

36716



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34716

PRATİK STABİLİTE KRİTERİNİN
GEMİ DİZAYN PARAMETRELERİNE
BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Gemi İnş. ve Deniz Müh. Hüseyin YILMAZ

F.B.E. Gemi İnşaatı Anabilim Dalında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ.Reşat ÖZKAN

İSTANBUL, 1994

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
YABANCI DİLDE ÖZET	vi
SEMBOLLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	3
3. NONLİNEER YALPA HAREKETİ	6
3.1. Genel	6
3.2. Zorlanmış Yalpa Hareketinin Denklemi	6
3.3. Serbest Yalpa Hareketinin Denklemi	8
4. STABİLİTE ANALİZİ	9
4.1. Genel	9
4.2. Serbest Yalpa Hareketinin Stabilitesi - Asimptotik Stabilite	9
4.3. Zorlanmış Yalpa Hareketinin Stabilitesi - Pratik Stabilite	11
4.3.1. Üniform Sınırlılık	11
4.3.2. Pratik Stabilite Domeni	12
4.3.3. Üniform Sınırlılık Şartının Uygulanması	16
4.4. Yeni GM Kriteri	17
5. İSTATİSTİKSEL METODLAR YARDIMIYLA YAKLAŞIK STABİLİTE HESABI	20
5.1. Regresyon Analizi	20
5.1.1. Multiple Lineer Regresyon	20
5.1.2. Polinomial Regresyon	23
5.2. Stabilite Parametrelerinin Regresyonla Elde Edilmesi	23
5.2.1. Stabilite Çapraz Eğrilerinin Hesabı	26
5.2.2. KB ve BM değerlerinin Hesabı	27
6. PRATİK STABİLİTE KRİTERİNİN UYGULANMASI	37
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Gemilerin denizdeki güvenliğini sağlama amacına yönelik bu çalışmaya beni yönlendiren ve çalışma sırasında her türlü bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. İ. Reşat ÖZKAN 'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yine çalışma boyunca yardımlarından istifade ettiğim başta Sayın Yük. Müh. Mustafa İŞCEN olmak üzere, bölümümüzün tüm öğretim elemanlarına ve çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca, bilgisayar programları desteğiyle çalışmamda büyük kolaylık sağlayan Sayın Müh. Yaşar GÜL 'e de teşekkür ederim.

İstanbul
Haziran, 1994

Hüseyin YILMAZ
Gemi İnşaatı ve Deniz Mühendisi

ÖZET

Gemilerde sağlanması gereken en önemli güvenlik standartlarından birisi de hiç şüphe yok ki stabiledir. Devrilme olayı ve stabilite problemini, gemi öndizayn aşamasında incelemek, geminin maruz kalabileceği tehlikeli durumlara karşı güvenliğini artırmak için çok önemli ve gereklidir. Aynı zamanda dikkat edilmesi gereken diğer önemli nokta, stabilite analizinde kullanılan kriterlerin de yeterli derecede güvenilir olmasıdır. Halen kullanılmakta olan IMO kriterlerinin bu güvenilirliği tam olarak sağladığı söylenemez. Bunun sebeplerinden birisi, çevre şartlarının gemi stabilite hesaplarında gözönünde bulundurulmamasıdır. Gerçekte, geminin yalpa hareketinde, rüzgar ve dalga gibi dış tesirlerin etkisini ihmal etmek mümkün değildir.

Bu çalışmada, dalga ve rüzgar zorlamaları gibi dış tesirlerin etkisi altındaki bir geminin yalpa hareketinin incelenmesi sonucuna dayanarak ÖZKAN tarafından geliştirilen Pratik Stabilite Kriterinin öndizayn aşamasında kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, önce geminin öndizayn aşamasında başlangıç ve statik stabilitesi dizayn parametrelerine bağlı olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma yedi bölümden oluşmuş olup, ilk bölümde stabilite kavramı ve kriterleri konusu üzerinde kısaca durulmuştur. İkinci bölümde stabilite kriterleri üzerine bugüne kadar yapılmış önemli çalışmalardan bahsedilmiş ve halen kullanılmakta olan mevcut kriterlerin eksiklikleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Üçüncü bölümde gemi ve içinde bulunduğu ortamın etkilerini de içeren nonlineer yalpa hareketinin serbest ve zorlanmış haldeki denklemleri verilmiştir. Dördüncü bölümde bir önceki bölümde verilen hareket denklemleri için stabilite analizi yapılmış ve çalışmanın temelini teşkil eden Pratik Stabilite Kriteri sunulmuştur.

Beşinci bölümde öndizayn aşamasında yaklaşık olarak stabilite hesabı yapabilmek için istatistiksel metodlardan polinomial regresyon modeli ile multiple lineer regresyon modeli kullanılarak gemi dizayn parametrelerine bağlı olarak bazı formülasyonlar çıkarılmış ve bunlarla ilgili örnekler verilmiştir. Altıncı bölümde ise bir önceki bölümde elde edilen formülasyonlar yardımıyla Pratik Stabilite Kriterinin sadece gemi dizayn parametreleri bağlı olarak uygulanması yapılmış ve mevcut IMO kriteri ile karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise bu çalışmadan çıkan sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

ABSTRACT

Among the others one of the most important safety requirements for a ship is undoubtedly stability. Investigation of the capsizing phenomena and stability problem during the preliminary design of the ship is very significant and necessary in order to increase the safety of the ship against the dangerous conditions that ship may encounter. Moreover, it is worth emphasizing that the criteria used in the stability analysis should be reliable for real application. However, the IMO Criteria which are currently in use as mandatory Stability Standards are not as realistic and reliable as expected. One of the reasons for this is that the IMO Criteria do not take into account the real environmental conditions. In fact, it is unrealistic to neglect the effect of external excitations such as wind and wave upon the rolling motion of the ship.

In this study the main aim is to use ÖZKAN 's the Practical Stability Criteria which includes the rolling motion under the effect of external excitations, and to determine the stability of the ship during the preliminary design by using statistical method and taking into consideration the design parameters.

This study consists of seven chapter, in the first chapter stability concept and criteria are mentioned briefly. Following this critical review of existing Stability Criteria is carried out in the second chapter. After critical review, equations of non-linear free and forced rolling motion is presented. In the fourth chapter, stability analysis for the non-linear rolling motion is carried out and Practical Stability Criteria, based on the findings of this analysis, is proposed. In the fifth chapter in order to calculate the stability of a ship approximately at the preliminary design, some empirical formulations are derived by using statistical methods and applied to sample ships. After this, Practical Stability Criteria are applied by using the empirical formulations given in the previous chapter and results are compared to IMO Criteria. In the final chapter, the results and suggestions are presented.

SEMBOLLER

A_1	zorlamaların maksimum pozitif değeri
a_1	KN değerini hesaplamada kullanılan regresyon katsayıları
a'_1, a'_2	doğrultma momenti eğrisi ile zorlamaların (A_1) kesişim noktaları
B	gemi kalıp genişliği
B_{ij}	sönüm momenti fonksiyonu katsayıları
BM	metasantr yarıçapı
b'_1	sönüm momenti fonksiyonu ile zorlamaların kesişim noktası
b_{ij}	a_1 katsayılarını hesaplamada kullanılan regresyon katsayıları
C_i	pratik stabilite domenini oluşturan eğri parçaları
C_{ij}	doğrultucu moment fonksiyonu katsayıları
c_{ijk}	b_{ij} katsayılarını hesaplamak için bulunan regresyon katsayıları
C_B	blok katsayısı
C_P	prizmatik katsayı
D	gemi derinliği
E	maksimum dalga zorlamasının pozitif (I+J) 'ye bölünmüş değeri
E_1	dalga zorlamasının mutlak değeri
$e_1(t)$	zamana bağlı dalga yatırma momenti
$f(\Phi)$	(I+J) 'ye bölünmüş nonlineer sönüm momenti fonksiyonu
$f_1(\Phi)$	nonlineer sönüm momenti fonksiyonu
G	gemi ağırlık merkezinin yeri
$G(\Phi)$	doğrultma momentinin yaptığı iş (potansiyel enerji)
GM	başlangıç metasantr yüksekliği
GZ	doğrultucu moment kolu
GZ_{max}	doğrultucu moment kolunun maksimum değeri
g	yerçekimi ivmesi
$g(\Phi)$	(I+J) 'ye bölünmüş doğrultma momenti fonksiyonu
$g_1(\Phi)$	doğrultma momenti fonksiyonu
I	gemi kütle atalet momenti
J	eksu kütle atalet momenti

KB	sephiye merkezinin düşey yeri
KG	ağırlık merkezinin omurgadan düşey mesafesi
K_i	KB yi hesaplamak için kullanılan regresyon katsayıları
KM	metasantr noktasının omurgadan yüksekliği
KN	omurgadaki doğrultucu moment kolu
L	geminin kaimeler arası boyu
r	yükleme durumundaki su çekimi - dizayn draftı oranı (T_h/T)
S	GZ eğrisi altında kalan alan ($\Phi=0$ ile $\Phi=\Phi_m$ arasında)
T	geminin dizayn draftı
T_h	geminin yükleme durumundaki su çekimi
T'	çeyrek yalpa periyodu
T_ϕ	Yalpa periyodu
t	zaman boyutu
V	Lyapunov fonksiyonu
\dot{V}	Lyapunov fonksiyonunun ilk türevi
W	gemi ağırlığı (=deplasman)
WM	(I+J) 'ye bölünmüş rüzgar momenti
WM_1	rüzgar momenti
X_i	regresyon formülünde kullanılan gemi dizayn parametreleri
x	yalpa açısını gösteren koordinat eksen
x_i, y_i	pratik stabilite domeninin koordinatları
y	yalpa açısal hızını gösteren koordinat eksen
Δ	deplasman
δ	gemi yüksekliği - yükleme durumundaki su çekimine oranı (D/T_h)
∇	deplasman hacmi
Φ	yalpa açısı
$\dot{\Phi}$	yalpa açısal hızı
$\ddot{\Phi}$	yalpa ivmesi
Φ_m	maksimum GZ değerine tekabül eden açı değeri
Φ_v	devrilme açısı
\forall	her için

1. GİRİŞ

Stabilitenin, birçok bilim dallarında kullanılmasına rağmen henüz evrensel bir tanımı yapılamamıştır. Bu kavram, özellikle kontrol sistemleri ve bütün dinamik sistemlerin dizaynı için çok önemlidir. Mühendislik sistemlerinde stabilite terimi, sistemin orijinal durumundan sapması sonucu oluşan hatanın belirli bir bölge içinde kalması veya sifıra gitmesi olarak tanımlanır.

Bütün mühendislik dallarında olduğu gibi, gemi mühendisliğinde de stabilite problemleri önemli yer tutmaktadır. Gemi stabilitesi kavramı içinde, geminin enine, boyuna ve yönsel stabilitesi düşünülür. Bunlardan en önemlisi, devrilme olayı ile yakından ilgili olan ve çalışmada dikkate alınan, geminin enine stabilitesidir. Herhangi bir iç veya dış etki sonucu meydana bir geminin meyle sebep olan etkinin ortadan kalkmasıyla eski konumuna dönmesi veya dönmemesi geminin enine stabilitesi kavramı içerisinde düşünülür.

Günümüzde kullanılmakta olan stabilite kriterleri geminin daha çok statik ve geometrik özelliklerine dayanmakta, bunların çıkartılmasında istatistiksel bilgilerden yararlanılmaktadır. Bu kriterlere göre; gemi, iki zıt bileşke kuvvetin etkisi altında su yüzeyinde yüzmekte olan rijit bir cisim olarak kabul edilmektedir. Bu kuvvetler, gemi ağırlık merkezinden etki ettiği kabul edilen geminin ağırlığı ile, su altında kalan kısmının hacim merkezinden etki eden suyun kaldırma kuvveti (deplasman kuvveti) dir. Gemi Φ açısı kadar yalpa yaptığında meydana gelen doğrultma momenti ,

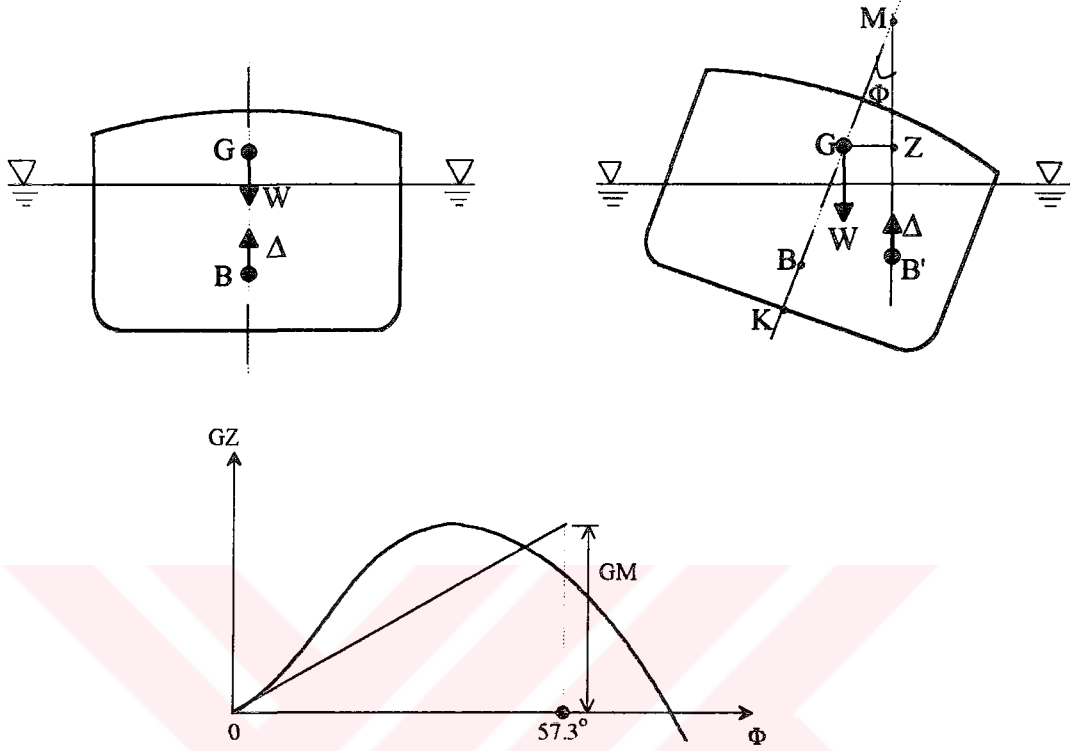
$$W = \Delta$$

$$M_d = \Delta \times GZ (\Phi) \quad (1.1)$$

ile verilmektedir (Şekil 1.1). Burada $GZ(\Phi)$ doğrultma moment kolu olarak isimlendirilir ve günümüzde bir tür stabilite ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Halen uygulamada olan stabilite kriterlerini iki ana gruba ayırmak mümkündür. İlk grup Rahola temelli kriterler olup IMO (International Maritime Organization) Res. A.167 ve Res. A.168 dir (IMO,1993). Bu kriterlerde stabilite ölçüsü olarak doğrultucu moment kolu eğrisi altındaki alan gibi parametreler geminin tipine, büyüklüğüne ve çalıştığı deniz şartlarına bakılmaksızın aynı olmaktadır. Diğer yandan bu kriterlerin elde edilmesinde

yararlanılan gemi sayısının az olması, gemi tiplerinin, yükleme ve deniz şartlarının gemilerin devrilme anında farklılığı bu kriterlerin gerçekçiliğini engelleyen hususlardır.



Şekil 1.1. Doğrultma Moment Kolu Eğrisi ($GZ - \Phi$)

İkinci grup stabilite kriterleri, deterministik stabilite kriterleri olarak bilinmekte ve gemiye belirli çevre şartlarında etkiyen dış kuvvetleri gözönüne almaktadır. Bu gruba giren, Sarchin ve Goldberg'in (1962) önerdikleri kriter, bir kısım düzeltmelerle 1985 de IMO Hava Kriteri olarak, Res. A14/562, yürürlüğe girmiştir. Bu iki grup kriterde de sakin deniz şartları gözönüne alınmıştır. Yapısı ve çıkarılışı itibari ile bu iki grup kriterden tamamen farklı olan ve gemi yalpa hareketi ile ortamın etkilerini gözönüne alan *Pratik Stabilite Kriteri*, ÖZKAN (1981) tarafından ortaya atılmıştır.

Bu çalışmada da ÖZKAN tarafından geliştirilen "Pratik Stabilite Kriteri" nin gemilerin öndizayn aşamasında kullanılması esas alınmıştır. Bunun için, öndizayn aşamasında balıkçı ve yük gemilerinin stabilite hesaplarını yapabilmek için, istatistiksel metodlardan regresyon analizi yardımıyla bazı ampirik formülasyonlar çıkartılmıştır.

2. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Stabilite üzerine çalışmalar, Aristotle ve Archimedes' e kadar uzanmaktadır. Pierre Bouguer (1746) ilk defa metasantr yarıçapını (BM), geminin su hattı atalet momentinin deplasman hacmine bölümü olarak tanımlamasıyla, geminin stabilite ölçüsü olan GM metasantr yüksekliği,

$$GM = KB + BM - KG$$

olarak ifade edilmiştir. Burada KB ve KG, sırasıyla, geminin hacim ve ağırlık merkezlerinin kaide hattından yükseklikleridir. Buna göre Φ açısı kadar meyil eden bir geminin, ağırlık ve sephiye kuvvetleri arasındaki uzaklık, yani moment kolu,

$$GZ = GM \sin \Phi$$

yaklaşımı ile hesap edilerek kullanılmıştır. Bu yaklaşım, George Atwood (1798) tarafından verilen ve statik stabilite hesap yöntemlerinin esasını oluşturan doğrultucu moment kolunun,

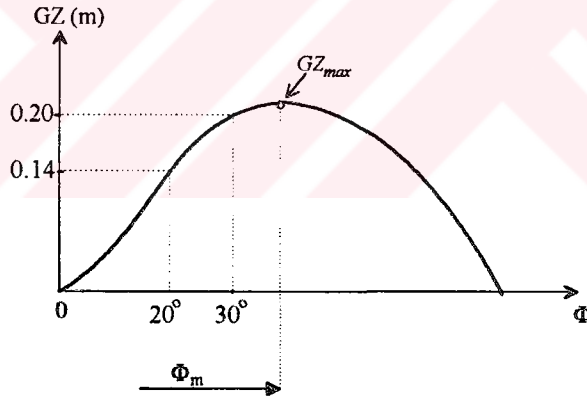
$$GZ = \frac{v \cdot h_1 h_2}{\nabla} - BG \cdot \sin \Phi$$

şeklinde ifade edilmesine kadar kullanılmıştır. Burada, v suya giren-çıkan sıyıl hacmini, h_1, h_2 sıyillerin hacim merkezlerinin birleştiren doğruyu ve BG geminin hacim ve ağırlık merkezleri arasındaki düşey mesafeyi göstermektedir. Stabilite karakteristiği olarak halen kullanılan doğrultucu moment eğrisi ilk olarak Reed (1868) tarafından teklif edilmiş ancak, uygulaması Denny (1887) tarafından yapılmıştır. Bu eğri ile başlangıç metasantr yüksekliğinin en az 0.244 m. olması bir kriter olarak önerilmiştir.

Buna karşılık, Moseley (1850) gemi stabilitesinin yalpa hareketi ile ilişkili olduğunu öne sürmesiyle dinamik stabilite fikrini ortaya atmıştır. Moseley'e göre geminin meyil yaptığı açığa kadar doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan, aynı açığa

kadar zorlayıcı moment eğrisi altında kalan alandan büyük ise gemi dengededir. Moseley'in bu fikrini Pierrottet (1935) daha geliştirerek gemiyi devirmeye zorlayan kuvveti gerçekçi olarak dikkate almayı düşünmüş ve dinamik doğrultucu momentin zorlayıcı momente eşit yada daha büyük olması anındaki açığa bir sınır önermiştir. Fakat bu yaklaşım dizayn yönünden oldukça kısıtlayıcı olduğundan dünya bazında kabul edilmemiştir.

1939'da Rahola yaptığı doktora tezinde, stabilite konusunda o yıllara kadarki kaynakları geniş bir şekilde inceleyerek 1870 ve 1938 yılları arasında devrilmiş 34 gemiye ait resmi ve diğer araştırdığı bilgileri analiz etmiştir. Bu gemilerin stabilite durumlarını yeterli, kritik ve yetersiz olmak üzere üç kategoriye ayırmıştır. Rahola'nın yaklaşımı, boyları 30 ile 76 metre arasında olan bu gemilerin devrilmeye karşı koyma kapasiteleriyle birlikte işletimde olan mevcut gemilerin doğrultucu momentlerine ait verileri analiz ederek, devrilmeye karşı emniyeti sağlayacak minimum doğrultucu momentleri bulmaktır. Şekil 2.1 de verilen istatistik yöntemle dayalı bu yaklaşım sonucunda önerilen statik ve dinamik stabiliteyle ilgili kriterler aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Rahola İstatistik Stabilite Kriteri

a) $GZ_{20^\circ} \geq 0.14$

$GZ_{30^\circ} \geq 0.20$

$GZ_{40^\circ} \geq 0.20$

- b) En büyük GZ değeri $\Phi_m \geq 35^\circ$ ve
- c) Stabilitenin bozulduğu açı $\Phi_v \geq 60^\circ$ olmalıdır.
- d) Φ_r meyil açısına kadar GZ- Φ eğrisi altında kalan alan ≥ 0.08 metre x radyan

Φ_r şu değerlerin küçüğü olacaktır :

$$\Phi_r \leq 40^\circ$$

$$\Phi_r \leq \Phi_m$$

$\Phi_r \leq$ geminin su geçiren bölümlerinin suya girdiği açı

Bugün kullanılmakta olan IMO kriterleri, Rahola (1939) tarafından gerçekleştirilen doktora tezinin sonuçlarına dayanmaktadır. Rahola'nın çalışması, yayımlandığı tarihe kadar meydana gelmiş devrilme olaylarına ait bilgiler ile yine o zaman çalışmakta olan diğer bazı gemilere ait bilgilerin istatistiki olarak incelenmesine dayanır. Rahola'nın tezinin konuya büyük katkı yaptığı açık olmakla birlikte, buna istinaden geliştirilmiş olan IMO kurallarını fazlasıyla sağlayan birçok geminin devrildiği ve halen devrilmeye devam ettiği de bir gerçektir. Bunun sebeplerinden birisi, gerek kuralların matematik modellemeden yola çıkmaması ve gerekse gemi ve içinde bulunduğu gerçek deniz ortamının özelliklerinin gözönünde bulundurulmaması olarak düşünülebilir.

Araştırmacılar, bu konuda somut sonuçlara ve kriterlere ulaşmak amacı ile, zaman zaman çeşitli yaklaşımları denemişlerse de fazla ileri gidilmiş olduğunu söylemek mümkün değildir. Mühendisliğin birçok alanında kullanılmakta olan "Lyapunov Direkt Yöntemi" nin, gemi stabilitesinin incelenmesinde kullanılabileceği fikrini ilk defa ODABAŞI (1977) ortaya atmıştır. Devrilme problemi ve stabilite çok karmaşık bir problemdir. Dolayısıyla böyle karmaşık bir problemin ampirik yaklaşımlarla çözülmesi beklenemez. Bunu izleyen yıllarda ÖZKAN (1979, 1980, ...) da aynı konu üzerinde çalışmıştır.

3. NONLİNEER YALPA HAREKETİ

Bu bölümde bir geminin büyük açılardaki serbest ve zorlanmış yalpa hareketlerinin denklemleri verilecektir.

3.1. GENEL

Dış etkilerin tesiri altında ve başlangıçta denge konumunda olan, zorlanmış nonlinear bir yalpa hareketini düşünelim. Newton'un ikinci dinamik yasasına göre bu hareket aşağıdaki genel denklemle gösterilebilir.

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{K} + \mathbf{I}) = \mathbf{M} \quad (3.1)$$

\mathbf{K}, \mathbf{I} : Kütle ataletinin ve akışkan reaksiyon kuvvetlerinin momentumu

\mathbf{M} : Akışkan etki kuvvetleri ve rüzgar kuvvetlerinin momentleri gibi dış tesir momentleri

Bu denklem moment terimleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$M_b + M_{th} + M_{fs} = M_{fa} + M_{wf} \quad (3.2)$$

M_b : Kütle atalet momentleri

M_{th} : Hidrodinamik akışkan reaktif kuvvetlerinin momentleri

M_{fs} : Hidrostatik akışkan reaktif kuvvetlerinin momentleri

M_{fa} : Hidrodinamik akışkan etki kuvvetlerinin momentleri
(Dalga zorlamaları)

M_{wf} : Rüzgar kuvvetlerinin momentleri

3.2. ZORLANMIŞ YALPA HAREKETİNİN DENKLEMİ

Moment terimleri cinsinden ifade edilen bu hareket denklemi (3.2), aşağıdaki gibi ikinci derece nonlinear diferansiyel denkleme dönüştürülür.

$$(I + J)\ddot{\Phi} + f_1(\dot{\Phi}) + g_1(\Phi) = e_1(t) + WM_1 \quad (3.3)$$

veya her iki tarafı $(I + J)$ ye bölersek

$$\ddot{\Phi} + f(\dot{\Phi}) + g(\Phi) = e(t) + WM \quad (3.4)$$

elde edilir.

I : Kütle atalet momenti

J : Eksu kütle atalet momenti

$\Phi, \dot{\Phi}, \ddot{\Phi}$: Sırasıyla yalpa açısı, hızı ve ivmesi

$f_1(\dot{\Phi})$: Sönüm momenti

$$f_1(\dot{\Phi}) = B_{11}\dot{\Phi} + B_{22}\dot{\Phi}|\dot{\Phi}|, \quad B_{11}, B_{22} > 0$$

$g_1(\Phi)$: Doğrultma momenti

$$g_1(\Phi) = C_{11}\Phi - C_{22}\Phi^3, \quad C_{11}, C_{22} > 0$$

$e_1(t)$: Zamana bağlı dalga yatırma momenti

WM_1 : Rüzgar sağanağı momenti

Bu ifadelerin $(I + J)$ 'ye bölünmüş halleri aşağıdaki gibidir.

$$f(\dot{\Phi}) = B_{10}\dot{\Phi} + B_{20}\dot{\Phi}|\dot{\Phi}|, \quad g(\Phi) = C_{10}\Phi - C_{20}\Phi^3$$

$$e(t) = \frac{e_1(t)}{(I + J)}, \quad WM = \frac{WM_1}{(I + J)}$$

B_{10}, B_{20} : Sönüm momenti katsayıları

C_{10}, C_{20} : Doğrultma momenti katsayıları

3.3. SERBEST YALPA HAREKETİNİN DENKLEMİ

Eğer sürekli olarak etki eden zorlamalar yoksa (3.3) denkleminin sağ tarafı sifira eşit olur ve denklem,

$$(I+J)\ddot{\Phi} + f_1(\dot{\Phi}) + g_1(\Phi) = 0 \quad (3.5)$$

veya her iki tarafı $(I + J)$ ye bölersek

$$\ddot{\Phi} + f(\dot{\Phi}) + g(\Phi) = 0 \quad (3.6)$$

halini alır.



4. STABİLİTE ANALİZİ

4.1. GENEL

Dinamik bir sistemin serbest veya zorlanmış olması denge kavramını çok yakından ilgilendirmektedir. Serbest bir sistemde başlangıç statik denge konumu ve bu konumdan ayrıldıktan bir süre sonra tekrardan bu konuma dönüş kavramı geçerli iken, zorlanmış bir sistem için ise böyle bir durum sözkonusu değildir. Bir başka deyişle, serbest bir sistemde araştırılması gereken denge konumunun asimptotik stabilitesi iken, zorlanmış bir sistem için ise sistemin hareketinin her zaman sonlu bir bölge içinde kalması ve bu bölgenin pratik açıdan yeterli güvenliğe sahip bir bölge olması esastır.

Stabilite lokal bir kavram olduğu için elde edilen kriterler belli bir bölge için geçerli olacaktır ve bu bölgeyi belirleyen de sistemin nonlineerlik özelliğidir. Lineerleştirme yoluyla yapılan incelemelerde, aşikar olarak çeşitli durumlarda denklemin sayısal çözümünden elde edilen kriterlerin bir bölge içinde tanımlanma imkanları kaybolmuştur. Bu durumda geminin yalpa stabilitesini incelemek için denklemin sonsuz sayıda çözmek gerekli olacaktır ki bu tercih ne pratik açıdan mümkün ne de dizayn açısından tatmin edicidir. Görüldüğü gibi nonlineer sistemlerde önemli olan sistemi modelleyen denklemin nonlineer karakteristiğini koruyarak stabilitesini sağlayan şartları bulmaktır. Gerek serbest ve gerekse zorlanmış yalpa hareketinin büyük açılarda stabilitesinin incelenmesinde denklemin nonlineerlik özelliklerinin korunması şarttır.

4.2. SERBEST YALPA HAREKETİNİN STABİLİTESİ - ASİMPOTİK STABİLİTE

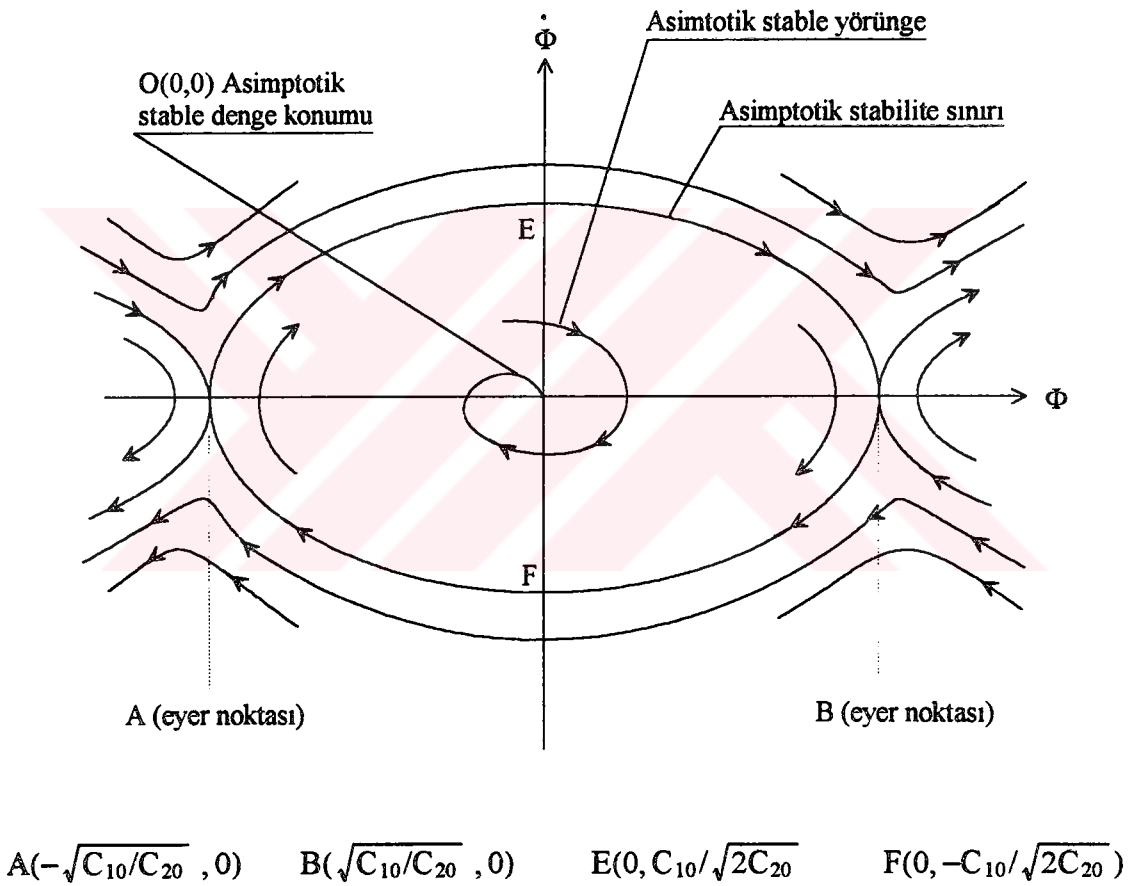
Nonlineer serbest yalpa hareketinin incelenmesinde Lyapunov Direkt Yöntemi kullanılarak, zamandan bağımsız bir Lyapunov fonksiyonu yardımıyla, faz uzayında (düzleminde) bir asimptotik stabilite domeni elde edilmiştir. Elde edilen bu Lyapunov fonksiyonu,

$$V(\vec{\Phi}) = V(\dot{\Phi}, \ddot{\Phi}) = \dot{\Phi}^2 (2C_{10} - C_{20} \dot{\Phi}^2) + 2\ddot{\Phi}^2 > 0 \quad (4.1)$$

ve bunun ilk türevi

$$\dot{V}(\vec{\Phi}) = -4\ddot{\Phi}^2 (B_{10} + B_{20} |\ddot{\Phi}|) < 0 \quad (4.2)$$

olarak verilmiştir (ÖZKAN, 1977). Asimptotik stabilite bölgesi Şekil 4.1 de görülmekte olup, fiziksel olarak bunun içinde başlayan bir hareket yukarıdaki şartların sağlanması durumunda bu bölgeyi terk etmeyecektir.



Şekil 4.1 Asimptotik Stabilite Domeni

4.3. ZORLANMIŞ YALPA HAREKETİNİN STABİLİTESİ - PRATİK STABİLİTE

Zorlanmış yalpa hareketinde gemiye sürekli olarak etki eden dalga ve rüzgar zorlamaları mevcuttur. Öte yandan, dalga zorlamasının zamana bağlı olan karakteri hareket denklemini otonom olmayan bir sistemin denklemi haline getirmekte, bu ise, teoride ilave zorluklar doğurmaktadır.

4.3.1. ÜNİFORM SINIRLILIK

Bu çalışmada

$$V(t, \Phi, \dot{\Phi}) = \frac{1}{2} \dot{\Phi}^2 + \int g(\Phi) d\Phi - \int_0^t |e(t)| dt - WM \Phi \quad (4.3)$$

tipinde bir Lyapunov fonksiyonundan yararlanılmıştır. Dış zorlamalar mutlak yakınsaktır.

$$\int_0^{\infty} |e(t)| dt < \infty$$

ve

$$G(\Phi) > P\Phi + \int_0^t |e(t)| dt, \quad G(\Phi) = \int_0^{\Phi} g(\Phi) d\Phi \quad (4.4)$$

$$\forall \Phi \neq 0, \quad \dot{\Phi} = 0; \quad G(\Phi) > 0$$

üniform sınırlılık şartının sonucu olarak elde edilmiştir (ÖZKAN, 1981). Bunun fiziksel anlamı, bir Φ açısına kadarki yalpa hareketinde kazanılan potansiyel enerjinin, dış kuvvetler tarafından gemiye uygulanan zorlama enerjisinden daha büyük olduğunu gösterir.

4.3.2. PRATİK STABİLİTE DOMENİ

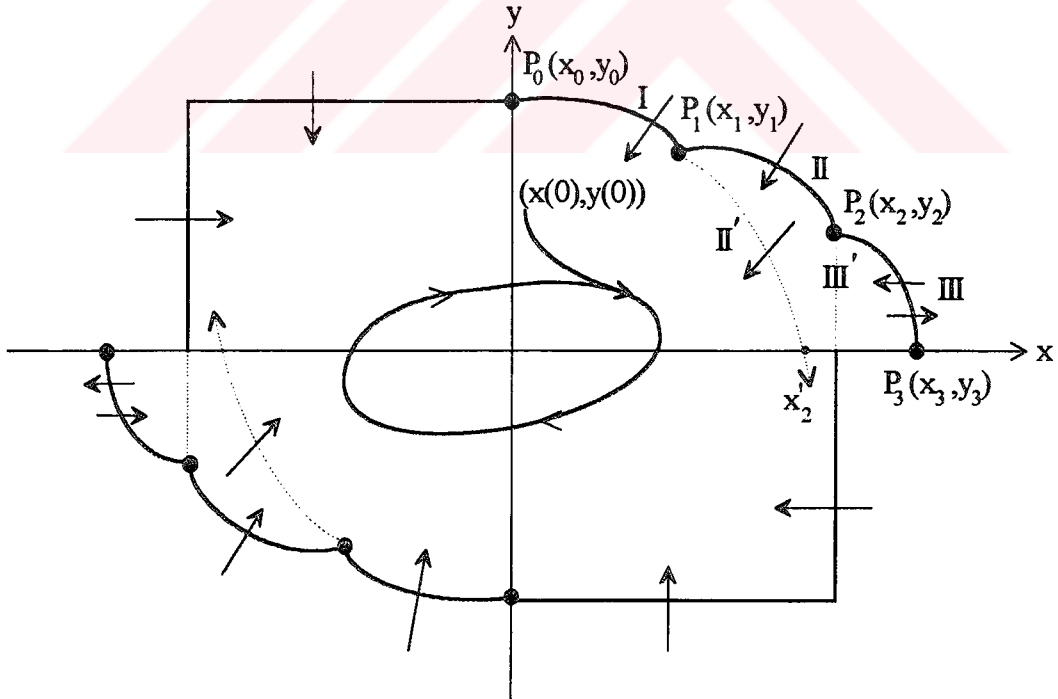
Öncelikle yapılacak olan iş, problemin tanım aralığı içinde hareketin üniform sınırlılığını belirlemektir. Çözümlerin üniform sınırlılığı tayin edilmedikçe pratik stabilite domeninin oluşturulmasının hiçbir anlamı yoktur. Sınırlılık bölgesini çeviren eğriler enerji tipi eğriler olarak düşünülmüş ve bunların başlangıç zamanından bağımsızlıkları sağlanmıştır. Pratik stabilite domeninin pratik açıdan önemi çok büyüktür, şöyle ki, doğrultma, sönüm ve zorlama momentlerinin karşılaştırılmasını gerektiren yeter şartları ortaya koyar.

Domenin oluşturulmasıyla ilgili detaylı bilgiler referanslarda verilmiştir. Burada konu hakkında kısa bir özet verilecektir. Pratik stabilite domenini (Şekil 4.1) oluşturan ve herbiri enerji tipi fonksiyon olan bu eğriler,

$$\begin{aligned}
 \text{I} & : \quad \frac{1}{2} \dot{\Phi}^2 + \left| \int_0^{\Phi} g(\Phi) d\Phi \right| + A_1 \Phi = C_1 = \text{sabit} \\
 \text{II} & : \quad \frac{1}{2} \dot{\Phi}^2 + \left| \int_0^{\Phi} g(\Phi) d\Phi \right| - A_1 \Phi = C_2 = \text{sabit} \\
 \text{III} & : \quad \frac{1}{2} \dot{\Phi}^2 + \left| \int_0^{\Phi} g(\Phi) d\Phi \right| = C_3 = \text{sabit}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

I ve II eğrilerinin, zaman ilerledikçe küçük değerlere yöneldiği gözlenmiştir. Bunun anlamı, hareketin yörüngesinin bu eğrileri içeriden dışarıya doğru kesemeyeceğidir, yani, domenin içinde başlayan hiçbir hareket I ve II eğrileri boyunca domeni terk edemez. Buna karşılık III eğrisi ilerleyen zamanla birlikte büyük değerlere yönelir. Bunun sonucu, hareket bu eğri üzerinden domeni terk eder. Böyle bir durumda III eğrisi yerine III' eğrisi düşünülür ve bunun x eksenine ile kesişmesi, x_2 , müsaade edilebilir maksimum yalpa açısı olarak alınır. Yalpa açısal hızı bu açıdan önce sıfır olmalıdır. Bazı durumlarda, II' eğrisi I eğrisinden sonra bütün domeni sınırlayabilir. Bu halde III eğrisinin varlığı düşünülemez ve hareket yörüngesinin domeni terk etmesi gibi bir tehlike de söz konusu değildir.

Yukarıda pratik stabilite domeninin birinci kuadrantı için anlatılanlar üçüncü kuadrant için de geçerlidir. İkinci ve dördüncü kuadrantlar ise yakınsak bölgelerdir dolayısıyla buralarda devrilme tehlikesi yoktur. Burada, sürekli eğri parçaları başlangıç zamanı ve hareketin başlangıç durumundan bağımsız elde edilmiştir. Eğer böyle olmasaydı, mümkün olan her başlangıç zamanı ve durumu için domeni sınırlayan farklı eğriler bulunur ve incelemenin genelliği bozulmuş olurdu.



Şekil 4.1. Pratik Stabilite Domeni

Pratik Stabilite Domeninin Oluşturulması

x eksenini yalpa açısı (Φ), y eksenini yalpa açısal hızı ($\dot{\Phi}$) alınmak üzere, domeni oluşturan P_0 , P_1 , P_2 ve P_3 noktalarının bulunuşu şu şekilde verilmiştir (ÖZKAN, 1981).

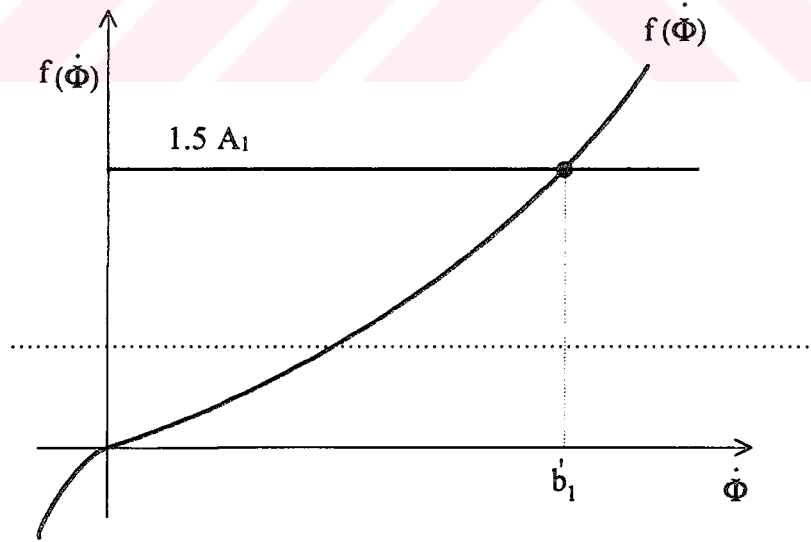
$P_0 (x_0, y_0)$ Noktası :

$$x_0 = 0$$

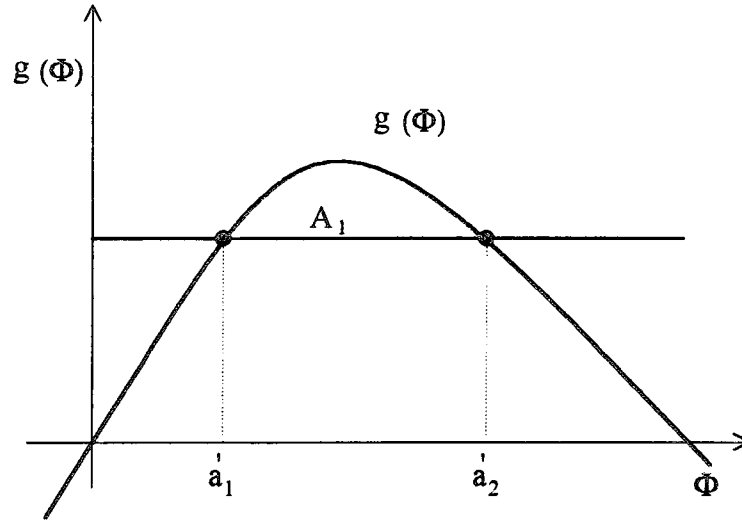
$$y_0 = \sqrt{(b_1')^2 + 3A_1 a_1'} \quad (4.6)$$

b_1' : Sönüm momenti fonksiyonu ile $1.5 A_1$ doğrusunun kesiştiği nokta (Şekil 4.2)

a_1' : Doğrultma momenti eğrisi ile A_1 doğrusunun ilk kesiştiği nokta (Şekil 4.3)



Şekil 4.2. Sönüm Momenti İle Zorlama Momentinin Kesişimi



Şekil 4.3. Doğrultma Momenti İle Zorlama Momentinin Kesişimi

P₁ (x₁, y₁) Noktası :

$$\int_0^{\Phi_1} g(\Phi) d\Phi + \frac{1}{2}A_1\Phi_1 - \frac{3}{2}A_1 - a_1' = \quad (4.7)$$

x₁ ; (4.7) denkleminin en küçük pozitif kökü olan Φ₁ , olarak alınır.

$$y_1 = b_1' \quad (\text{Şekil 4.2})$$

P₂ (x₂, y₂) Noktası :

$$x_2 = x_1 + \frac{\int_{\Phi_1}^{\Phi_v} g(\Phi) d\Phi}{A_1} - \frac{(b_1')^2}{2 A_1} \quad (4.8)$$

Φ_v = Devrilme açısı

$$\Phi_2 = x_2$$

$$y_2 = \sqrt{2 \int_{\Phi_2}^{\Phi_v} g(\Phi) d\Phi} \quad (4.9)$$

P₃ (x₃, y₃) Noktası :

$$x_3 = \Phi_v$$

$$y_3 = 0$$

Noktalar bulunduktan sonra domen çizilir ve III. bölgenin oluşma durumuna göre geminin emniyetli bölgede kalıp kalmadığına karar verilir.

4.3.3. ÜNİFORM SINIRLILIK ŞARTININ UYGULANMASI

Üniform sınırlılık şartı açılal hızın sıfır ve açılal yer değıştirmenin sıfırdan farklı olduğu durumlar içindir. Bu noktada hareketin ters yönde tekrar başlayabilmesi için açılal ivmenin, o andaki yalpa hareketi yönüne göre ters işaret alması gerekir. Sonuç olarak, doğrultma momentinin maksimum değerine ulaştığı minimum yalpa açıları için aşağıdaki eşitsizlikler *pratik stabilite kriteri* olarak kabul edilmiştir.

$$\Phi_m > \frac{WM_1 + \sqrt{WM_1^2 + 10 \cdot \Delta \cdot GM(E_1 T' + 5 \Delta S)}}{5 \cdot \Delta \cdot GM}, \quad \Phi_m > 0 \quad (4.10)$$

$$\Phi_m < - \frac{WM_1 + \sqrt{WM_1^2 + 10 \cdot \Delta \cdot GM(E_1 T' + 5 \Delta S)}}{5 \cdot \Delta \cdot GM}, \quad \Phi_m < 0 \quad (4.11)$$

Burada ;

$$\Phi_m = \sqrt{\frac{C_{10}}{3C_{20}}} \quad [\text{radyan}]$$

$$\Delta = \text{Deplasman} \quad [\text{ton}]$$

$$WM_1 = \text{Rüzgar sağanağı momenti} \quad [\text{ton.metre}]$$

$$E_1 = |e_1(t)| \quad [\text{ton.metre}]$$

$$T' = \text{Çeyrek yalpa periyodu} (T_\phi / 4) \quad [\text{saniye}]$$

$$GM = \text{Başlangıç metasantr yüksekliği} \quad [\text{metre}]$$

$$S = GZ - \Phi \text{ eğrisinin altında kalan alan} \quad [\text{radyan.metre}]$$

$$(\Phi = 0 \text{ ve } \Phi = \Phi_m \text{ açıları arasında})$$

Pratik stabilite kriteri, bugünkü IMO kriteri ile tam bir uyum içindedir. Ayrıca bu kriter, geminin ve çevre şartlarının özelliklerini dikkate almasından dolayı IMO kriterine göre daha gerçekçidir.

4.4. YENİ GM KRİTERİ

Bu bölümde ÖZKAN (1982) tarafından bulunan ve çevre etkilerini de içine alan yeni bir GM kriteri verilecektir. Zorlanmış yalpa hareketi için yazılan denklem tekrar gözönüne alındığında :

$$\ddot{\Phi} = -f(\Phi) - g(\Phi) + e(t) + WM \quad (4.12)$$

Bu hareketi ilk denge konumundan başlayarak incelemek gerekir. Yalpa hareketi sırasında, bir yöndeki hareket (örneğin sancağa doğru) tehlikeli yalpa açısına gelmeden yön değiştirmelidir. Yani yalpa hızı $\dot{\Phi}$, yalpa ivmesinin ters işaret ve maksimum büyüklükte olduğu noktada sıfır olmalı ve böylece yalpa hareketini aksi yöne (iskele tarafa) yönlentmelidir. Yalpa ivmesi başlangıçta pozitif olarak düşünülürse, $\ddot{\Phi} > 0$

daha sonra da

$$\dot{\Phi} = 0, \quad \ddot{\Phi} < 0 \quad (4.13)$$

olması gerekir. (4.12) denklemini

$$\ddot{\Phi} \leq -f(\dot{\Phi}) - g(\Phi) + A_1 \quad (4.14)$$

ile de gösterilebilir.

$\dot{\Phi} = 0$ için (4.14) denkleminde

$$\ddot{\Phi} \leq -g(\Phi) + A_1$$

bulunur. Negatif ivme şartından

$$g(\Phi) > A_1 > 0 \quad (4.15)$$

elde edilir.

Beukelman ve Versluis'e göre, yalpa hızı, $g(\Phi)$ 'in maksimum değerine karşılık gelen yalpa açısı için sıfır olur. Böylece gemide, hem negatif ivme karşılanır hem de hareket denkleminde hesaplanamayan bazı ek pertürbasyonlara karşı gelebilme kabiliyeti oluşur. Daha önce maksimum GZ değeri için elde edilen $\Phi_m = \sqrt{C_{10}/(3C_{20})}$ değeri (4.15) eşitsizliğinde yerine koyulursa,

$$C_{10} > 3 \left(A_1^2 \cdot \frac{C_{20}}{4} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.16)$$

elde edilir.

$$C_{10} = \frac{C_{11}}{I+J} = \frac{\Delta \cdot GM}{I+J} \quad (4.17)$$

$$C_{20} = 4 \frac{\Delta}{(I + J)\Phi_m^3} (GM \Phi_m - GZ_{max}) \quad (4.18)$$

değerleri yerine konursa, yeni GM kriteri olarak ,

$$GM > \frac{1.89}{\Delta} \left[(E_1 + WM_1)^2 C_{22} \right]^{1/3} \quad (4.19)$$

bulunur.

Pratik Stabilite Kriterinin uygulanması için gerekli işlemleri içeren tablolar Ek-1 verilmiştir.

5. İSTATİSTİKSEL METODLAR YARDIMIYLA YAKLAŞIK STABİLİTE HESABI

Öndizayn aşamasında, geminin sadece ana boyutlarını kullanarak stabilite hesabı için bugüne kadar muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Bunların başında L. Kupras & W. Majewski 'nin SERİ-60 gemileri için hazırladığı grafikler, P. Casella 'nın regresyon analizi ile yaptığı çeşitli çalışmalar ile C_{RS} diyagramları gelir.

Bu bölümde de belirli seriler incelenerek balıkçı ve yük gemilerinin stabilite çapraz eğrileri, KB ve BM değerlerinin hesabı için regresyon analizi yardımıyla formülasyonlar çıkarılmıştır. Çalışmada istatistiksel metod olarak, polinomial regresyon ile multiple lineer regresyon modelleri kullanılmıştır. Bunun için önce bu regresyon modelleri hakkında kısaca bilgi verilecek daha sonra ise stabilite hesabına uygulanması yapılacaktır.

5.1. REGRESYON ANALİZİ

Bir veya daha fazla bağımsız değişken ile bir bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi, matematiksel bir denklem yardımıyla ifade etmeye regresyon analizi denir. Ancak regresyon analizi bu ilişkinin yönü ve derecesi hakkında kesin bir bilgi sağlayamamaktadır. Bunun için bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden korelasyon analizine gerek vardır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki bu ilişki korelasyon katsayısı ile ifade edilir. Korelasyon katsayısının 0' a yakın olduğu durumlarda ilişkinin zayıf, 1' e yakın olduğu durumlarda ise kuvvetli olduğu anlaşılır.

5.1.1. MULTIPLE (ÇOKLU) LİNEER REGRESYON

Birden fazla bağımsız değişken ile ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) bir bağımlı değişken (Y) arasındaki ilişkiyi ifade etmek için çoklu regresyon modeli kullanılır. Çoklu analiz, birden fazla faktörün etkisini birarada inceleme imkanı verdiği için basit analize nazaran daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu analizde, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle arasındaki doğrusal ilişkinin bulunduğu varsayımından yola çıkılır. Elde edilmeye çalışılan regresyon denkleminin genel hali,

$$Y_i = a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + a_3 X_{3i} + \dots + a_p X_{pi} + \epsilon_i \quad (5.1)$$

şeklinde doğrusal bir fonksiyondur.

Burada,

p = bağımsız değişken sayısı

a_0 = Noktaların Y eksenini kestiği yer,

$a_1 = X_1$ ile Y ' nin değişimi, X_2, X_3, \dots, X_p sabit

$a_2 = X_2$ ile Y ' nin değişimi, X_1, X_3, \dots, X_p sabit

$a_p = X_p$ ile Y ' nin değişimi, X_1, X_2, \dots, X_{p-1} sabit

ϵ_i = gözlenen i adet olay için Y ' deki tesadüfi hatayı göstermektedir.

Bağımsız değişken sayısından bir fazla regresyon katsayısı (a_0, a_1, \dots, a_p) vardır. Bu katsayıların herbiri, bağımsız değişkende meydana gelebilecek bir değişikliğin bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. (5.1) ifadesi matris formunda yazılırsa,

$$Y = X a + \epsilon \quad (5.2)$$

$Y = n \times 1$, Y , gözlemlerinin kolon matrisi ($i = 1, 2, \dots, n$)

$X = n \times (p+1)$, bağımsız değişkenler matrisi

$a = (p+1) \times 1$, katsayılar kolon matrisi ($a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$)

$\epsilon = n \times 1$, hata terimleri kolon matrisi

Gözlenen n adet olayın datalarını alarak, en küçük kareler metodunu yardımıyla a katsayıları hesaplanır. Şöyle ki; önce (5.2) denkleminin her iki tarafı X matrisinin transpozu (X') ile çarpılır.

$$X' X a = X' Y \quad (5.3)$$

Daha sonra katsayılar matrisini bulmak için her iki taraf ($X'X$) in tersi ile çarpılır.

$$a = (X' X)^{-1} X' Y \quad (5.4)$$

p adet bağımsız değişken ve n adet gözlenen olay için matrislerin açık formu aşağıdaki şekildedir.

$$\mathbf{X}_{n \times (p+1)} = \begin{bmatrix} 1 & X_{1_1} & X_{2_1} & \cdots & X_{p_1} \\ 1 & X_{1_2} & X_{2_2} & \cdots & X_{p_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1_n} & X_{2_n} & \cdots & X_{p_n} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1_i} & \sum_{i=1}^n X_{2_i} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{p_i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1_i} & \sum_{i=1}^n X_{1_i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1_i} X_{2_i} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{1_i} X_{p_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{p_i} & \sum_{i=1}^n X_{1_i} X_{p_i} & \sum_{i=1}^n X_{2_i} X_{p_i} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{p_i}^2 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{1_i} Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{p_i} Y_i \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix}$$

5.1.2. POLİNOMİAL REGRESYON

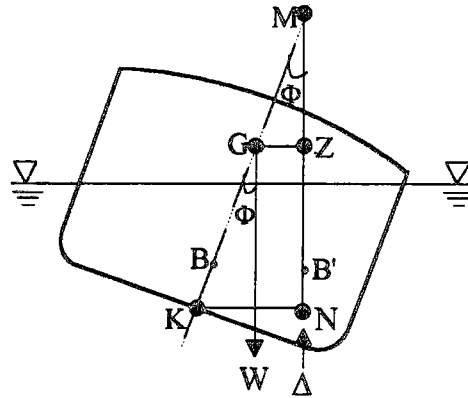
Biri bağımlı diğeri bağımsız iki değişken arasındaki nonlineer (polinomial) ilişkiyi incelemek amacıyla polinomial regresyon modeli kullanılır. Bu model,

$$Y_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 + a_3 X_i^3 + \dots + a_n X_i^n + \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.6)$$

şeklinde bir polinomdur. Her olay için $(n + 1)$ adet bilinmeyen regresyon katsayısı olacaktır (a_0, a_1, \dots, a_n) . Gerçek Y değerleri ile regresyon denkleminde bulunacak değerler arasındaki farkı minimum yapacak a_i katsayıları yine en küçük kareler yöntemiyle bulunur.

5.2. STABİLİTE PARAMETRELERİNİN REGRESYONLA ELDE EDİLMESİ

Öndizayn aşamasında gemi stabilitesi hakkında fikir sahibi olabilmek oldukça zordur. Çünkü bir geminin başlangıç stabilitesinin, gemi formu ve ağırlık merkezinin belli olmadan bulunması söz konusu değildir. Bu amaçla burada, bir geminin öndizayn aşamasında, stabilite çapraz eğrileri (KN-T) ile sephiye merkezinin düşey yerinin (KB) ve enine metasantr yarıçapının (BM) istatistiksel metodlarla yaklaşık olarak hesaplanmasına çalışılacaktır.



Şekil 5.1 Meyilli Bir Geminin Geometrik Yapısı

GM ve GZ değerlerinin

$$GM = KB + BM - KG = KM - KG \quad (5.7)$$

$$GZ = KN - KG \sin \Phi \quad (5.8)$$

olduğu bilinmektedir (Şekil 5.1). Bu bölümde, balıkçı ve yük gemileri için KB, BM ve KN- Φ değerleri gemi dizayn parametrelerine bağlı olarak modellenmiş olup, KG veya KG/D için önerilen yaklaşık ifadeler yardımıyla GM ve GZ- Φ nin hesaplanması mümkün olmaktadır. Modellemede, DOUST Optimum Trawler Serisi (DOUST, 1963) ve SERİ-60 (KAFALI, 1971) gemi formu esas alınmıştır.

Regresyon Analizinde Kullanılan Balıkçı Gemilerinin Özellikleri

Burada Doust Optimum Trawler Serisi esas alınmıştır. Balıkçı gemileri için geliştirilen bu serinin, optimum dizayn aralığı aşağıda verilmiştir.

$$4.4 < L / B < 5.8$$

$$2.0 < B / T < 2.6$$

$$0.582 < C_p < 0.650$$

Ancak diğer balıkçı serilerinin de dizayn aralığı gözönünde bulundurulduğundan verilen aralık, aşağıdaki sınırlara genişletilmiştir.

$$3.0 < L / B < 6.0$$

$$2.0 < B / T < 3.0$$

$$0.582 < C_p < 0.650$$

$$1.25 < D / T_h < 3.5$$

Gemi boyunun enine stabiliteye etkisi ihmal edilecek derecede olduğundan boy sabit alınmış ($L = 25$ m.) ve dizayn diyagramları yardımıyla toplam 175 adet balıkçı gemisi üretilmiştir. Burada her L/B , B/T ve C_p aralığının gözönünde bulundurulmasına dikkat edilmiştir. Şöyle ki, $L = 25$ m. alınmak üzere, L/B değeri 0.5 aralıkla artırılmış, her bir L/B için B/T değeri 0.25, her B/T için C_p değeri 0.017 aralıklarla artırılarak toplam 175 adet gemi formu oluşturulmuştur. Elde edilen bu gemi formlarının hidrostatik ve stabilite hesapları, gemi formunun tiriz eğrileri (Cubic Spline) ile matematik modellenmesi esasına dayalı bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Bu seri için dizaynda kolaylık açısından C_p ile C_B arasında aşağıdaki bağıntı regresyon analizi yardımıyla bulunmuştur.

$$C_B = 1.40923 * C_p^{2.0107} \quad (5.9)$$

Dolayısıyla C_B aralığı 0.48 - 0.57 arasındadır.

Analizde Kullanılan Yük Gemilerinin Özellikleri

Yük gemileri için ise SERİ-60 formu esas alınmış olup, dizayn aralığı aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

$$5.0 < L / B < 7.5$$

$$2.25 < B / T < 3.0$$

$$0.60 < C_B < 0.80$$

$$1.3 < D / T_h < 4.0$$

Burada da Doust Serisinde olduğu gibi dizayn diyagramları yardımıyla toplam 72 adet Seri-60 gemisi üretilmiştir. $L = 120$ m. alınmak üzere, L/B değeri 0.5 aralıkla artırılmış, her bir L/B için B/T değeri 0.25, her B/T için C_B değeri 0.01 aralıklarla artırılarak toplam 72 adet gemi formu oluşturulmuştur. Bu gemi formlarının da hidrostatik ve stabilite hesapları bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır.

5.2.1. STABİLİTE ÇAPRAZ EĞRİLERİNİN HESABI

KN - Φ değerlerini gemi dizayn parametreleri cinsinden modelleyecek olduğumuz için önce KN değerlerinin boyutsuzlaştırılması gerekiyor. Bu amaçla KN değerlerini enine stabiliteyi en fazla etkileyen parametrelerden birisi olan B (gemi kalıp genişliği) ile bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Önce KN- Φ eğrisi için polinomial regresyon yardımıyla 5. derece eğri intibakı yapılmış en küçük kareler yöntemi ile a_i katsayıları bulunmuştur.

$$\frac{KN}{B} = \sum_{i=1}^5 a_i * \Phi^i \quad (5.10)$$

Φ : radyan olarak açı değeri

Herbir gemi için bu model kurularak a_i katsayıları bulunur. Böylece KN/B değerleri açıya bağlı olarak 5. derece polinomla ifade edilmiş olur. İkinci adım olarak bulunan bu a_i katsayılarını enine stabiliteyi etkileyen gemi dizayn parametrelerine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bunun için multiple lineer regresyon modeli olarak ,

$$a_i = \sum_{j=0}^5 \sum_{i=1}^5 b_{ij} * X_j \quad (5.11)$$

formülasyonu kullanılmış. Burada,

$$X_0 = 1$$

$$X_1 = B/T$$

$$X_2 = C_B$$

$$X_3 = (B/T)^2$$

$$X_4 = (C_B)^2$$

$$X_5 = (B/T)*C_B$$

olarak tanımlanmıştır.

Her yükleme durumu için bu modeller kurularak b_{ij} katsayıları hesaplanmıştır. Farklı su çekimlerinde sadece draftın değiştiğini gözönüne alınmış, diğer parametrelerin dizayn aşamasında hesap edebilmesi zor olduğundan sabit tutulması tercih edilmiştir. Dolayısıyla, farklı su çekimlerindeki b_{ij} katsayılarının farklılığı sadece fribord değişikliğine yani yükseklik-su çekimi (D/T_h) parametresine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bunun için aşağıdaki polinomial regresyon modeli kullanılmıştır.

$$\delta = (D/T_h)$$

$$b_{ij} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=0}^5 \sum_{k=0}^3 c_{ijk} * \delta^k \quad (5.12)$$

Sonuçta elde edilen katsayılar (c_{ijk}) balıkçı ve yük gemileri için ayrı ayrı olmak üzere Tablo-5.1 ve Tablo-5.2 de verilmiştir. Bu regresyon katsayıları ile önce b_{ij} katsayıları hesaplanacak, ardından bunlarla a_i katsayıları hesaplanıp KN/B değerleri elde edilecektir. İstenilen herhangi bir su çekimindeki KN değeri, sadece draftı (T_h) değiştirmek suretiyle hesaplanabilir. Tabloların kullanılması ile ilgili uygulama Örnek 5.1 de verilmiş olup diğer örnekler grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 5.2.a,b,c).

5.2.2. KB ve BM DEĞERLERİNİN HESABI

KB ve BM ifadeleri için aşağıda verilen bağıntılar yine aynı gemiler kullanılarak regresyon analizi yardımıyla çıkartılmıştır.

$$KB = K_0 + K_1 * T + K_2 * CB$$

$$BM = L_0 + L_1 * B^2 T^{-1} + L_2 * C_B^{-1}$$

$$KM = KB + BM$$

$$r = T_h / T$$

K_i ve L_i katsayılarının hesabı Tablo-5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.1 Balıkçı Gemilerinin KN Hesabı İçin Bulunan Regresyon Katsayıları

KN = (a ₁ *Φ + a ₂ *Φ ² + a ₃ *Φ ³ + a ₄ *Φ ⁴ + a ₅ *Φ ⁵) * B					
a _i = b _{i0} X ₀ + b _{i1} X ₁ + b _{i2} X ₂ + b _{i3} X ₃ + b _{i4} X ₄ + b _{i5} X ₅ , (i = 1..5)					
b _{ij} = c _{ij0} + c _{ij1} * δ + c _{ij2} * δ ² + c _{ij3} * δ ³ , (i = 1..5, j = 0..5)					
PARAMETRELER					
δ = D/T _h					
X ₀ =1	X ₁ =B/T	X ₂ =C _B	X ₃ =(B/T) ²	X ₄ =(C _B) ²	X ₅ =(B/T)*C _B
KATSAYILAR	c _{ij0}	c _{ij1}	c _{ij2}	c _{ij3}	
a ₁	b ₁₀	14.5172501	-17.8008728	7.5667949	-1.042955
	b ₁₁	-1.73563	1.569453	-0.520218	0.0745
	b ₁₂	-46.4183998	62.1762314	-27.2468872	3.726969
	b ₁₃	0.102047	0.022313	-0.043447	0.006282
	b ₁₄	35.5253868	-46.4774857	20.1749229	-2.7307019
	b ₁₅	3.617754	-5.2879171	2.390862	-0.333715
a ₂	b ₂₀	-80.6810608	112.7469711	-48.6240692	6.6505051
	b ₂₁	7.1590362	-5.667284	0.867526	-0.051304
	b ₂₂	301.111908	-439.7095642	195.6117096	-26.8394775
	b ₂₃	-1.3853641	1.293882	-0.361266	0.044145
	b ₂₄	-248.5213165	365.4917908	-164.5311432	22.7874928
	b ₂₅	-14.1387186	18.9097271	-7.2177849	0.86849
a ₃	b ₃₀	148.3458405	-210.1337585	89.8345795	-12.1888771
	b ₃₁	-16.0901852	11.8403053	-0.448405	-0.212438
	b ₃₂	-551.770874	832.3674316	-375.989502	51.963047
	b ₃₃	5.0605221	-5.8943892	2.092562	-0.267934
	b ₃₄	481.3587341	-739.2073364	342.3785095	-48.2359734
	b ₃₅	10.6843309	-9.9063654	0.40709	0.350228
a ₄	b ₄₀	-104.2366714	148.2158508	-62.6737823	8.4583225
	b ₄₁	13.6007147	-9.7872782	-0.241007	0.316934
	b ₄₂	386.0307312	-596.3937378	273.3545227	-38.092617
	b ₄₃	-5.4843469	6.8462920	-2.582936	0.336006
	b ₄₄	-358.770813	567.0877075	-268.7218628	38.3925323
	b ₄₅	4.1112132	-11.6563339	9.1376047	-1.654003
a ₅	b ₅₀	24.8396835	-35.4220467	14.8201799	-1.9939801
	b ₅₁	-3.832206	2.73825	0.162629	-0.110723
	b ₅₂	-92.2407227	145.6906891	-67.730011	9.5224199
	b ₅₃	1.835368	-2.3760321	0.926898	-0.121925
	b ₅₄	92.087822	-148.9453278	71.9032059	-10.3954964
	b ₅₅	-4.080019	7.7277851	-4.6635389	0.764305

Tablo 5.2 Yük Gemilerinin KN Hesabı İçin Bulunan Regresyon Katsayıları

KN = (a ₁ *Φ + a ₂ *Φ ² + a ₃ *Φ ³ + a ₄ *Φ ⁴ + a ₅ *Φ ⁵) * B					
a _i = b _{i0} X ₀ + b _{i1} X ₁ + b _{i2} X ₂ + b _{i3} X ₃ + b _{i4} X ₄ + b _{i5} X ₅ , (i = 1..5)					
b _{ij} = c _{ij0} + c _{ij1} * δ + c _{ij2} * δ ² + c _{ij3} * δ ³ , (i = 1..5, j = 0...5)					
PARAMETRELER δ = D/T _h					
X ₀ =1 X ₁ =B/T X ₂ =C _B X ₃ =(B/T) ² X ₄ =(C _B) ² X ₅ =(B/T)*C _B					
KATSAYILAR		c _{ij0}	c _{ij1}	c _{ij2}	c _{ij3}
a ₁	b ₁₀	-2.328721	4.109446	-1.458433	0.135208
	b ₁₁	2.7176011	-3.7459781	1.346525	-0.133742
	b ₁₂	-5.640604	5.9653101	-2.0557871	0.217996
	b ₁₃	-0.463889	0.637674	-0.226011	0.02208
	b ₁₄	2.4280641	-2.32	0.79	-0.09
	b ₁₅	1.093691	-1.27	0.414975	-0.035071
a ₂	b ₂₀	22.5709782	-27.5025177	9.0520239	-0.848615
	b ₂₁	-19.2960434	24.8983822	-8.9512663	0.9000410
	b ₂₂	43.6928787	-54.3868904	19.7978153	-2.0050039
	b ₂₃	3.2551651	-4.1215510	1.4452870	-0.141919
	b ₂₄	-15.8642073	20.8922825	-8.4083624	0.9330740
	b ₂₅	-9.6790333	10.6877041	-3.1254189	0.2493200
a ₃	b ₃₀	-33.9210129	43.5133514	-15.4380951	1.5397570
	b ₃₁	34.5508957	-45.9262848	17.3117657	-1.7913671
	b ₃₂	-112.5512314	138.0263214	-48.5799599	4.7674332
	b ₃₃	-6.0273480	7.6215482	-2.7455750	0.2751660
	b ₃₄	41.3596191	-54.7687721	21.5472584	-2.3041141
	b ₃₅	22.0774574	-23.5519733	6.4776769	-0.495855
a ₄	b ₄₀	17.9575615	-25.8523769	10.4469032	-1.123475
	b ₄₁	-24.5100555	33.5393486	-13.2638168	1.4098220
	b ₄₂	106.3145676	-127.4342575	43.5028267	-4.1845388
	b ₄₃	4.3861742	-5.5597191	2.0627539	-0.211117
	b ₄₄	-41.0330238	52.9008255	-20.1190681	2.0991681
	b ₄₅	-18.532402	19.2739754	-5.0635400	0.3731160
a ₅	b ₅₀	-3.0071299	5.2702050	-2.5158949	0.2918600
	b ₅₁	6.1575360	-8.6395311	3.5595591	-0.386909
	b ₅₂	-32.9535446	38.8108673	-12.9639368	1.2306970
	b ₅₃	-1.1196010	1.4227591	-0.5420130	0.0565360
	b ₅₄	13.3107338	-16.780735	6.2203908	-0.638607
	b ₅₅	5.2263680	-5.3240919	1.3463060	-0.095566

Tablo 5.3. KB ve BM Değerlerini Hesaplamak İçin Kullanılan Katsayılar

Balıkçı Gemileri İçin	
$K_0 = 0.074972 + 0.093775 * r$	$L_0 = - 0.813763 + 1.19652 * r^{-1}$
$K_1 = 0.010041 + 0.575977 * r$	$L_1 = 0.030499 + 0.057877 * r^{-1}$
$K_2 = - 0.141681 - 0.177096 * r$	$L_2 = 0.429173 - 0.630848 * r^{-1}$
Yük Gemileri İçin	
$K_0 = - 0.030061 + 0.627018 * r$	$L_0 = - 2.539187 + 2.869644 * r^{-1}$
$K_1 = - 0.001521 + 0.531052 * r$	$L_1 = 0.011597 + 0.067315 * r^{-1}$
$K_2 = 0.042851 - 0.896990 * r$	$L_2 = 1.755527 - 1.983855 * r^{-1}$

Örnek 5.1*Verilen Ana Değerler :*

Gemi Tipi	: Balıkçı Gemisi
Gemi Boyu (L)	: 25 [m]
Gemi Genişliği (B)	: 5 [m]
Gemi Yüksekliği (D)	: 2.8 [m]
Dizayn Draftı (T)	: 2 [m]
Hesap Draftı (T _h)	: 2 [m]
Blok Katsayısı (C _B)	: 0.50

Hesaplama :

$$KN = (a_1 * \Phi + a_2 * \Phi^2 + a_3 * \Phi^3 + a_4 * \Phi^4 + a_5 * \Phi^5) * B$$

$$a_i = b_{i0} X_0 + b_{i1} X_1 + b_{i2} X_2 + b_{i3} X_3 + b_{i4} X_4 + b_{i5} X_5 \quad (i = 1..5)$$

$$b_{ij} = c_{ij0} + c_{ij1} * \delta + c_{ij2} * \delta^2 + c_{ij3} * \delta^3 \quad (i = 1..5, j = 0..5)$$

Regresyon Parametreleri :

$$X_0 = 1$$

$$X_1 = B/T = 2.5$$

$$X_2 = C_B = 0.50$$

$$X_3 = (B/T)^2 = 6.25$$

$$X_4 = (C_B)^2 = 0.25$$

$$X_5 = (B/T) * C_B = 1.25$$

$$\delta = (D / T_1) = 1.4$$

Önce Tablo 5.1 deki c_{ijk} katsayıları ile b_{ij} katsayıları hesaplanır. Şöyle ki,

$$\begin{aligned} b_{10} &= 14.5172501 - 17.8008728 * (1.4) + 7.5667949 * (1.4)^2 - 1.042955 * (1.4)^3 \\ &= 1.5650775 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{11} &= -1.73563 + 1.569453 * (1.4) - 0.520218 * (1.4)^2 + 0.0745 * (1.4)^3 \\ &= -0.3535951 \end{aligned}$$

Diğer b_{ij} katsayıları da aynı şekilde hesaplanır.

$$b_{12} = -2.5487721 \quad b_{13} = 0.0653669 \quad b_{14} = 2.5067098 \quad b_{15} = -0.0149544$$

Daha sonra bu b_{ij} katsayıları ile a_1 katsayısı hesaplanır.

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.5650775 - 0.3535951*(2.5) - 2.5487721*(0.5) + 0.0653669*(6.25) + 2.5067098*(0.25) - 0.0149544*(1.25) \\ &= 0.4232311 \end{aligned}$$

Hesaplanan diğer b_{ij} ve a_i katsayıları aşağıdadır.

$$b_{20} = 0.1105087 \quad b_{21} = 0.7844114 \quad b_{22} = -4.7300563$$

$$b_{23} = -0.1608767 \quad b_{24} = 3.2150290 \quad b_{25} = 0.5711774$$

$$a_2 = 0.2187585$$

$$b_{30} = -3.2119238 \quad b_{31} = -0.9755616 \quad b_{32} = 19.1907063$$

$$b_{33} = 0.1745879 \quad b_{34} = -14.8291674 \quad b_{35} = -1.4256583$$

$$a_3 = -0.4536654$$

$$b_{40} = 3.6345427 \quad b_{41} = 0.2958186 \quad b_{42} = -17.6717777$$

$$b_{43} = -0.0400923 \quad b_{44} = 13.8062344 \quad b_{45} = 1.1634666$$

$$a_4 = 0.1935152$$

$$\begin{aligned}
 b_{50} &= -1.1751102 & b_{51} &= 0.0162729 & b_{52} &= 5.1049404 \\
 b_{53} &= -0.0089190 & b_{54} &= -4.0305953 & b_{55} &= -0.3044032 \\
 a_5 &= -0.0258545
 \end{aligned}$$

$$KN = (0.4232311 * \Phi + 0.2187585 * \Phi^2 - 0.4536654 * \Phi^3 + 0.1935152 * \Phi^4 - 0.0258545 * \Phi^5) * 5$$

$$\phi = \Phi * \pi / 180$$

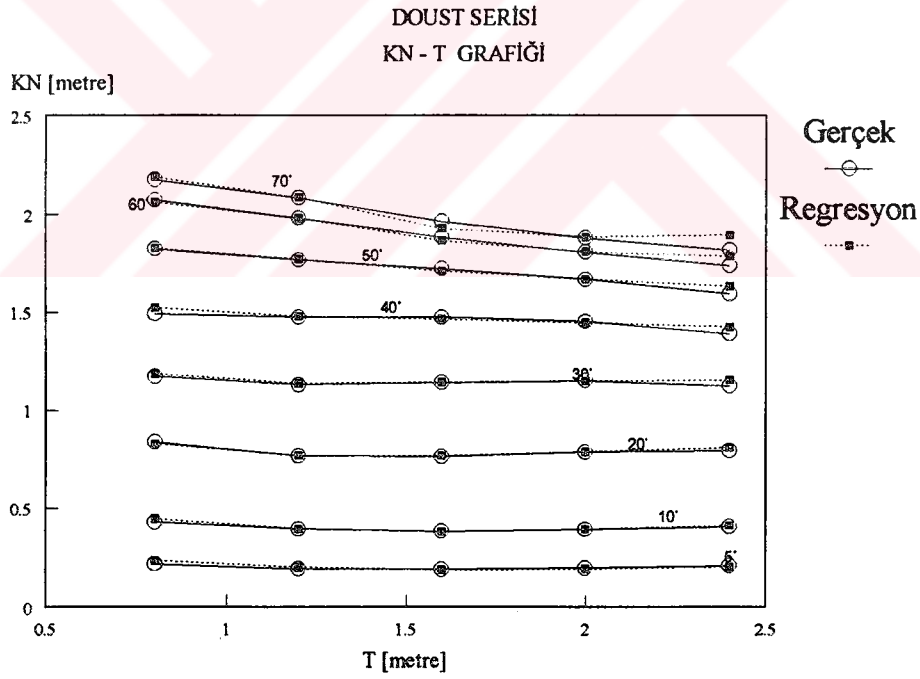
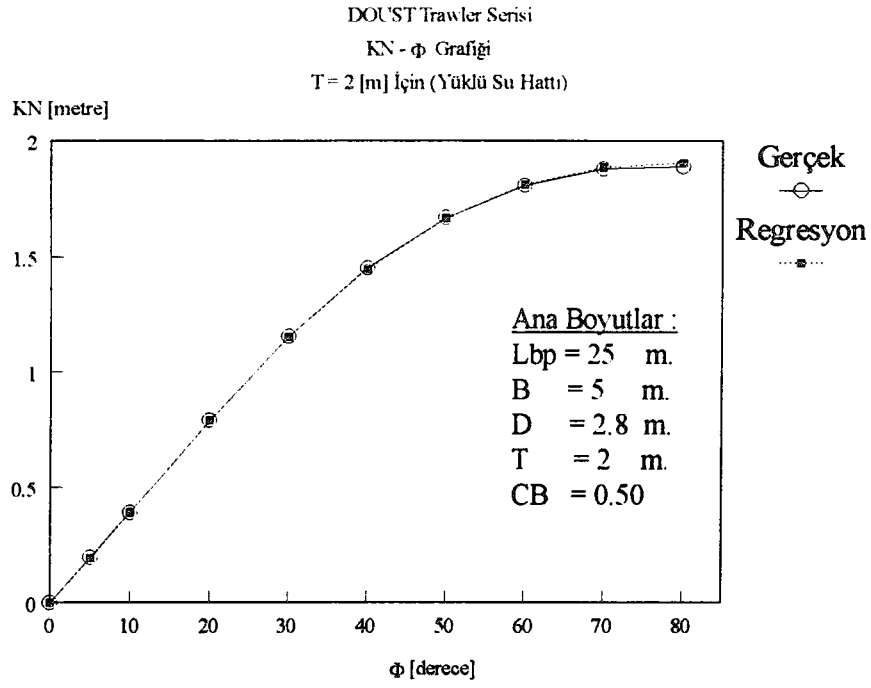
Tablo 5.4 Örnek 5.1 için KN- Φ Değerleri

ϕ (Derece)	KN (metre) Regresyon	KN (metre) Gerçek	Hata (%)
0	0	0	0
5	0.1915	0.195658	2.1
10	0.3915	0.390773	0.2
20	0.7892	0.78831	0.1
30	1.1499	1.151875	0.2
40	1.4470	1.452122	0.4
50	1.6679	1.668422	0.1
60	1.8114	1.807472	0.2
70	1.8853	1.879223	0.3
80	1.9040	1.887926	0.9

$T_h / T = 1$ için hesaplanan KB ve BM değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması Tablo 5.5 de görülmektedir.

Tablo 5.5 Örnek 5.1 için verilen geminin KB ve BM değerleri

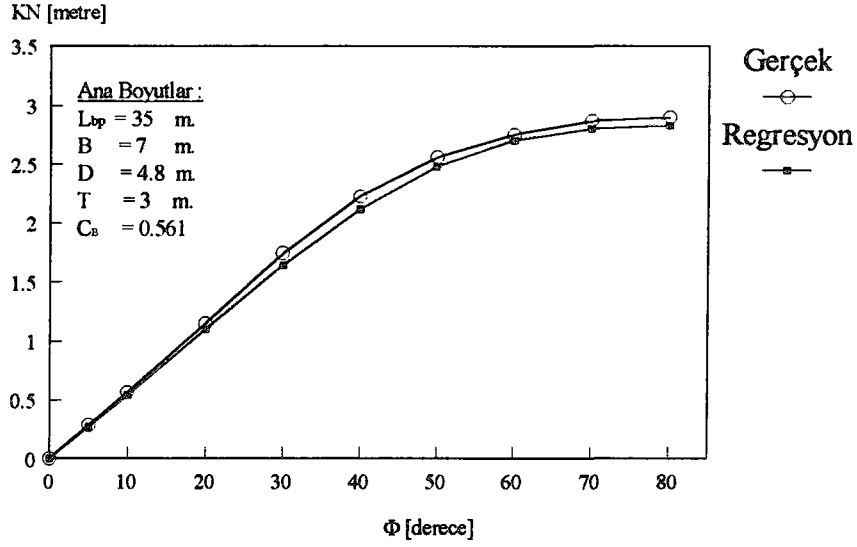
	Gerçek	Regresyon	Hata (%)
KB [m]	1.175	1.181	5.1
BM [m]	1.067	1.084	1.6

Şekil 5.2 a) Örnek DOUST Balıkçı Gemisinin KN- ϕ ve KN-T Grafiği

BSRA BALIKÇI SERİSİ

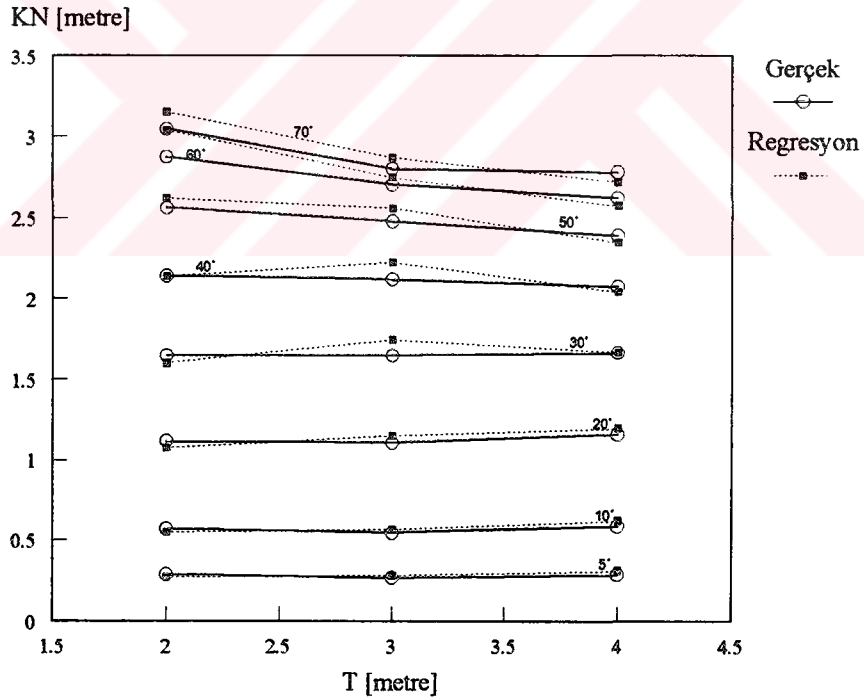
KN - Φ Grafiği

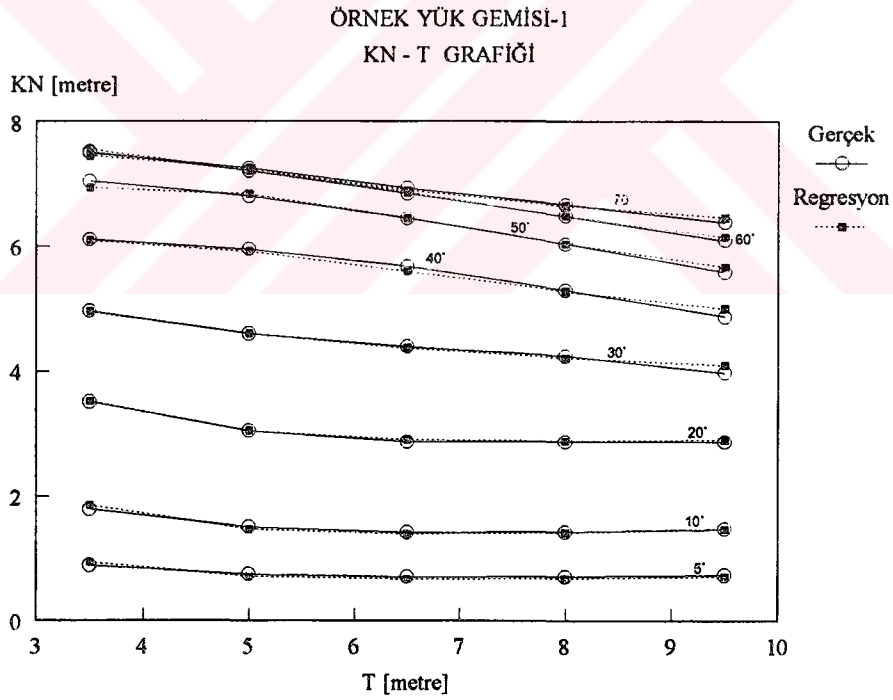
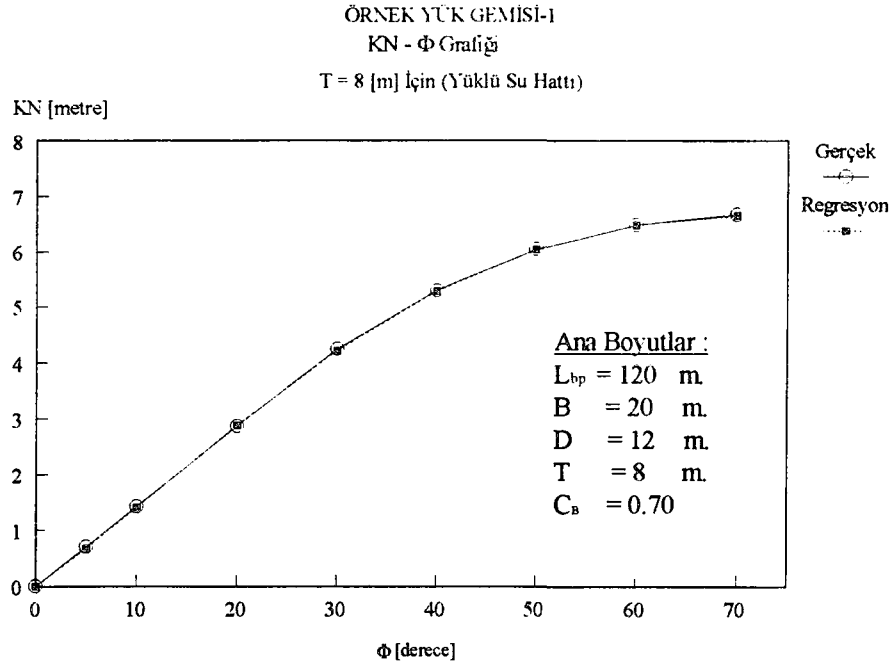
T = 3 [m] İçin (Yüklü Su Hattı)



BSRA BALIKÇI SERİSİ

KN - T GRAFİĞİ

Şekil 5.2 b) Örnek BSRA Balıkçı Gemisinin KN- ϕ ve KN-T Grafiği

Şekil 5.2 c) Örnek Yük Gemisinin KN- ϕ ve KN-T Grafiği

6. PRATİK STABİLİTE KRİTERİNİN UYGULANMASI

Bu bölümde iki adet balıkçı gemisine Pratik Stabilité Kriterinin uygulanması yapılmıştır. Bunlardan ilki verilen dizayn aralıkları içinde kalmak şartıyla sadece dizayn parametreleri yardımı ile stabilite hesabı yapılan balıkçı gemisidir. Bu geminin dört değişik dalga yüksekliğindeki durumu incelenmiştir.

İkinci olarak ise, 1974 Şubat 'ında Norveç'in kuzey açıklarında ağır hava şartlarında batan "M/V GAUL" adlı balıkçı gemisidir (MORRAL,1980). Bu geminin sadece batma anındaki gerçek değerleri alınarak Pratik Stabilité Kriteri uygulanmış ve mevcut IMO Kriteri ile karşılaştırılmıştır.

ÖRNEK 6.1.

Geminin Ana Boyutları :

L_{BP}	=	35	m.
B	=	7.0	m.
T	=	2.6	m.
D	=	3.63	m.
KG	=	2.36	m.
CB	=	0.55	
Δ	=	359.1087	ton

Önce Tablo-5.1 yardımıyla $KN-\Phi$ değerleri hesaplanmış daha sonra KG/D oranı 0.65 alınmak suretiyle $GZ-\Phi$ değerlerine geçilmiştir. İşlem kolaylığı açısından ilk durum için hesaplar tablolar yardımıyla yapılmıştır.

I. DURUM

$H_w = 1$ [m] için

GEMİNİN ANA BOYUTLARI			
Geminin Adı	35 m. BALIKÇI GEMİSİ		
Boy (Kaimeler Arası)	L_{BP}	35	m.
Genişlik	B	7	m.
Draft	T	2.6	m.
Yükseklik	D	3.63	m.
Ağırlık Merkezinin Düşey Yeri	KG	2.36	m.
Blok Katsayısı	CB	0.55	
Deplasman	Δ	359.1087	ton
HESAP PARAMETRELERİ			
Önce GZ - Φ Eğrisi Çizilir ve Üzerinden Gerekli Parametreler Okunur			
<p>Alan(30°)=0.1148 rad. Alan(40°)=0.1939 rad. Alan(30°-40°)=0.079 rad.</p>			
Başlangıç Metasantr Yüksekliği	GM	0.83869	m.
Maksimum GZ Değeri	GZ_{max}	0.4733	m.
GZ_{max} Tekabül Eden Açı Değeri	Φ_m	0.733	rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan ($\Phi = 0$ ile $\Phi = \Phi_m$ Arasında)	A_{Φ_m}	0.2	rad.m
Devrilme Açısı	Φ_v	1.6581	rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan	A_{Φ_v}	0.4618	rad.m
Rüzgar Basıncı	P	0.48	kN/m ²
Rüzgara Açık Yan Projeksiyon Alanı	A	46.86501	m ²
Rüzgar Moment Kolu	h	0.812	m.
Dalga Yüksekliği	H_w	1	m.
Dalga Peryodu	T_w	10	san.
Yalpa Peryodu	T_ϕ	10	san.

HESAPLAMALAR					
1. Kütle ve Eksü Kütle Atalet Momenti Hesabı					
$GF = KG - T$			-0.24		m
$K1 = (B^2 + 4 * GF^2) / 12$			4.10253		m ²
$I = K1 * \Delta / 9.81$			150.1789		ton.m.s ²
$LB = L / B$			5		
$TB = T / B$			0.37143		
$AK1 = -1.020198 + .496011 * LB - .04287 * LB^2$			0.38811		
$AK2 = (5.296516 - 2.250937 * LB + .193563 * LB^2) * TB$			-0.41566		
$AK3 = (-7.500317 + 2.913968 * LB - .24222 * LB^2) * TB^2$			0.13989		
$AK4 = (3.164722 - 1.284722 * LB + .114778 * LB^2) * CB$			-0.21419		
$AK5 = (-12.739028 + 5.332778 * LB - .489306 * LB^2) * TB * CB$			0.34569		
$AK6 = (17.630556 - 6.855556 * LB + .602778 * LB^2) * TB^2 * CB$			-0.11972		
$AK7 = (-1.991468 + .925 * LB - .085119 * LB^2) * CB^2$			0.15293		
$AK8 = (7.647817 - 3.630952 * LB + .348214 * LB^2) * TB * CB^2$			-0.20242		
$AK9 = (-10.456349 + 4.52381 * LB - .416667 * LB^2) * TB^2 * CB^2$			0.07287		
$K2 = AK1 + AK2 + AK3 + AK4 + AK5 + AK6 + AK7 + AK8 + AK9$			0.14749		
$J = (K2 * B)^2 * \Delta / 9.81$			39.02397		ton.m.s ²
$IJ = (I + J)$			189.2029		ton.m.s ²
2. Sönüm Momenti Katsayılarının Hesabı $f_1(\Phi) = B_{11} * \Phi + B_{22} * \Phi^2$					
$B_{11} = c * IJ$	4.73	ton.m.s	$B_{22} = k * L * B^4$	84.035	ton.m.s ²
$c = 0.025$ Balıkçı ve Harp Gemileri $c = 0.031$ Yük Gemileri			$k = 0.001$ Balıkçı ve Harp Gemileri $k = 0.003$ Yük Gemileri		
3. Doğrultma Momenti Katsayıları $g_1(\Phi) = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$					
$C_{11} = \Delta * GM$			301.181		ton.m
$C_{22} = 4 * \Delta * (0.5 * GM * \Phi_v^2 - A_{\Phi_v}) / \Phi_v^4$			131.337		ton.m
4. Maksimum Dalga Zorlaması E_1					
$\lambda = 9.81 * T_w^2 / (2 * \pi)$			156.131		m
$E_1 = \pi * \Delta * H_w * GM / \lambda$			6.06		ton.m
5. Rüzgar Sağanağı Momenti WM_1					
$WM_1 = 1.5 * P * A * h / 9.81$			2.794		ton.m.
$Z_1 = E_1 + WM_1$			8.8539		ton.m

6. Zorlamalar İle Sönüm Fonksiyonunun Kesişim Yerinin Bulunması (b'_1)					
$1.5 * Z_1 = B_{11} * \Phi' + B_{22} * \Phi'^2$					
$b'_1 = [-B_{11} + ((B_{11})^2 + 4 * B_{22} * (1.5 * Z_1))^{0.5}] / (2 * B_{22})$		0.37039	rad/s		
<p>Sönümün b'_1 Noktasındaki Değeri</p> <p>$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$</p> <p>şeklinde hesaplanır.</p>					
$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$		13.28095	ton.m		
7. Zorlamalar İle Doğrultma Fonksiyonunun Kesişim Yerlerinin Bulunması					
<p>GZ - Φ eğrisi üzerine Z_1/Δ doğrusu çizilerek değerler okunur veya analitik yolla yani,</p> <p>$Z_1 = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$</p> <p>denkleminin çözümünden bulunur. Zorlamaların eğriyi ilk kestiği nokta a'_1 ikinci kestiği nokta a'_2 olarak alınır.</p>					
a'_1	0.0294	rad.	a'_2	1.6508	rad.
8. Pratik Stabilité Domeninin Noktalarının Bulunması					
Pratik Stabilité Domeni					

<p>$P_0(x_0, y_0)$ Noktasının Bulunması</p> <p>$x_0 = 0$ [rad]</p>		
$y_0 = [(b'_1)^2 + 3 * Z_1 * a'_1 / IJ]^{0.5}$	0.376	rad/s.
<p>$P_1(x_1, y_1)$ Noktasının Bulunması</p> <p>x_1 aşağıda verilen denklemin en küçük pozitif kökü olarak alınır.</p> $\int_0^{\Phi_1} g_1(\Phi) d\Phi + \frac{1}{2} * Z_1 * \Phi_1 - \frac{3}{2} Z_1 * a'_1 = 0$ <p>Bilenler yerine koyulduğunda 4.derece bir denklem oluşur. Bu denklem herhangi bir iteratif metod ile çözülebilir. Newton - Raphson Metodu ile çözülrse,</p> $F(\Phi) = C_{22} / 2 * \Phi^4 - C_{11} * \Phi^2 - Z_1 * \Phi + 3 * Z_1 * a'_1$ $F(\Phi)' = 2 * C_{22} * \Phi^3 - 2 * C_{11} * \Phi - Z_1$ $\Phi_1 = \Phi - F(\Phi) / F(\Phi)'$ <p>Bu işleme $\Phi_1 = \Phi$ veya</p> <p>$\Phi_1 - \Phi < 0.001$ olana kadar devam edilir.</p> <p>$x_1 = \Phi_1 = 0.0383$ [rad] olarak alınır.</p> <p>$y_1 = b'_1 = 0.370$ [rad/s] (6 nolu işlemde hesaplandı)</p>		

Eğri Parçalarının Hesabı C_1, C_2, C_3		
$C_1 = .5 * (b'_1)^2 + 3 * Z_1 * a'_1 / IJ = 0.071$		
$C_2 = .5 * (b'_1)^2 + (C_{11} * x_1 / 2 - C_{22} * x_1^4 / 4 - Z_1 * x_1) / IJ = 0.097$		
$C_3 = \Delta * A_{\Phi_v} / IJ = 0.877$		
$P_2 (x_2, y_2)$ Noktasının Hesabı		
$x_3 = \Phi_v = 1.6581$ [rad.] olmak üzere		
$x_2 = x_1 + [C_{11} * (x_3^2 - x_1^2) / 2 - C_{22} * (x_3^4 - x_1^4) / 4] / Z_1 - (b'_1)^2 * IJ / (2 * Z_1)$		
$x_2 = 17.27$ [rad]		
$x_2 > x_3$ olduğundan II. eğri III. bölgeyi de kaplar ve III. bölge oluşmaz .		
$(C_2 - ((C_{11}/2 * (x'_2)^2 - C_{22}/4 * (x'_2)^4 + Z_1 * (x'_2))) / IJ) = 0$ yapan değer x'_2		
$x'_2 = 0.443$ [rad] yalpa açısında II. bölge negatif olur.		
$y_2 = 0$ [rad/s] olarak alınır.		
$P_3 (x_3, y_3)$ Noktasının Hesabı		
$x_3 = \Phi_v$	1.6581	rad.
$y_3 = 0$	0	rad/s.
9. Maximum Yalpa Açısı Kontrolü		
Maksimum yalpa açısına kadar alan aşağıdaki formülle de hesaplanabilir.		
$\Phi_{m1} = [WM_1 + (WM_1^2 + 10 * \Delta * GM * (E_1 * T_\phi / 4 + 5 * \Delta * A_{\Phi_m}))^{0.5}] / (5 * \Delta * GM)$		
$\Phi_{m1} = 0.7069$ [rad]		
$\Phi_m (IMO) < \Phi_{m1} < \Phi_m$ olduğundan mevcut Φ_m değeri yeterlidir.		
10. GM Kontrolü (Olması Gereken GM_1)		
$GM_1 = 1.89 / \Delta * ((E_1 + WM_1)^2 * C_{22})^{1/3}$		
$GM_1 = 0.115$		
$GM > GM_1$ olduğundan mevcut GM yeterlidir.		

I. durum yani $H_w = 1$ [m] için yapılan hesaplardan çıkan sonuç ile IMO kriteri karşılaştırıldığında gemi her iki kriteri de sağlıyor. Mevcut Φ_m ve GM değerlerinin bu durum için yeterli olduğu görülmektedir. Pratik Stabilite Domeninin yakınsak olduğu görülmekte, yani $x_2 > x_3$ olduğundan yalpa hızı III. bölge oluşmadan negatif olmaktadır ($\dot{x}_2 = 0.443$ radyan yalpa açısında).

II. DURUM

$H_w = 3$ [m] için ($T_w = T_\phi = 10$ s.)

$$\lambda = 156.131 \text{ [m]} \quad E_1 = 18.181 \text{ [ton.m]}$$

$$WM_1 = 2.794 \text{ [ton.m]} \quad Z_1 = 20.9744 \text{ [ton.m]}$$

$$b'_1 = 0.584 \text{ [rad/s]} \quad f_1(b'_1) = 31.462 \text{ [ton.m]}$$

$$a'_1 = 0.0698 \text{ [rad]} \quad a'_2 = 1.6395 \text{ [rad]}$$

$$x_0 = 0 \text{ [rad]} \quad y_0 = 0.604 \text{ [rad/s]}$$

$$x_1 = 0.0909 \text{ [rad]} \quad y_1 = 0.584 \text{ [rad/s]}$$

$$x_2 = 6.398 \text{ [rad]} \quad y_2 = \text{***}$$

$$x_3 = 1.6581 \text{ [rad]} \quad y_3 = 0 \text{ [rad/s]}$$

$$\dot{x}_2 = 0.679 \text{ [rad]} \text{ yalpa açısında II. bölge negatif oluyor.}$$

$x_2 > x_3$ olduğundan II. eğri III. bölgeyi de kapsar.

$$C_1 = 0.182 \quad C_2 = 0.233 \quad C_3 = 0.877$$

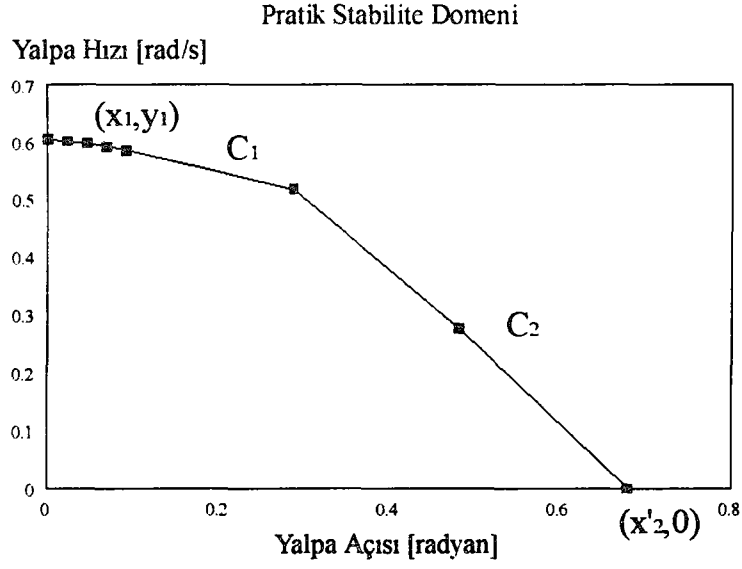
$$\Phi_{m1} = 0.7349 \text{ [rad]}$$

$$\Phi_{m1} > \Phi_m > \Phi_m \text{ (IMO)}$$

olduğundan mevcut Φ_m değerinin yetersiz olduğu görülmektedir.

$$GM_1 = 0.204 \text{ [m]}$$

$GM > GM_1$ olduğundan mevcut GM değeri yeterlidir.



$H_w = 3$ [m] için Pratik Stabilite Domeni

III. DURUM

$H_w = 10$ [m] için	$(T_w = T_\phi = 10 \text{ s.})$
$\lambda = 156.131$ [m]	$E_1 = 60.602$ [ton.m]
$WM_1 = 2.794$ [ton.m]	$Z_1 = 63.395$ [ton.m]
$b'_1 = 1.0359$ [rad/s]	$f_1(b'_1) = 95.094$ [ton.m]
$a'_1 = 0.2148$ [rad]	$a_2 = 1.5695$ [rad]
$x_0 = 0$ [rad]	$y_0 = 1.135$ [rad/s]
$x_1 = 0.280$ [rad]	$y_1 = 1.036$ [rad/s]
$x_2 = 1.111$ [rad]	$y_2 = 0.562$ [rad/s]
$x_3 = 1.6581$ [rad]	$y_3 = 0$ [rad/s]

$x_1 < x_2 < x_3$ olduğundan III. bölge oluşur.

$$C_1 = 0.645 \quad C_2 = 0.664 \quad C_3 = 0.877$$

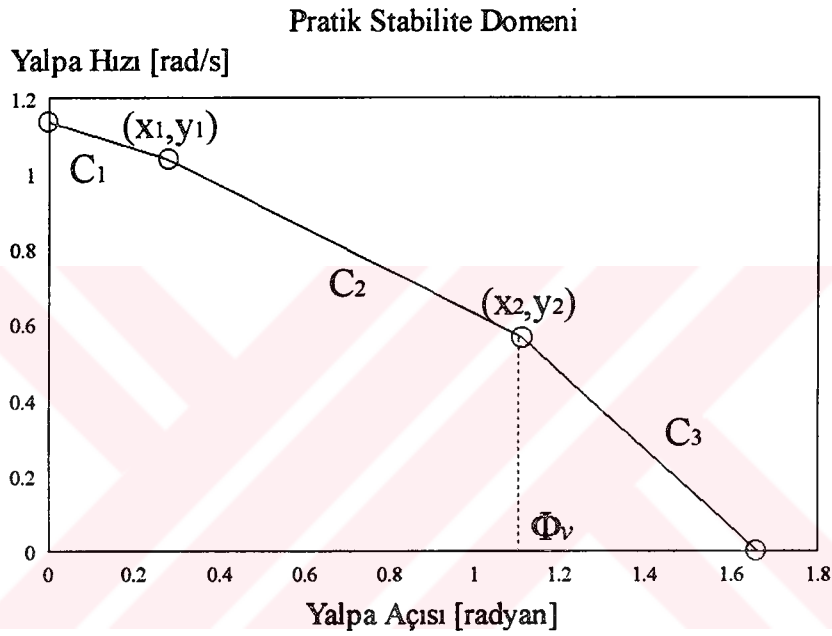
$$\Phi_{m1} = 0.825 \text{ [rad]}$$

$$\Phi_{m1} > \Phi_m > \Phi_m \text{ (IMO)}$$

olduğundan mevcut Φ_m değerinin yetersiz olduğu görülmektedir.

$$GM_1 = 0.204 \text{ [m]}$$

$GM > GM_1$ olduğundan mevcut GM değeri yeterlidir.



Bu durumda ($H_w = 10$ m.) III. bölge oluşmuş dolayısı ile devrilme açısı $\Phi_v = 1.6581$ [rad] değerinden $\Phi_v = 1.1114$ [rad] değerine düşmüştür. Dolayısıyla $\Phi_v = 1.1114$ [rad] değerinden sonra her an devrilme olabilir. Grafiklerden de görüldüğü gibi zorlamalar arttıkça maksimum doğrultucu moment koluna karşılık gelen açı değeri büyümekte hem de devrilme olayının meydana gelebileceği açı değeri küçülmektedir.

IV. DURUM

$H_w = 15$ [m] için	$(T_w = T_\phi = 10 \text{ s.})$
$\lambda = 156.131$ [m]	$E_1 = 90.903$ [ton.m]
$WM_1 = 2.794$ [ton.m]	$Z_1 = 93.697$ [ton.m]
$b_1 = 1.265$ [rad/s]	$f_1(b_1) = 140.545$ [ton.m]
$a_1 = 0.315$ [rad]	$a_2 = 1.138$ [rad]
$x_0 = 0$ [rad]	$y_0 = 1.444$ [rad/s]
$x_1 = 0.4239$ [rad]	$y_1 = 1.265$ [rad/s]
$x_2 = 0.2997$ [rad]	$y_2 = 0$ [rad/s]
$x_3 = 1.6581$ [rad]	$y_3 = 0$ [rad/s]

Burada $x_2 < x_1$ olduğundan Pratik Stabilite Domeni oluşmaz. Domeni oluşturmak ya (b_1) in 1.265 [rad/s] değerinden 1.216 [rad/s] değerine gelmesi gerekir, ya da gemiye 10.4 [ton.m] lik ilave sönüm momenti uygulamak gerekir bu ise yalpa söndürücü sistemlerle elde edilebilir.

$$\Phi_{m1} = 0.884 \text{ [rad]}$$

$$\Phi_{m1} > \Phi_m > \Phi_m \text{ (IMO)}$$

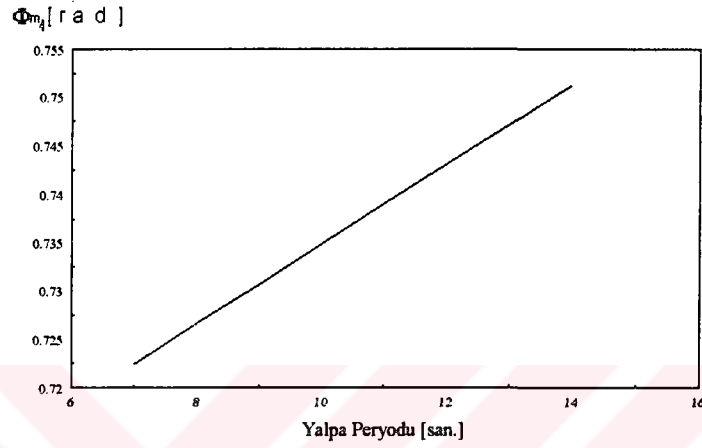
olduğundan mevcut Φ_m değerinin yetersiz olduğu görülmektedir.

$$GM_1 = 0.552 \text{ [m]}$$

Ayrıca dalga yüksekliği (H_w) ve dalga peryodu (T_w) sabit tutulup Φ_{m1} 'in yalpa peryodu (T_ϕ) ile değişimi Tablo 6.1 de görülmektedir. Böylece yalpa peryodunun üstten sınırlandırılması şartı da aşikar olarak görülmektedir.

$$H_w = 3 \text{ [m]}$$

$$T_w = 10 \text{ [san]}$$



ÖRNEK 6.2.

Geminin Ana Değerleri

Geminin Adı : "M/V GAUL"

$$L_{BP} = 56 \text{ m.}$$

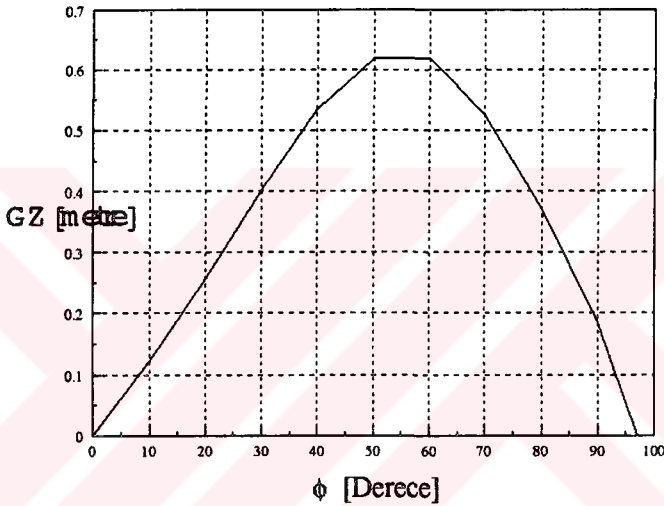
$$B = 12.19 \text{ m.}$$

$$T = 4.2 \text{ m.}$$

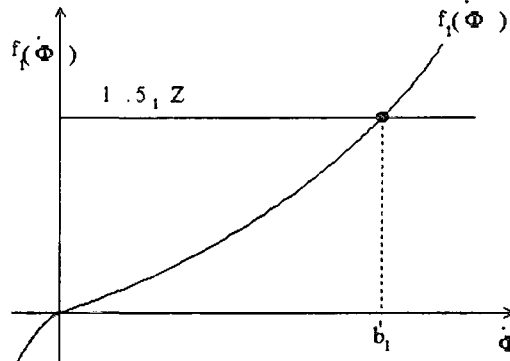
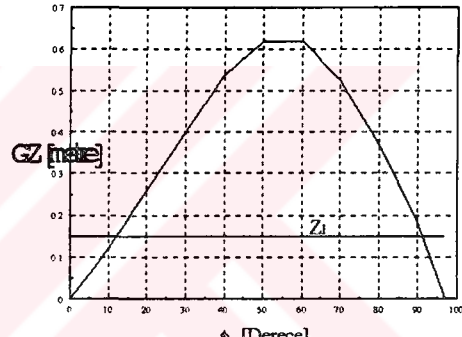
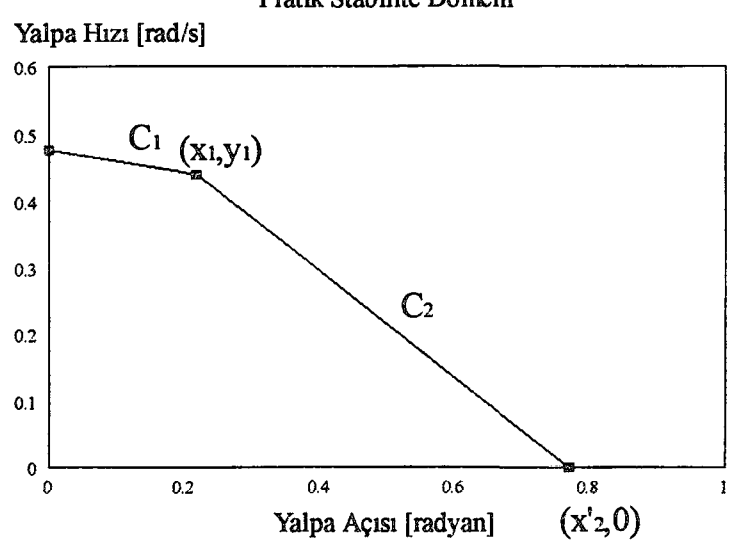
$$D = 7.77 \text{ m.}$$

$$KG = 5.388 \text{ m.}$$

$$CB = 0.53$$

GEMİNİN ANA BOYUTLARI			
Geminin Adı	GAUL		
Boy (Kaimeler Arası)	L_{BP}	56	m.
Genişlik	B	12.19	m.
Draft	T	4.2	m.
Yükseklik	D	7.77	m.
Ağırlık Merkezinin Düşey Yeri	KG	5.388	m.
Blok Katsayısı	CB	0.53	
Deplasman	Δ	1,567.19	ton
HESAP PARAMETRELERİ			
Önce GZ - Φ Eğrisi Çizilir ve Üzerinden Gerekli Parametreler Okunur			
			
Başlangıç Metasantr Yüksekliği	GM	0.686	m.
Maksimum GZ Değeri	GZ_{max}	0.63	m.
GZ_{max} Tekabül Eden Açı Değeri	Φ_m	0.96	rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan ($\Phi = 0$ ile $\Phi = \Phi_m$ Arasında)	A_{Φ_m}	0.339	rad.m
Devrilme Açısı	Φ_v	1.692	rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan	A_{Φ_v}	0.643	rad.m

HESAPLAMALAR				
1. Kütle ve Eksü Kütle Atalet Momenti Hesabı				
$GF = KG - T$		1.188		m
$K1 = (B^2 + 4 * GF^2) / 12$		12.85346		m ²
$I = K1 * \Delta / 9.81$		2,053.395		ton.m.s ²
$LB = L / B$		4.59393		
$TB = T / B$		0.34455		
$AK1 = -1.020198 + .496011 * LB - .04287 * LB^2$		0.35371		
$AK2 = (5.296516 - 2.250937 * LB + .193563 * LB^2) * TB$		-0.33047		
$AK3 = (-7.500317 + 2.913968 * LB - .24222 * LB^2) * TB^2$		0.09193		
$AK4 = (3.164722 - 1.284722 * LB + .114778 * LB^2) * CB$		-0.16793		
$AK5 = (-12.739028 + 5.332778 * LB - .489306 * LB^2) * TB * CB$		0.26329		
$AK6 = (17.630556 - 6.855556 * LB + .602778 * LB^2) * TB^2 * CB$		-0.07231		
$AK7 = (-1.991468 + .925 * LB - .085119 * LB^2) * CB^2$		0.13126		
$AK8 = (7.647817 - 3.630952 * LB + .348214 * LB^2) * TB * CB^2$		-0.16498		
$AK9 = (-10.456349 + 4.52381 * LB - .416667 * LB^2) * TB^2 * CB^2$		0.05173		
$K2 = AK1 + AK2 + AK3 + AK4 + AK5 + AK6 + AK7 + AK8 + AK9$		0.15623		
$J = (K2 * B)^2 * \Delta / 9.81$		579.38		ton.m.s ²
$IJ = (I + J)$		2,632.775		ton.m.s ²
2. Sönüm Momenti Katsayılarının Hesabı $f_1(\Phi) = B_{11} * \Phi + B_{22} * \Phi^2$				
$B_{11} = c * IJ$	65.819	ton.m.s	$B_{22} = k * L * B^4$	1,236.525 ton.m.s ²
$c = 0.025$ Balıkçı ve Harp Gemileri $c = 0.031$ Yük Gemileri			$k = 0.001$ Balıkçı ve Harp Gemileri $k = 0.003$ Yük Gemileri	
3. Doğrultma Momenti Katsayıları $g_1(\Phi) = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$				
$C_{11} = \Delta * GM$		1,075.092		ton.m
$C_{22} = 4 * \Delta * (0.5 * GM * \Phi_v^2 - A_{gv}) / \Phi_v^4$		259.258		ton.m
4. Maksimum Dalga Zorlaması E_1				
$\lambda = 9.81 * T_w^2 / (2 * \pi)$		199.364		m
$E_1 = \pi * \Delta * H_w * GM / \lambda$		123.672		ton.m
5. Rüzgar Sağanağı Momenti WM_1				
$WM_1 = 1.5 * P * A * h / 9.81$		55.218		ton.m.
$Z_1 = E_1 + WM_1$		178.89		ton.m

6. Zorlamalar İle Sönüm Fonksiyonunun Kesişim Yerinin Bulunması (b'_1)		
$1.5 * Z_1 = B_{11} * \Phi' + B_{22} * \Phi'^2$		
$b'_1 = [-B_{11} + ((B_{11})^2 + 4 * B_{22} * (1.5 * Z_1))^{0.5}] / (2 * B_{22})$	0.44	rad/s
<p>Sönümün b'_1 Noktasındaki Değeri</p> <p>$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$</p> <p>şeklinde hesaplanır.</p>		
$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$	268.336	ton.m
7. Zorlamalar İle Doğrultma Fonksiyonunun Kesişim Yerlerinin Bulunması		
<p>GZ - Φ eğrisi üzerine Z_1/Δ doğrusu çizilerek değerler okunur veya analitik yolla yani,</p> <p>$Z_1 = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$</p> <p>denkleminin çözümünden bulunur. Zorlamaların eğriyi ilk kestiği nokta a'_1 ikinci kestiği nokta a'_2 olarak alınır.</p>		
a'_1	0.1675	rad.
a'_2	1.588	rad.
8. Pratik Stabilité Domeninin Noktalarının Bulunması		
Pratik Stabilité Domeni		
		

$P_0(x_0, y_0)$ Noktasının Bulunması

$$x_0 = 0 \quad [\text{rad}]$$

$$y_0 = [(b'_1)^2 + 3 * Z_1 * a'_1 / IJ]^{0.5}$$

0.477

rad/s.

$P_1(x_1, y_1)$ Noktasının Bulunması

x_1 aşağıda verilen denklemin en küçük pozitif kökü olarak alınır.

$$\int_0^{\Phi_1} g_1(\Phi) d\Phi + \frac{1}{2} * Z_1 * \Phi_1 - \frac{3}{2} Z_1 * a'_1 = 0$$

Bilenler yerine koyulduğunda 4.derece bir denklem oluşur. Bu denklem herhangi bir iteratif metod ile çözülebilir. Newton - Raphson Metodu ile çözülmüşse,

$$F(\Phi) = C_{22} / 2 * \Phi^4 - C_{11} * \Phi^2 - Z_1 * \Phi + 3 * Z_1 * a'_1$$

$$F(\Phi') = 2 * C_{22} * \Phi^3 - 2 * C_{11} * \Phi - Z_1$$

$$\Phi_1 = \Phi - F(\Phi) / F(\Phi')$$

Bu işleme $\Phi_1 = \Phi$ veya

$|\Phi_1 - \Phi| < 0.001$ olana kadar devam edilir.

$$x_1 = \Phi_1 = 0.2182 \quad [\text{rad}] \quad \text{olarak alınır.}$$

$$y_1 = b'_1 = 0.440 \quad [\text{rad/s}] \quad (\text{6. adımlı işlemde hesaplandı})$$

Eğri Parçalarının Hesabı C_1, C_2, C_3		
$C_1 = .5 * (b'_1)^2 + 3 * Z_1 * a'_1 / IJ = 0.114$		
$C_2 = .5 * (b'_1)^2 + (C_{11} * x_1 / 2 - C_{22} * x_1^4 / 4 - Z_1 * x_1) / IJ = 0.126$		
$C_3 = \Delta * A_{\Phi_v} / IJ = 0.383$		
$P_2 (x_2, y_2)$ Noktasının Hesabı		
$x_3 = \Phi_v = 1.692$ [rad.] olmak üzere		
$x_2 = x_1 + [C_{11} * (x_3^2 - x_1^2) / 2 - C_{22} * (x_3^4 - x_1^4) / 4] / Z_1 - (b'_1)^2 * IJ / (2 * Z_1)$		
$x_2 > x_3$ olduğundan II. eğri III. bölgeyi de kaplar ve III. bölge oluşmaz .		
$x'_2 = 0.771$ [rad]		
$x_2 = 4.2845$ [rad]		
$y_2 = 0$ [rad/s]		
$P_3 (x_3, y_3)$ Noktasının Hesabı		
$x_3 = \Phi_v$	1.692	rad.
$y_3 = 0$	0	rad/s.
9. Maximum Yalpa Açısı Kontrolü		
Maksimum yalpa açısına kadar alan aşağıdaki formülle de hesaplanabilir.		
$\Phi_{m1} = [WM_1 + (WM_1^2 + 10 * \Delta * GM * (E_1 * T_\phi / 4 + 5 * \Delta * A_{\Phi_m}))^{0.5}] / (5 * \Delta * GM)$		
$\Phi_{m1} = 1.0678$ [rad]		
$\Phi_m (IMO) < \Phi_m < \Phi_{m1}$ olduğundan mevcut Φ_m değeri yetersizdir.		
10. GM Kontrolü (Olması Gereken GM_1)		
$GM_1 = 1.89 / \Delta * ((E_1 + WM_1)^2 * C_{22})^{1/3}$		
$GM_1 = 0.244$ [m]		
$GM > GM_1$ olduğundan mevcut GM yeterlidir.		

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz stabilite kriterlerinin yetersizliğinden hareketle, ÖZKAN tarafından geliştirilen Pratik Stabilite Kriterinin gemi öndizayn aşamasında kullanılmasını hedefleyen bu çalışma ile olaya yeni bir boyut kazandırılmıştır. Bu kriterin, halen uygulanmakta olan mevcut stabilite kriterleri ile temel yaklaşımda farklılık arzetmesine rağmen, sonuçta bir uyum içinde bulunduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan çıkan sonuçları iki grup altında toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi, istatistiksel metodlar yardımıyla stabilite hesabında kullanılan stabilite çapraz eğrilerinin, gemi öndizayn parametrelerine bağlı olarak yaklaşık ifade edilmesidir. Bu ise, dizaynerlere öndizayn aşamasında geminin stabilitesi hakkında fikir vermesi yanında stabilite açısından uygun dizayn parametrelerinin belirlenmesinde de kolaylık sağlar. Uygulamada regresyon sonucu ile gerçek değerler arasındaki hatanın, kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu tespit edilmiştir. Burada çıkarılan formülasyonun iyi sonuç verebilmesi için verilen dizayn aralığı içinde kalınmasına dikkat edilmelidir.

İkinci olarak zorlanmış yalpa hareketi için verilen Pratik Stabilite Kriterinin uygulanması ile elde edilen sonuçlar olup, bunlar şu şekilde sıralanabilir :

- Maksimum GZ değerine tekabül eden açının (Φ_m) dalga ve rüzgar gibi dış tesirlere bağlı olarak bir alt sınır değeri tayin edilmiştir. Böyle bir sınırlama IMO kriterinde de mevcuttur. Fakat IMO Kriterine bakıldığında Φ_m 'in sabit, Pratik Stabilite Kriterinde ise gemi ve ortamın bağımlısı olarak değiştiği görülmektedir.

- Yapılan uygulamalarda da görüldüğü gibi zorlamalar arttıkça Φ_m 'in daha büyük değer aldığı gözlenmektedir.

- Bugün, gemilerin gerekenden fazla bir başlangıç stabilitesi ile (GM) dizayn edilmesi, Φ_m için önerilen en küçük alt sınır şartı ile çelişmektedir. Bundan dolayı, GM

değerinin üstten de sınırlandırılması gerçeği ortaya çıkmaktadır. Yani GM değeri büyük olan gemilerin daha stabil olduğu fikri yerinde gözükmemektedir.

- Zorlamalar arttığında doğrultma momenti yeterli olduğu halde devrilme olayı tespit edilmiş olup, bu ise sönümün yetersizliğini ortaya çıkarmaktadır.

- Gemi ile ortam arasındaki ilişkinin stabilite analizinde ihmal edilemeyeceği görüşü bu çalışmanın sonucu ile bir kez daha vurgulanmıştır.

Özellikle balıkçı ve yük gemisi dizaynı yapan dizaynerlerin, öndizayn aşamasında bu çalışmada sunulan regresyon formülü ve Pratik Stabilite Kriterini kullanarak stabilite yönünden emniyetli dizayn parametrelerini tespit etmeleri yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. ALKAN, A.D., 1994, "Balıkçı Gemilerinin Hidrodinamik İncelemesi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. CELASUN, K., 1984, "Pratik Stabilité Kriterinin Gemilere Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. DAHLE, E.A., 1984, "Fuel Saving and Fuel Conservation on Fishing", International Conference on Design Considerations for Small Craft, RINA.
4. DE HEERE, R.F.S., 1970, "Buoyancy and Stability of Ships", George G. Harrap and Co. Ltd., London.
5. DENNY, A., 1887, "On the Practical Application of Stability Calculation", TRANS. Institution of Naval Architects, No. 28.
6. DOUST, D.J., 1963, "Optimized Trawler Forms", Trans. NECIES, Cilt 79.
7. DOUST, D.J., 1979, "Statistical Analysis of Resistances Data for Trawler", Fishing Boat of the World, London, Cilt 3, Sayfa 370-387.
8. IMO Res. A.749 (18), 1993, 4TH November, "Code on Intact Stability For All Types of Ships Covered by IMO Instruments", IMO Assembly, 18th Session Agenda Item 11.
9. KAFALI, K., 1971, "Gemi Formunun Statik ve Dinamik Özellikleri (Geometri ve Stabilité), İstanbul Teknik Üniversitesi, Cilt I.
10. KÖKSAL, B.A., 1985, "İstatistik Analiz Metodları", Çağlayan Kitabevi, 3. Baskı.
11. LASALLE, J.P., and LEFSCHETZ, S., 1961, "Stability by Lyapunov's Direct Method with Applications", Academic Press.
12. MORRAL, A., 1980, "The GAUL Disaster: An Investigation into the Loss of a Large Stern Trawler", RINA Spring Meeting, Makale No. 2.
13. ODABAŞI, A.Y., 1977, "Ultimate Stability of Ships", Supplementary Papers, RINA,

16. ÖZKAN, İ.R., 1980, "Some Extensions of the Uniform Boundedness of Rolling Motion", BSRA Report No.NADH/22.
17. ÖZKAN, İ.R., 1981, "On the Uniform Boundedness of a Nonlinear System", Mechanics Research Communications, Cilt 8, No.2, Sayfa 65.
18. ÖZKAN, İ.R., 1981, "Total (Practical) Stability of Ships", Ocean Engineering, Cilt 8, No.6, Sayfa 551-598.
19. ÖZKAN, İ.R., 1982, March, "A New \overline{GM} Criterion", The Naval Architect.
20. ÖZKAN, İ.R., 1982, "Lyapunov Stability of Dynamical System as Applied to Ships Rolling Motion", International Ship Building Progress, Cilt 29, No.329, Sayfa 2.
21. ÖZKAN, İ.R. ve diğerleri, 1984, "Gemilerde Stabilite Analizi", Gemi İnşaatı Teknik Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Cilt 1, Sayfa109-127.
22. ÖZKAN, İ.R., 1985, "Applications of the Ship Practical Stability Criteria", International Ship Building Progress, Cilt 32, No.374, Sayfa 224-243.
23. ÖZKAN, İ.R., 1987, "Gemilerde Stabilite Kavramının Gemi Dizayn Aşamasındaki Etkisi", Türk Loydu Vakfi Seri Konferansları, No.6, Sayfa 152-162.
24. ÖZKAN, İ.R., 1990, "Gemi Mühendisliğinde Modelleme Yaklaşımı" ,Türk Loydu Vakfi Seri Konferansları, Sayfa 401-431.
25. ÖZKAN, İ.R., 1990, "Design Consequences of Practical Ship Stability Criteria", 4th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB '90), Naples, Italy. Sayfa 460-469.
26. PIERROTTET, E., 1935, "A Standard of Stability for Ships", Transactions of the Institution of Naval Architects, Sayfa 208.
27. RAHOLA, J., 1939, "The Judging of the Stability of Ships and the Determination of the Minimum Amount of Stability", Doktora Tezi, Finlandiya Teknik Üniversitesi, Helsinki.

GEMİNİN ANA BOYUTLARI			
Geminin Adı			
Boy (Kaimeler Arası)	L_{BP}		m.
Genişlik	B		m.
Draft	T		m.
Yükseklik	D		m.
Ağırlık Merkezinin Düşey Yeri	KG		m.
Blok Katsayısı	CB		
Deplasman	Δ		ton
HESAP PARAMETRELERİ			
Önce GZ - Φ Eğrisi Çizilir ve Üzerinden Gerekli Parametreler Okunur			
Başlangıç Metasantr Yüksekliği	GM		m.
Maksimum GZ Değeri	GZ_{max}		m.
GZ_{max} Tekabül Eden Açı Değeri	Φ_m		rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan ($\Phi = 0$ ile $\Phi = \Phi_m$ Arasında)	A_{Φ_m}		rad.m
Devrilme Açısı	Φ_v		rad.
GZ - Φ Eğrisi Altında Kalan Alan	A_{Φ_v}		rad.m
Rüzgar Basıncı	P		kN/m ²
Rüzgara Açık Yan Projeksiyon Alanı	A		m ²
Rüzgar Moment Kolu	h		m.
Dalga Yüksekliği	H_w		m.
Dalga Peryodu	T_w		san.
Yalpa Peryodu	T_ϕ		san.

HESAPLAMALAR			
1. Kütle ve Eksü Kütle Atalet Momenti Hesabı			
$GF = KG - T$			m
$K1 = (B^2 + 4 * GF^2) / 12$			m ²
$I = K1 * \Delta / 9.81$			ton.m.s ²
$LB = L / B$			
$TB = T / B$			
$AK1 = -1.020198 + .496011 * LB - .04287 * LB^2$			
$AK2 = (5.296516 - 2.250937 * LB + .193563 * LB^2) * TB$			
$AK3 = (-7.500317 + 2.913968 * LB - .24222 * LB^2) * TB^2$			
$AK4 = (3.164722 - 1.284722 * LB + .114778 * LB^2) * CB$			
$AK5 = (-12.739028 + 5.332778 * LB - .489306 * LB^2) * TB * CB$			
$AK6 = (17.630556 - 6.855556 * LB + .602778 * LB^2) * TB^2 * CB$			
$AK7 = (-1.991468 + .925 * LB - .085119 * LB^2) * CB^2$			
$AK8 = (7.647817 - 3.630952 * LB + .348214 * LB^2) * TB * CB^2$			
$AK9 = (-10.456349 + 4.52381 * LB - .416667 * LB^2) * TB^2 * CB^2$			
$K2 = AK1 + AK2 + AK3 + AK4 + AK5 + AK6 + AK7 + AK8 + AK9$			
$J = (K2 * B)^2 * \Delta / 9.81$			ton.m.s ²
$IJ = (I + J)$			ton.m.s ²
2. Sönüm Momenti Katsayılarının Hesabı $f_1(\Phi) = B_{11} * \Phi + B_{22} * \Phi^2$			
$B_{11} = c * IJ$		ton.m.s	$B_{22} = k * L * B^4$ ton.m.s ²
$c = 0.025$ Balıkçı ve Harp Gemileri $c = 0.031$ Yük Gemileri			$k = 0.001$ Balıkçı ve Harp Gemileri $k = 0.003$ Yük Gemileri
3. Doğrultma Momenti Katsayıları $g_1(\Phi) = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$			
$C_{11} = \Delta * GM$			ton.m
$C_{22} = 4 * \Delta * (0.5 * GM * \Phi_v^2 - A_{gv}) / \Phi_v^4$			ton.m
4. Maksimum Dalga Zorlaması E_1			
$\lambda = 9.81 * T_w^2 / (2 * \pi)$			m
$E_1 = \pi * \Delta * H_w * GM / \lambda$			ton.m
5. Rüzgar Sağanağı Momenti WM_1			
$WM_1 = 1.5 * P * A * h / 9.81$			ton.m
$Z_1 = E_1 + WM_1$			ton.m

6. Zorlamalar İle Sönüm Fonksiyonunun Kesişim Yerinin Bulunması (b'_1)			
$1.5 * Z_1 = B_{11} * \Phi' + B_{22} * \Phi'^2$			
$b'_1 = [- B_{11} + ((B_{11})^2 + 4 * B_{22} * (1.5 * Z_1))^{0.5}] / (2 * B_{22})$			rad/s
Sönümün b'_1 Noktasındaki Değeri	$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$		
şeklinde hesaplanır.			
$f_1(b'_1) = B_{11} * (b'_1) + B_{22} * (b'_1)^2$			ton.m
7. Zorlamalar İle Doğrultma Fonksiyonunun Kesişim Yerlerinin Bulunması			
GZ - Φ eğrisi üzerine Z_1/Δ doğrusu çizilerek değerler okunur veya analitik yolla yani,			
$Z_1 = C_{11} * \Phi - C_{22} * \Phi^3$			
denkleminin çözümünden bulunur. Zorlamaların eğriyi ilk kestiği nokta a'_1 ikinci kestiği nokta a'_2 olarak alınır.			
a'_1	rad.	a'_2	rad.
8. Pratik Stabilité Domeninin Noktalarının Bulunması			

<p>$P_0(x_0, y_0)$ Noktasının Bulunması</p> <p>$x_0 = 0$ [rad]</p>		
<p>$y_0 = [(b'_1)^2 + 3 * Z_1 * a'_1 / IJ]^{0.5}$</p>		rad/s.
<p>$P_1(x_1, y_1)$ Noktasının Bulunması</p> <p>x_1 aşağıda verilen denklemin en küçük pozitif kökü olarak alınır.</p> $\int_0^{\Phi_1} g_1(\Phi) d\Phi + \frac{1}{2} * Z_1 * \Phi_1 - \frac{3}{2} Z_1 * a'_1 = 0$ <p>Bilinenler yerine koyulduğunda 4.derece bir denklem oluşur. Bu denklem herhangi bir iteratif metod ile çözülebilir. Newton - Raphson Metodu ile çözülmüşse,</p> $F(\Phi) = C_{22} / 2 * \Phi^4 - C_{11} * \Phi^2 - Z_1 * \Phi + 3 * Z_1 * a'_1$ $F(\Phi') = 2 * C_{22} * \Phi^3 - 2 * C_{11} * \Phi - Z_1$ $\Phi_1 = \Phi - F(\Phi) / F(\Phi')$ <p>Bu işleme $\Phi_1 = \Phi$ veya</p> <p>$\Phi_1 - \Phi < 0.001$ olana kadar devam edilir.</p> <p>$x_1 = \Phi_1 =$ [rad] olarak alınır.</p> <p>$y_1 = b'_1 =$ [rad/s] (6 nolu işlemde hesaplandı)</p>		

T.R. T. 1975

<p>$P_2 (x_2 , y_2)$ Noktasının Hesabı</p> <p>$x_3 = \Phi_v =$ [rad.] olmak üzere</p> <p>$x_2 = x_1 + [C_{11} * (x_3^2 - x_1^2) / 2 - C_{22} * (x_3^4 - x_1^4) / 4] / Z_1 - (b'_1)^2 * IJ / (2 * Z_1)$</p> <p>i) Eğer $x_2 < x_1$ ise pratik stabilité domeni oluşamaz. Bu durumda sönüm yetersizdir. İlave sönüm momentine gerek vardır.</p> <p>ii) Eğer $x_2 > x_3$ ise II. eğri III. bölgeyi de kaplar ve III. bölge oluşmaz .</p> <p>$y_2 = [(C_{11} * (x_3^2 - x_2^2) - C_{22} * (x_3^4 - x_2^4) / 2) / IJ]^{0.5}$</p> <p>$x_2 =$ rad.</p> <p>$y_2 =$ rad/s.</p>		
<p>$P_3 (x_3 , y_3)$ Noktasının Hesabı</p>		
$x_3 = \Phi_v$		rad.
$y_3 = 0$		rad/s.
<p>9. Maximum Yalpa Açısı Kontrolü</p>		
<p>Maksimum yalpa açısına kadar alan aşağıdaki formülle de hesaplanabilir.</p>		
<p>$\Phi_{m1} = [WM_1 + (WM_1^2 + 10 * \Delta * GM * (E_1 * T_\phi / 4 + 5 * \Delta * A_{\phi m}))^{0.5}] / (5 * \Delta * GM)$</p>		
<p>Eğer $\Phi_m < \Phi_{m1}$ ise mevcut Φ_m değeri yetersizdir.</p>		
<p>10. GM Kontrolü (Olması Gereken GM_1)</p>		
$GM_1 = 1.89 / \Delta * ((E_1 + WM_1)^2 * C_{22})^{1/3}$		m.
<p>$GM_1 > GM$ ise fazlalık GM vardır.</p>		

T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin YILMAZ : Gemi İnşaatı ve Deniz Mühendisi
(1991 İstanbul Teknik Üniversitesi)

Doğum yeri ve tarihi : Tirebolu, 15.09.1970

Öğrenim : İLKOKUL Mithatpaşa İlkokulu, 1976 - 1981
Derece Pekiyi derece ile mezuniyet

ORTAOKUL Kadri Yörükoğlu Ortaokulu, 1981 - 1984
Derece İyi derece ile mezuniyet

LİSE Şişli Endüstri Meslek Lisesi, 1984 - 1987
Elektronik Bölümü
Derece 8.72 not ortalaması ile mezuniyet

ÜNİVERSİTE İstanbul Teknik Üniversitesi, 1987 - 1991
Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi
Deniz Bilimleri Bölümü
Derece Dönem ikincisi olarak mezuniyet.

Tecrübeler : 1991 - 1992 yılları arasında Fransız Loydu'nda (Bureau Veritas)
Kontrol Mühendisi olarak,

1993 yılından itibaren Yıldız Teknik Üniversitesi
Makina Fakültesi - Gemi İnşaatı Bölümü
Gemi Hidromekaniği Anabilim Dalı 'nda Araştırma Görevlisi.

Diğer : MEDENİ HAL Bekar

YABANCI DİL İngilizce.

T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.