

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

**IMO İKİNCİ NESİL HASARSIZ STABİLİTE KRİTERLERİNİN İNCELENEREK
MEVCUT GEMİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

BURAK YILDIZ

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

**DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN YILMAZ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IMO İKİNCİ NESİL HASARSIZ STABİLİTE KRİTERLERİNİN İNCELENEREK
MEVCUT GEMİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Burak YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.01.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Metin TAYLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muhsin AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışması, IMO hasarsız stabilite kurallarındaki değişiklikleri ve bu değişikliklerin mevcut gemiler üzerine olan etkilerinin incelenmesini içermekte ve ikinci nesil IMO hasarsız stabilite kriterleri hakkında yol gösterici nitelikte olacağı umulmaktadır.

Çalışmanın hazırlanmasında desteğini esirgemeyen, güvenini hep hissettiğim sayın danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz'a ve sayın dekanım Prof. Dr. Bahri Şahin'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Uzman Kaan Ünlügençoğlu, Ar.Gör. Tarık Koçal, Merve Sarısakal'a ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman bana destek olan ve güvenen aileme bu desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ocak, 2012

Burak YILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Bulgular	4
BÖLÜM 2	
STABİLİTENİN GELİŞİMİ	5
2.1 Giriş	5
2.2 Mevcut IMO Hasarsız Stabilitate Kuralları	6
2.3 IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilitate Kriterlerinin Gelişimi	8
BÖLÜM 3	
PARAMETRİK YALPA İÇİN ZAFİYET KRİTERİ	12
3.1 Fiziksel Altyapı.....	12
3.1.1 Dalgalarda Stabilitate Değişimi	12
3.1.2 Parametrik Yalpanın Gelişimi	15
3.1.3 Parametrik Yalpa ve Frekans Karakteristikleri.....	16
3.1.4 Dalga Yönü ve Hızın Etkisi	17
3.2 Parametrik Yalpanın Matematiksel İfadesi	18

3.2.1	Mathieu Denklemi	18
3.2.2	Mathieu Denkleminin Çözümü ve Özellikleri	20
3.2.3	Sönümlleme ve Nonlineerlik Etkisi	22
3.3	Seviye 1 Zafiyet Kriteri	25
3.3.1	Frekans Durumu	25
3.3.2	Stabilite Değişiminin Genliği	26
BÖLÜM 4		
UYGULAMA		30
4.1	Uygulama 1 (Konteynır 1 Gemisi)	30
4.2	Uygulama 2 (Dökme Yük Gemisi).....	38
4.3	Uygulama 3 (RORO Gemisi)	42
4.4	Uygulama 4 (Tanker Gemisi).....	46
4.5	Uygulama 5 (Konteynır 2 Gemisi)	50
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		57
KAYNAKLAR		59
ÖZGEÇMİŞ		60

SİMGE LİSTESİ

L_{BP}	Dikmeler arası gemi boyu
B	Gemi genişliği
T	Gemi dizayn draftı
I_x	Kütle atalet momenti
A_{44}	Ek su kütlesi atalet momenti
B_{44}	Lineer sönüm katsayısı
W	Gemi Ağırlığı
$\emptyset$	Yalpa açısı
$\emptyset$	Açısal hız
$\emptyset$	Açısal ivme
GM_0	Sakin sudaki metasantr yüksekliği
GM_t	Zamana bağlı olarak metasantr yüksekliği
GM_a	Metasantr yüksekliği değişiminin genliği
GM_m	Metasantr yüksekliğinin ortalama değeri
GM_{max}	Metasantr yüksekliğinin maksimum değeri
GM_{min}	Metasantr yüksekliğinin minimum değeri
ω_e	Karşılaşma frekansı
ω_a	Metasantr yükseliği değişiminin genliğine bağlı doğal yalpa frekansı
ω_m	Ortalama metasantr yüksekliği değerine bağlı doğal yalpa frekansı
ω_0	Sakin sudaki doğal yalpa frekansı
T_ϕ	Doğal yalpa periyodu
ω_w	Dalga frekansı
T_w	Dalga periyodu
λ	Dalga boyu
h_w	Dalga yüksekliği
τ	Boyutsuz zaman katsayısı
μ	Sönüm katsayısı
GZ	Doğrultucu moment kolu
V	Gemi ileri hızı
V_{pr}	Parametrik yalpa hızı
V_{S1}, V_{S2}	Tehlikeli hız sınırları
β	Geminin dalgalarla karşılaşma açısı

g	Yerçekimi ivmesi
h	Parametrik uyarmanın genliğinin boyutsuz birimi
κ	Salınımdaki artışın veya azalışın parametrik kontrolünün ifadesi
a	Frekans oranı
C_1, C_2	Keyfi sabitler
f	Yükseltme faktörü
n	Salınım sayısı

KISALTMA LİSTESİ

IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
MSC	Maritime Safety Committee (Denizcilik Güvenlik Komitesi)
IS	Intact Stability (Hasarsız Stabilite)
SLF	Stability and Load Lines and on Fishing Vessels Safety (Stabilite, Yükleme Hatları ve Balıkçı Gemilerinin Emniyeti)
SOLAS	Safety of Life at Sea (Denizde Can Güvenliği)
ABS	American Bureau of Shipping (Amerikan Loydu)
L1	Level 1 Vulnerability Criteria (Seviye 1 Zafiyet Kriteri)
L2	Level 2 Vulnerability Criteria (Seviye 2 Zafiyet Kriteri)
DA	Direct Stability Assessment (Doğrudan Stabilite Değerlendirmesi)
OG	Operational Guidance (Operasyon Kılavuzu)
ADM	Administration (Yönetim)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Hava Kriterinin Değerlendirilmesi	8
Şekil 2. 2 APL China gemisinin kaza sonrası görüntüleri	10
Şekil 2. 3 IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilitate Kriterleri Taslağı	11
Şekil 3. 1 Gemi dalga çukuru durumunda gemi gövdesindeki (a) ve su hattındaki (b) değişim	13
Şekil 3. 2 Gemi dalga tepesi durumunda gemi gövdesindeki (a) ve su hattındaki (b) değişim	14
Şekil 3. 3 Dalga çukuru ve dalga tepesi durumunda su hattı değişimine bağlı olarak stabilite değişimi	14
Şekil 3. 4 Parametrik yalpa gelişimi	15
Şekil 3. 5 Parametrik yalpa gelişimi (Yalpa-Dalga ilişkisi)	16
Şekil 3. 6 (a) Yandan gelen dalgalarda rezonans (b) Parametrik yalpa rezonansı (c) Parametrik yalpa rezonansı için frekans aralığı	17
Şekil 3. 7 Takip eden ve kış omuzluktan gelen dalgalar	17
Şekil 3. 8 Baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalar	18
Şekil 3. 9 Dalgalı durumda gemi boyunca metasantr değişimi	19
Şekil 3. 10 Mathieu denkleminin sınırlı çözümü	21
Şekil 3. 11 Mathieu denkleminin sınırsız çözümü	21
Şekil 3. 12 Ince-Strutt Diyagramı	22
Şekil 3. 13 Sönümlemenin parametrik yalpaya etkisi	23
Şekil 3. 14 Periyodik olarak değişen kübik GZ eğrisi	24
Şekil 3. 15 Parametrik yalpanın Mathieu denklemi ve nonlinear denklem ile modellenmesi	24
Şekil 4. 1 Konteynır 1 gemisine ait en kesit resmi	30
Şekil 4. 2 Konteynır 1 gemisi için farklı dalga tepesi konumlarına göre GM değerleri	33
Şekil 4. 3 Ortalama GM ve GM değişiminin genliği	33
Şekil 4. 4 Konteynır 1 gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi	36
Şekil 4. 5 Dökme yük gemisine ait en kesit resmi	38
Şekil 4. 6 Dökme yük gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi	41
Şekil 4. 7 RORO gemisine ait en kesit resmi	42

Şekil 4. 8	RORO gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi	45
Şekil 4. 9	Tanker gemisine ait üç boyutlu görünüş.....	46
Şekil 4. 10	Tanker gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi	49
Şekil 4. 11	Konteynır 2 gemisine ait üç boyutlu görünüş	51
Şekil 4. 12	Dalga tepesi konumunun gemi boyunca farklı konumlara yerleştirilmesi .	52
Şekil 4. 13	Konteynır 2 gemisi için farklı dalga tepesi konumlarına göre GM değerleri	53
Şekil 4. 14	Konteynır 2 gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi	55

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4. 1	Konteynır 1 gemisine ait ana değerler	31
Çizelge 4. 2	Dalga boyuna bağlı dalga yüksekliği.....	31
Çizelge 4. 3	Dalga Parametreleri (Konteynır 1 Gemisi)	31
Çizelge 4. 4	Dalga tepesi konumuna göre V, BM, KB, GM değerleri	32
Çizelge 4. 5	Konteynır 1 gemisi için duyarlılık kriteri değerleri	34
Çizelge 4. 6	Konteynır 1 gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi	35
Çizelge 4. 7	Konteynır 1 gemisi için hız aralığı değerlendirmesi	36
Çizelge 4. 8	Konteynır 1 gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi	37
Çizelge 4. 9	Dökme yük gemisine ait ana değerler.....	38
Çizelge 4. 10	Dalga parametreleri (Dökme Yük Gemisi)	39
Çizelge 4. 11	Dökme yük gemisi için duyarlılık kriteri değerleri.....	39
Çizelge 4. 12	Dökme yük gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi.....	40
Çizelge 4. 13	Dökme yük gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi	41
Çizelge 4. 14	RORO gemisine ait ana değerler	43
Çizelge 4. 15	Dalga parametreleri (RORO Gemisi)	43
Çizelge 4. 16	RORO gemisi için duyarlılık kriteri değerleri	43
Çizelge 4. 17	RORO gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi	44
Çizelge 4. 18	RORO gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi	46
Çizelge 4. 19	Tanker gemisine ait ana değerler	47
Çizelge 4. 20	Dalga parametreleri (Tanker Gemisi).....	47
Çizelge 4. 21	Tanker gemisi için duyarlılık kriteri değerleri.....	47
Çizelge 4. 22	Tanker gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi.....	48
Çizelge 4. 23	Tanker gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi.....	50
Çizelge 4. 24	Konteynır 2 gemisine ait ana değerler	51
Çizelge 4. 25	Dalga parametreleri (Konteynır 2 Gemisi)	52
Çizelge 4. 26	Konteynır 2 gemisi için duyarlılık kriteri değerleri	53
Çizelge 4. 27	Konteynır 2 gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi	54
Çizelge 4. 28	Konteynır 2 gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi	55

IMO İKİNCİ NESİL HASARSIZ STABİLİTE KRİTERLERİNİN İNCELENEREK MEVCUT GEMİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Burak YILDIZ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

Gemilerin denizlerde güvenli bir şekilde seyredebilmesi için yeterli sephiyeye ve stabiliteye sahip olması gereklidir. Gemilerin sefer boyunca denizde emniyetli bir şekilde seyredebilmesi için, gerekli stabilite kriterlerini sağlamalıdır. Gemilere uygulanan ilk uluslararası stabilite kuralları 1968 yılında zorunlu hale getirilmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO (International Maritime Organization) tarafından uygulamaya konan bu kriterler 100 m'den büyük yük ve yolcu gemilerini kapsamaktadır. Bu önergedeki kriterler gemilere etki eden dış etkilerle ilgili herhangi bir unsur nazari dikkate almamaktadır. Bu yüzden, IMO 1985 yılında hava kriterlerini yürürlüğe koymuştur. IMO 1993 yılında gemilere uygulanan stabilite kriterlerini toplayarak yürürlüğe koymuş ve daha sonra 2008 yılında ise 2008 IS CODE başlıklı kurallarda mevcut stabilite kurallarını biraraya toplamıştır. Uygulanan bu stabilite kriterlerini karşılamasına rağmen bazı mevcut gemilerin devrilmesi IMO'nun uygulanan kurallar hakkında yeni çalışmalar yapmasına zemin hazırlamıştır. Bu çalışmalar genellikle gemilerin maruz kaldığı dinamik kuvvetler üzerinde yoğunlaşmıştır. 2005 yılından itibaren IMO alt komitesi Stabilite, Yükleme Hatları ve Balıkçı Gemilerinin Emniyeti SLF (Stability and Load Lines and on Fishing Vessels Safety), İkinci Nesil Hasarsız Stabilite Kriterlerini oluşturmak amaçlı çalışmaya başlamıştır.

Bu tez çalışmasında, Uluslararası Denizcilik Örgütünün 2010 ve 2011 yılında yaptığı Stabilitate, Yükleme Hatları ve Balıkçı Gemilerinin Emniyeti alt komitesi delegasyonunda sunulan İkinci Nesil Hasarsız Stabilitate Kriterlerinden parametrik yalpa için Seviye 1 Zafiyet Kriteri üzerine yapılan ön çalışmalar örneklerle incelenmiştir. Bu kriterlerin temelinde neler istendiği ve mevcut gemileri nasıl etkilediği üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hasarsız stabilite, IMO stabilite, parametrik yalpa, zafiyet kriteri

**RESEARCH AND EVALUTION OF IMO SECOND GENERATION INTACT
STABILITY CRITERIA FOR EXISTING VESSELS**

Burak YILDIZ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

Vessels must have sufficient displacement and stability in order to sail safely. Vessels need to provide necessary stability criterias during entire voyage. First international stability regulations have been applied to vessels in 1968. The criterias proposed within these regulations are recommended to the vessels over 100 meters by IMO (International Maritime Organization). The criterias in the proposal have not considered any dynamic effects. Hence, IMO constituted weather criterias in 1985. IMO first constituted the previously applied stability criterias in 1993, and afterwards collected the current stability regulations under the IS CODE headline in 2008. In spite of all applied stability criterias, vessels those capesized lead IMO to consider new regulations. These potential regulations are mostly about dynamic effects that vessels are exposed to. Since 2005, subcommity of IMO, SLF (Stability, Loading Lines and Safety of Fishing Vessels) has started to study over Second Generation Intact Stability Criteria.

In thesis, prestudies over Second Generation Intact Stability Criteria about Level 1 Vulnerability Criteria for parametric roll that is presented at SLF delegation of IMO in 2010 and 2011 examined with examples. The thesis emphasizes what the criteria require and how existing vessels will be effected.

Keywords: Intact stability, IMO stability, parametric roll, vulnerability criteria

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gemilerin güvenli bir şekilde seyretmesi için belli kriterleri sağlaması gereklidir. Bu kriterler denizlerde meydana gelen kazalar sonucu alınan önlemler neticesinde ortaya çıkmıştır. Yaşanan her kaza insanları önlem almaya doğru yöneltmiş, kazaların neden olduğu etkenler araştırılmış ve daha sonraki gemi yapımlarında bu hususlara daha çok dikkat edilmiştir. Bu alınan önlemlerle gemiler daha güvenli yapılara dönüşmeye başlamıştır. Bu alınan önlemler ilerleyen zamanlarda belli kurallar altında toplanıp zorunlu hale getirilmiştir.

İlk uluslararası stabilite kuralları Rahola'nın 1939 yılında yaptığı çalışmalar baz alınarak geliştirilmiştir. Bu önergede yer alan kriterler gemilere etki eden dış etkilerle ilgili herhangi bir ifade yer almamaktadır. Bu yüzden Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO (International Maritime Organization) 1985 yılında hava kriterini yürürlüğe koymuştur. 1993 yılında gemilere uygulanan stabilite kriterleri bir araya getirilerek yürürlüğe konmuştur. 2008 yılında Denizcilik Güvenlik Komitesi MSC (Maritime Safety Committee) teknik gelişmeleri de göz önüne alarak bu kuralları 2008 IS (Intact Stability) Code adı altında revize etmiştir ve 1 Temmuz 2010'dan itibaren zorunlu hale getirilmiştir.

Geçerli stabilite kriterlerini sağlamasına rağmen birçok geminin devrilmesi gemi dizaynında ve operasyonunda önemli değişiklikler yapılmasına neden olmuştur. Son on yılda ticari gemilerin dizaynında ve operasyonunda yapılan bu değişiklikler ve bu

değişikliklerin gemi stabilitesine etkisi IMO alt komitesi olan Stabilité, Yükleme Hatları ve Balıkçı Gemilerinin Emniyeti (SLF)'yi ikinci nesil hasarsız stabilite kuralları üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir (Belenky vd. [1]).

İkinci nesil hasarsız stabilite kriterleri hakkındaki çalışmalar 2002 yılında IMO SLF alt komitesi bünyesinde hasarsız stabilite çalışma grubunun kurulmasıyla başlamıştır. Ancak bazı sebeplerden dolayı 2005 yılına kadar somut bir çalışma yapılamamıştır.

2005 yılında SLF'nin 48. Toplantısıyla beraber ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri üzerindeki asıl çalışmalar başlamıştır. Bu toplantıda ikinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin üç önemli stabilite zafiyet modunu temel alması gerektiği kararına varılmıştır. Bunlardan ilki doğrultucu moment kolu değişimi problemleri, ikincisi ölü gemi durumunda stabilite ve üçüncüsü de dalgalı durumlardaki manevra problemleri [2].

Bu çalışmalar yapıldığı sırada Amerikan Loydu ABS (American Bureau of Shipping) 2004 yılında APL China gemisinin devrilmesinin ardından konteynır gemileri için parametrik yalpa değerlendirmesi adlı bir kılavuz çıkarmıştır. Bu kılavuzda konteynır gemileri için iki aşamalı bir değerlendirme hazırlanmıştır. Birincisi duyarlılık kriteri ve ikincisi de şiddet kriteri [3].

Yaşanan bu tecrübe ve yapılan bu çalışmalar ikinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Yapılan bu çok aşamalı yaklaşım çalışması ikinci nesil kriterler için bir taslak oluşturmuş ve zafiyet kriteri fikrini ortaya çıkarmıştır. Belenky, Kat ve Umeda ABS'in hazırladığı çok aşamalı yaklaşıma dayanarak ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri için düşünülen bütün dinamik stabilite zafiyetlerinin yer aldığı taslağı hazırlamıştır (Belenky vd. [4]).

Bu taslakta dört önemli stabilite zafiyet modu belirlenmiştir. Bunlar; ölü gemi durumu, parametrik yalpa, ani stabilite kaybı ve dalga tepesinde dönme ve devrilme (broaching) olayıdır. Bu yapıda IMO kapsamındaki tüm gemilere 2008 IS kod bölüm A'nın 2.2 ve 2.3 kısımları uygulanmaktadır. Ayrıca her gemi zafiyet kriteri seviye 1 (L1) uygulanarak ani stabilite kaybı, parametrik yalpa ve broaching durumlarındaki hasarlanma olasılıkları kontrol edilmektedir. Bir hasarlanma olasılığı tespit edilirse zafiyet kriteri seviye 2 (L2) uygulanmaktadır ve gerektiğinde bunu takiben doğrudan stabilite değerlendirmesi

(DA) uygulanmaktadır. Herhangi bir stabilite zafiyet modundaki doğrudan stabilite değerlendirmesi yüksek seviyede bir risk gösteriyorsa bayrak yönetiminin (ADM) gereklerine bağlı olarak gemi özel operasyon kılavuzu (OG) geliştirilmektedir. Eğer herhangi bir stabilite zafiyet modu için hasarlanabilirlik tespit edilmezse veya hasarlanma olasılığı aşırı değil ise herhangi ek bir işlem yapmaya gerek duyulmamaktadır (Belenky vd. [1]).

İkinci nesil hasarsız stabilite kriterleri için taslak belirlendikten sonra çalışma grubundaki her üye ülke tarafından çalışmalar hazırlanmış ve teklifler sunulmuştur. Bu hazırlanan çalışmalar sayesinde kriterler geliştirilmiş ve yapılan örneklemelerle kriterlerin doğruluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Spyrou 2005 yılında yaptığı çalışmada Mathieu denklemine bağlı olarak parametrik yalpa için bir kriter geliştirmiş ve bu kriter daha sonra seviye 1 zafiyet kriterinin temelini oluşturmuştur [5].

Çalışma grubu üye ülkelerinden Japonya'nın hazırlayıp 2010 yılında SLF 53. Toplantısında sunduğu teklifte parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriteri kapsamında çalışmalar yapmış ve bu çalışmaları örnek gemilere uygulayarak bu gemilerin kriteri sağlayıp sağlamadığını gözlemlemiştir [6].

Aynı toplantıda Almanya tarafından sunulan çalışmada da parametrik yalpa seviye 1 zafiyet kriteri kapsamında çalışmalar yapılmış ve seçilen gemiler için örneklemeler yapılmıştır [7].

Shin, Belenky, Pauling, Weems ve Lin 2004 yılında ABS'in konteynır gemileri için parametrik yalpa değerlendirmesi kapsamında yaptığı çalışmada belli gemiler için uygulamalar yapmışlardır (Shin vd. [8]).

Bulian ve Francuscetto 2010 yılında İtalya adına sunduğu teklifte parametrik yalpa seviye 1 zafiyet kriteri için daha detaylı bir analiz yapmıştır [9].

İkinci nesil hasarsız stabilite kriterinin yapılan çalışmalarında örnek gemiler kullanılarak önemli değerlendirme gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, tartışmalar sırasında bu çalışmaların henüz kriter olarak adlandırılacak bir olgunluğa ulaşmadığı görülmüştür. Önerilen kriterlerde çelişen veya çakışan noktaların olması ve birçok

durumda olayın lineer olmayan karakterde bulunması çözümü daha karmaşık hale getirmektedir. Aynı konuda, farklı delegasyonlar tarafından önerilen taslakların arasında ortak olan veya çelişen durumların bulunması bu şekilde açıklanabilir. Bu nedenle, daha fazla sayıda ve türde gemi üzerinde uygulama yapılması gerekliliği ortak fikri desteklenmiştir [10].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, IMO ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri kapsamında ortaya çıkarılan parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriterinin incelenip, mevcut gemiler üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

1.3 Bulgular

Yapılan çalışmada, IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilite Kriterlerinden parametrik yalpa için Seviye 1 Zafiyet kriterinin parametrik yalpa duyarlılık tespitinde uygulaması pratik ve Amerikan Loydu'nun geliştirdiği duyarlılık kriteri ile kontrolü yapıldığında bu kriterle uyumlu olduğu ayrıca mevcut kriterlere göre daha anlamlı bir sonuç verdiği ve emniyet seviyesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2

STABİLİTENİN GELİŞİMİ

2.1 Giriş

Denizcilik tarihinde meydana gelen birçok kaza, insanların bu konularda önlem alması, çözüm üretmesi için kurullar ve komiteler oluşturmalarına ve bu sayede denizcilik sektörüne verilen önemin artmasına ve sektörün gelişmesine neden olmuştur. Yaşanan her kaza insanları önlem almaya doğru yöneltmiş, kazaların neden olduğu etkenler araştırılmış ve daha sonraki gemi yapımlarında bu hususlara daha çok dikkat edilmiştir. Bu alınan önlemlerle gemiler daha modern ve daha sağlam yapılara dönüşmeye başlamıştır.

Değişik araştırmacılar ve denetleme kuruluşları, davranışları iyi olan gemiler ile özellikle fırtına ve diğer olumsuz koşullara dayanamamış gemilere ait verileri inceleyerek, stabilitenin yeterliliğini belirleyen kurallar tanımlamışlardır. Zamanla bu araştırmalar, kurallar ortak bir çatı altında toplanmış ve çeşitli konferanslarla ulusallıktan uluslararası bir komiteye geçiş yapmışlardır. Günümüzde Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) adıyla bilinen bu komite başta denizde güvenlik olmak üzere çeşitli alanlarda araştırmalar yapmış ve komite bünyesindeki ülkeler tarafından kuralları uygulanmıştır ve günümüzde de uygulanmaktadır.

İlk olarak A.167 önergesiyle 1968 yılında uygulamaya başlanan uluslararası stabilite kuralları Rahola'nın 1939 yılında yaptığı çalışmalar baz alınarak geliştirilmiştir. Ancak bu önergede yer alan kriterler gemilere etki eden dış etkilerle ilgili herhangi bir unsuru dikkate almamaktadır. Bu yüzden IMO 1985 yılında A.562 önergesiyle hava kriterlerini

yürürlüğe koymuştur. 1993 yılında gemilere uygulanan stabilite kriterleri A.749(18) önergesinde toplanarak yürürlüğe konulmuştur. 2008 yılında Denizcilik Güvenlik Komitesi (MSC) teknik gelişmeleri de göz önüne alarak bu kuralları 2008 IS Code adı altında revize etmiştir ve 1 Temmuz 2010'dan itibaren zorunlu hale getirilmiştir.

Geliştirilen bu kuralların tümünü sağlamasına rağmen gemilerin denizlerde çeşitli nedenlerle devrilmesi olayları sonucu olarak IMO alt komitesi olan SLF 2002 yılından itibaren gemilerin devrilmesine sebep olan dinamik etkenler üzerinde çalışmalar yapmaya başlamıştır. Parametrik yalpa, ani stabilite kaybı, ölü gemi durumları gibi konular tartışılmaya başlamış ve ikinci nesil stabilite kurallarının oluşturulması hakkında görüş birliği sağlanmıştır (Belenky vd. [1]).

2.2 Mevcut IMO Hasarsız Stabilite Kuralları

Belli bir amaç için inşa edilen gemiler, amaçlarına uygun olarak çalışabilmeleri için yeterli sephiyeye ve stabilizeye sahip olmalıdır. Gemiler sefere çıkmadan önce, yükleme esnasında limanda ve sefer boyunca da denizde emniyetli bir şekilde seyredebilmesi için, gerekli stabilite kriterlerini sağlamalıdır. Gemilerin stabiliteleri ile ilgili çalışmalar çok eskilere dayanmasına rağmen, gemilere uygulanan ilk uluslararası stabilite kuralları 1968 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bu önergedeki kriterler Rahola'nın 1939 yılında yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Rahola çalışmasında, daha önce devrilen gemilerin stabilitelerini incelemiş ve bazı kriterler geliştirmiştir. Bu önerge geminin başlangıç metasantr yüksekliği ve geminin doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değerleri için bazı kriterleri içermektedir. Bu kriterlerin uygulamaları karmaşık olmayıp çok basittir. Ancak herhangi bir fiziksel modele dayanmadığı için geliştirilmesi zor olup emniyet derecesi de bilinmemektedir. Bu önergedeki kriterler tavsiye olmasına rağmen, ülkeler ve klas kuruluşları bu kriterlerin uygulanmasını zorunlu kılmışlardır.

IMO 1993 yılında gemilere uygulanan stabilite kriterlerini toplayarak yürürlüğe koymuş ve daha önce konuyla ilgili yayınladığı önergeleri yürürlükten kaldırmıştır.

Yolcu, yük gemileri ve tankerler için uygulanmakta olan bu kriterler;

1. $\theta=30^\circ$ 'ye kadar doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değeri 0,055 m.radyan'dan az, $\theta=40^\circ$ veya su alma açısına kadar hangisi daha küçükse, doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değeri 0,09 m.radyan'dan az olmamalıdır. $\theta=30^\circ$ 'den $\theta=40^\circ$ veya su alma açısına kadar, hangisi daha küçükse, doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değeri 0,03 m.radyan'dan az olmamalıdır.
2. Doğrultucu moment kolu değeri, $\theta=30^\circ$ veya daha büyük bir açıda minimum 0,2 m olmalıdır.
3. Maksimum doğrultucu moment kolu değeri, $\theta=25^\circ$ 'den az tercihen $\theta=30^\circ$ 'den daha büyük bir açıda olmalıdır.
4. Başlangıç metasantr yüksekliği 0,15 m'den az olmamalıdır.
5. Yolcu gemilerinde ilave olarak yolcuların bir tarafta toplanmalarından dolayı oluşacak meyil açısı $\theta=10^\circ$ 'yi geçmemelidir. Yolcuların bir tarafta toplanmalarında, oluşacak yatırıcı momentin hesabı aşağıdaki kabullere göre yapılacaktır:
 - a) Yolcuların her birinin ağırlığı 75 kg alınabilir ancak bu değer 60 kg'dan daha az alınamaz. Bu değere ek olarak yolcuların bagajlarıda yetkili idarenin öngördüğü oranda eklenir.
 - b) Yolcuların ağırlık merkezleri aşağıda ifade edildiği gibi kabul edilmelidir: Ayaktaki yolcular için bulundukları güverteden itibaren 1 m. Yükseklikte alınmalıdır. Gerekmesi durumunda yolcuların bulundukları güvertenin sehim ve şiyer değerleri de dikkate alınabilir. Oturan yolcular için oturdukları yerden itibaren 0,3 m yükseklikte alınmalıdır.
6. Yolcu gemilerinde ilave olarak geminin dönmesinden dolayı oluşacak meyil açısı $\theta=10^\circ$ 'yi geçmemelidir.
7. Hava Kriteri: Bu kriter 1 maddesinde verilen kriterlere ek olarak, 24m ve daha büyük boydaki gemilere uygulanır. Gemiler, yalpa ve rüzgârın bileşik etkisi altında tüm yükleme durumlarında bu kriterin gereklerini karşılamalıdır. Şekil 2.1'de gösterilen "b" alanı "a" alanına eşit veya daha büyük olmalıdır.

İkinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin geliştirilmesi 2002 yılında IMO alt komitesi olan SLF'nin hasarsız stabilite çalışma grubunu kurmasıyla başlamıştır. Fakat başka önceliklerden dolayı asıl çalışmalar Eylül 2005'te SLF'nin 48. Toplantısında başlamıştır. Çalışma grubu ikinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin en önemli üç stabilite zafiyet modunu temel olarak almasına karar vermiştir (Belenky vd. [1]). Bunlar:

- 1- Doğrultucu kol değişimi problemleri (Parametrik yalpa ve ani stabilite kaybı)
- 2- Ölü gemi durumunda stabilite problemleri (SOLAS II-1/3-8)
- 3- Dalgalı denizlerde manevra problemleri (Dalga tepesinde dönme ve devrilme)

Daha sonradan doğrultucu kol problemlerinden parametrik yalpa ve ani stabilite kaybı farklı iki mod olarak düşünülmüştür ve toplamda dört stabilite zafiyet modu belirlenmiştir.

Kriterler üzerinde yapılan ilk çalışmalar kriter geliştirmenin zorlu bir işlem olduğunu göstermiştir. Hazırlan ilk çalışmalar SLF'nin 49. Toplantısında değerlendirilmiş ve birçok teorik hata olduğundan dolayı reddedilmiştir. İkinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin geliştirilmesi için yeni bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı ikinci nesil kriterlerin temelini stabilite zafiyetine yol açan olayların fiziğine dayalı olması gerektiğine karar verilmiştir.

Bu düşünceler kapsamında Mayıs 2007'de SLF 50. Toplantısı yapılmıştır ve görüşler tartışılmıştır. Bu toplantıda performans dayalı ve parametrik kriter arasındaki ayrım ile olasılıklı ve deterministik kriter arasındaki farklar tartışılmıştır.

Dinamik stabiliteye bağlı sorunları ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalara örnek bir olay denizcilik endüstrisinde yer almaktadır. 2003 yılında APL China adlı gemi parametrik yalpadan dolayı devrilmiş (Şekil 2.2) ve bu olaydan sonra Amerikan Loydu (ABS) 2004 yılında konteynır gemileri için parametrik yalpa değerlendirilmesi hakkında bir kılavuz yayınlamıştır. Kılavuzda çok aşamalı bir değerlendirme işlemi uygulanmıştır. Birinci aşama duyarlılık kriteri olarak adlandırılmış ve düzenli dalgalardaki GM değişimi ve Mathieu denklemi kullanılarak formüle edilmiştir. Birinci aşamada gemi parametrik yalpaya duyarlı bulunursa ikinci aşamaya yani şiddet kriterine geçilir. Şiddet kriteri dalgalı durumlarda GZ hesaplaması ve yalpa denkleminin sayısal integrasyonundan oluşan bir kriterdir. İkinci aşamadan sonra geminin yalpaya yatkınlığı yeterince şiddetli

bulunursa son aşamaya geçilmektedir ve bu aşamada da gelişmiş sayısal simülasyonlar uygulanmaktadır ve gemiye özgü operasyon kılavuzu geliştirilmektedir [3].



Şekil 2. 2 APL China gemisinin kaza sonrası görüntüleri [12]

Klasik olmasına rağmen duyarlılık ve şiddet kriteri gemilerde parametrik yalpa oluşumunun mümkün olup olmadığını ayırt etmektedir ve günümüzde de uygulanmaktadır. Shin 2004'te yaptığı çalışmada bu kriterleri bir tanker gemisine uygulamış ve parametrik yalpanın tankerler için bir tehlike yaratmadığını göstermiştir.

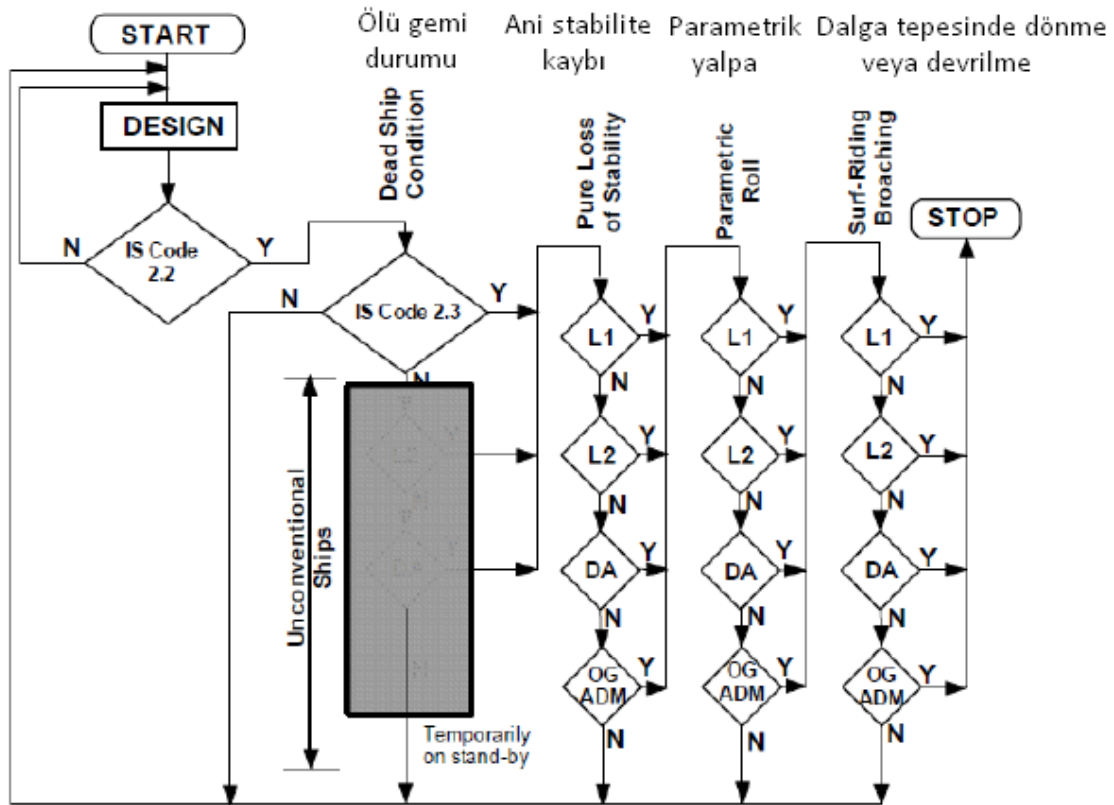
ABS kılavuzunun gemilere uygulanması çok aşamalı yaklaşımın pratik yararlar getirdiğini göstermiştir. Çünkü sayısal simülasyon pahalı bir işlemdir, buna karşılık duyarlılık ve şiddet kontrolü gemilerde parametrik yalpa tehlikesini gözlemlemekte bize pratik bir yöntem sunmaktadır.

Klas kuruluşlarının bu çalışmalarına ek olarak mürettebatın parametrik yalpa hakkında bilgi sahibi olması için bazı mühendislik şirketleri tarafından eğitim programları geliştirilmiştir.

Yaşanan bu tecrübe ve yapılan bu çalışmalar ikinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Yapılan bu çok aşamalı yaklaşım çalışması ikinci nesil kriterler için bir taslak oluşturmuş ve zafiyet kriteri fikrini ortaya çıkarmıştır.

Belenky, Kat ve Umeda ABS'in hazırladığı çok aşamalı yaklaşıma dayanarak ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri için düşünülen bütün dinamik stabilite zafiyetlerinin yer aldığı taslağı hazırlamıştır (Şekil 2.3) (Belenky vd. [4]).

Şekil 2.3 ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri için çok aşamalı yaklaşımın geçerli görünümünü göstermektedir. Bu yapıda IMO kapsamındaki tüm gemilere 2008 IS kod bölüm A'nın 2.2 ve 2.3 kısımları uygulanmaktadır. Ayrıca her gemi zafiyet kriteri seviye 1 (L1) uygulanarak ani stabilite kaybı, parametrik yalpa ve dalga tepesinde dönme ve devrilme durumlarındaki hasarlanma olasılıkları kontrol edilmektedir. Bir hasarlanma olasılığı tespit edilirse zafiyet kriteri seviye 2 (L2) uygulanmaktadır ve gerektiğinde bunu takiben doğrudan stabilite değerlendirmesine (DA) geçilmektedir. Herhangi bir stabilite zafiyet modundaki doğrudan stabilite değerlendirmesi yüksek seviyede bir risk gösteriyorsa bayrak yönetiminin (ADM) gereklerine bağlı olarak gemi özel operasyon kılavuzu (OG) geliştirilmektedir. Eğer herhangi bir stabilite zafiyet modu için hasarlanabilirlik tespit edilmezse veya hasarlanma olasılığı aşırı değil ise herhangi ek bir işlem yapmaya gerek duyulmamaktadır (Belenky vd. [1]).



Şekil 2. 3 IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilite Kriterleri Taslağı (Belenky vd. [4])

PARAMETRİK YALPA İÇİN ZAFİYET KRİTERİ

Bu bölümde parametrik yalpa için zafiyet kriterinin gelişimi hakkında bilgi verilmiştir. Parametrik yalpa olayının fiziksel altyapısı, parametrik yalpayı tespit etmek için kullanılan matematiksel model ve farklı ülkeler tarafından sunulan teklifler kullanılarak seviye 1 zafiyet kriterinin gelişimi incelenmiştir. Ayrıca bu kriter mevcut örnek gemilere uygulanarak kriterin gemiler üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

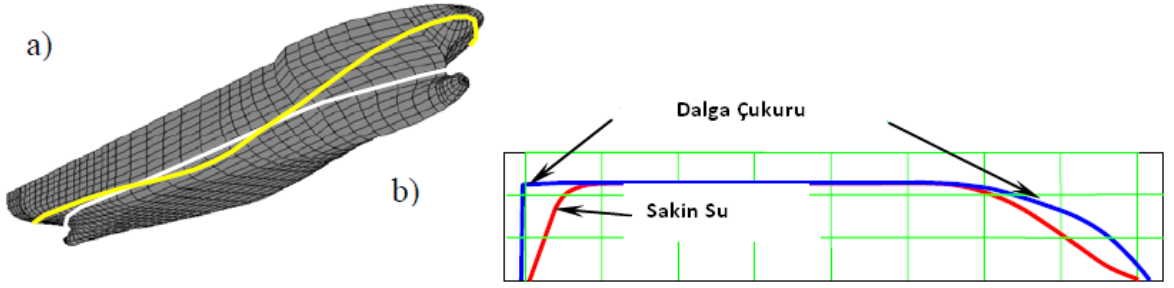
3.1 Fiziksel Altyapı

Parametrik yalpa zafiyet modunda bir kriter geliştirmek için öncelikle parametrik yalpa olayı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

3.1.1 Dalgalarda Stabilite Değişimi

Bir gemi dalgalı bir denizde ilerlerken geminin su hattında değişimler meydana gelmektedir. Özellikle dalga boyunun gemi boyuna eşit olduğu durumlarda bu değişim önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

Gemi boyuna eşit bir dalganın gemi boyunca yerleştirildiğinde su hattında meydana gelen değişim Şekil 3.1’de görülmektedir. Çoğu gemilerde dalga kırılmalarında güvertede meydana gelen ıslanma olayını engellemek için baş fler kısmı geniş tutulmaktadır. Baş fler (flare) kısmının geniş tutulmasının bir diğer avantajı da ek kargo alanı sağlamasıdır. Baş fler kısmının geniş olması ve dalga boyunun baş flere ulaşması sonucunda o taraftaki su hattında bir genişleme meydana gelmektedir.

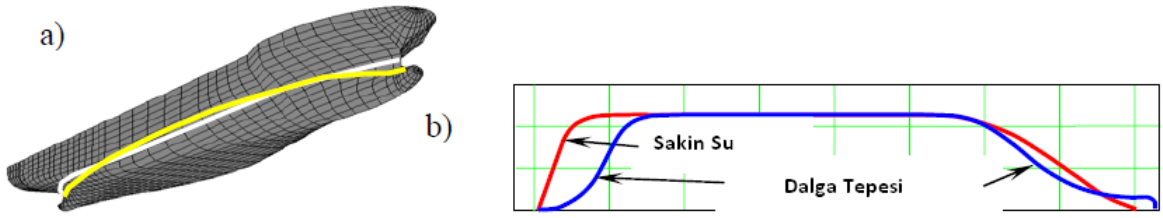


Şekil 3. 1 Gemi dalga çukuru durumunda gemi gövdesindeki (a) ve su hattındaki (b) değişim

Gemilerde kıç taraf baş tarafa göre daha geniştir. Yük istifleme hususları dışında, bu kısım dümen makinalarının yerleştirildiği yerdir ve bundan dolayı daha geniş tutulması gerekmektedir. Bu kısmın su altında kaldığı bir durumda buradaki genişlik su hattının da ayrıca genişlemesine neden olmaktadır.

Çoğu gemilerde baş ve kıç kısımların aksine gemi orta kısmı boyunca genelde paralel gövde uzanmaktadır. Bunun anlamı draft değişimlerinde bu kısımlardaki su hattında çok az bir miktarda değişim gözlenmektedir. Dalga çukuru gemi boyunca yerleştirildiğinde gemi ortasında draft azalır, bu kısım paralel gövdeli ise su hattında küçük bir değişim meydana gelmektedir. Sonuç olarak dalga çukuru gemi ortası etrafına yerleştirildiği zaman toplam su hattı alanında bir artış meydana gelmektedir (Şekil 3.1b).

Dalga tepesi gemi boyunca yerleştirildiği zaman da su hattında önemli bir değişim meydana gelmektedir (Şekil 3.2). Baş tarafın su altında kalan kısımları özellikle su hattı etrafında daha dar bir yapıya sahiptir. Bu bölgeye bir bulb yerleştirildiğinde bile baş fler kısmından daha dar bir bölge olarak kalmaktadır. Bu darlığın nedeni dirençten dolayıdır. Hızlı bir gemi isteniyorsa geminin su altında kalan baş tarafı dar bir yapıya sahip olmalıdır. Gemi boyuna eşit bir dalga tepesi gemi boyunca yerleştirildiğinde dalga çukuru gemi baş tarafına denk gelmektedir. Bunun sonucu olarak da baş tarafta su hattında bir daralma meydana gelmektedir.

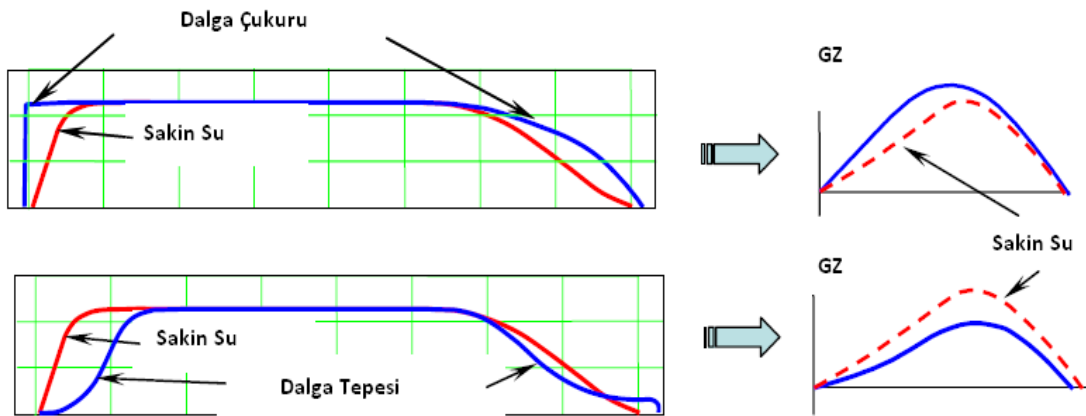


Şekil 3. 2 Gemi dalga tepesi durumunda gemi gövdesindeki (a) ve su hattındaki (b) değişim

Gemi kıç tarafının su altında kalan kısmı da baş tarafta olduğu gibi dar bir yapıya sahiptir. Bu bölgenin böyle bir yapıya sahip olmasındaki dizayn amacı pervaneye gelen yeterli su akışını sağlamaktır. Dalga tepesi gemi boyunca yerleştirildiğinde bir diğer dalga çukuru da gemi kıçının etrafına denk gelmektedir. Böylece kıç tarafta draft azalmaktadır ve bu da bu bölgedeki su hattında daralma meydana getirmektedir.

Daha öncede belirtildiği gibi gemi orta kısmında paralel gövde olduğundan su hattında önemli büyüklükte bir değişiklik meydana gelmemektedir. Şekil 3.2b dalga tepesi durumunda toplam su hattındaki azalmayı göstermektedir.

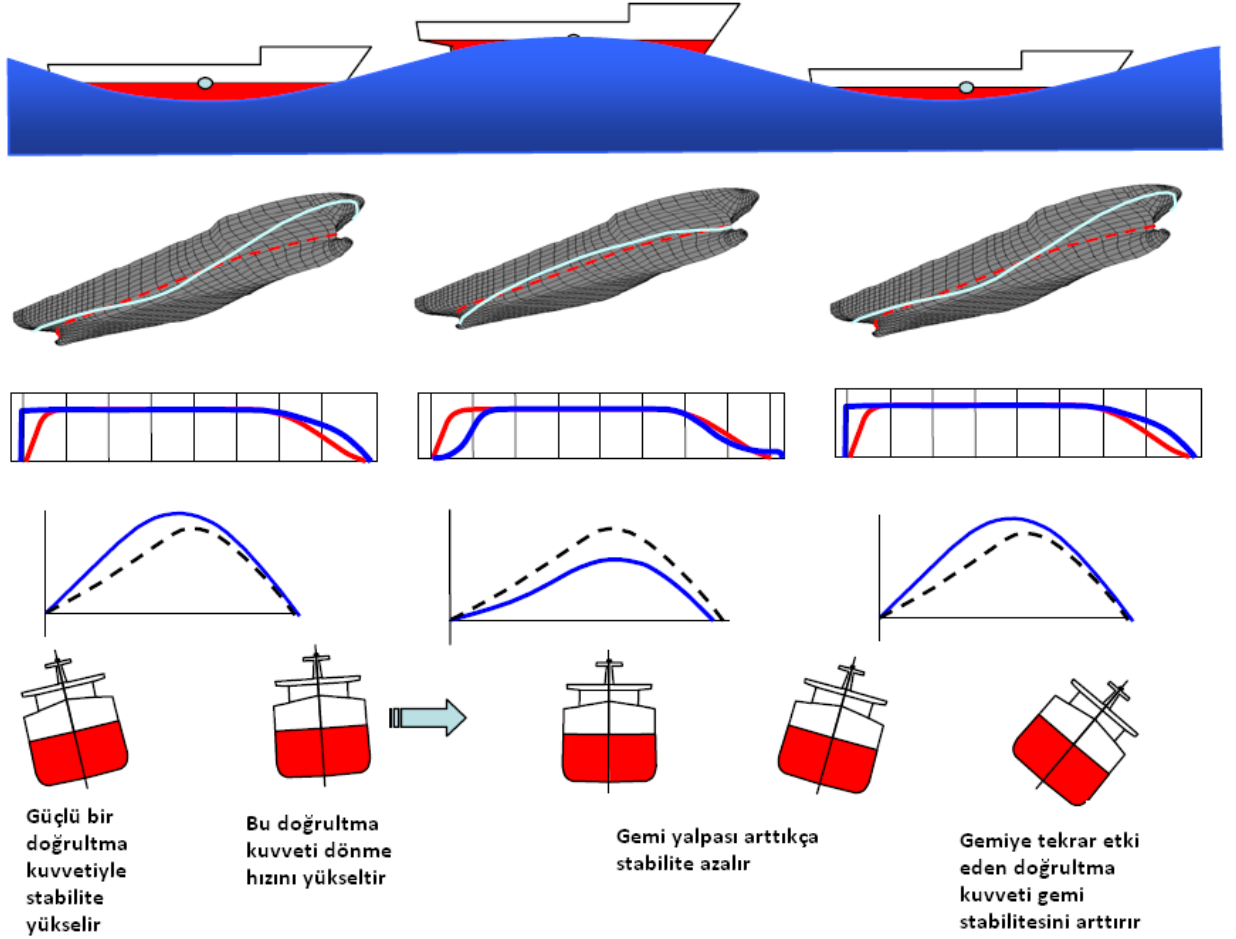
Su hattı alanı azalırsa GZ değeri de azalmaktadır. Şekil 3.3 su hattı alanındaki değişim ile GZ eğrisinde nasıl bir değişim meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3. 3 Dalga çukuru ve dalga tepesi durumunda su hattı değişimine bağlı olarak stabilite değişimi

3.1.2 Parametrik Yalpanın Gelişimi

Belirli bir frekansta oluşan periyodik stabilite değişiminin sebep olduğu parametrik yalpa gelişimi Şekil 3.4'te görülmektedir.

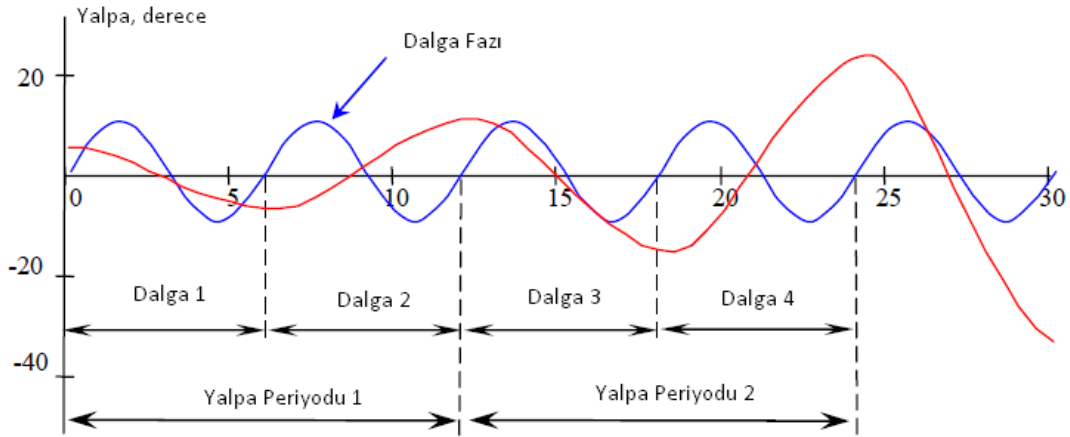


Şekil 3. 4 Parametrik yalpa gelişimi

Gemi dalga çukurunda iken yalpa yaptığında yüksek stabilite kuvvetli bir geri getirme veya doğrultucu moment oluşturmaktadır. Gemi dik konumuna geldiğinde yüksek stabiliteden kaynaklanan geri getirme kuvvetinden dolayı yalpa hızı artmaktadır. Tam bu noktada gemi dalga tepesine oturduğunda gemi stabilitesi azalmaktadır, yalpa hızının artması ve bayılmaya karşı direncin azalmasından dolayı gemi zıt tarafa doğru daha büyük bir hızla yalpa yapmaktadır. Gemi tekrar dalga çukuruna girdiğinde yalpa genliği maksimuma ulaşır, stabilite tekrar yükselir ve bu döngü tekrar başlar.

Karşılaşma frekansının doğal yalpa frekansına eşit olduğu veya iki katına eşit olduğu noktada parametrik yalpa olayı başlamaktadır.

Bir yalpa periyodunda iki dalga geçmektedir, bu durumda yalpa periyodu dalga periyodunun iki katıdır (Şekil 3.5).

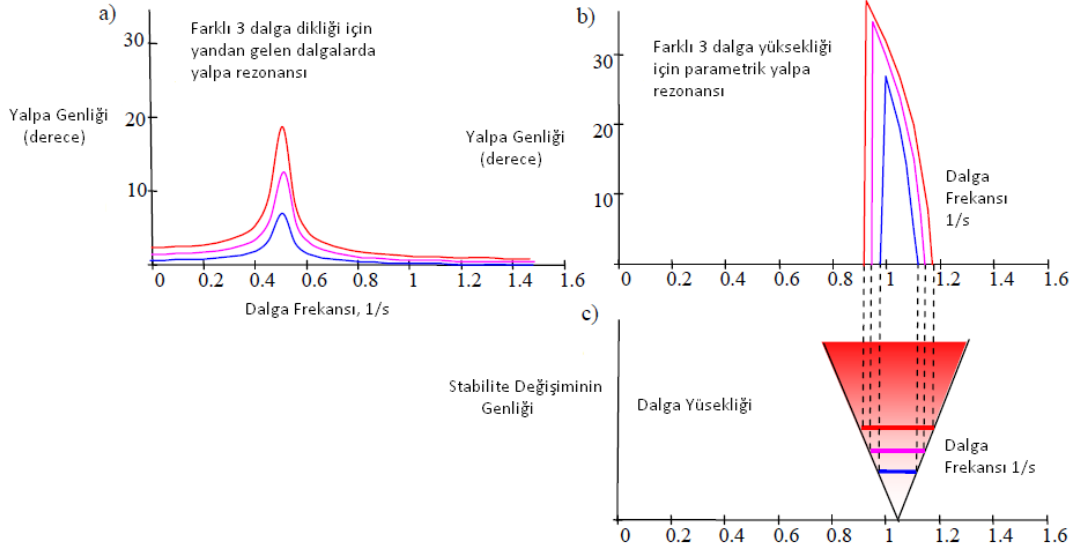


Şekil 3. 5 Parametrik yalpa gelişimi (Yalpa-Dalga ilişkisi)

3.1.3 Parametrik Yalpa ve Frekans Karakteristikleri

Parametrik yalpa bir rezonans problemidir ve yandan gelen dalgalarda yalpa rezonansına benzemektedir (Şekil 3.6a), ayrıca parametrik yalpa sınırlı bir frekans aralığına sahiptir (Şekil 3.6b).

İki problem arasındaki temel fark parametrik yalpada frekans aralığının uzunluğu stabilite değişiminin genliğine bağlı iken, yalpa rezonansında dalga yüksekliğine bağlıdır (Şekil 3.6c). Ayrıca yandan gelen dalgalar rezonans frekansından uzaktalar ise gemi sadece küçük genliklerle yalpa hareketi yapar. Genlik sıfıra eşit olduğunda parametrik yalpa frekans aralığının dışında oluşmaz (Belenky vd. [1]).

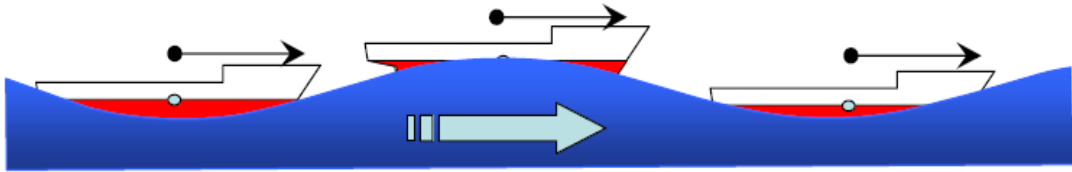


Şekil 3. 6 (a) Yandan gelen dalgalarda rezonans (b) Parametrik yalpa rezonansı (c) Parametrik yalpa rezonansı için frekans aralığı (Belenky vd. [1])

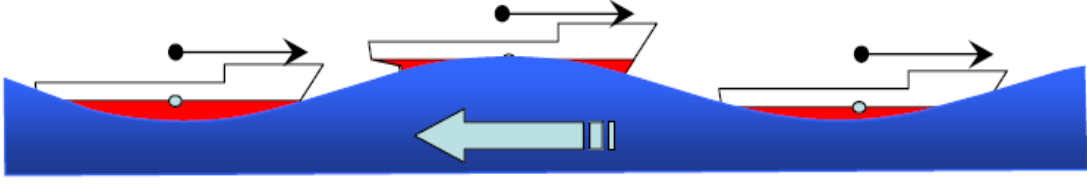
3.1.4 Dalga Yönü ve Hızın Etkisi

Bir gemi hareket halindeyken dalgalarla karşılaşma sıklığı değişir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi takip eden dalgalarda ve kıç omuzluktan gelen dalgalarda dalga yönü ve gemi yönü aynıdır. Bunun sonucunda bağıl hız düşer ve sıfır durumuyla karşılaştırıldığında aynı zaman periyodunda gemi daha az dalga ile karşılaşır. Sonuç olarak takip eden ve kıç omuzluktan gelen dalgalarda karşılaşma periyodu yükselir ve karşılaşma frekansı azalır.

Bir gemi baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda hareket ettiğinde gemi yönü ve dalga yönü farklıdır (Şekil 3.8). Bundan dolayı bağıl hız yükselir ve sıfır durumuyla karşılaştırıldığında aynı zaman periyodunda gemi daha çok dalga ile karşılaşır. Sonuç olarak baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda karşılaşma periyodu azalır yani karşılaşma frekansı artar.



Şekil 3. 7 Takip eden ve kıç omuzluktan gelen dalgalar



Şekil 3. 8 Baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalar

Parametrik yalpanın başlangıcı parametrik yalpanın mümkün olduğu frekans aralığındaki karşılaşma frekansına bağlıdır (Şekil 3.6c). Bundan dolayı parametrik yalpa hıza ve dalga yönüne bağlıdır.

3.2 Parametrik Yalpanın Matematiksel İfadesi

3.2.1 Mathieu Denklemleri

Mathieu denklemleri parametrik yalpayı ifade etmek ve bu problemi analiz etmek için kullanılan en basit matematiksel modeldir. Zafiyet kriterinin geliştirilmesinde de önemli bir yere sahip olduğu için bu denklemleri ve özelliklerini anlamak kriteri anlamak açısından çok önemlidir. Shin 2004 yılında yaptığı çalışmada bunu ifade etmiştir (Shin vd. [8]).

Baştan gelen veya kıçtan takip eden boyuna dalgalarda, dalga yatırıcı momenti olmadığında hareket denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I_x + A_{44} \ddot{\phi} + B_{44} \dot{\phi} + W * GM_t \phi = 0 \quad (3.1)$$

Bu denklemde B_{44} lineer sönüm katsayısı, W geminin ağırlığı, I_x kütle atalet momenti ve A_{44} ek su kütlesi atalet momentidir.

Zamana bağlı olarak GM değişimi parametrik yalpanın matematiksel modelindeki ana unsurdur. Bir dalga geçtiğinde GM 'de meydana gelen periyodik değişim zamana bağlı olarak sinüs veya kosinüs fonksiyonu ile simüle edilir:

$$GM_t = GM_m + GM_a \cos(\omega_e t) \quad (3.2)$$

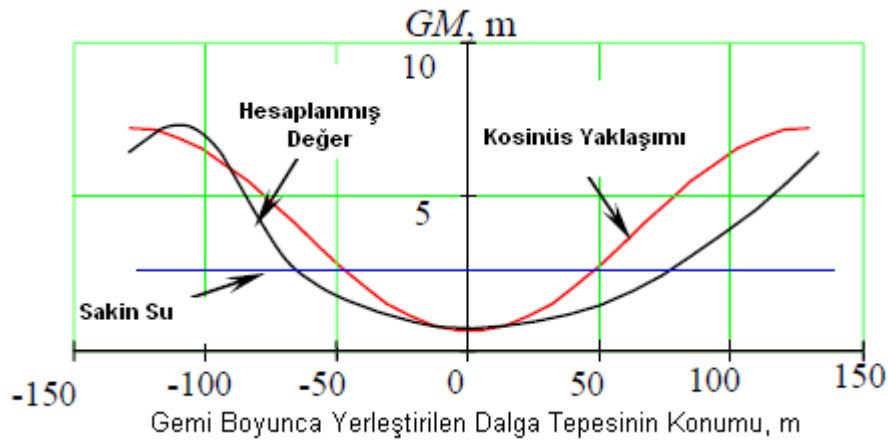
Burada, ω_e dalga karşılaşma frekansı, GM_m ortalama GM değeri, GM_a ise dalgalı durumdaki GM değişiminin genliğidir.

$$GM_a = 0.5 GM_{max} - GM_{min} \quad (3.3)$$

$$GM_m = 0.5 GM_{max} + GM_{min} \quad (3.4)$$

Burada GM_{max} ve GM_{min} gemi boyunca geçen birkaç dalga tepesi durumundaki anlık maksimum ve minimum GM değerleridir.

Zamana bağlı olarak GM 'de meydana gelen değişimi göstermek için kullanılan kosinüs fonksiyonu, dalga geçişi sırasındaki değişimin periyodik karakterini ifade etmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Şekil 3.9 tekne boyunca dalga tepesinin konumunun fonksiyonu olarak, dalgalı durumdaki hesaplanmış GM ile kosinüs yaklaşımının fonksiyonunun karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi kosinüs yaklaşımı ile karşılaştırıldığında hesaplanmış GM değerinin minimum değeri daha yüzeysel iken, maksimum değeri ise daha belirgindir.



Şekil 3. 9 Dalgalı durumda gemi boyunca metasantr değişimi

(3.2) eşitliğinin (3.1) yalpa denkleminde yerine konmasıyla ve bu eşitliğin atalet katsayısına bölünmesiyle yalpa hareketi için aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\ddot{\phi} + 2\delta\dot{\phi} + \omega_m^2 + \omega_a^2 \cos \omega_e t * \phi = 0 \quad (3.5)$$

Burada:

$$\omega_m = \frac{\overline{W*GM_m}}{I_x + A_{44}}; \quad \omega_a = \frac{\overline{W*GM_a}}{I_x + A_{44}}; \quad \delta = \frac{1}{2} \frac{B_{44}}{I_x + A_{44}} \quad (3.6)$$

(3.5) denklemini standart Mathieu denklemi ifadesine dönüştürmek için boyutsuz zaman ifadesi türetilir:

$$\tau = \omega_e t \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{\tau}{\omega_e} \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinin (3.5) yalpa denkleminde yerine konmasıyla aşağıdaki boyutsuz ifade elde edilir:

$$\frac{d^2 \phi}{d\tau^2} + 2\mu \frac{d\phi}{d\tau} + \omega_m^2 + \omega_a^2 \cos \tau * \phi = 0 \quad (3.8)$$

Burada (3.8) denkleminin katsayıları boyutsuz birimlerdir:

$$\mu = \frac{\delta}{\omega_e}; \quad \omega_m = \frac{\omega_m}{\omega_e}; \quad \omega_a = \frac{\omega_a}{\omega_e} \quad (3.9)$$

Bundan sonraki adım sönümlemeyi çıkarmaktır:

$$\phi(\tau) = x(\tau) * \exp -\mu\tau \quad (3.10)$$

Buradan da sonuç olarak Mathieu eşitliği formunda yalpa ifadesi ortaya çıkar:

$$\frac{d^2 x}{d\tau^2} + p + q \cos \tau * x = 0 \quad (3.11)$$

Burada:

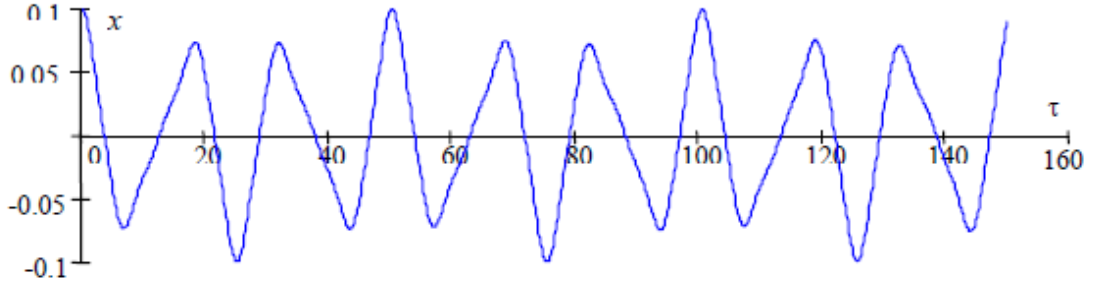
$$p = \omega_m^2 - \mu^2; \quad q = \omega_a^2 \quad (3.12)$$

3.2.2 Mathieu Denkleminin Çözümü ve Özellikleri

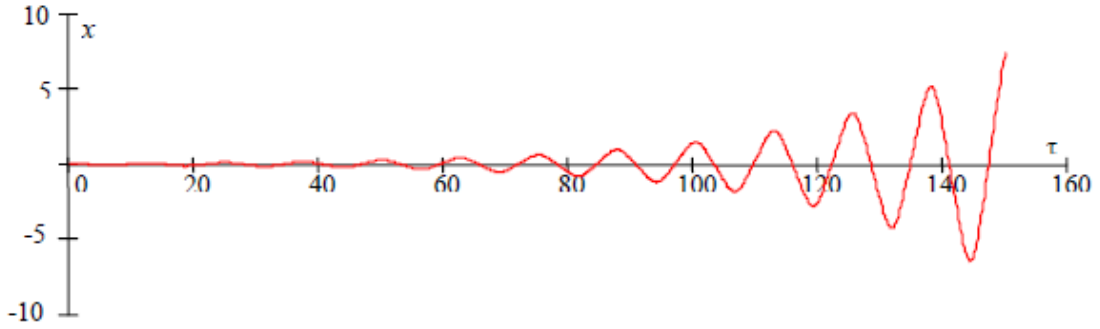
Mathieu denklemi değişken katsayılarla sahip bir tür lineer diferansiyel denklemdir. Bu denklemin çözümü temel fonksiyonlarla ifade edilmez. Bundan dolayı matematik, fizik, mühendislik gibi alanlarla sık sık kullanılan Mathieu denkleminin çözümü özel bir fonksiyondur ve Mathieu fonksiyonu olarak bilinir. Bu fonksiyon tablo halinde gelişmiş matematiksel yazılım paketlerinde yer almaktadır.

Bilindiği gibi Mathieu denklemi (3.11) iki çeşit çözüme sahiptir ve bunlar Mathieu fonksiyonları olarak adlandırılır. Bunlardan birincisi sınırlı veya stabil olarak adlandırılır (Şekil 3.10), bir diğeri de sınırsız veya stabil olmayan olarak adlandırılır (Şekil 3.11).

Çözümün sınırlı ya da sonsuz olup olmaması p ve q katsayılarının kombinasyonuna bağlıdır. p ve q değerlerine karşılık gelen sınırlı veya sonsuz çözümler Ince-Strutt diyagramı denilen bir grafikte gösterilebilir (Şekil 3.12). Renksiz alanlar sınırlı çözüme karşılık gelirken, renkli alanlar sonsuz çözüme karşılık gelirler.



Şekil 3. 10 Mathieu denkleminin sınırlı çözümü (Shin vd. [8])

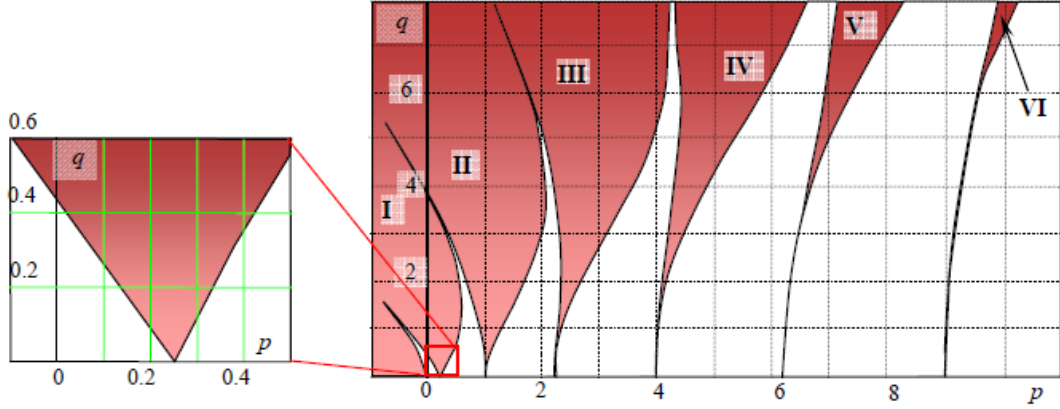


Şekil 3. 11 Mathieu denkleminin sınırsız çözümü (Shin vd. [8])

Şekil 3.12’de roma rakamları ile gösterilen renkli alanlar sonsuz çözüme karşılık gelmektedir ve kavisli üçgen şeklindedirler. Her üçgen p eksenine dokunur ve q değeri büyüdükçe üçgen alanı da genişler.

Eşitlik (3.12)’de ki p parametresi doğal frekansın karesi ile uyarma frekansının oranlarının karesi ile ve sönümlleme ile uyarma fonksiyonunun oranının karesinin farkına eşittir.

Denklem (3.12)’de ki q parametresi dalgalardaki GM değişimini gösterir ve frekans oranının karesi ile ifade edilir. Bundan dolayı q parametresi parametrik yalpanın genliği olarak önemli bir rol oynar. Sonuç olarak tüm Ince-Strutt diyagramı parametrik uyarımın genliği ya da boyutsuz frekansın karesi olarak ifade edilebilir.



Şekil 3. 12 Ince-Strutt Diyagramı (Shin vd. [8])

İlk kararsız bölge eksenin $p = 0.25$ ile kesiştiği yani frekans oranının 2'ye karşılık geldiği bölgede oluşmaktadır. Yani karşılaşma frekansının doğal yalpa frekansının 2 katına eşit olduğu bölgedir. Bu bölgeye ait sonsuz hareket yaygın olarak temel parametrik rezonans olarak adlandırılır. Bu bölgenin görüntüsü Şekil 3.12'de detaylı olarak gösterilmiştir.

İkinci kararsız bölge eksenin $p = 1.0$ ile kesiştiği noktada yani karşılaşma frekansının doğal frekansa eşit olduğu noktada meydana gelmektedir. Bu bölgeye ait sonsuz hareket yaygın olarak önemli parametrik rezonans olarak adlandırılır.

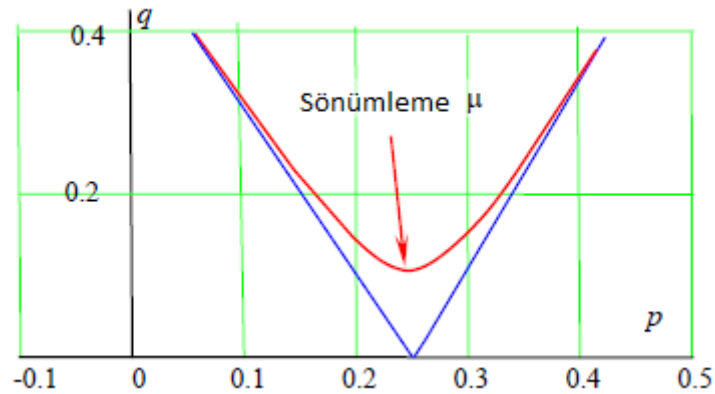
3.2.3 Sönümleme ve Nonlineerlik Etkisi

Sönümlmeyi ortadan kaldırmakla (3.10) Mathieu denkleminin (3.11) periyodik sınırlı bir çözüme sahip olmuştur.

Şekil 3.10'da gösterildiği gibi Mathieu denkleminin sonsuz çözümü demek yalpanın da sonsuz olacağı anlamına gelmez çünkü eksponansiyel ifade yani $\exp -\mu\tau$ sonsuzluğun etkisini çözümü azalan bir forma sönümleyerek geri alabilir.

Ayrıca her p ve q Mathieu parametresi için yalpa sönümleme sınır değeri mevcuttur. Yalpa sönümlemesi sınır değerden küçük ise yalpa Mathieu denkleminin çözümü olarak sonsuz olacaktır. Eğer yalpa sönümlemesi sınır değerden daha büyük ise Mathieu denkleminin sonsuz olsa bile yalpa hala sınırlıdır. Mathieu çözümündeki artış yalpa sönümlemesindeki azalmanın üstesinden gelmek için yeterli değildir. Ayrıca lineer sönümleme ile birlikte kararsız bölgeler daha dardır ve GM değişimlerinde sonlu

değerlere ihtiyaç duyarlar, $p = 0.25$ noktasında bile eksene dokunmamaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Sönümlenmenin parametrik yalpaya etkisi

Bununla birlikte Mathieu denklemin parametrik yalpanın başlayıp başlamamasında sadece modele duyarlıdır. Bir kere başladıktan sonra genlik eksponansiyel olarak büyür ve çözüm sonsuza doğru gider. Modeli belli bir genlikte stabil duruma getirmek için GZ eğrisi tanımlanmalıdır. En basit metot kübik paraboldür.

$$GZ \ \phi = GM * \phi (1 - \phi^2) \quad (3.13)$$

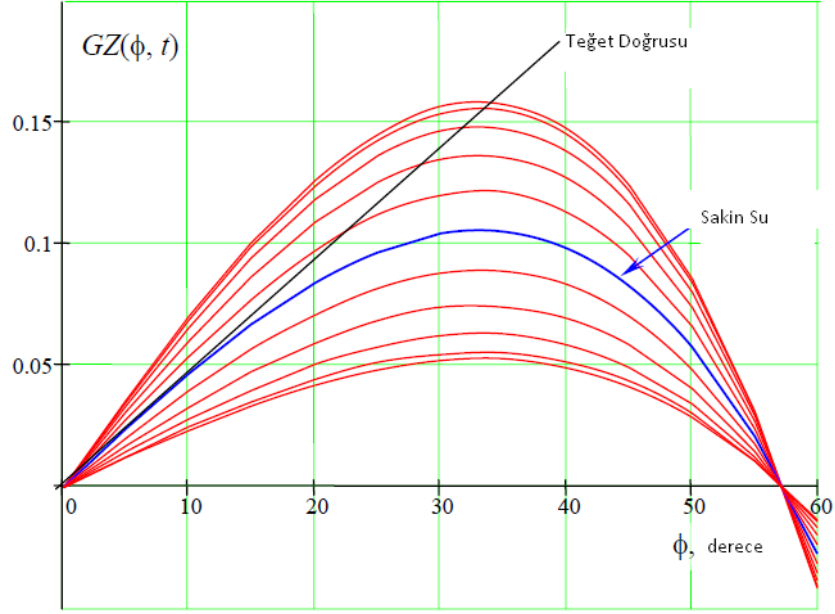
Böyle bir kübik modelin GZ eğrisinde devrilme açısı $1rad \approx 57.3^\circ$, maksimum açı değeri $3^{-0.5}rad \approx 33^\circ$ ve GZ eğrisinin maksimumu $0.385 GM'$ 'dir. Bu model gerçek GZ eğrisinin düzenlenmiş tüm özelliklerini simüle etmez. Buna rağmen osilatör gibi bir geminin parametrik yalpa davranışını incelemek için ilk adım olarak kullanılabilir.

Dalgalarındaki GZ değişim eğrisinin basit modeli (3.6) tanımlamalarını kullanarak (3.2) ve (3.13) eşitliklerinin birleşimiyle ifade edilebilir:

$$GZ \ \phi, t = GM_m * \phi * (1 - \phi^2) * (\omega_m^2 + \omega_a^2 \cos \omega_e t) \quad (3.14)$$

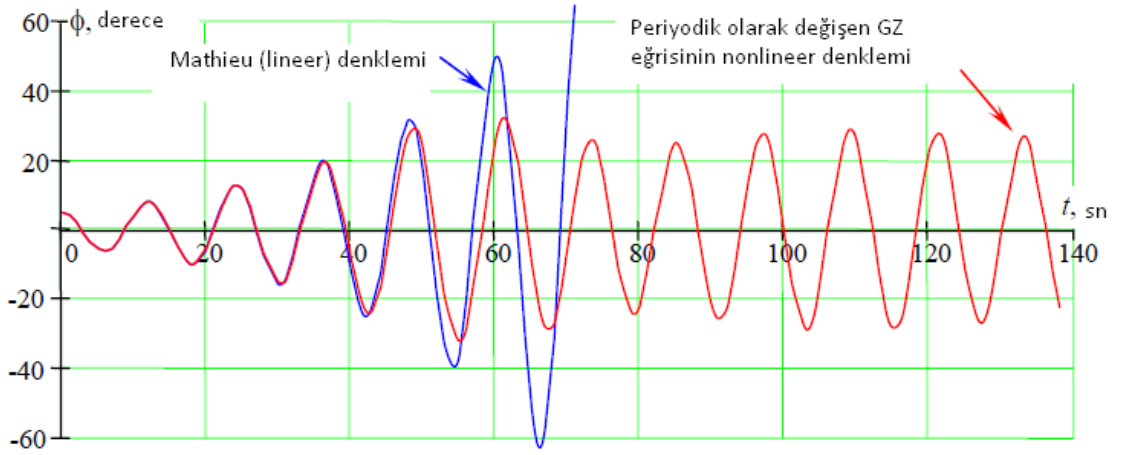
Şekil 3.14 bir dalganın geçtiği durumdaki modellenmiş GZ eğrisini göstermektedir. (3.14) GZ eğrisi modelini (3.5) lineer eşitliğine yerleştirmek modeli nonlineer yapar ve parametrik yalpa durumunda stabil hale getirir.

$$\phi + 2\delta\phi + (\omega_m^2 + \omega_a^2 \cos \omega_e t) * \phi * (1 - \phi^2) = 0 \quad (3.15)$$



Şekil 3. 14 Periyodik olarak değişen kübik GZ eğrisi

Şekil 3.15 yalpa genliğinin 30° altındaki kararlıdaki nonlinear yalpa tepkisi ve sonsuz büyüyen genlikteki lineer yalpa tepkisi ((3.5) denkleminin çözümü) arasındaki farkı göstermektedir.



Şekil 3. 15 Parametrik yalpanın Mathieu denklemi ve nonlinear denklem ile modellenmesi

Şekil 3.15'ten görüldüğü üzere başlangıçta lineer ve nonlinear yalpa tepkileri aynıdır, bu benzerlik küçük açılardaki GM formülünden kaynaklanır. Fakat genlik 10-15 dereceyi aştığı zaman lineer ve nonlinear yalpa tepkisi arasındaki fark ortaya çıkar. Ayrıca Şekil 3.14'de 10-15 dereceden sonraki GZ eğrisi ve teğet çizgisi arasındaki farktan da bu açıkça görülmektedir.

GZ eğrisi ile teğet doğrusu arasındaki fark parametrik yalpanın stabilizasyonunu açıklamada temel bir unsurdur. Parametrik uyarma ile enerji sağlanırken yalpa genliği yükselir. Parametrelerin periyodik değişimi bir parametrik uyarıdır. Frekans koşulları ile uyuşması halinde parametrik rezonansa neden olabilir. Osilatör lineer ise doğal frekans değişmez ve enerji dahil olmaya devam eder. Bir gemi için düşünülürse anlık GM yalpa açısıyla birlikte değişir, bundan dolayı anlık doğal frekans da değişir. Bu demek oluyor ki bir süre sonra er ya da geç parametrik yalpanın frekans şartları tatmin olmayacak ve parametrik yalpadan kaynaklanan enerji duracak. Parametrik uyarımadan kaynaklanan enerji miktarı sınırlandırıldığında osilatör belli bir dengeye ulaşır ve parametrik yalpa belli bir yalpa genliğinde stabil hale gelir.

3.3 Seviye 1 Zafiyet Kriteri

Parametrik yalpaya neden olmak için parametrik uyarmanın (dalgalarda stabilite değişimi) iki şartı sağlaması gerekmektedir. Birincisi karşılaşma frekansı aralık içinde olmalıdır, ikincisi de genlik sınırdan yukarıda olmalıdır. Mathieu denklemi ve Ince-Strutt diyagramı bu şartların kontrolünü yapmak için kullanılabilecek olan en basit matematiksel modellerdir. ABS duyarlılık kriteri de bu yaklaşıma dayanmaktadır.

K. Spyrou 2005 yılında yaptığı çalışmada Mathieu denkleminde dayanarak daha gelişmiş ve daha pratik bir kriter geliştirmiştir. Bu kriter daha sonralarda Seviye 1 Zafiyet Kriterinin ortaya çıkmasında kullanılmıştır [5].

3.3.1 Frekans Durumu

Ince-Strutt diyagramında birinci kararsız bölgenin sınırları bilinen bir yaklaşımdır:

$$p_{B1,B2} = \frac{1}{4} \pm \frac{q}{2} \quad (3.16)$$

Burada p ve q Mathieu denkleminin (3.11) parametreleridir ve formülleri (3.12) gösterilmiştir.

Karşılaşma frekansı hıza ve gemi gidiş yönüne bağlıdır:

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2}{g} V \cos \beta \quad (3.17)$$

Burada V gemi hızı (m/s), β geminin dalgalarla karşılaşma açısı (0 takip eden dalgalardır), g yerçekimi ivmesi ve ω dalganın gerçek frekansdır.

$q = 1$ varsayalım (konteynır gemilerinde bu genelde $q = 0.25 \sim 0.4$ olarak belirlenir). Buna bağılı olarak yapılan çalışmada Spyrou hız aralıklarını belirlemiştir.

$$V_{S1} = \frac{\overline{gL}}{0.5144} \frac{1}{2\pi} - \frac{\overline{2L}}{T_\phi g} ; V_{S2} = \frac{\overline{gL}}{0.5144} \frac{1}{2\pi} - \frac{\overline{6L}}{T_\phi g} \quad (3.18)$$

Burada L gemi boyu, T_ϕ doğal yalpa periyodudur.

Bu kriter SLF'nin 53. Toplantısında sunulan kriterde ön şart olarak kullanılmıştır. Eğer geminin servis hızı (3.18) denklemlerinde tanımlanan hız aralıklarında değil ise, bu gemi parametrik yalpaya yatkın (duyarlı) değildir ve ileri bir zafiyet kontrolü yapılması gereksizdir. Bu ön şart uygulaması, kriteri daha kolay bir hale dönüştürmüştür çünkü gemi servis hızı belirlenen aralık dışında olduğunda dalgalı durumdaki stabilite değişimini hesaplama gereksinimine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak servis hızı belirlenen aralık içinde ise stabilite değişimi hesaplanmalıdır.

3.3.2 Stabilite Değişiminin Genliği

İkinci şart dalgalarda stabilitenin hesaplanmasını gerektirir ve bu da parametrik uyarmanın genliğine dayanır. Buradaki önemli nokta birkaç tehlikeli dalga ile karşılaştıktan sonra yalpa hareketinin ne kadar büyüyeceğini görmektir [6].

Yalpa hareketinin ifadesi (3.5) tekrar düzenlenerek yazılırsa:

$$\ddot{\phi} + 2\delta\dot{\phi} + \omega_m^2 \phi + h \cos \omega_e t * \phi = 0 \quad (3.19)$$

Burada h parametrik uyarmanın boyutsuz genliğinin başka bir formudur:

$$h = \frac{\omega_a^2}{\omega_m^2} \quad (3.20)$$

Daha öncede belirtildiği gibi böyle bir fonksiyonun çözümü temel fonksiyonlarla ifade edilmez. Spyrou bu denklemin çözümünü Hayashi'nin kullandığı yaklaşığa göre yapmıştır:

$$\phi(t) = e^{-\delta t} [C_1 e^{i\omega_m t} \sin \omega_m t - \varepsilon + C_2 e^{i\omega_m t} \sin \omega_m t + \varepsilon] \quad (3.21)$$

Burada C_1 ve C_2 başlangıç şartlarından hesaplanmış keyfi sabitlerdir, κ ise salınımdaki artışı veya azalmayı kontrol eden bir parametredir ve ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\kappa = \frac{1}{4} \sqrt{a^2 h^2 - 4(a-1)^2} \quad (3.22)$$

Burada a frekans oranını gösteren diğer bir değişkendir:

$$a = 4 \frac{\omega_m^2}{\omega_e^2} \quad (3.23)$$

$\omega_e = 2\omega_m$ olduğu durumda $a = 1$ olur ve bu nokta Ince-Strutt diyagramında birinci kararsız bölgenin tam orta noktasına denk gelir (temel parametrik rezonansın oluşumu).

ε fazının hesabı aşağıda ifade edilmiştir:

$$\cos 2\varepsilon = \frac{2(a-1)}{a^2 h^2}; \quad -\frac{\pi}{2} \leq \varepsilon \leq 0 \quad (3.24)$$

Klasik olmasına rağmen tehlikeli dalganın karşılaşma frekansı temel parametrik rezonansa karşılık gelen olarak düşünülmüştür.

$$a = 1; \quad \kappa = -\frac{h}{4}; \quad \varepsilon = -\frac{\pi}{4} \quad (3.25)$$

Başlangıç yalpa oranını ve parametrik uyarma için kosinüs fonksiyonunu sıfır varsayarsak, keyfi sabitlerin değeri aşağıdaki gibi bulunur:

$$C_1 = C_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \phi_0; \quad \phi_0 = 0 \quad (3.26)$$

(3.25) ve (3.26) eşitliklerinin (3.21) denkleminde yerine konmasıyla elde edilen denklem:

$$\phi(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} \phi_0 e^{-\delta t} \left[e^{-\frac{h}{4}\omega_m t} \sin \left(\omega_m t + \frac{\pi}{4} \right) - e^{\frac{h}{4}\omega_m t} \sin \left(\omega_m t - \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (3.27)$$

Bu formül n salınım sonraki yükseltme faktörünün, f , hesabının yapılmasını sağlar. Düşünülen durumda tepkinin frekansı ω_m ve tehlikeli dalga sayısı $2n'$ dir.

$$f = \frac{1}{\phi_0} \phi \frac{2\pi n}{\omega_m} \quad (3.28)$$

Bir veya iki salınım çevriminden sonra (3.27) eşitliğindeki negatif eksponansiyel terimi küçülecektir ve bu yüzden ihmal edilebilir. Bundan sonra (3.27) denklemi (3.28) denkleminde yerine konur ve aşağıdaki ifade elde edilir:

$$f = -\frac{\bar{z}}{2} \exp \frac{\pi n h}{2} - \frac{2\delta \pi n}{\omega_m} \sin 2\pi n - \frac{\pi}{4} \quad (3.29)$$

(3.29) eşitliğinden h eşitliğini çıkarırsak, ortaya çıkan ifade:

$$h = 2 \frac{\ln f + \ln 2}{\pi n} + \frac{4\delta}{\omega_m} \quad (3.30)$$

Bir yükseltme faktörü ve birkaç salınım göz önüne alındığında, aşağıdaki gibi bir kriter çıkartılır:

$$h \geq 2 \frac{\ln f + \ln 2}{\pi n} + \frac{4\delta}{\omega_m} \quad (3.31)$$

Sabitlerin yerleştirilmesiyle ve sönüm ifadesini eşitsizliğin sol tarafına çekersek kriterin son hali ortaya çıkmış olur:

$$h - \frac{4\delta}{\omega_m} \geq \frac{0.693 + \ln f}{1.571n} \quad (3.32)$$

(3.6) formülünü dalgalardaki GM değişimi ifadesiyle (3.31) denkleminde yerine koyarak kriteri tekrardan yazarsak:

$$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 2 \frac{\ln f + \ln 2}{\pi n} + \frac{4\delta}{\omega_m} \quad (3.33)$$

Dalgalardaki stabilite değişimini simetrik varsayarsak, sakin sudaki GM ve yalpa frekansı değerleri dalgalı durumdaki ortalama değerler yerine kullanılabilir:

$$\frac{GM_a}{GM_0} \geq 2 \frac{\ln f + \ln 2}{\pi n} + \frac{4\delta}{\omega_0} \quad (3.34)$$

Bu kriteri tamamlamak için (3.34) denklemindeki parametrelerin seçilmesi gereklidir. Eğer elimizde bir veri yoksa bu değerlerin yerine ABS'in 2004 yılında yaptığı çalışmalar sonucu ortaya çıkardığı tahmini değerler kullanılabilir:

$$\frac{\delta}{\omega_0} = 0.03 \quad (3.35)$$

Çevrim sayısı ve yükseltme faktörü değerlerinin belirlenmesi durumlara bağlıdır. Bu parametreler kriter açısından çok önemlidir ve kriterin geliştirilmesi açısından ileriki

aşamalarda bu değerler belirlenmelidir. Şimdilik bu değerler tahmini olarak $f = 5$, $n = 4$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak değer aşağıdaki gibi bulunur:

$$\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49 \quad (3.36)$$

Sonuç olarak seçilen geminin değeri bu sınır değerden büyükse bu gemi için teorik olarak parametrik yalpaya duyarlıdır denilmektedir. Eğer sınır değerden küçükse parametrik yalpaya duyarlı değildir.

Bu sonuç değeri Japonların SLF 53 Annex 2’de sunduğu benzer genel formdaki kriterin 0.51 değerine çok yakındır.

BÖLÜM 4

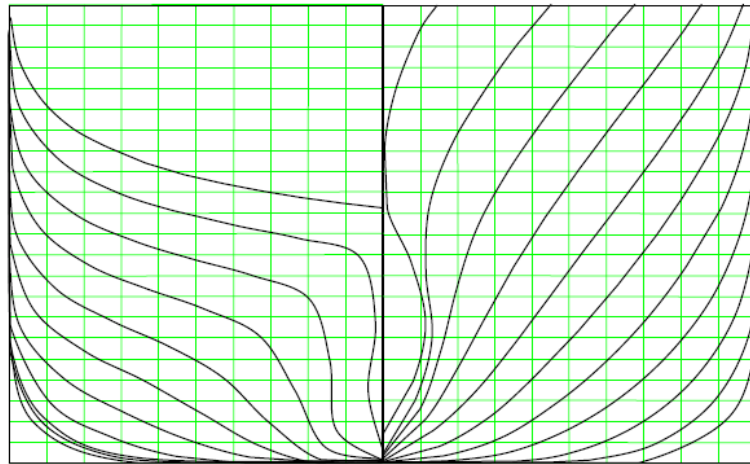
UYGULAMA

Parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriterinin uygulaması beş farklı gemi için yapılmıştır. Bunlardan dördü mevcut gemilerdir ve değerleri IMO-SLF çalışma grubunun raporlarından alınmıştır. Diğer gemi ise bilgisayar programı yardımıyla kendimizin oluşturduğu bir gemidir.

4.1 Uygulama 1 (Konteynır 1 Gemisi)

IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilité Kriterleri kapsamında ortaya çıkarılan Seviye 1 Zafiyet Kriterinin değerlendirilmesi için mevcut gemilere bu kural uygulanmıştır. Seçilen gemilerden konteynır gemisine ait özellikler ve hesaplanan değerler ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Gemiye ait en kesit resmi Şekil 4.1'de ve gemi ana değerleri Çizelge 4. 1'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Konteynır 1 gemisine ait en kesit resmi [3]

Çizelge 4. 1 Konteynır 1 gemisine ait ana değerler

Dikmeler Arası Boy, L_{BP} , m	260
Genişlik, B, m	40
Derinlik, D, m	25.4
Dizayn Draftı, T, m	12.36
Ağırlık Merkezinin Kaide Hattından Yüksekliği, KG, m	17.30
Gemi Ağırlığı, W , ton	90000

Hesaplamaları yapmak için ortam şartlarını yani dalga parametrelerini de belirlemek gerekmektedir. Dalga boyu gemi boyuna eşit olarak alınmıştır. Dalga yüksekliği ise ABS'in yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı dalga boyuna bağlı olarak dalga yüksekliğini veren Çizelge 4. 2'den hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak hesaplanan dalga parametreleri de Çizelge 4. 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Dalga boyuna bağlı dalga yüksekliği [3]

Dalga Boyu, λ , m	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Dalga Yük., h_w , m	5.9	11.6	14.2	15.1	15.2	14.6	13.6	12.0	9.9

Çizelge 4. 3 Dalga Parametreleri (Konteynır 1 Gemisi)

Dalga Boyu, λ , m (Gemi Boyuna Eşit Olarak Alınmıştır)	260
Dalga Yük., h_w , m (Çizelge 4.2'den interpolasyon yardımıyla bulunmuştur)	15.08
Dalga Periyodu, T_w , sn	12.90
Dairesel Dalga Frekansı, ω_w , rad/sn	0.487

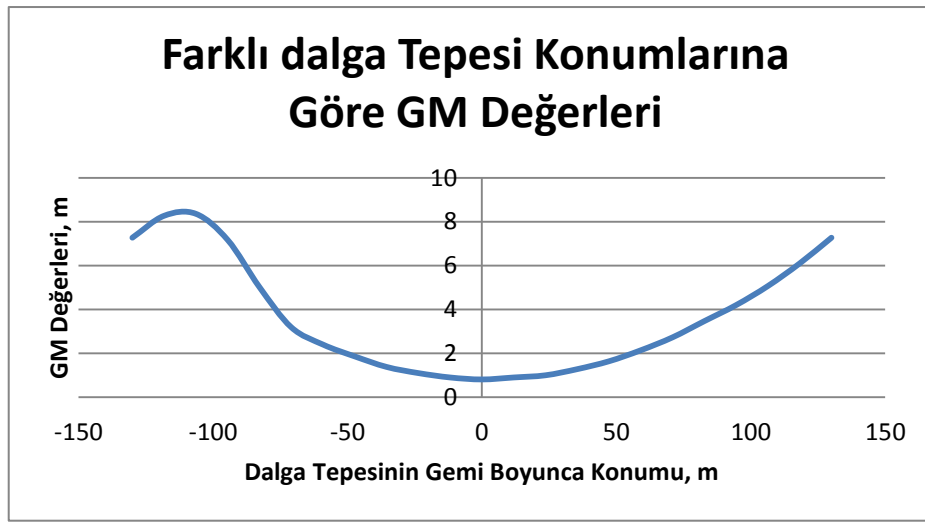
Bu değerlere bağlı olarak ABS Duyarlılık Kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle gemi boyuna eşit dalga boyu dalga tepesi durumunda gemi boyunca farklı konumlara yerleştirilmiştir ve bu noktalardaki *GM* değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler izelge 4. 4’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4 Dalga tepesi konumuna göre V, BM, KB, GM değerleri

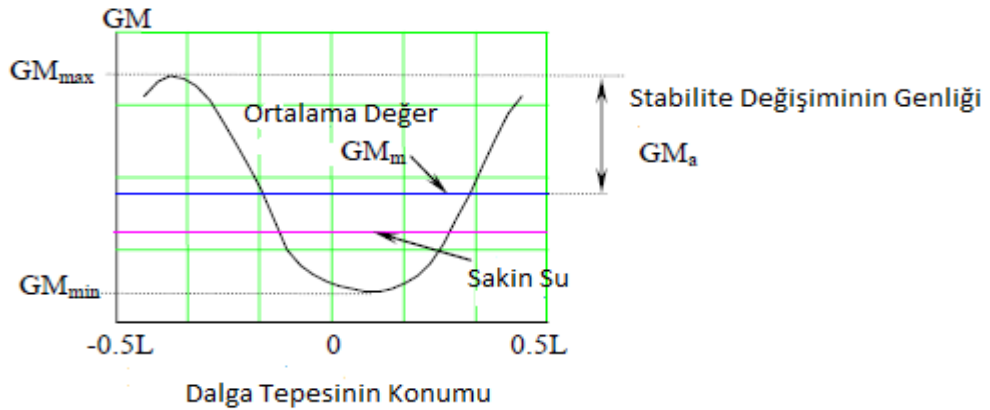
Dalga Tepesinin Konumu, m	Deplasman Hacmi, m³	BM m	KB m	GM M
-130.00	61124	16.23	8.34	7.27
-118.20	59808	17.37	8.20	8.27
-106.38	59567	17.49	8.17	8.36
-94.56	60488	16.19	8.28	7.17
-82.74	62738	13.84	8.48	5.02
-70.92	66589	11.77	8.72	3.19
-59.10	71562	10.78	8.92	2.40
-47.28	76306	10.12	9.04	1.86
-35.46	80429	9.57	9.11	1.38
-23.64	83731	9.25	9.15	1.10
-11.82	86107	9.03	9.17	0.90
0.00	87515	8.93	9.18	0.81
11.82	87947	9.00	9.20	0.90
23.64	87399	9.09	9.21	1.00
35.46	86023	9.36	9.22	1.28
47.28	83828	9.71	9.23	1.64
59.10	81085	10.22	9.22	2.14
70.92	77718	10.84	9.19	2.73
82.74	74034	11.66	9.11	3.47

94.56	70212	12.52	8.98	4.20
106.38	66550	13.58	8.79	5.070
118.20	63423	14.85	8.55	6.10
130.00	61124	16.23	8.34	7.27

Çizelge 4.4’de ki değerler göz önüne alınarak farklı dalga tepesi konumlarına göre GM değerlerinin çizim Şekil 4.2’de ve Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4. 2 Konteynır 1 gemisi için farklı dalga tepesi konumlarına göre GM değerleri



Şekil 4. 3 Ortalama GM ve GM değişiminin genliği

Bu parametreler belirlendikten sonra duyarlılık kriteri için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Duyarlılık kriteri için değerler Çizelge 4.5’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Konteynır 1 gemisi için duyarlılık kriteri değerleri

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Minimum GM değeri, m	GM_{min}	Çizelge 4.4	0.81
Maximum GM değeri, m	GM_{max}	Çizelge 4.4	8.36
GM değişiminin genliği, m	GM_a	$GM_a = 0.5 \ GM_{max} - GM_{min}$	3.78
Ortalama GM değeri, m	GM_m	$GM_m = 0.5 \ GM_{max} + GM_{min}$	4.59
GM değişim genliğinin frekansı, rad/sn	ω_a	$\omega_a = 7.854 \ \overline{GM_a} / B$	0.382
Ortalama GM değerinin frekansı, rad/sn	ω_m	$\omega_m = 7.854 \ \overline{GM_m} / B$	0.421
Parametrik yalpa için en olası hız, kn	V_{pr}	$V_{pr} = \frac{19.06 \ 2\omega_m - \omega_w}{\omega_w^2}$	28.53
Karşılaşma frekansı, sn	ω_e	$\omega_e = \omega_w + 0.0524 * V_S * \omega_w^2$	0.842
Sakin sudaki GM değeri, m	GM_0		2.45
Sakin sudaki doğal yalpa frekansı, rad/sn	ω_0	$\omega_0 = 7.854 \ \overline{GM_0} / B$	0.307
Yalpa sönüm katsayısı	μ		0.1
Duyarlılık kriteri parametresi	p	$p = \omega_m^2 - \mu * \omega_0^2 / \omega_e^2$	0.249
Duyarlılık kriteri parametresi	q	$q = \omega_a^2 / \omega_e^2$	0.206

ABS duyarlılık kriterinde bulunması gereken parametreler hesaplanmıştır ve daha sonra eşitsizlik (4.1) ve (4.2)’de bu parametreleri yerine koyduktan sonra geminin parametrik yalpaya duyarlı olup olmadığı hakkında yorum yapılmıştır. Bu değerler ve sonuçlar Çizelge 4. 6’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

$$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3 \leq p \leq 0.25 + 0.5q \quad (4.1)$$

Bulunan p değeri eşitsizliği sağlamıyor ise gemi parametrik yalpaya yatkın değildir. Sağlıyor ise eşitsizlik 4.2 kontrol edilmelidir.

$$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e} < qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2} \quad (4.2)$$

k_1, k_2, k_3 katsayılarının hesabı Çizelge 4. 6'da gösterilmiştir.

Eğer $k_3 > 1$ ise kriteri uygulamak uygun değildir.

Eğer $k_3 < 1$ ise ancak eşitsizlik 4.2 sağlanmıyorsa geminin parametrik yalpa olasılığı yoktur.

Eğer eşitsizlik (4.1) ve (4.2) sağlanıyorsa gemi parametrik yalpaya uygun olarak kabul edilir.

Çizelge 4. 6 Konteynır 1 gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Eşitsizlik 4.1'in sol tarafı		$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3$	0.142
Eşitsizlik 4.1'in sağ tarafı		$0.25 + 0.5q$	0.353
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	
k_1 katsayısı		$k_1 = 1 - 0.1875q^2$	0.992
k_2 katsayısı		$k_2 = 1.002p + 0.16q + 0.759$	1.042
k_3 katsayısı		$k_3 = \frac{q^2 - 16 + \sqrt{q^4 + 352q^2 + 1024p}}{16q}$	0.143
Eşitsizlik 4.2'nin sağ tarafı		$qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2}$	0.211
Eşitsizlik 4.2'nin sol tarafı		$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e}$	0.037
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	

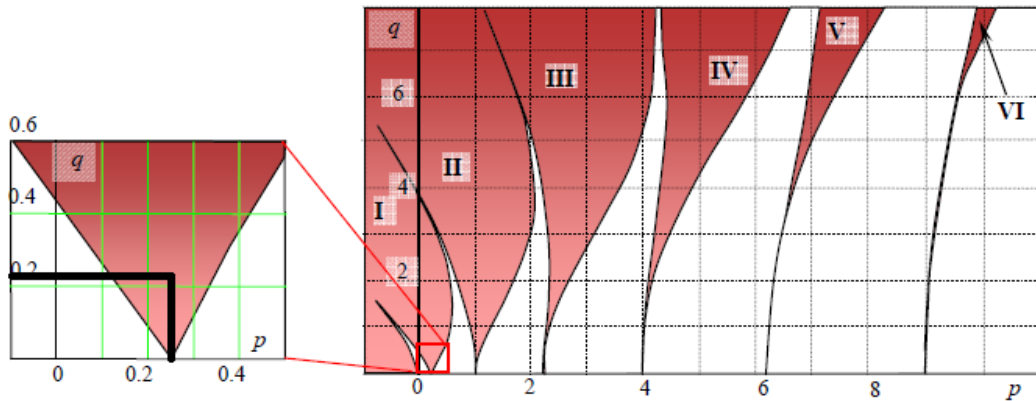
Duyarlılık kriteri kontrolü yapıldıktan sonra sonucun pozitif olduğu görülmüştür. Sonuç olarak örnek gemi parametrik yalpa yapmaya yatkındır. Bu kontrol pozitif çıktığı için

daha ileri bir kriter olan zafiyet kriteri uygulanmalıdır. Öncelikle Spyrou'nun yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı (3.18) hız aralığını gösteren denklemler Çizelge 4.7'de uygulanmıştır.

Çizelge 4. 7 Konteynır 1 gemisi için hız aralığı değeriendirilmesi

Değer	Denklem	Sonuç
Servis hızı 1, kn	$V_{S1} = \frac{\overline{gL}}{0.5144} - \frac{1}{2\pi} - \frac{\overline{2L}}{T_{\phi} \overline{g}}$	4.241
Servis hızı 2, kn	$V_{S2} = \frac{\overline{gL}}{0.5144} - \frac{1}{2\pi} - \frac{\overline{6L}}{T_{\phi} \overline{g}}$	-21.33
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Pozitif	

Belirlenen servis hızı Spyrou'nun çalışmaları sonucu ortaya çıkardığı hız aralığında olmadığı için parametrik yalpa duyarlılığı pozitifdir ve bundan dolayı Seviye 1 Zafiyet Kriteri uygulanmalıdır. Bu hesaplara geçmeden önce hesaplanan p ve q değerlerine karşılık Ince-Strutt diyagramında bu bölgenin stabil veya stabil olmayan bölgeye düştüğünün kontrolü yapılmıştır.



Şekil 4. 4 Konteynır 1 gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değeriendirilmesi

Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi p ve q değerlerine karşılık gelen bölge stabil olmayan bölgeye düşmektedir yani buradan da geminin parametrik yalpaya yatkın olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu kontrolü de yaptıktan sonra, Seviye 1 Zafiyet Kriteri uygulanmasına geçilmiştir ve sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8 Konteynır 1 gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi

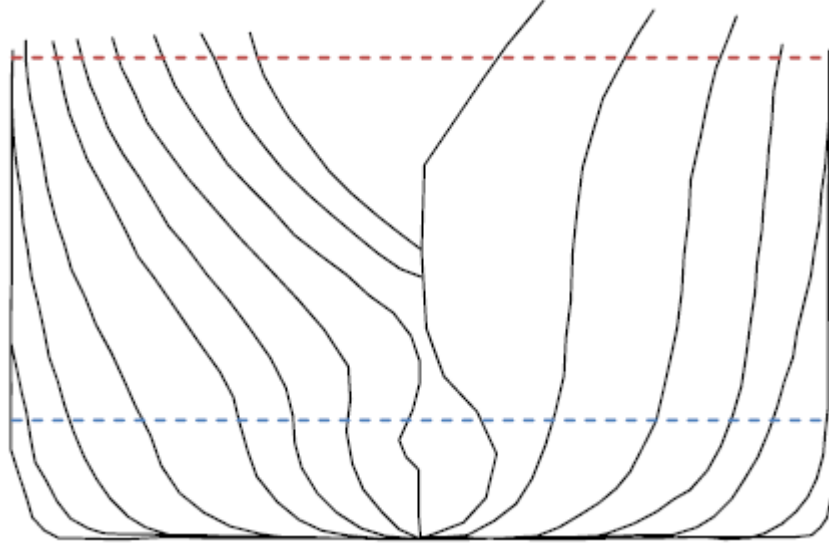
Değer	Sembol veya Eşitsizlik	Sonuç
GM değişiminin genliği, m	GM_a	3.78
Ortalama GM değeri, m	GM_m	4.59
Seviye 1 Zafiyet Kriteri	$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 0.49$ veya $\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49$	$0.823 \geq 0.49$
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Pozitif	

Seviye 1 zafiyet kriteri uygulaması sonucu görülmüştür ki örnek gemi parametrik yalpaya duyarlıdır. Bundan sonra yapılması gereken daha gelişmiş fiziksel bir hesaplama içeren Seviye 2 Zafiyet Kriterini uygulamaktır. Eğer bu kriterden sonra da gemi parametrik yalpaya yatkın çıkıyorsa doğrudan stabilite değerlendirmesi uygulanmaktadır. Bunun sonucunda da gemi parametrik yalpaya yüksek seviyede risk gösteriyorsa gemiye özel operasyon kılavuzunda geliştirme yapılmaktadır.

Hesaplamalar sonucunda gemi parametrik yalpa zafiyet modunda hasarlanabilir çıkmıştır. Bunun sonucunda ne yapılması gerektiği yukarıda açıklanmaktadır. Geminin bu stabilite zafiyet modunda hasarlanabilir çıkmaması geminin hasarsız bir şekilde yol alacağını göstermemektedir çünkü diğer stabilite zafiyet modlarındaki hasarlanma olasılıklarının da tespit edilmesi gerekmektedir. Tüm stabilite zafiyet modlarındaki kriterlerden geçtikten sonra geminin güvenli bir şekilde yol alacağı söylenebilmektedir.

4.2 Uygulama 2 (Dökme Yük Gemisi)

Uygulama 1’de seçilen Konteynır 1 gemisi için hesaplamalar yapılmış ve sonuç olarak bu geminin Seviye 1 Zafiyet Kriteri için parametrik yalpaya duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Uygulama 2 kısmında yine aynı kriter için hesaplamalar bir dökme yük gemisi için hesaplanmıştır. Seçilen dökme yük gemisine ait en kesit resmi Şekil 4.5’de, ana değerler ise Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4. 5 Dökme yük gemisine ait en kesit resmi [6]

Çizelge 4. 9 Dökme yük gemisine ait ana değerler

Dikmeler Arası Boy, L_{BP} , m	281.94
Genişlik, B, m	44.196
Derinlik, D, m	25.6
Dizayn Draftı, T, m	17.93
Metasantr Yüksekliği, GM, m	8.464
Gemi Ağırlığı, W , ton	190000

Hesaplamaları yapmak için ortam şartlarını yani dalga parametrelerini de belirlemek gerekmektedir. Dalga boyu gemi boyuna eşit olarak alınmıştır. Dalga yüksekliği ise ABS’in yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı dalga boyuna bağlı olarak dalga

yüksekliğini veren bir önceki uygulamada da kullanılan Çizelge 4.2’den hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak hesaplanan dalga parametreleri de Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 10 Dalga parametreleri (Dökme Yük Gemisi)

Dalga Boyu, λ , m (Gemi Boyuna Eşit Olarak Alınmıştır)	281.194
Dalga Yük., h_w , m (Çizelge 4.2’den interpolasyon yardımıyla bulunmuştur)	14.83
Dalga Periyodu, T_w , sn	13.42
Dairesel Dalga Frekansı, ω_w , rad/sn	0.468

Bu değerlere bağlı olarak öncelikle ABS duyarlılık kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 11 Dökme yük gemisi için duyarlılık kriteri değerleri

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Minimum GM değeri, m	GM_{min}		7.902
Maximum GM değeri, m	GM_{max}		10.392
GM değişiminin genliği, m	GM_a	$GM_a = 0.5 \ GM_{max} - GM_{min}$	1.245
Ortalama GM değeri, m	GM_m	$GM_m = 0.5 \ GM_{max} + GM_{min}$	5.82
GM değişim genliğinin frekansı, rad/sn	ω_a	$\omega_a = 7.854 \ \overline{GM_a} / B$	0.198
Ortalama GM değerinin frekansı, rad/sn	ω_m	$\omega_m = 7.854 \ \overline{GM_m} / B$	0.429
Parametrik yalpa için en olası hız, kn	V_{pr}	$V_{pr} = \frac{19.06 \ 2\omega_m - \omega_w}{\omega_w^2}$	33.94
Karşılaşma frekansı, sn	ω_e	$\omega_e = \omega_w + 0.0524 * V_S * \omega_w^2$	0.857
Sakin sudaki GM değeri, m	GM_0		8.464
Sakin sudaki doğal yalpa frekansı, rad/sn	ω_0	$\omega_0 = 7.854 \ \overline{GM_0} / B$	0.517

Yalpa sönüm katsayısı	μ		0.1
Duyarlılık kriteri parametresi	p	$p = \omega_m^2 - \mu * \omega_0^2 / \omega_e^2$	0.247
Duyarlılık kriteri parametresi	q	$q = \omega_a^2 / \omega_e^2$	0.053

Parametreleri belirledikten sonra duyarlılık kriteri için kontroller yapılmıştır. Duyarlılık kriteri için sonuçlar Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

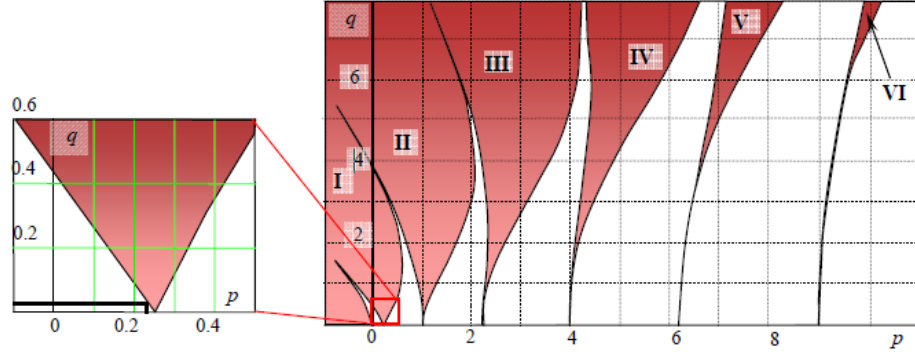
Çizelge 4. 12 Dökme yük gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Eşitsizlik 2.1’in sol tarafı		$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3$	0.223
Eşitsizlik 2.1’in sağ tarafı		$0.25 + 0.5q$	0.276
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	
k_1 katsayısı		$k_1 = 1 - 0.1875q^2$	0.999
k_2 katsayısı		$k_2 = 1.002p + 0.16q + 0.759$	1.015
k_3 katsayısı		$k_3 = \frac{q^2 - 16 + \sqrt{q^4 + 352q^2 + 1024p}}{16q}$	-0.074
Eşitsizlik 2.2’nin sağ tarafı		$qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2}$	0.054
Eşitsizlik 2.2’nin sol tarafı		$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e}$	0.060
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Negatif	

Hesaplamalar sonucunda eşitsizlik (4.1) sağlanmıştır ancak eşitsizlik (4.2) sağlanmamıştır. Bu demek oluyor ki örnek gemi parametrik yalpaya duyarlı değildir. Bundan sonra yapılması gereken bu zafiyet modu için daha ileri bir hesaplama yapılmadan diğer zafiyet modları için gerekli hesaplamaları yapmaktır. Ancak bu tez kapsamında Seviye 1 Zafiyet Kriterinin değerlendirmesi yapıldığı için, bu kriter için

gerekli hesaplamalar yapılarak duyarlılık kriteri sonucu elde edilen sonuç ile aynı sonucu verip vermediğine bakılmıştır.

Öncelikle bulunan p ve q değerleri için Ince-Strutt diyagramında bu bölgenin stabil veya stabil olmayan bölgeye karşılık geldiğinin kontrolü yapılmıştır. Şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi bu bölgenin stabil yani kararlı bölgeye karşılık geldiği sonuç olarak geminin parametrik yalpaya yatkın olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 6 Dökme yük gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi

Bu kontrol yapıldıktan sonra Seviye 1 Zafiyet Kriteri için gerekli hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.13'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4. 13 Dökme yük gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi

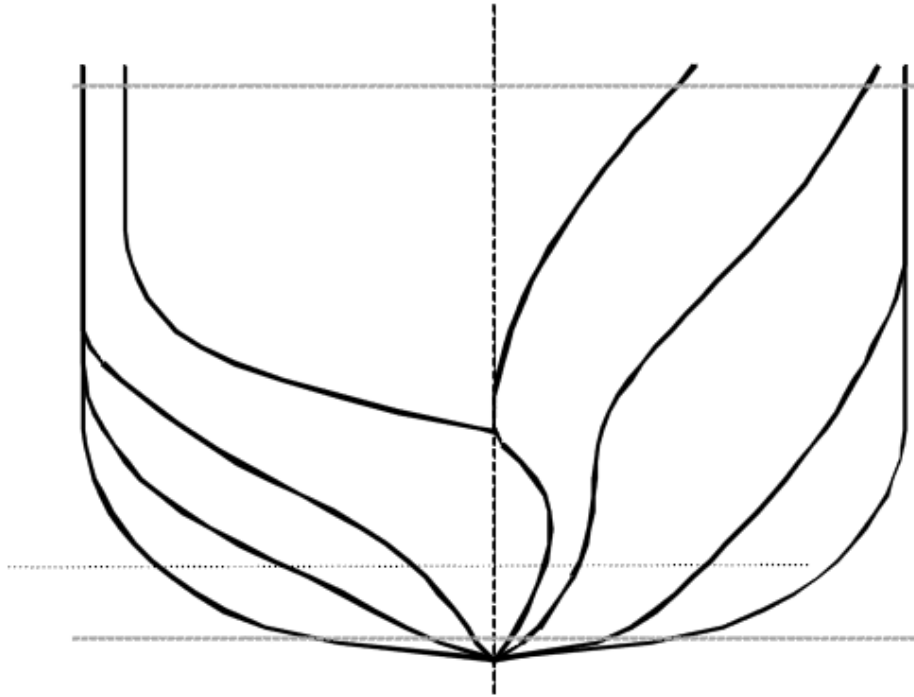
Değer	Sembol veya Eşitsizlik	Sonuç
GM değişiminin genliği, m	GM_a	1.245
Ortalama GM değeri, m	GM_m	5.82
Seviye 1 Zafiyet Kriteri	$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 0.49$ veya $\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49$	$0.214 \leq 0.49$
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Negatif	

Seviye 1 Zafiyet Kriteri değerlendirmesi sonucunda bulunan değer belirlenen sınır değerden küçük çıkmıştır, bu da demek oluyor ki seçilen dökme yük gemisi parametrik yalpaya uygun değildir.

Seçilen dökme yük gemisi parametrik yalpa zafiyet modu Seviye 1 Zafiyet Kriterini sağlamaktadır. Bu yüzden bu zafiyet modu için daha ayrıntılı bir hesaplama yapma ihtiyaı yoktur. Yani Seviye 2 Zafiyet Kriterine geçilmeden diğer stabilete zafiyet modlarına geçilerek o modlar için hasarlanabilirlik olasılıkları hesaplanmalıdır.

4.3 Uygulama 3 (RORO Gemisi)

Uygulama 1’de seçilen konteynır gemisi için hesaplamalar yapılmış ve sonuç olarak bu geminin Seviye 1 Zafiyet Kriteri için parametrik yalpaya duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Uygulama 2 kısmında yine aynı kriter için hesaplamalar bir dökme yük gemisi için hesaplanmıştır ve geminin parametrik yalpaya duyarlı olmadığı tespit edilmiştir. Uygulama 3 ‘te ise farklı bir tip gemi olan RORO gemisi seçilmiştir ve hesaplamalar yapılmıştır. Seçilen RORO gemisine ait en kesit resmi şekil 4.7’de, ana değerler ise izelge 4.14’de gösterilmiştir.



şekil 4. 7 RORO gemisine ait en kesit resmi [6]

Çizelge 4. 14 RORO gemisine ait ana değerler

Dikmeler Arası Boy, L_{BP} , m	187.7
Genişlik, B, m	24.5
Derinlik, D, m	21.32
Dizayn Draftı, T, m	6.9
Metasantr Yüksekliği, GM, m	1.0
Gemi Ağırlığı, W , ton	20000

Hesaplamaları yapmak için ortam şartlarını yani dalga parametrelerini de belirlemek gerekmektedir. Dalga boyu gemi boyuna eşit olarak alınmıştır. Dalga yüksekliği ise ABS'in yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı dalga boyuna bağlı olarak dalga yüksekliğini veren bir önceki uygulamalarda da kullanılan Çizelge 4.2'den hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak hesaplanan dalga parametreleri de Çizelge 4.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 15 Dalga parametreleri (RORO Gemisi)

Dalga Boyu, λ , m (Gemi Boyuna Eşit Olarak Alınmıştır)	187.7
Dalga Yük., h_w , m (Çizelge 4.2'den interpolasyon yardımıyla bulunmuştur)	14.88
Dalga Periyodu, T_w , sn	10.96
Dairesel Dalga Frekansı, ω_w , rad/sn	0.573

Bu değerlere bağlı olarak öncelikle ABS duyarlılık kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 16 RORO gemisi için duyarlılık kriteri değerleri

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Minimum GM değeri, m	GM_{min}		-3.55

Maximum GM değeri, m	GM_{max}		6.570
GM değişiminin genliği, m	GM_a	$GM_a = 0.5 \ GM_{max} - GM_{min}$	5.060
Ortalama GM değeri, m	GM_m	$GM_m = 0.5 \ GM_{max} + GM_{min}$	1.510
GM değişim genliğinin frekansı, rad/sn	ω_a	$\omega_a = 7.854 \ \overline{GM_a} / B$	0.721
Ortalama GM değerinin frekansı, rad/sn	ω_m	$\omega_m = 7.854 \ \overline{GM_m} / B$	0.394
Parametrik yalpa için en olası hız, kn	V_{pr}	$V_{pr} = \frac{19.06 \ 2\omega_m - \omega_w}{\omega_w^2}$	12.48
Karşılaşma frekansı, sn	ω_e	$\omega_e = \omega_w + 0.0524 * V_S * \omega_w^2$	0.788
Sakin sudaki GM değeri, m	GM_0		1.000
Sakin sudaki doğal yalpa frekansı, rad/sn	ω_0	$\omega_0 = 7.854 \ \overline{GM_0} / B$	0.321
Yalpa sönüm katsayısı	μ		0.1
Duyarlılık kriteri parametresi	p	$p = \omega_m^2 - \mu * \omega_0^2 / \omega_e^2$	0.248
Duyarlılık kriteri parametresi	q	$q = \omega_a^2 / \omega_e^2$	0.837

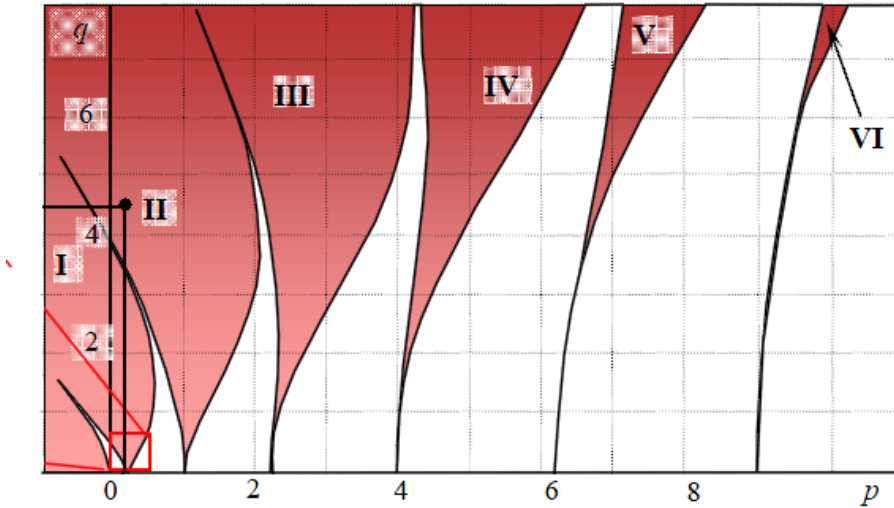
Parametreleri belirledikten sonra duyarlılık kriteri için kontroller yapılmıştır. Duyarlılık kriteri için sonuçlar Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 17 RORO gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Eşitsizlik 2.1’in sol tarafı		$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3$	-0.238
Eşitsizlik 2.1’in sağ tarafı		$0.25 + 0.5q$	0.668
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	
k_1 katsayısı		$k_1 = 1 - 0.1875q^2$	0.869

k_2 katsayısı	$k_2 = 1.002p + 0.16q + 0.759$	1.141
k_3 katsayısı	$k_3 = \frac{q^2 - 16 + \sqrt{q^4 + 352q^2 + 1024p}}{16q}$	0.529
Eşitsizlik 2.2'nin sağ tarafı	$qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2}$	0.704
Eşitsizlik 2.2'nin sol tarafı	$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e}$	0.407
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Pozitif	

Hesaplamalar sonucunda eşitsizlik (4.1) ve eşitsizlik (4.2) sağlanmamıştır. Bu demek oluyor ki örnek gemi parametrik yalpaya duyarlıdır. Bundan sonra yapılması gereken bu zafiyet modu için daha ileri bir hesaplama yapmaktır. Öncelikle bulunan p ve q değerleri için Ince-Strutt diyagramında bu bölgenin stabil veya stabil olmayan bölgeye karşılık geldiğinin kontrolü yapılmıştır. Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi bu bölgenin stabil olmayan yani kararsız bölgeye karşılık geldiği sonuç olarak geminin parametrik yalpaya yatkın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 8 RORO gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi

Bu kontrolü de yaptıktan sonra Seviye 1 Zafiyet Kriteri için gerekli hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.18'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4. 18 RORO gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi

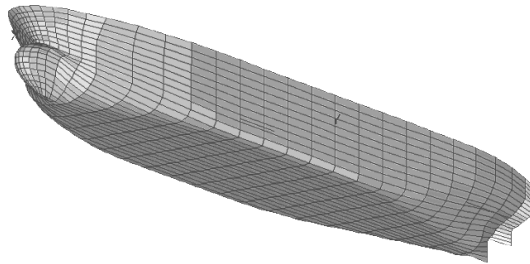
Değer	Sembol veya Eşitsizlik	Sonuç
GM değişiminin genliği, m	GM_a	5.060
Ortalama GM değeri, m	GM_m	1.510
Seviye 1 Zafiyet Kriteri	$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 0.49$ veya $\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49$	$3.35 \geq 0.49$
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Pozitif	

Seviye 1 Zafiyet Kriteri değerlendirmesi sonucunda bulunan değer belirlenen sınır değerden büyük çıkmıştır, bu da demek oluyor ki seçilen RORO gemisi parametrik yalpaya meyillidir.

Seçilen RORO gemisi parametrik yalpa zafiyet modu Seviye 1 Zafiyet Kriterini sağlamamaktadır. Bu yüzden bu zafiyet modu için daha ayrıntılı bir hesaplama yapma ihtiyacına gerek vardır. Yani Seviye 2 Zafiyet Kriterine geçilerek bu stabilite zafiyet modu için gerekli hesaplamalar yapılmalıdır.

4.4 Uygulama 4 (Tanker Gemisi)

Uygulama 4 kısmında yine aynı kriter için hesaplamalar bir tanker gemisi için hesaplanmıştır. Seçilen tanker gemisine ait üç boyutlu görünüş Şekil 4.9'da, ana değerler ise Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 9 Tanker gemisine ait üç boyutlu görünüş

Çizelge 4. 19 Tanker gemisine ait ana değerler

Dikmeler Arası Boy, L_{BP} , m	320.0
Genişlik, B, m	52.0
Derinlik, D, m	31.0
Dizayn Draftı, T, m	21.0
Metasantr Yüksekliği, GM, m	4.55
Gemi Ağırlığı, W , ton	318950

Hesaplamaları yapmak için ortam şartlarını yani dalga parametrelerini de belirlemek gerekmektedir. Dalga boyu gemi boyuna eşit olarak alınmıştır. Dalga yüksekliği ise ABS'in yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı dalga boyuna bağlı olarak dalga yüksekliğini veren bir önceki uygulamalarda da kullanılan Çizelge 4.2'den hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak hesaplanan dalga parametreleri de Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 20 Dalga parametreleri (Tanker Gemisi)

Dalga Boyu, λ , m (Gemi Boyuna Eşit Olarak Alınmıştır)	320.0
Dalga Yük., h_w , m (Çizelge 4.2'den interpolasyon yardımıyla bulunmuştur)	14.20
Dalga Periyodu, T_w , sn	14.32
Dairesel Dalga Frekansı, ω_w , rad/sn	0.439

Bu değerlere bağlı olarak öncelikle ABS duyarlılık kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 21 Tanker gemisi için duyarlılık kriteri değerleri

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Minimum GM değeri, m	GM_{min}		3.784
Maximum GM değeri, m	GM_{max}		5.194

GM değişiminin genliği, m	GM_a	$GM_a = 0.5 \ GM_{max} - GM_{min}$	0.705
Ortalama GM değeri, m	GM_m	$GM_m = 0.5 \ GM_{max} + GM_{min}$	4.489
GM değişim genliğinin frekansı, rad/sn	ω_a	$\omega_a = 7.854 \ \overline{GM_a} / B$	0.127
Ortalama GM değerinin frekansı, rad/sn	ω_m	$\omega_m = 7.854 \ \overline{GM_m} / B$	0.320
Parametrik yalpa için en olası hız, kn	V_{pr}	$V_{pr} = \frac{19.06 \ 2\omega_m - \omega_w}{\omega_w^2}$	19.87
Karşılaşma frekansı, sn	ω_e	$\omega_e = \omega_w + 0.0524 * V_S * \omega_w^2$	0.640
Sakin sudaki GM değeri, m	GM_0		4.55
Sakin sudaki doğal yalpa frekansı, rad/sn	ω_0	$\omega_0 = 7.854 \ \overline{GM_0} / B$	0.322
Yalpa sönüm katsayısı	μ		0.1
Duyarlılık kriteri parametresi	p	$p = \omega_m^2 - \mu * \omega_0^2 / \omega_e^2$	0.247
Duyarlılık kriteri parametresi	q	$q = \omega_a^2 / \omega_e^2$	0.039

Parametreleri belirledikten sonra duyarlılık kriteri için kontroller yapılmıştır. Duyarlılık kriteri için sonuçlar Çizelge 4.22’de gösterilmiştir.

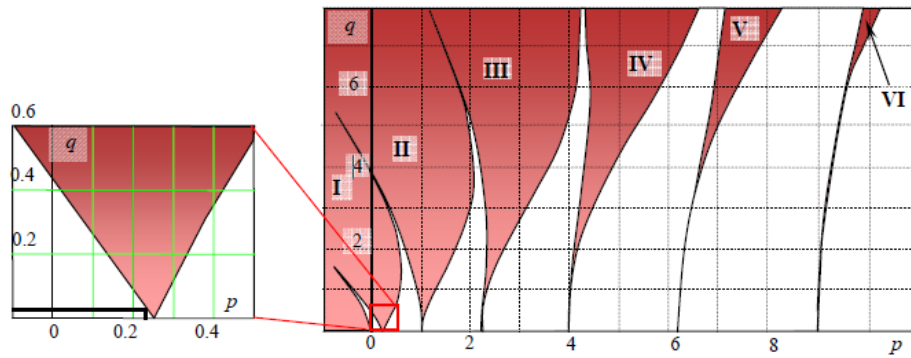
Çizelge 4. 22 Tanker gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Eşitsizlik 2.1’in sol tarafı		$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3$	0.230
Eşitsizlik 2.1’in sağ tarafı		$0.25 + 0.5q$	0.269
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	
k_1 katsayısı		$k_1 = 1 - 0.1875q^2$	0.999
k_2 katsayısı		$k_2 = 1.002p + 0.16q + 0.759$	1.013

k_3 katsayısı	$k_3 = \frac{q^2 - 16 + \sqrt{q^4 + 352q^2 + 1024p}}{16q}$	-0.125
Eşitsizlik 2.2'nin sağ tarafı	$qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2}$	0.039
Eşitsizlik 2.2'nin sol tarafı	$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e}$	0.050
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Negatif	

Hesaplamalar sonucunda eşitsizlik (4.1) sağlanmıştır ancak eşitsizlik (4.2) sağlanmamıştır. Bu demek oluyor ki örnek gemi parametrik yalpaya duyarlı değildir. Bundan sonra yapılması gereken bu zafiyet modu için daha ileri bir hesaplama yapılmadan diğer zafiyet modları için gerekli hesaplamaları yapmaktır. Ancak bu tez kapsamında Seviye 1 Zafiyet Kriterinin değerlendirmesi yapıldığından, bu kriter için gerekli hesaplamalar yapılarak duyarlılık kriteri sonucu elde ettiğimiz sonuç ile aynı sonucu verip vermediğine bakılmıştır.

Öncelikle bulunan p ve q değerleri için Ince-Strutt diyagramında bu bölgenin stabil veya stabil olmayan bölgeye karşılık geldiğinin kontrolü yapılmıştır. Şekil 4.10'dan da görüldüğü gibi bu bölgenin stabil yani kararlı bölgeye karşılık geldiği sonuç olarak geminin parametrik yalpaya yatkın olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 10 Tanker gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi

Bu kontrolü de yaptıktan sonra Seviye 1 Zafiyet Kriteri için gerekli hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.23'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4. 23 Tanker gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi

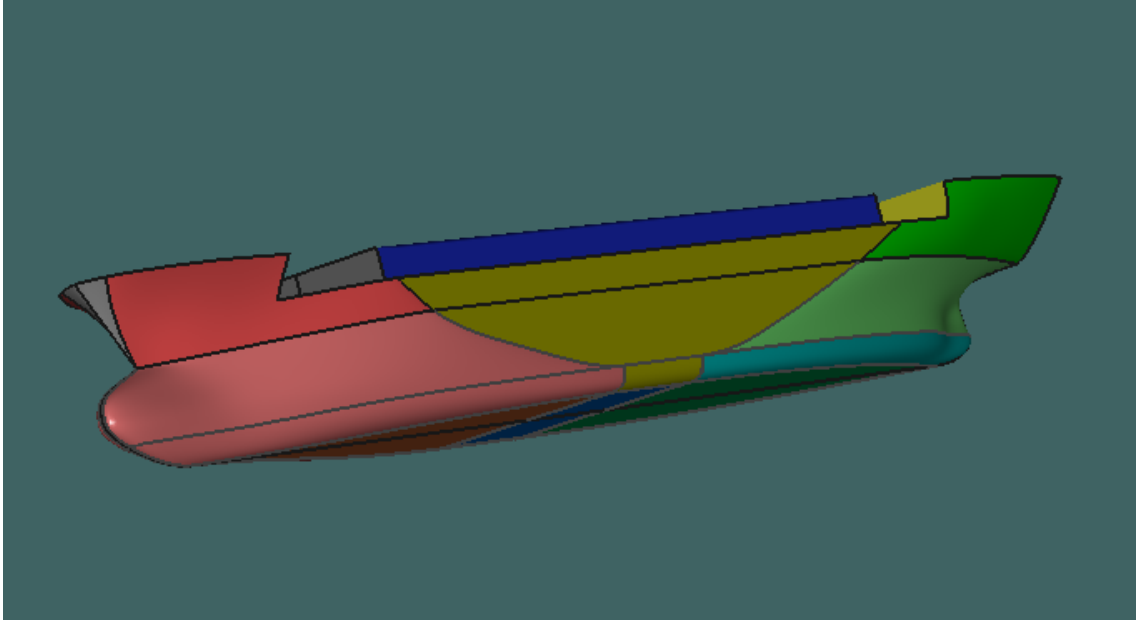
Değer	Sembol veya Eşitsizlik	Sonuç
GM değişiminin genliği, m	GM_a	0.705
Ortalama GM değeri, m	GM_m	4.489
Seviye 1 Zafiyet Kriteri	$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 0.49$ veya $\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49$	$0.157 \leq 0.49$
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Negatif	

Seviye 1 Zafiyet Kriteri değerlendirmesi sonucunda bulduğumuz değer belirlenen sınır değerden küçük çıkmıştır, bu da demek oluyor ki seçilen tanker gemisi parametrik yalpaya duyarlı değildir.

Seçilen tanker gemisi parametrik yalpa zafiyet modu Seviye 1 Zafiyet Kriterini sağlamaktadır. Bu yüzden bu zafiyet modu için daha ayrıntılı bir hesaplama yapma ihtiyacı yoktur. Yani Seviye 2 Zafiyet Kriterine geçilmeden diğer stabilete zafiyet modlarına geçilerek o modlar için hasarlanabilirlik olasılıkları hesaplanmalıdır.

4.5 Uygulama 5 (Konteynır 2 Gemisi)

Uygulama 1,2,3,4 kısmında mevcut gemiler için değerler hesaplanmıştır. Uygulama 5 de ise bilgisayar programı yardımıyla ana değerleri ve ofseti elimizde olan bir konteynır gemisi için Seviye 1 Zafiyet Kriteri değerlendirmesi yapılmıştır. Öncelikle gemi üç boyutlu resmi çıkarılmıştır ve daha sonra gemi ana değerleri belirlenmiştir. Üretilen konteynır gemisine ait üç boyutlu görünüş Şekil 4.11’de, ana değerler ise Çizelge 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11 Konteynir 2 gemisine ait üç boyutlu görünüş

Çizelge 4. 24 Konteynir 2 gemisine ait ana değerler

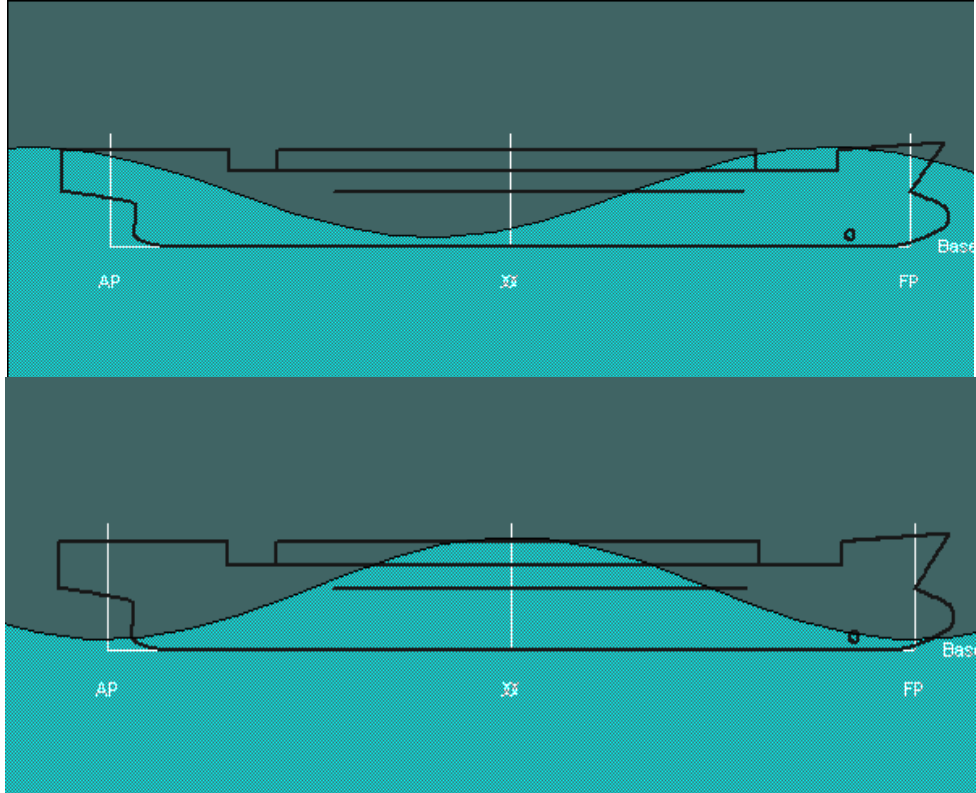
Dikmeler Arası Boy, L_{BP} , m	105.0
Genişlik, B, m	19.5
Derinlik, D, m	9.94
Dizayn Draftı, T, m	7.239
Metasantr Yüksekliği, GM, m	0.760
Gemi Ağırlığı, W , ton	11174

Hesaplamaları yapmak için ortam şartlarını yani dalga parametrelerini de belirlemek gerekmektedir. Dalga boyu gemi boyuna eşit olarak alınmıştır. Dalga yüksekliği ise ABS'in yaptığı çalışma sonucu ortaya çıkardığı dalga boyuna bağlı olarak dalga yüksekliğini veren bir önceki uygulamalarda da kullanılan Çizelge 4.2'den hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak hesaplanan dalga parametreleri de Çizelge 4.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 25 Dalga parametreleri (Konteynır 2 Gemisi)

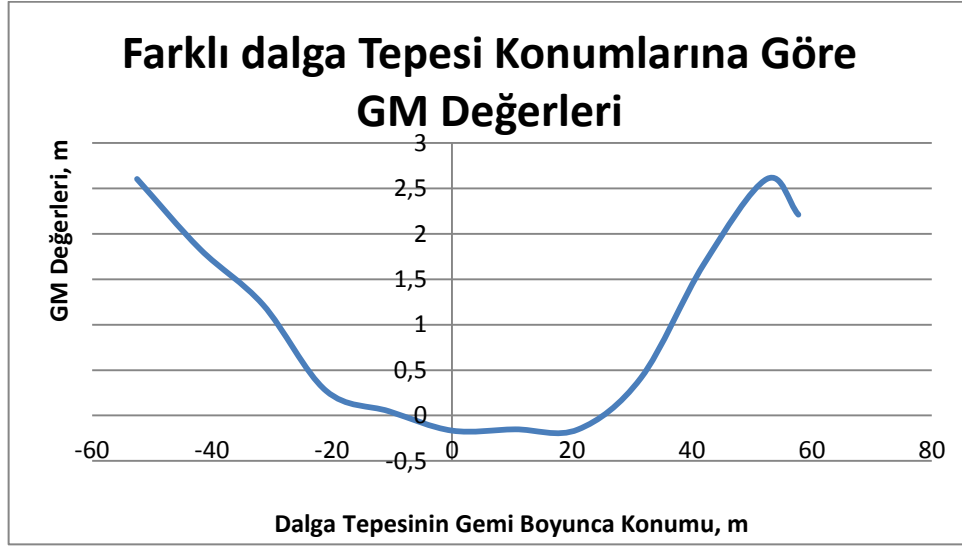
Dalga Boyu, λ , m (Gemi Boyuna Eşit Olarak Alınmıştır)	105.0
Dalga Yük., h_w , m (Çizelge 4.2'den interpolasyon yardımıyla bulunmuştur)	11.86
Dalga Periyodu, T_w , sn	8.20
Dairesel Dalga Frekansı, ω_w , rad/sn	0.766

Bu değerlere bağlı olarak ABS Duyarlılık Kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle gemi boyuna eşit dalga boyu dalga tepesi durumunda gemi boyunca farklı konumlara yerleştirilmiştir ve bu noktadaki GM değerleri bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12 Dalga tepesi konumunun gemi boyunca farklı konumlara yerleştirilmesi

Hesaplanan değerler Şekil 4.13’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 Konteynır 2 gemisi için farklı dalga tepesi konumlarına göre GM değerleri

Bu değerlere bağlı olarak öncelikle ABS duyarlılık kriteri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 26 Konteynır 2 gemisi için duyarlılık kriteri değerleri

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Minimum GM değeri, m	GM_{min}		-0.166
Maximum GM değeri, m	GM_{max}		2.605
GM değişiminin genliği, m	GM_a	$GM_a = 0.5 \ GM_{max} - GM_{min}$	1.385
Ortalama GM değeri, m	GM_m	$GM_m = 0.5 \ GM_{max} + GM_{min}$	1.219
GM değişim genliğinin frekansı, rad/sn	ω_a	$\omega_a = 7.854 \ \overline{GM_a} / B$	0.474
Ortalama GM değerinin frekansı, rad/sn	ω_m	$\omega_m = 7.854 \ \overline{GM_m} / B$	0.445
Parametrik yalpa için en olası hız, kn	V_{pr}	$V_{pr} = \frac{19.06 \ 2\omega_m - \omega_w}{\omega_w^2}$	4.028
Karşılaşma frekansı, sn	ω_e	$\omega_e = \omega_w + 0.0524 * V_S * \omega_w^2$	0.890
Sakin sudaki GM değeri, m	GM_0		0.760

Sakin sudaki doğal yalpa frekansı, rad/sn	ω_0	$\omega_0 = 7.854 \sqrt{GM_0} / B$	0.351
Yalpa sönüm katsayısı	μ		0.1
Duyarlılık kriteri parametresi	p	$p = \omega_m^2 - \mu * \omega_0^2 / \omega_e^2$	0.248
Duyarlılık kriteri parametresi	q	$q = \omega_a^2 / \omega_e^2$	0.284

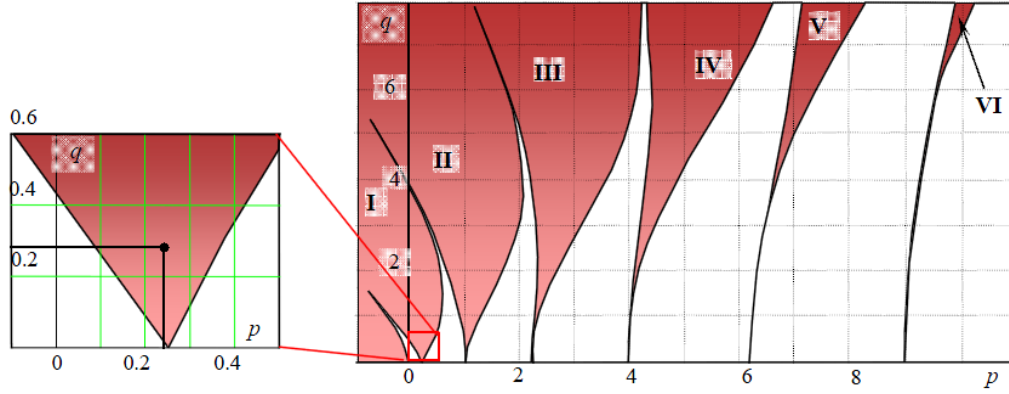
Parametreleri belirledikten sonra duyarlılık kriteri için kontroller yapılmıştır. Duyarlılık kriteri için sonuçlar Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 27 Konteynır 2 gemisi için duyarlılık kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol	Formül veya Bilgi Kaynağı	Sonuç
Eşitsizlik 2.1’in sol tarafı		$0.25 - 0.5q - 0.125q^2 + 0.03125q^3$	0.099
Eşitsizlik 2.1’in sağ tarafı		$0.25 + 0.5q$	0.392
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	
k_1 katsayısı		$k_1 = 1 - 0.1875q^2$	0.985
k_2 katsayısı		$k_2 = 1.002p + 0.16q + 0.759$	1.053
k_3 katsayısı		$k_3 = \frac{q^2 - 16 + \sqrt{q^4 + 352q^2 + 1024p}}{16q}$	0.194
Eşitsizlik 2.2’nin sağ tarafı		$qk_1k_2 \sqrt{1 - k_3^2}$	0.289
Eşitsizlik 2.2’nin sol tarafı		$\mu \frac{\omega_0}{\omega_e}$	0.039
Parametrik Yalpa Duyarlılığı		Pozitif	

Hesaplamalar sonucunda eşitsizlik (4.1) ve eşitsizlik (4.2) sağlanmamıştır. Bu demek oluyor ki örnek gemi parametrik yalpaya duyarlıdır. Bundan sonra yapılması gereken bu zafiyet modu için daha ileri bir hesaplama yapmaktır. Öncelikle bulunan p ve q

değerleri için Ince-Strutt diyagramında bu bölgenin stabil veya stabil olmayan bölgeye karşılık geldiğinin kontrolü yapılmıştır. Şekil 4.14'den de görüldüğü gibi bu bölgenin stabil olmayan yani kararsız bölgeye karşılık geldiği sonuç olarak geminin parametrik yalpaya yatkın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 14 Konteynır 2 gemisi için Ince-Strutt diyagramında parametrik yalpa değerlendirmesi

Bu kontrol de yapıldıktan sonra Seviye 1 Zafiyet Kriteri için gerekli hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.28'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4. 28 Konteynır 2 gemisi için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi

Değer	Sembol veya Eşitsizlik	Sonuç
GM değişiminin genliği, m	GM_a	1.385
Ortalama GM değeri, m	GM_m	1.219
Seviye 1 Zafiyet Kriteri	$\frac{GM_a}{GM_m} \geq 0.49$ veya $\frac{GM_a}{GM_0} \geq 0.49$	$1.136 \geq 0.49$
Parametrik Yalpa Duyarlılığı	Pozitif	

Seviye 1 Zafiyet Kriteri değerlendirmesi sonucunda bulunan değer belirlenen sınır değerden büyük çıkmıştır, bu da demek oluyor ki seçilen gemi parametrik yalpaya meyillidir.

Seçilen konteynır 2 gemisi parametrik yalpa zafiyet modu Seviye 1 Zafiyet Kriterini sağlamamaktadır. Bu yüzden bu zafiyet modu için daha ayrıntılı bir hesaplama yapma ihtiyaına gerek vardır. Yani Seviye 2 Zafiyet Kriterine geçilerek bu stabilite zafiyet modu için gerekli hesaplamalar yapılmalıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada IMO ikinci nesil hasarsız stabilite kriterleri kapsamında ortaya çıkarılan parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriteri detaylı olarak incelenmiştir ve bu kriterin mevcut gemiler açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriterinin anlaşılması için parametrik yalpa olayının fiziksel altyapısı hakkında bilgiler verilmiştir. Parametrik yalpanın nasıl geliştiği ve dalgalardaki stabilite değişimi ile olan bağlantısı açıklanmıştır. Hızın ve dalga yönünün etkisi gösterilmiştir.

Daha sonra parametrik yalpanın tespiti için Spyrou tarafından Mathieu denkleminin yardımıyla oluşturulan bir matematiksel model verilmiştir.

Kriterin ne gibi aşamalar içerdiği detaylı olarak açıklanmış, gemilere uygulanmasında karşılaşılabilecek zorluklar ortaya konmuştur. Seçilen bir sönüm değerine göre bir sınır değeri belirlenmiş ve bu sınır değere göre parametrik yalpaya olan duyarlılık tespiti yapılmıştır.

Seçilen mevcut gemilere parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca sonucun doğruluğunun tespiti için ABS duyarlılık kriteri de mevcut gemilere uygulanmıştır. Sonuç olarak parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriterinin parametrik yalpa duyarlılık tespiti için uygulamasının pratik bir yöntem olduğu görülmüştür. ABS duyarlılık kriteri ile karşılaştırıldığında doğru sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus sönüm katsayısının belirlenmesidir. Günümüzde de bu problem kesin bir çözüme ulaşmadığı

için farklı sönüm katsayıları için hesaplamalar yapılarak kriterin doğruluğu ve geçerliliği hakkında bir sonuca varılmaya çalışılmaktadır.

Yapılan uygulamalarda Seviye 1 zafiyet kriteri değerlendirmesi sonucu görülmüştür ki örnek Konteynır 1 gemisi, RORO gemisi ve Konteynır 2 gemisi parametrik yalpaya duyarlıdır ancak dökme yük gemisi ile tanker gemisi parametrik yalpaya duyarlı değildir. Bundan sonra parametrik yalpaya duyarlı gemiler için yapılması gereken daha ileri bir aşama olan Seviye 2 Zafiyet Kriterini uygulamaktır. Eğer bu kriterden sonra da gemi parametrik yalpaya yatkın çıkıyorsa doğrudan stabilite değerlendirmesi uygulanmaktadır. Bunun sonucunda da gemi parametrik yalpaya yüksek seviyede risk gösteriyorsa gemiye özel operasyon kılavuzunda geliştirme yapılmaktadır. Geminin bu stabilite zafiyet modunda parametrik yalpaya duyarlı çıkmaması geminin hasarsız bir şekilde yol alacağını göstermemektedir. Bundan dolayı parametrik yalpaya duyarlı çıkmayan gemiler için diğer stabilite zafiyet modlarındaki hasarlanma olasılıklarının da tespit edilmesi gerekmektedir. Tüm stabilite zafiyet modlarındaki kriterlerden geçtikten sonra geminin teorik olarak güvenli bir şekilde yol alacağı söylenebilmektedir.

Parametrik yalpadan kaçınmak için gemilerin dizaynında değişiklikler yapılması veya operasyon esnasında hız azaltılmasına gidilmesi veya yön değişikliğine gidilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

IMO İkinci Nesil Hasarsız Stabilite Kriterleri kapsamında çıkarılan parametrik yalpa için seviye 1 zafiyet kriteri ve diğer tüm kriterler şu an için sadece taslak aşamasındadır ve yürürlüğe konulması için bu kriterler hakkında birçok uygulama yapılması gerekmektedir.

Bundan sonraki aşamada değerlendirilen mevcut gemiler ve başka gemiler için diğer stabilite zafiyet modundaki kriterler uygulanarak bulunan sonuçlar değerlendirilerek bu kriterin doğruluğu hakkında daha kapsamlı bilgi edinilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Belenky, V., Bassler, C.C. ve Spyrou, K.J., (2011). "Developmet of Second Generation Intact Stability Criteria", NSWCCD, 3-24.
- [2] IMO SLF 48/4/12, "On the Development of Performance-Based Criteria for Ship Stability in Longitudinal Waves", IMO, London, 2005.
- [3] ABS, (2004). "Guide for the Assessment of Parametric Roll Resonance in the Design of Container Carriers", American Bureau of Shipping, Houston.
- [4] Belenky, V., Kat, J.O. ve Umeda N., (2008). "Towards Performance Based Criteria for Intact Stability", Marine Technology, 45:101-123.
- [5] Spyrou, K.J., (2005). "Design Criteria for Parametric Rolling", Oceanic Engineering, 9:11-27.
- [6] IMO SLF 53/INF.10 Annex 2, "Draft Vulnerability Criteria on Parametric Rolling and Pure Loss of Stability with Their Sample Calculation Results", IMO, London, 2010.
- [7] IMO SLF 53/INF.10 Annex 9, "Application of Different Vulnerability Criteria to a Number of Different Ships and Ship Types and General Remarks to the Proposed Criteria", IMO, London, 2010.
- [8] Shin, Y.S., Belenky, V., Pauling, J.R., Weems, K.M. ve Lin, W.M., (2004). "Criteria for Parametric Roll of Large Containerships in Longitudinal Seas", ABS Technical Papers.
- [9] IMO SLF 53/INF.10 Annex 1, "Proposal Concerning a Level 1 Vulnerability Criterion for Parametric Roll", IMO, London, 2010.
- [10] Taylan, M., "SLF 53 Değerlendirme Raporu", Türk Loydu, İstanbul, 2011.
- [11] IMO Stability and Subdivision, Intact Stability Code, www.imo.org/OurWork/Safety/StabilityAndSubdivision, 23 Aralık 2010.
- [12] Holden, C., (2011). Modelling and Control of Parametric Roll Resonance, Doktora Tezi, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Information Technology, Trondheim

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak YILDIZ
Doğum Tarihi ve Yeri :1987 İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :buraky@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.	YTÜ	2012
Lisans	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.	İTÜ	2009
Lise	Fen	Üsküdar Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 - ...	YTÜ	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

- 1.Unlugencoglu K.,**Yıldız B.**,Koçal T., ‘Yıldız Technical University Marine Engineering Operations Department and Its Position in Maritime Education of Turkey’, International Conference on New Horizons in Education-2010 (INTE 2010), Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus, June 23-25, 2010.
- 2.Kocal T.,**Yıldız B.**,Unlugencoglu K., ‘Mechatronics Engineering Education and Its Importance of Turkey’, International Conference on New Horizons in Education-2010 (INTE 2010), Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus, June 23-25, 2010.
- 3.Unlugencoglu K.,**Yıldız B.**,Turan E., ‘Engine Room Simulator and Importance of Applied Maritime Education’, International Science and Technology Conference (ISTEC 2010), Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus, October 27-29, 2010.
- 4.Çelebi B.U.,**Yıldız B.**,Kocal T.,Turan E., ‘Alternative Automation Technologies to Reduce Waste and Pollutants of Processes in Shipyards’, International Science and Technology Conference (ISTEC 2010), Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus October 27-29, 2010.