu bir durumda rastgele bir seçim yapılması son derece hatalı olur. Yanlış yapılan bir seçim, yalpa hareketi ile başa çıkmada düşük bir etkinlik sağlayacağı gibi, gemi sahibini işe yaramayan bir ekipmanla da baş başa bırakabilir.

Seçim aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus geminin görevidir. Bir yolcu gemisinde yada bir Ro-Ro gemisinde kullanılacak ekipmanlar birbirinden çok farklı olduğu gibi sonuç ve etkileri her iki gemi üzerinde de farklılıklar göstermektedir.

Öncelikle dikkat edilmesi gereken husus geminin yükleme ve boşaltma koşullarıdır. Şüphesiz ki yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında gemi hızı sıfırdır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi bazı yalpa söndürücü ekipmanlar sadece yüksek hızlarda etkili

olmaktadırlar. Pahalı ekipmanlar arasında yer alan aktif yalpa finleri gemi hızının sıfır yada çok düşük olduğu durumlarda etkin değildir. Yani limandaki bir Ro-Ro gemisi yükleme esnasında yalpa yaparken gemiye monte edilmiş fin sistemleri hiç bir işe yaramayacaktır. Bu noktadan hareketle gemi hızının sıfır olduğu koşullarda geminin yalpa ile başarılı bir şekilde mücadele etmesi isteniyorsa düşük hızlarda da etkinliğini koruyan tank sistemleri tercih edilebilir.

6.1 Yalpa Omurgaları

Yalpa omurgaları yalpa söndürücü sistemler içerisinde en fazla tercih edilenidir. Bunun başlıca nedeni ucuz olmalarıdır. Dizayn ve montaj açısından da son derece hesaplıdır. Maliyet ve performans oranlarına bakıldığı zaman basitliklerine rağmen etkin oldukları söylenebilir.

Gemi dışına monte edildikleri için yük açısından da bir kayıp söz konusu değildir. Hacim kaybı olmamasının yanında gemi direncindeki artış gibi bir dezavantajda söz konusudur. Yalpa omurgalarının en büyük dezavantajları gemi içine korumaya alınamadıkları için çok kolay zarar görebilmeleri ve beraberinde monte edildikleri sintine bölgesine de hasar vermeleridir.

6.2 Pasif Tanklar

Pasif tank söndürücü sistemlerin en önemli özelliği çalışmalarının gemi hızından bağımsız olmasıdır. Böyle bir avantaj sayesinde pasif tank sistemleri ile donatılmış olan gemiler hızın sıfır olduğu yükleme, boşaltma gibi işlemler sırasında da yalpa sönümleyebilmektedir. Tank sistemleri uygun bir şekilde tasarlanmış ve gemi rezonans periyoduna yakın bir miktar enerjiyle ortalama bir deniz durumunda çalışıyorsa % 60'a varan bir yalpa açısı sönümü sağlanabilir. Eğer gemide yük açısından bir sorun yoksa pasif tank sistemleri kullanılması düşünülebilir. Maliyet açısından çok pahalı olmayan sistemlerdir. Gemi içinde yerleştirilmesi için uygun bir yer kolayca bulunabilir. Ayrıca pasif yalpa söndürme tanklarında akmaya müsait özellikleri olan herhangi bir sıvı, yakıt, tuzlu yada kullanma suyu ile işletme yapılabilir.

Bu tip tankların dizaynında göz önünde bulundurulması gereken mümkün olan en az kullanılabilir kargo hacminin kullanılması ve geminin tüm işletme stabilite oranlarının üzerinde etkili yalpa genliğinin azaltılmasıdır. Tank için tercih edilecek montaj alanı gemi

yapısına göre değişiklik gösterir. Tanklar gemi içerisinde ne kadar yükseğe yerleştirilirse etkinlikleri de o derecede artar. Bir başka açıdan bakılırsa, gemi tabanına yakın noktalara büyük tanklar yerleştirmek yerine geminin daha yüksek noktalarına daha küçük tanklar yerleştirilebilir. Stabilité açısından değerlendirmek gerekirse, yerçekiminin dikine merkezdeki etkisi ve serbest yüzey etkisi bakımından tankın konumu çok büyük bir önem taşımamaktadır.

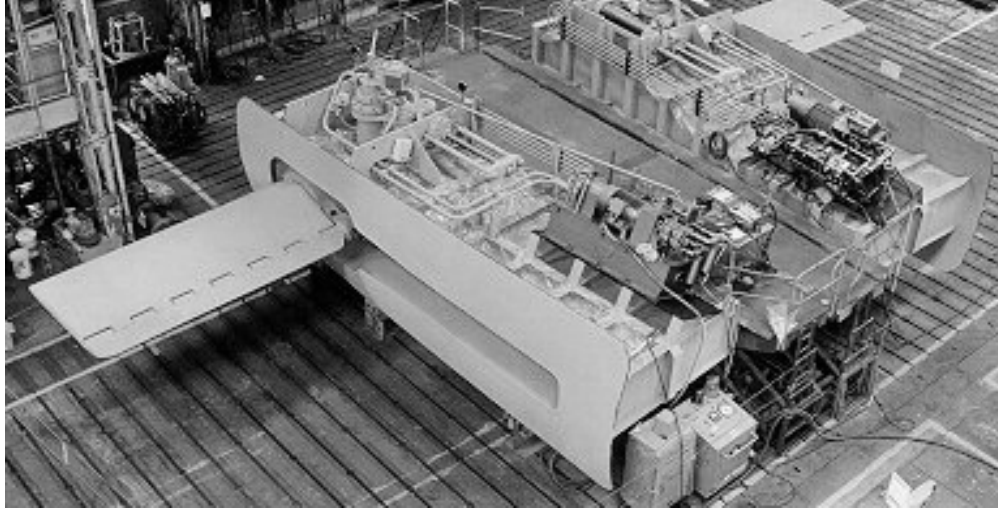
Tasarım açısından bir başka noktada oluşan yalpayı önleyebilecek tank genişliğinin tayin edilmesidir. Tank frekansının teknenin GM' ine ve yük dağılımına bağlı olarak geminin içerisinde faaliyet göstereceği bütün doğal yalpa periyot olasılıklarına karşılık verip vermeyeceği de ayrı bir tasarım problemidir.

Bu noktada tankın ayarlanabilir olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Genel olarak pasif tank söndürücülerde dikkate alınması gereken tankın kapladığı hacim ve yerleştirme problemleridir. Temel pasif tip söndürücülerden olan U - tip, serbest yüzey ve açık tanklar performans açısından pek büyük farklılıklar göstermez. Serbest yüzey tanklarındaki en önemli nokta tank içindeki sıvı miktarıdır. Gemi hareketi ile tank içindeki suyun hareketleri karşılaştırılır ve uygun bir su seviyesi tayin edilir. Yerleştirme açısından sorun çıkartmayan bu tip tanklar çok miktarda suya ihtiyaç duyar.

U-tip tanklarda rezonans frekansı kanat tanklarının kesitsel bölgeleri ve üst kanaldaki su akımıyla belirlenir. Doğal frekansları sıvı seviyesinin değiştirilmesi ile farklılaştırılmaz. Üst kanallar üzerindeki boşluk başka amaçlar için de kullanılabildiği için düzenleme avantajına sahiptirler. U-tip tanklar genellikle hava basıncı ile işletilen söndürücü vanalarıyla beraber tank periyot yada ayarını değiştirmek için kullanılır. Tankın boyutları, U-tüpünün doğal periyodunun beklenen en kısa yalpa periyoduna eşit tutacak şekilde seçilir. Gemi yükleme değişikliklerine bağlı olarak daha uzun periyotlarla yalpa yaptığı zaman, söndürücü vanaları açılır ya da kapatılır. Hava kontrolü için bu hareket her yarım yalpa periyodunda bir su akışını geciktirmek için yapılmak zorundadır. Bazen sıkıştırılmış hava vererek ve tank periyodunda suni bir uzama etkisi yaratılarak sağlanır. Sistem yalpa ve tank basıncı seviye tesbiti, elektronik kontrollere ve hava basıncı ile işletilen söndürücü vanaları gerektirir. Donanımın bu kısımları ciddi miktarlarda fazladan teçhizat ve montaj giderleri ile ekstradan hacim işgali anlamına gelir. Pasif yalpa söndürücü tanklar arasında en fazla kullanılanları U-tüp formlu tanklardır. Bu tankların yanında açık tip tanklarda bir ölçüde kullanılmaktadır. Yapı olarak deniz bağlantıları dışında bir farklılık yoktur. Tankların denize bağlanabilmesi için gemi gövdesinde yuvalar mevcuttur.

6.3 Yalpa Kanatları

Yalpa kanatları daha öncede belirtildiği gibi geminin her iki tarafına monte edilen aerofil şeklindeki projeksiyon çiftleridir. Bu kanatlar etrafında akan su sonucu hidrodinamik lift kuvveti meydana gelir. Bugünkü aşamada aktif yalpa kanatları en etkin yalpa sönümleyicilerdir. Tank sistemleri ile karşılaştırıldıklarında hacim ve ağırlık yönünden oluşturdukları işgal biraz daha azdır. Elde edilecek olan moment mevcut tasarımların kanat alanları ile sınırlıdır. Tank sistemleri ile karşılaştırıldıklarında dalga eğim kapasiteleri daha fazladır. Kanat sistemlerinde moment geminin hareketinden çok elektronik ve hidrolik kontrol sistemleri aracılığıyla sağlanır. Fin sistemlerinden elde edilen moment tank sistemlerinden yaklaşık olarak üç kat daha fazladır. Gemi hızına göre elde edilen moment değişiklik gösterir. Kanadın kaldırma kat sayısı oranı aerofil bölüme, kanadın flaplı olup olmadığına, su seviyesine olan uzaklığa ve akım geliş açısına bağlıdır. Kaldırma katsayısı derinlik azaldıkça düşer. Eğer kanada gelen akıma müdahale eden yalpa omurgası benzeri aksamalar varsa kanadın göstermiş olduğu etkinlikte düşüşler olabilir. Tipik olarak üç tür yalpa kanadı vardır. Sabit, sürmeli ve açılıp-kapanır cinsler. Sabit kanat dışındaki sistemlerde genelde teknedeki kanat deliklerini kapatacak türde kapaklar mevcuttur. Kontrol üniteleri elektronik ya da hidroliktir. Maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında yalpa söndürücü sistemler arasında en pahalı olanı aktif fin sistemleridir. Fakat elde edilen sonuçlar bu yüksek maliyetleri geçerli kılar. Yolcu gemilerinde tercih edilen sistem ise yandan açılır tipte kanat sistemleridir. Şekil 6.1’de açılır/kapanır tipte aktif kanat belirtilmiştir. Çok fazla yer işgal etmesi nedeniyle Harp gemilerinde tercih edilmez. Ancak, ihtiyaç olmadığı zaman kanat tekne bünyesine alınabildiği için direnç artışına neden olmaz. Son dönemlerde dümen yelpazesi ile yalpa kontrolü de sağlanmaktadır (RRS). Özellikle yolcu gemilerinde kullanılan kanat alanının minimum seviyede tutulabilmesi için dümen yelpazesi ile yalpa kanatlarının kombine olarak kullanılması bu sistemler için gemi bünyesinde kullanılan hacmi azaltacağı gibi ilave dirençlerin azalması ve yalpa sönümleme performansının artışına neden olacaktır. PLC kontrolörler her iki sisteminde aynı anda kullanılmasına imkan vermektedir.



Şekil 6.1 Yolcu gemilerinde kullanılan kanat sistemi (Sperry Marine).

6.4 Sistemlerin Bir Arada Kullanılması

Yalpa söndürücü sistemlerin ortak kullanımında en çok uygulanan çözüm yalpa omurgaları ile uygun bir başka ekipmanın kullanımıdır. Hem pasif tanklara, hem de aktif kanatlara uygun hale getirilmiş bir dizi kombine sistem mevcuttur. Birleşik tasarımlarda her bir sistem ayrı ayrı dizayn edilmelidir. Tanklar tek başına çalışacakmış gibi düşünülmelidir. Pasif bir sistem geminin durduğu ya da düşük hızlarda seyrettiği anlarda da çalışır durumda olacaktır. Eğer pasif bir tank sistemi dalga eğim kapasitesi 4 ile 5 derecelik bir bölgede bir kanat ekipmanı ile birleştirilirse, kanadın büyüklüğünün bir şekilde küçültülmesi tavsiye edilebilir. Bu durum hem teknik hem ekonomik kaynaklıdır. Eğer kanadın alanı dalga eğim kapasitesinde üretilen moment göz önüne alınarak azaltılabilirse, kanadın ilk maliyetinde tasarruf sağlamış olur. Yalpadaki düşüş sadece kanat tarafından sağlanan eşit ya da ondan çok az büyük olacaktır. Birleşik bir kanat ve tank sistemi monte ederek, bütün hızlar için olabilecek en etkili sönümleme sağlanmış olur. Eğer kanadın büyüklüğü azaltılabilirse, bu birleşik sistemin maliyeti kanadın tek başına olan maliyetinden daha az olacaktır. Tank düşük deniz koşullarında yeterli yalpa sönümünü tek başına sağlayabileceği için sıklıkla kullanılmayacaktır. Bu kanat için gerekli bakım masraflarının azaltacak ve hız kaybını en aza indirecektir.

Çizelge 6.1 Yalpa Önleyici sistemlerin Seçim Kriterleri.

YALPA ÖNLEYİCİ SİSTEM	MALİYETx 1000 \$	ETKİNLİK	HACİM KAYBI	EK DİRENÇ	STABİLİTEYE MENFİ ETKİSİ	LİMİT GEMİ HIZI	ÖNERİLEN GEMİ SINIFI
FİN KÜÇÜK BOY (SABİT)	20-30	% 90	DÜŞÜK	YÜKSEK	-	EN AZ 10 KNOT	MEGA YATLAR
FİN ORTA BOY (SABİT)	100-200	% 90	DÜŞÜK	YÜKSEK	-	EN AZ 10 KNOT	HÜCUMBOTLAR, KORVETLER
FİN BÜYÜK BOY (SABİT)	400-1500	% 90	ORTA	YÜKSEK	-	EN AZ 10 KNOT	FIRKATEYNLER, DESTROYERLER, KONTEYNER GEMİLERİ
FİN AÇILIR/ KAPANIR	300-1300	% 90	YÜKSEK	YÜKSEK	-	EN AZ 10 KNOT	YOLCU GEMİLERİ
PASİF TANK	20-30	% 50	YÜKSEK	-	YÜKSEK	-	TANKERLER, ARAŞTIRMA GEMİLERİ, SONDAJ GEMİLERİ, BORU DÖŞME GEMİLERİ
AKTİF TANK	50-250	% 75	YÜKSEK	-	ORTA	-	TANKERLER, ARAŞTIRMA GEMİLERİ, SONDAJ GEMİLERİ, BORU DÖŞEME GEMİLERİ, KURU YÜK GEMİLERİ, KONTEYNER GEMİLERİ
YALPA OMURGASI	-	% 25-50	-	ORTA	-	-	HER SINIF GEMİ

Çizelge 6.1’ de yalpa önleyici sistemler maliyet, etkinlik, hacim kaybı, ek direnç, stabiliteye menfi tesirler, limit gemi hızı parametreleri baz alınarak, gemi sınıflarına göre seçim işlemi yapılmıştır. Burada kullanılan parametrelerin sayısının arttırılabileceği değerlendirilmiştir. Ancak, bir araştırma gemisinde aktif sistem yalpa kanadı kullanma imkanı olmadığı bir gerçektir. Yalpa kanadı kullanımında gemi hızı en önemli parametredir. Düşük süratlerde yalpa kanadı üzerinde yeterli kaldırma kuvveti oluşmayacaktır. Bununla beraber yalpa kanadının getireceği ek sürtünme direnci ilave beygir gücü ihtiyacını ortaya çıkaracaktır. Yeni dizayn edilen bir gemide bu sorun çözümlenebilir. Ancak hizmette olan gemilerde tadilat sonrası yalpa kanadı monte edilecekse bunun gemi süratine etkisi ve ilave beygir gücü incelenmelidir. Burada ilave beygir gücünün de büyük bir maliyet getireceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aktif ve pasif tank sönümleme sistemlerinde ise hacim kaybı diğer sistemlere göre oldukça yüksektir. Yüksek tonajlı gemilerde bu çok büyük bir sorun olmayacaktır. Ancak konteyner ve harp gemilerinde serbest yüzey tank sönümleme sisteminin uygulanması mümkün değildir. Aktif tank sistemlerinde kontrolör kullanımına bağlı olarak tank hacimlerinde azalma sağlanmıştır. Konteyner gemilerinde aktif tank sistemi ile yalpa

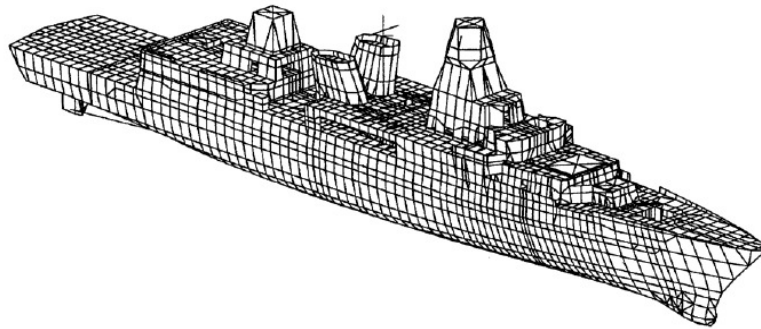
kanadı sistemi kombine olarak kullanılabilir. Bu geminin hem düşük hızlarda yalpa sönümleme kabiliyetini arttıracak hem de azalan kanat alanı ve tank hacmi sayesinde daha fazla yük taşıyabilecektir. Çizelge 6.1 'de verilen parametreler seçim kriteri için en geçerli ana hatları belirlemektedir. Kullanılan sistemler ile ilgili genel olarak hacim kaybı konusunda kesin bir oran vermek oldukça zordur. Gemi sınıfına ve tonaja bağlı olarak değişiklik gösterebileceği değerlendirilmiştir. Verilen oranlar sistemler bünyesinde yerinde yapılan incelemeler baz alınarak belirtilmiştir. Bir mega yatta kullanılan aktif kanat sistemi toplam hacmin ancak % 1'ini işgal etmektedir. Özellikle harp gemilerinde de bu oranda çok fazla değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Ancak açılır/kapanır tipte yalpa kanat boyutlarının sabit kanat boyutlarına göre gemi bünyesindeki hacim işgali oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle açılır/ kapanır tipte bir yalpa kanadının harp gemisinde kullanılması mümkün değildir. Yalpa omurgaları ise her sınıf gemide kullanılabilir.

6.5 Harp Gemilerinde Yalpa Sönümleme Sistemi Seçim Kriterleri

Yalpa genliğinin azaltılmasına yönelik Şekil 6.2' de belirtilen konular tespit edilmelidir.

GEMİ BİLGİLERİ L, B D, Δ GM Doğal Yalpa periyodu Doğal Sönüm katsayısı	DALGA BİLGİLERİ Dalga dağılımı Dalga Yüksekliği Düzenli ve düzensiz dalga Dalga doğrultusu	Kanat BİLGİLERİ Kanat alanı Kanat yerleşimi Kanat açısı Kanat Kaldırma Katsayısı	Gemi Hızı Gemi hızı Kanat etkileşimi
--	---	---	--

Şekil 6.2 Harp gemisi yalpa sönümleme seçim kriterleri (Alarçin, 2005).



Şekil 6.3 Model harp gemisi.

Dışarıdan zorlayıcı kuvvetler ile yalpa hareketi yapan model gemide meydana gelen yalpa hareketinin genliklerinin azaltılabilmesi amacıyla geminin her iki tarafında NACA 0015

profili kullanılması planlanmıştır. Şekil 6.2 'deki akış diyagramı kullanılarak kanat alanı tespit edilir.

A_s : Yalpada hızla orantılı sönüm momenti katsayısı,

J_s : Yalpa eksenine göre gemi kütlesi atalet momenti.

Çizelge 6.2 Model gemi bilgileri.

Deplasman	3000 ton
GM	1 m
J_s	6750 ton.m.sn ²
A_s	500 ton m sn.
V	19.5 knot
2R	15 m
$T_{n\phi}$	4.7 sn
α_m	5.8 ⁰

Optimum kanat yüzey alanı tespit edilmesi, Sabuncu (1983) tarafından

$$A_k = \frac{\overline{\Delta GM} \alpha_m}{2 R \frac{\rho}{2} V C_L} \quad (6.1)$$

Doğrultucu moment ,

$$K = \rho R \left(\frac{\partial C_L}{\partial \delta} \right)_{\delta=0} A_k V^2 \quad (6.2)$$

Yalpa kanadı nedeniyle oluşan direnç,

$$N = \frac{1}{2} \rho V^2 A_k \left(C_{Do} + \frac{C_L \alpha^2}{0.9 \pi \alpha} \right) \quad (6.3)$$

Çizelge 6.3 Kanat bilgileri NACA 0015.

A_k	2.8 m ²
C_L	1.4
$\frac{\partial C_L}{\partial \delta}$	3
K	750 ton.m

Kontrol yüzeyi direnç katsayısı, δ hücum açısına bağlıdır. Yalpayı zorlayıcı dalga momentinin büyümesi oranında δ hücum açısı da dizayn edilmiş olduğu sınırlar arasında kalmak suretiyle artacağından, şiddetli denizlerde yalpa kanadından dolayı ek direnç artışı meydana gelir. $\delta_{\max} = 10^0$ ve 19.5 knot hızda yaklaşık olarak kontrol alanı direnç katsayısı NACA 0015 profil kanat için ($C_D = 0.12$) olarak alınırsa $N = 2243$ kg direnç artışı olur. Buda gemide 795 SHP ek güce gereksinme gösterir. Bu durum hızda $\Delta V = 0.75$ knot azalmaya tekabül eder. Dalgalar arasında rezonans durumunda seyirde, gemiler genellikle %20 - %60 arasında değişebilen direnç artışlarına maruz kalırlar. Ancak aktif yalpa azaltıcı yüzeylerin çalıştırılması suretiyle bu direncin önemli bir kısmı yok edilir. Buna karşılık, yukarıda da açıklandığı gibi yalpa azaltıcı kontrol yüzeyli sistemlerde yüzeylerden kaynaklanan dirençle karşılaşılır. Ancak bu direnç, yüzeylerin çalıştırılmasıyla yok edilen dirençten oldukça küçük kaldığından gemi dalgalar arasında daha az hız kaybına uğrar (Sabuncu,1983).

Ayrıca, uygun kanat alanı;

$$A_k = \frac{3.5.B.D}{T^2.V^2} \quad (6.4)$$

kullanılarak bulunabilir. Burada,

B: Geminin su hattı genişliği, T: Yalpa periyodu,

D: Geminin deplasmanı, V: Geminin hızı (knot) olarak tanımlanmıştır (Alarçin 2005)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İyi bir inceleme yapılmadan, yalpa önleme sistemlerinin seçimi gemiye avantaj yerine çok büyük dezavantajlar getirebilmektedir. Sistemlerin seçimi ve gemiye monte edilecek yerin tespit çok büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada yalpa önleme sistemi olarak aktif ve pasif sistemler alt gruplara ayrılarak detaylı incelenmiştir. Tüm sistemlerin avantaj/dezavantajları, seçim kriterleri belirtilmiştir. Yalpa tanklarının çok fazla hacim işgal etmesi nedeniyle kullanımının efektif olmadığı değerlendirilmiştir. Aynı şekilde açılır tipte yalpa kanatlarının da gemi bünyesinde çok fazla hacim işgal ettiği görülmüştür. Arıza olasılığı aktif kanatlara göre daha yüksektir. Açılır tipte yalpa kanatlarının kullanımı da karınaya monte edilmiş sabit tipte olan yalpa kanatlarına göre daha zor ve ilk maliyeti çok yüksektir. Ayrıca, akustik olarak da harp gemilerinde kullanılmasının uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Ancak karınaya monte edilen sabit tipteki yalpa kanatlarının çok daha efektif olduğu, arıza olasılığının daha az olduğu, ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen gemi, personel ve yük emniyeti açısından bu ilk maliyetin yüksek olmasının göz ardı edilebileceği değerlendirilmiştir. Yalpa tanklarının aktif olarak kullanılmasının yük gemilerinde uygun olacağı, limanda çok daha rahat yük tahliyesi imkanı verebileceği, bunun da diğer yük gemilerine göre zaman olarak çok büyük bir avantaj sağlayacağı gerçektir.

Bunun yanında uygun yapılandırılmış bir yalpa omurgasının gemiye % 10 – 15 oranında yalpa sönümleme kabiliyeti sağlayacağı, yalpa omurgalarının aktif tank yalpa sistemleri ve yalpa kanatlarıyla kombine olarak kullanılması durumunda eğer yalpa kanatlarının alanı dalga eğim kapasitesinde üretilen moment göz önüne alınarak azaltılabilirse, kanadın ilk maliyetinde tasarruf sağlamış olur. Bununla birlikte daha az kanat alanında çalışacak olan ekipman gemi dahili bünyesinde daha az hacim işgal edecektir. Aynı şekilde aktif tank sistemlerinin yalpa omurgası ile kombine kullanımında daha düşük kapasiteli tanklarla aynı işlevsellik sağlanabileceği için daha düşük hacim kullanılacaktır. Bu da rekabet olarak diğer gemilere göre önemli bir avantajdır.

Bugüne kadar yapılan incelemeler sonucunda kullanılabilir birçok yalpa dengeleyici sistem geliştirilmiştir. Uygun bir yalpa sönümleyicinin seçimi aşamasında hangi sistemin daha iyi yada ekonomik olduğunun dikkate alınması yerine, bahsi geçen geminin yapısı, işlevi ve getirisi göz önüne alınarak gerekli olan yatırım yapılmalıdır.

Dizayn aşamasından önce gemide sistem için ayrılabilir yer ve hacim, sisteme sağlanabilecek enerji, geminin mukavemeti, stabilitesi, hızı ve çalışma şartları detaylı olarak ve bir arada değerlendirilmelidir. Bir gemide çok başarılı sonuçlar vermiş olan bir sistem başka bir gemi için uygulanamaz olabileceği gibi, monte edildiği halde başarılı sonuçlar da vermeyebilir.

Yolcu gemilerinden istenen hızın yüksek olması ve yolcu konforunun en iyi şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu duruma en uygun yalpa sönümleme sistemi aktif kanat sistemleridir. Dökme yük taşıyan gemilerde istenilen düşük başlangıç maliyetleri, az hacim kaybı ve yük emniyetidir. Düşük maliyet ve hacim kaybı olmaması söz konusu olunca ve konfor önemli değilse yalpa omurgaları bu koşullar için uygundur.

Harp gemilerinin fırtınalı ve karışık dalgalı denizlerde bir takım dalga bileşenleri ile senkronize olarak aşırı büyük salınım hareketleri yapmaları sonucu, genel performanslarında meydana gelen azalmaların dizayn safhasında tespit edilmesi, denizcilik konusunda yapılan araştırmaların en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Harp gemilerinde bulunan sistemler geliştikçe, denize dayanıklılık konusu daha karmaşık hale gelmektedir. Tüm sistemlerin uyum içinde çalışarak beklenen görevleri yerine getirmesini sağlayacak platform bu gelişmelerin paralellinde daha çok önem kazanmakta ve dolayısıyla yüksek güçlü tahrik sistemine sahip günümüzün gemilerinden, fırtınalı denizlerde her yönden gelen şiddetli dalgalardan çok fazla etkilenmeden görevlerini yerine getirmeleri beklenmektedir. Bu şartlar altında harp gemilerinde kullanılabilecek en uygun yalpa sönümleme sistemi aktif kanat sistemidir. Ancak, harp gemilerinde yalpa omurgası ve karinaya monteli tip sabit yalpa kanatlarının kombine şekilde uygulanmasının en uygun çözüm olacağı değerlendirilmiştir. Bu durumda daha az kanat alanı kullanılacağı için gemi bünyesinde daha az hacim kullanılacak, yalpa sönümleme oranında % 15 artış sağlanacaktır. Bir örnek harp gemisinde yapılan çalışma sonucunda yalpa kanat boyutlarının gemi ve dalga bilgilerine göre efektif kanat alanı tespit edilmiştir.

Harp gemilerine yalpa omurgası ve sabit kanat tip yalpa önleme sisteminin yapılandırılması neticesinde silah sistemleri daha isabetli çalışacak, atış kontrol sistemleri ivme değerlerinin azalması nedeniyle arıza yapmayacak, geminin rota tutuş performansında artış olacak, dalgaları direk pruva istikametinde almaması nedeniyle kuvvetli baş-kıç vurma hareketleri yapmayacak tekne mukavemet elemanları daha az yıpranacaktır. Dalgaları bordadan alması nedeniyle hızını azaltmayacak hareket sahasına daha kısa bir sürede intikal edebilecektir.

Bu kapsamda yapılan incelemelerde yalpa hareketini geminin bir başka hareketi olan baş - kıkıvrurma hareketi ile bir karşılaştırma yapıldığında ortaya çıkan momentler daha küçük olduğu için yalpa hareketinin kontrol altına alınması daha kolaydır. Bu kuvvetlerden yalpa hareketinin kısıtlanması ile geminin daha kısa sürede daha fazla yol alması sağlanır. Yalpa azaltıcı kontrol yüzeyli sistemlerde yüzeylere ait ek dirençle karşılaşılır. Ancak bu direnç, yüzeylerin çalıştırılmasıyla yok edilen dirençten oldukça küçük kaldığından gemi dalgalar arasında daha az hız kaybına uğrar.

Bütün değerlendirmeler kapsamında harp gemilerinde kombine uygulanacak yalpa omurgası ve kanat sönmüleme sisteminin kullanım sürecinde çok büyük avantajlar sağlayacağı ve ilk yatırım maliyetini çok kısa bir sürede geri kazanacağı ve bu seçimin en maliyet etken seçim olduğu değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda yalpa sönmüleyici sistemlerin avantajları/dezavantajları belirtilmiş, bunlara göre de her sınıf gemi için yalpa sönmüleme seçim kriterleri oluşturulmuştur. Önceleri pasif tank olarak uygulanan sistemler hem çok fazla yer işgal etmekle birlikte, her türlü deniz şartlarında performansları da oldukça düşük kalmaktaydı. Oysa günümüzde pasif tank sistemlere bir kontrolör adapte edilerek aktif çalışır duruma getirilmişlerdir. Kontrolörler yalpa açısı, dalga meyil açısı, doğal periyot, gemi hızı, gibi parametrelere göre pompa yada kompresörü tahrik ederek çok daha efektif yalpa sönmü sağlamaktadır. Ayrıca kontrolör kullanılan aktif tank sistemlerinde tank hacimlerinde azalma sağlanmıştır.

Aktif tank sistemlerinin yalpa kanadı ile mukayese edilmesi durumunda, ticari gemilerde aktif tank sistemlerinin kullanımının daha uygun olacağı ancak her iki sistemin kombine olarak kullanılmasının yalpa sönmü performansında artışlar sağlayacağı değerlendirilmiştir. Özellikle konteyner gemilerinde aktif tank sistemin düşük hızlarda devreye alınması durumunda etkin çalışacak, yüksek hızlarda ise sabit kanat sistemi ile aktif tank sistemi kombine çalışacağından hem kanat alanı azalacak, hem de yalpa sönmü oranı artacaktır. Bu tip kombine kullanımda arıza olasılığı azalacaktır. Çünkü her iki sönmüleme sistemi sürekli olarak devreye alınmayacaktır. İhtiyaç duyulduğu zaman devreye alınacaktır.

Yalpa sönmüleme sistemlerinin kombine olarak kullanılmasının çok daha avantajlı olacağı değerlendirilmiştir. Maliyeti düşük olan yalpa omurgası ile aktif tank sistemi, aktif tank sistemi ile yalpa kanat sistemlerinin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alarçin, F., (2005), Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Andrew, R. N., Loader, P. R., ve Penn,V.E., (1984), “The assessment of ship seakeeping performance in likely to be encountered wind and wave conditions”, Proceedings of the RINA international symposium on wave and wind climate worldwide, London.
- Baykal, R., (1982), Gemilerin Hidrostatığı ve Dinamik Esasları, İTÜ Vakfı İstanbul.
- Baitis, A.E., and Schmidt, L.V., (1989), “Ship Roll Stabilization in the U.S. Navy”, Naval Engineers Journal, pp. 43-53.
- Berge,S.P. ve Fossen, T.I., (2000), “On The properties of the Nonlinear Ship Equations of Motion”, Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems.,365-381.
- Bell, J. and Walker, W.P, (1966) “Activated & Passive Controlled Fluid Tank System for Ship Stabilization”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers Transactions, Vol. 74, pp. 150-189.
- Conolly, J. E., (1974), “Standarts of Good Seakeeping for Destroyers and Frigates”, Int. Symp., London.
- Dalzell, J.F., (1978) “A Note on The Form of Ship Roll damping ”, Journal of Ship Research, 22,178-185.
- Field, S.B. & Martin, J.P., (1975), “Comparative Effects of U-Tube and Free Surface Type Passive Roll Stabilization Systems,” Spring Meeting of the Royal Institution of Naval Architects, London, England.
- Fossen, T.I. ve Lauvdal T., (1994), “Nonlinear Stability Analysis of Ship Autopilotsin Sway, Roll and Yaw”, MCMC’94, Southampton,UK.
- Gill, A.D., (1979), “Mathematical Modelling of Ship Maneuvering”, National Maritime Ins.
- Halden, H.A., (1969), ”Can Different Anti-Roll Stabilisers be Compared”, British Ship Research Association.
- Hsueh, W.J., ve Lee Y.J., (1997), “A Design For Ship Satbilization by Activated Antiroll Tanks ”, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Taiwan University.
- Graham, R., Baitis, A. E., ve Meyers, W. G., (1992), “On the development of seakeeping criteria”, Naval Engineers Journal, (104). 3.
- Kafalı, K., (1999), “Gemi Formunun Hidrodinamik Dizaynı”, İTÜ Vakfı, İstanbul.
- 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.
- Lloyd, A.E.J.M., (1985), “Roll Stabilization by Rudder”, Proceedings of the 4th International Ship Control Systems Symposium,The Netherlands.
- Minorsky, N. (1941), “Note on the Angular Motion of Ships”, Transactions of ASME, A 69.
- Monk,K.(1987), “A Warship roll criteria”, Transactions of RINA, B 20.
- Morenschildt, V.A., (1974), “Analysis of the Results of Model and full-scale Tests with

Stabilising Tanks of Various Types”, British Ship Research Association.

Newman, J.N., (1977), “Marine Hydrodynamics”, MIT Press, Cambridge, MA.

Nomoto, K., Taguchi, T., Honda, K. ve Hirano, S., (1957), “On the Steering Autopilots of Ships”, Technical Report, International Shipbuilding Progress, 4.

Perez, T. ve Blanke, M., (1998), “Mathematical Ship Modeling for Control Applications”, Technical Report.

Perez, T., Goodwin, G., ve Skelton, R., (2000) “Analysis of Performance and Applicability of Rudder - Based Stabilizers ”, Technical report, University of California, USA.

Monk, K., (1987), A warship roll criteria. Transactions of RINA.

Özkan, R., (1977), “ Lyapunov Direkt Yöntemi ile Gemilerin Stabilite Teorisi ”, Doktora Tezi, İTÜ.

Sabuncu, T., (1983), Gemi Manevraları ve Kontrolü , İTÜ Vakfı, İstanbul.

Sellers, F., ve Martin, J.P., (1992), “Selection and Evaluation of Ship Roll Stabilization Systems ”, Marine Technology, 29, 84-101.

Watts, P., 1885. The use of water chambers for reducing the rolling of ships at sea. Transactions of Institution of Naval Architects 26, 30.

Webster, W.C., (1967), “Analysis of the Control of Activated Antiroll Tanks”, Proceedings from the Annual Meeting of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, NY. Pp.296-325.

Webster, W.C., Dalzell, J.F., and Barr, R.A., (1988), “Prediction and Measurement of the Performance of Free-Flooding Ship Antirolling Tanks”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers Transactions, Vol. 96, pp. 333-360.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.02.1972

Doğum yeri İzmir

Lise 1985-1988 Fenerbahçe Lisesi

Lisans 1990-1996 İstanbul Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı ve Deniz Bil. Fak.
Deniz Tek. Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

1995-1996	Selah Gemi Sanayi A.Ş
1996-2001	Gölcük Tersanesi Komutanlığı Gemi Onarım Baş Müh.liği
2002-2003	İstanbul Tersanesi Komutanlığı Donatım Müh.
2003-2005	Sörvey Kısım Amiri
2005-2006	Hidrodinamik Müh.
2006-2008	Tekne Dizayn Şube Müdürü.