

166254

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Uygun
Ars. Gör. Mrs. Redir-longlu


GEMİ HAREKETLERİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Burcu ERBAŞ

508011001

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2005

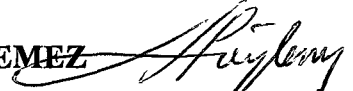
Tez Danışmanı :

Prof.Dr. A.Yücel ODABAŞI



Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Muhittin SÖYLEMEZ

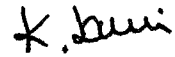


Diğer Jüri Üyeleri :

Prof.Dr. Abdi KÜKNER (İ.T.Ü.)



Doç.Dr. Kadir SARIÖZ (İ.T.Ü.)



Doç.Dr. Metin TAYLAN (İ.T.Ü.)



OCAK 1997

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, geminin baştan gelen düzgün dalgalarındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri literatürdeki belli başlı teoriler kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde hazırlanan, Korvin-Kroukovsky tarafından geliştirilen dilim teorisinin, adım adım takibine olanak sağlayan tabloların özellikle lisans öğrencileri için faydalı olacağını düşünmekteyim. Ayrıca farklı teorilerin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genlikleri ve eğilme momentlerinin hesabında gösterdikleri farklılıkların ikinci bölümde ele alınarak incelenmiş olmasını, değerlendirilen teoriler arasında seçim yapılabilmesi için atılmış bir adım olarak görmekteyim.

Bu çalışmada, bana değerli zamanlarını ayıran, bilgi, tecrübe ve anlayışlarıyla destek olan danışmanlarım Sayın Prof.Dr.A.Yücel Odabaşı ve Sayın Prof.Dr.Muhittin Söylemez'e şükranlarımı arz ederim. Hiç bir zaman yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Doç.Dr.Kadir Sarıöz ve Sayın Prof.Dr.Ömer Gören ve deney verilerinin değerlendirilmesi sırasında yardımcı olan hocam Sayın Doç.Dr.İ.Hakkı Helvacıoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her konuda en büyük desteğim olan sevgili eşim Y.Müh. U.Oral Ünal'a ve kıymetli aileme en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

OCAK 2005

Burcu ÜNAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Gemi Hareketleri	1
1.2. Dilim Teorisi	6
1.2.1. Tanımlar	7
1.2.2. Dalga potansiyeli	10
1.2.3 Süreklilik koşulu ve laplace denklemi	10
1.2.4. Deniz dibindeki sınır koşulu	12
1.2.5. Serbest yüzey dinamik sınır koşulu	12
1.2.6. Serbest yüzey kinematik sınır koşulu	14
1.2.7. Yayılım ilişkisi	15
1.3. Düzgün Dalgalarda Yüzen Cisim	15
1.3.1. Kuvvet ve momentler	16
1.3.2. Hidrodinamik yükler	17
1.3.3. Dalga ve difraksiyon yükleri	20
1.3.4. Hidrostatik yükler	21
1.4. Hareket Denklemleri	22
1.5. Hidrodinamik Katsayılar	25
1.5.1 Konform tasvir yöntemi – Lewis (1929) transformasyonu	26

2. KORVIN-KROUKOVSKY YÖNTEMİNİN TABLOLARLA BİLGİSAYAR ORTAMINA AKTARILMASI	29
3. LLOYDS' REGISTER VE SCORES PROGRAMI	47
3.1. Giriş	47
3.1.1 Lloyds' Register programı	47
3.1.2 Scores programı	48
3.2. Teori	49
3.2.1 Hesaplamalarda kullanılan koordinat sistemi	49
3.2.2 Dalga hız potansiyeli	50
3.2.3 Düşey düzlem denklemleri	51
3.3. Çeşitli Dilim Teorilerinde Hidrodinamik Katsayıların Hesaplanması	55
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
4.1. Korvin_Kroukovsky Yöntemi ile Uygulama Çalışması	60
4.1.1 Uygulama çalışması için kullanılan gemi formları	60
4.1.2 Uygulama sonuçları	61
4.2. Çeşitli Dilim Teorilerinin Hesaplamalı Karşılaştırması	68
4.3. Değerlendirme	83
KAYNAKLAR	86
EK A	89
EK B	94
ÖZGEÇMİŞ	96

KISALTMALAR

ft	: Feet
ft/s	: Feet/saniye
fwd	: Gemi başı yönünde
LCB	: Gemi boyuna yüzme merkezi
LCG	: Gemi ağırlık merkezinin boyuna yeri
m	: Metre
m/s	: Metre/saniye
rad/s	: Radyan/saniye
RAO	: Genlik karşılık fonksiyonu
WT/FT	: Birim gemi boyuna düşen ağırlık

TABLO LİSTESİ

Sayfa no:

Tablo 2.1:	Model özellikleri.....	30
Tablo 2.2:	Hidrodinamik katsayıların hesaplanması.....	31
Tablo 2.3:	Zorlayıcı kuvvet ve momentlerin hesaplanması.....	38
Tablo 2.4:	Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri için hareket denklemlerinin çözümü	39
Tablo 2.5:	Orta kesitteki kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin hesaplanması.....	43
Tablo 4.1:	Uygulama çalışmasında kullanılan gemi formlarının özellikleri.....	44
Tablo 4.2:	Model Ag dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonları.....	61
Tablo 4.3:	Cont-fl dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonları (gemi hızı=0 m/s).....	62
Tablo 4.4:	Cont-fl dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonları (gemi hızı=6.18 m/s).....	62
Tablo 4.5:	DavidsonA model formu ana değerleri.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa no:

Şekil 1.1 : Altı türdeki gemi hareketleri.....	1
Şekil 1.2 : Harmonik dalga	8
Şekil 1.3 : Koordinat sistemleri	8
Şekil 2.1 : Prohaska (1947) tarafından b/h oranına ve c_s kesit katsayısına bağlı olarak tanımlanan kesit atalet katsayısı.....	33
Şekil 2.2 : Silindir için Ursell (1953) tarafından tanımlanan k_4 katsayısı	34
Şekil 2.3 : Grim (1953) tarafından çıkarılmış $\bar{A}-c_s$ eğrileri	35
Şekil 2.4 : Koordinat sistemi.....	36
Şekil 3.1 : Koordinat sistemi.....	49
Şekil 4.1 : Model Ag en kesitleri resmi	61
Şekil 4.2 : Cont-fl en kesitleri resmi	61
Şekil 4.3 : Model Ag dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu.....	64
Şekil 4.4 : Model Ag baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu	64
Şekil 4.5 : Cont-fl baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu ($v=0$ m/s)	65
Şekil 4.6 : Cont-fl dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu ($v=0$ m/s).....	66
Şekil 4.7 : Cont-fl dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu ($v=6.18$ m/s).....	66
Şekil 4.8 : Cont-fl baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu ($v=6.18$ m/s)	67
Şekil 4.9 : Davidson A en kesit eğrileri resmi	68
Şekil 4.10 : Davidson A dalıp-çıkma hareketi $fn=0.15$	69
Şekil 4.11 : Davidson A baş-kıç vurma hareketi $fn=0.15$	70
Şekil 4.12 : Davidson A dalıp-çıkma hareketi $fn=0.35$	71
Şekil 4.13 : Davidson A baş-kıç vurma hareketi $fn=0.35$	71
Şekil 4.14 : Davidson A dalıp-çıkma hareketi $fn=0.55$	72
Şekil 4.15 : Davidson A baş-kıç vurma hareketi $fn=0.55$	72
Şekil 4.16 : Davidson A ek su kütlesi katsayısı $fn=0.15$	74
Şekil 4.17 : Davidson A sönüm katsayısı $fn=0.15$	74
Şekil 4.18 : Davidson A ek su kütlesi katsayısı $fn=0.35$	75
Şekil 4.19 : Davidson A sönüm katsayısı $fn=0.35$	75
Şekil 4.20 : Davidson A ek su kütlesi katsayısı $fn=0.55$	76
Şekil 4.21 : Davidson A sönüm katsayısı $fn=0.55$	76
Şekil 4.23 : Davidson A orta kesit eğilme momenti $fn=0.15$	78
Şekil 4.24 : Davidson A orta kesit eğilme momenti $fn=0.35$	79
Şekil 4.25 : Davidson A orta kesit eğilme momenti $fn=0.55$	79
Şekil 4.26 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($fn=0.15$, dalga frekansı = 6.732 rad/s).....	80
Şekil 4.27 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($fn=0.15$, dalga frekansı = 3.366 rad/s).....	80
Şekil 4.28 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($fn=0.35$, dalga frekansı = 6.732 rad/s).....	81
Şekil 4.29 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($fn=0.35$, dalga frekansı = 3.366 rad/s).....	82

Şekil 4.30 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($f_n=0.55$, dalga frekansı = 6.732 rad/s).....	82
Şekil 4.31 : Davidson A boyuna eğilme momentinin kesitlere göre dağılımı ($f_n=0.55$, dalga frekansı = 3.366 rad/s).....	83



SEMBOL LİSTESİ

$a, b, c, d, e, g, A, B, C, D, E, G$: Hareket denklemi katsayıları

$\bar{A}$: Salınım yapan cisim tarafından oluşturulan dalga genliklerinin cisim salınım genliğine oranı

A'_{33} : Kesit ek su kütlesi

B, B^* : Kesitin yüklü su hattındaki genişliği

c : Birim geri çağırma kuvveti

C : Birim geri çağırma momenti

C_s, c_s : Kesit alan katsayısı

C_w, c : Dalga hızı

C_z' : Kesit atalet katsayısı

$\frac{dz}{dx}$: Kesit üzerindeki düşey hidrodinamik kuvvet

F : Hidrodinamik dalıp-çıkma kuvveti

$\bar{F}$: Dalgalar tarafından gemi üstünde oluşturulan dalıp-çıkma kuvveti

F_0 : Dalıp-çıkma kuvveti genliği

F_1 ve F_2 : Zorlayıcı dalıp-çıkma kuvveti bileşenleri

g : yerçekimi ivmesi

H_f : Geminin salınımları ve dalgalar tarafından oluşturulan hidrostatik basınca bağlı kuvvet

H_m : Geminin salınımları ve dalgalar tarafından oluşturulan hidrostatik basınca bağlı, geminin ağırlık merkezi etrafındaki moment

H, T : Kesit su çekimi

h, a : Dalga genliği

$\bar{h}$: Kesit ortalama su çekimi

I_y : y ekseninde gemi kütle atalet momenti

J : Gemi atalet momenti

k : Dalga sayısı

$k_{1,2,3}$: Batmış olarak yüzen bir cismin üç doğrultudaki atalete ulaşma katsayıları

k_2 : Bir gemi kesiti etrafında, iki boyutlu düşey akış olması durumundaki ek su kütlesi katsayısı

k_4 : Su yüzeyinde yüzen bir cismin ek su kütlesindeki düzeltme faktörü

k_z düşey eksenindeki atalete ulaşma katsayısı

L : Gemi boyu

M : Toplam hidrodinamik baş-kıç vurma momenti

$\overline{M}$: Dalgalar tarafından gemi üzerinde oluşturulan baş-kıç vurma momenti

M_0 : Baş-kıç vurma momenti genliği

M_1 ve M_2 : Zorlayıcı baş-kıç vurma momenti bileşenleri

M_w : Gemi üzerindeki dalga zorlayıcı momenti

m : Gemi kütlesi

m_z : ek su kütlesi

$N(\xi)$, N_z : Sönüm kuvveti katsayısı

P, Q, R, S : Denklem (2.1.29)'da tanımlanmış olan hareket denklemleri katsayıları grupları

r : Yarı-dairesel bir cismin yarıçapı

S = Kesitin yüklü su hattındaki alanı

s ve b : Gemi baş ve kıçındaki integrasyon sınırları

t : zaman

V : Gemi hızı

w, w_e : karşılaşma frekansı

w_0 : dalga frekansı

w_n : n. irregüler frekans

x_s, x_b : Gemi kıç ve başının koordinatları

Z : Toplam hidrodinamik kuvvetin düşey bileşeni

$\overline{Z}$: Dalıp-çıkma hareketi kompleks genliği

z : Dalıp-çıkma hareketinde yer değiştirme

Z_0 : Dalıp-çıkma hareketi genliği mutlak değeri

Z_w : Gemi üzerindeki dalga zorlayıcı kuvveti

β : Dalgaların hareket yönü ile gemi hareket yönü arasındaki açı

β_n : Kesit alan katsayısı

$\Delta\xi$: Kesit aralığı

δ, ε : Gemi ile dalgalar arasındaki faz farkları

δm : Birim boydaki bölgesel kütle

η : dalga yüksekliği

θ : Baş-kıç vurma hareketinde açısal yer değiştirme

$\overline{\theta}$: Baş-kıç vurma hareketi kompleks genliği

θ_0 : Baş-kıç vurma hareketi genliği mutlak değeri

λ : Dalga Boyu

ξ = Kesitin LCG'ye olan uzaklığı

ρ = Suyun yoğunluğu

σ, τ : Zorlayıcı kuvvet faz açıları

ϕ : Hız potansiyeli

ϕ_w : Dalga hız potansiyeli



GEMİ HAREKETLERİNİN ANALİZİ

ÖZET

Gemi dalgalar arasında ilerlerken altı serbestlik derecesinde hareketler yapar. Bu hareketlerin analizi için kullanılan basitleştirilmiş durumlardan biri, geminin dalga tepelerine normal doğrultuda hareket ettiği durumdur. Bu koşulda gemi sadece simetri düzlemi içerisinde boy-öteleme, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri yapmaktadır. Geminin simetri düzlemi içerisinde yaptığı söz konusu hareketler incelendiğinde, boy-öteleme hareketinin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine olan etkisinin ihmal edilebilir derecede olduğu görülür.

Bu çalışma kapsamında, geminin baştan gelen düzgün dalgalarda yaptığı dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketleri incelenmiştir. Çalışmanın tamamını iki ana bölüme ayırarak ele almak mümkündür.

İlk bölümde Korvin-Kroukovsky'nin dilim teorisi, Excel programı kullanılarak beş tablo şeklinde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Tabloların ve yöntemin işlerliğinin gösterilmesi amacıyla iki uygulama çalışması yapılmıştır. Bir savaş gemisi ve bir konteynır gemisi formunun baştan gelen düzgün dalgalarındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri geliştirilen tablolar ve hazır bir ticari program olan Lloyds' Register programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde ise, **Kaplan (1969)**, **Vugts (1970)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yöntemlerinin, hidrodinamik katsayıların, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genliklerinin ve boyuna eğilme momentlerinin hesaplanmasında gösterdikleri farklılıkların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Lloyds' Register programının ilk versiyonu olan Scores programı modifiye edilerek sözü geçen dört teoriye göre üç boyutlu hidrodinamik katsayıların hesaplanabildiği açık bir kod elde edilmiştir. Bu program kullanılarak, bir savaş gemisi formunun baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri, dalıp-çıkma ek su kütlesi ve sönüm katsayıları ve boyuna eğilme momentleri söz konusu dört yöntem ile hesaplanarak, elde edilen sonuçlar birbirleriyle, deney verileriyle ve literatürdeki sayısal hesaplamalarla karşılaştırılmıştır.

Giriş bölümünde, gemi hareketleri tanımlanmış, daha önce konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan ve genel olarak dilim teorisinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, Korvin-Kroukovsky yönteminin tablolarla bilgisayar ortamına aktarılması adım adım anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, Korvin-Kroukovsky yönteminin uygulama çalışmasında, karşılaştırmalar için kullanılan Lloyds Register gemi hareketleri hesap programının işleyişi ve teorisi ile ilgili bilgi verilmiştir. Dolayısıyla, **Kaplan (1969)**, **Vugts (1970)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın teorilerinin uygulanmasında modifiye edilerek kullanılan, Lloyds' Register programının ilk

versiyonu olan Scores programının teorisi de özetlenmiştir. Sözü geçen iki program da yöntem olarak **Kaplan (1969)** tarafından geliştirilen dilim teorisini esas almışlardır. Bu bölümde, ayrıca **Kaplan (1969)**, **Vugts (1970)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın teorilerinin, üç boyutlu hidrodinamik katsayıların hesaplanmasında gösterdikleri farklılıklar incelenmiştir.

Sonuçlar ve tartışmalar bölümünde ise, Korvin-Kroukovsky yöntemi ve diğer dört yöntem için yapılmış uygulama çalışmaları, çalışma kapsamında kullanılan gemi formları ile ilgili ayrıntılı bilgi ve uygulama çalışmalarının sonuçları yer almaktadır. Ayrıca yapılan çalışma genel olarak değerlendirilmiştir.



ANALYSIS OF SHIP MOTIONS

SUMMARY

A ship traveling obliquely to the direction of wave crests will experience a complicated series of oscillations. In the analysis, these motions are considered as the summation of six components, three translational and three rotational.

One of the special simplified cases for investigating the motions of a ship in harmonic waves is the one that the ship travels in a direction normal to the wave crests and experiences only surge, heave and pitch motions in the plane of symmetry. The oscillatory surging motions do not appear to be of direct interest in defining the seagoing qualities of the ships.

In the scope of this study, the pitching and heaving motions of a ship traveling in regular head seas are investigated. It is possible for the whole study to be investigated in two main parts.

The first part is consisted of the method of Korvin-Kroukovsky, which is based on the strip theory, and used for the calculations of previously mentioned ship motions. The method of Korvin-Kroukovsky is divided into five major parts and transferred into five tables in Excel program so that the application of the method is facilitated. The tables are devised to implement the linearized theory based on the assumption that wave heights and motions are small enough so that the coefficients of equations of motions may be considered as constant in time.

Two case studies are carried out for verifying the prepared tables. The heaving and pitching motions of a warship and a container form in regular head seas are investigated by using two programs, the tables prepared in Excel and a commercial ship motions program, Lloyds' Register. The comparison of the computed motions by two programs and the comparison of the computed results with the towing tank tests over a range of wave lengths are done.

At the second part, the theories of **Kaplan (1969)**, **Vugts (1970)**, **Gerristma and Beukelman (1964)** and **Ogilvie and Tuck (1969)** are investigated. The variations, caused by different forward speed effect terms in the hydrodynamic coefficients, heave and pitch motion amplitudes and the bending moments are investigated for comparing the four theories. The Scores program, which is the earliest version of Lloyds' Register commercial program, is modified so that the three dimensional hydrodynamic coefficients could be calculated according to the four theories. The heave added mass and damping coefficients, heave and pitch motion amplitudes and longitudinal bending moments of a warship form are calculated by using this program. The results obtained with the four theories are compared with eachother, the experimental data and the computational data in the literature.

In the introduction part, the ship motions are defined and an extensive literature review is given about the calculation of ship motions and the strip theory. Also the strip theory is explained in detail.

The second chapter is a step-by-step guide to the computational procedure of the Korvin-Kroukovsky method which calculates the forces that act on a ship in regular head seas and result in heaving and pitching motions and longitudinal bending moments.

In the third chapter, the commercial ship motions program of Lloyds' Register, which is used for verification of Korvin-Kroukovsky method in the case study, is examined. Information is given about the calculation process and the theory of the Lloyds' Register program. Since the program Scores is the first version of the Lloyds' Register program, the theory included in the third chapter is also valid for it. It is also necessary to state that, the theory of the previously mentioned programs is the one that is developed by **Kaplan (1969)**. Also, the terms that are separately included by the four theories in the three dimensional hydrodynamic coefficients are investigated in this chapter.

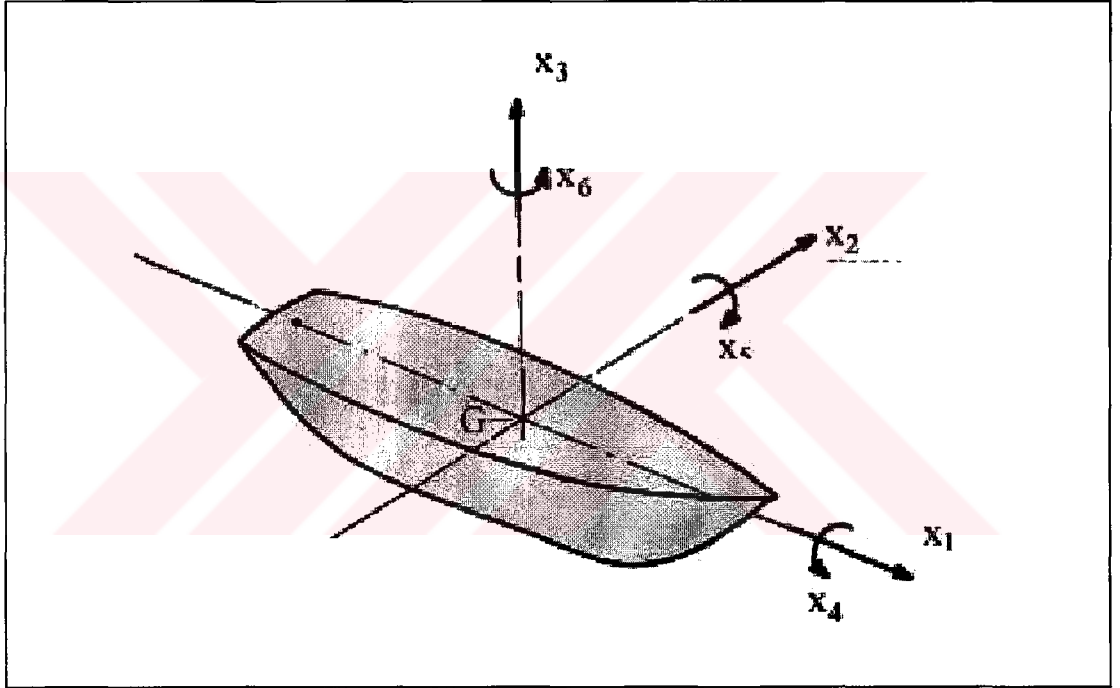
In the last chapter, conclusions, the case studies, the ship forms that are used in the case studies and the results obtained from the case studies are included in detail. Also, the evaluation of the whole study is done.



1. GİRİŞ

1.1. Gemi Hareketleri

Dalgalı bir denizde seyir halindeki bir gemi, bir seri yer değiştirme ve dönme hareketleri yapar. Gemi hareketlerinin analizi yapılırken bu hareketlerin, üç adet yer değiştirme ve üç adet dönme hareketi olmak üzere, altı hareket bileşeninden oluştuğu göz önüne alınır. Şekil 1.1' de geminin, altı hareket bileşeni tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1. Altı Türdeki Gemi Hareketleri

Şekle göre, X_1 eksen yönündeki hareket, geminin boyuna eksen doğrultusundaki ileri ve geri öteleme hareketi olarak tanımlanan boy öteleme hareketidir. X_2 eksen yönündeki hareket, geminin enine eksen doğrultusunda yaptığı yan öteleme hareketidir. Düşey X_3 eksen boyunca yaptığı hareket ise; geminin aşağıya ve yukarıya doğru olan hareketidir ki bu hareket dalıp-çıkma hareketi olarak adlandırılır. X_4 ile gösterilen dönel hareket, geminin boyuna eksen etrafındaki açısai hareketidir ve yalpa hareketi olarak isimlendirilir. X_5 , geminin enine eksen etrafında yaptığı açısai harekettir ve baş-kıç vurma hareketi olarak isimlendirilir Bu hareket

esnasında, gemi sırasıyla baş ve kıç tarafına trim yapar. X_6 hareketi ise; geminin düşey eksen etrafındaki açılma hareketi olan savrulma hareketidir.

Tanımlanan, söz konusu hareketlerden yalnızca dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri etkiyen doğrultucu kuvvet ve moment etkisi dolayısıyla tamamen salınımlı hareketlerdir. Bir dış etken nedeniyle denge konumu bozulan bir gemi, bu hareketleri bir geri getirme kuvveti altında yapmaktadır.

Newton'un ikinci yasasına göre, dalgalarda salınım yapan bir geminin altı serbestlik dereceli hareketleri için hareket denklemi, en genel şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sum_{j=1}^6 \left[M_{ij} \ddot{x}_j \right] = i \text{ yönündeki tüm kuvvet veya momentlerin toplamı; } i=1,...,6 \quad (1.1)$$

(1.1) denkleminin sağında kalan kuvvet ve momentlerin toplamı, gemi ve hareketlerinin lineer bir sistem olduğu düşünülürse; geminin sakin suda yaptığı harmonik salınım hareketinden kaynaklanan hidrodinamik kuvvet ve momentler ile hareketi kısıtlanmış olan gemi üzerine gelen harmonik dalgalardan dolayı oluşan zorlayıcı dalga kuvveti ve momentlerinin superpozisyonu ile elde edilebilir (**Journee ve Adegeest, 2003**).

Bununla birlikte, dalgalardan dolayı altı serbestlik dereceli hareketler yapan gemi, lineer zorlayıcı kuvvet ve momentler altında hareket eden yay-kütle sistemi gibi düşünülebilir. Söz konusu sistemin hareket denklemindeki katsayılar frekansın bağılısı olacaktır. Denklem (1.1) aşağıdaki gibi genişletilebilir.

$$\sum_{j=1}^6 \left[\left(M_{ij} + a_{ij} \right) \ddot{x}_j + b_{ij} \dot{x}_j + c_{ij} x_j \right] = F_i \quad ; i=1,...,6 \quad (1.2)$$

Denklem (1.2)'de $i=1,2,3$ indisleriyle gösterilen x_i 'ler gemi ağırlık merkezinin yaptığı boy öteleme, yan öteleme ve dalıp-çıkma gibi yer değiştirme hareketlerini temsil etmektedir. Aynı x_i 'ler $i=4,5,6$ indisleri için ise, geminin, G gemi ağırlık merkezinden geçen X_1, X_2 , ve X_3 eksenleri etrafında yaptığı açılma hareketleri olan yalpa, baş-kıç vurma ve savrulma hareketlerini temsil etmektedir. ij indisleri, i . hareketin j . hareket ile olan birleşik etkilerini göstermektedir.

Hareket denklemlerindeki kütleler, geminin kendi kütlesi ve kütle atalet momenti (M_{ij}) ile geminin hareketleri nedeniyle sakinliği bozulan suya ait hidrodinamik kütle

ve kütle atalet momentlerini (Ek su kütlesi ve ek su kütlesi atalet momenti, a_{ij}) içermektedir.

Salınım yapan gemi, hareketleri ile suda dalgalar oluşturacaktır. Oluşan dalgalar yoluyla bir kısım enerji yayılarak, gemiden suya aktarılacak ve bu sayede geminin hareketi giderek sönümlenecektir. Söz konusu olay, hidrodinamik sönüm terimi olan $b_{ij} \dot{x}_i$ terimi ile hareket denkleminde yer almaktadır.

Dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri için hidrostatik geri getirme kuvvetlerini temsil eden $c_{ij} x_i$ terimi hareket denklemlerinde yer almalıdır.

Denklem (1.2)'de, denklemin sağ tarafında yer alan F_i ise, zorlayıcı dalga kuvvetlerini ve momentlerini göstermektedir.

Hareket denkleminde, ek su kütlesi, sönüm katsayısı ve zorlayıcı dalga kuvvet ve momentleri bilinmemektedir. Dolayısıyla, ikinci mertebeden bir diferansiyel denklem olan hareket denkleminin çözülebilmesi için öncelikle hidrodinamik büyüklüklerin hesaplanması gerekmektedir. Hidrodinamik büyüklükler, hidrodinamik kuvvet, gemi ıslak yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı, ek su kütlesi ve sönüm katsayısı değerlerinden ibarettir.

Dilim teorisinde, gemi 20 ila 30 kesite bölünerek, söz konusu hidrodinamik katsayılar ve zorlayıcı dalga kuvvetleri hesaplanır. Üç boyutlu değerleri elde edebilmek için, hesaplanan iki boyutlu değerlerin gemi boyunca sayısal olarak integrasyonu alınır. Son olarak, geminin hareketlerini hesaplamak için diferansiyel denklemler çözülür.

Çeşitli gemi hareket teorileri hidrodinamik katsayıların hesaplanmasında kullandıkları metodlar ve bu metodlarda yer alan kabuller açısından farklılıklar göstermektedirler. Örneğin, Hazen ve Nims (1940), Weinblum ve St. Denis (1950) ve St. Denis (1951) dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerindeki çapraz bağlaşımı ihmal ederek ilgili hidrodinamik katsayıların sifıra eşit olduğu kabulünü yapmışlardır. Kriloff (1896), a ve A katsayılarının sırasıyla gemi kütlesi m ve atalet momenti I' ya eşit olduğu kabulünü yapmıştır. Weinblum ve St. Denis ise ek su kütlesini elipsoidlerin ek su kütleleri ile karşılaştırma yaparak hesaplamışlardır. Sönüm katsayıları olan b ve B katsayılarının hesaplanması için ise Haskind (1946)'in formülasyonunu baz almışlardır. St.Denis, hidrodinamik katsayıların

hesaplanmasında a ve A katsayısını hesaplamak için **F.M.Lewis (1929)**'in yöntemini ve b , B katsayılarını hesaplamak için ise **Havelock (1942)**'un yöntemini seçerek dilim teorisini uygulamıştır. Yukarıda sözü edilen bütün bilim adamları dalga kuvvetleri ve momentlerini hesaplamak için Froude-Kriloff hipotezini kullanmışlardır.

Ursell (1949)'in, derin suda salınım yapan yarı dairesel kesitlerin hidrodinamik katsayılarının hesaplanabilmesi amacıyla geliştirdiği potansiyel teorisini kullanılmasıyla, ilk kez, düzgün dalgalarda yüzen bir geminin hareketleri kabaca hesaplanmaya başlanmıştır. Daha sonra, **Tasai, Grim, Gerristma ve Lewis** gibi birçok bilim adamı, gemi kesitlerini yarı dairesel kesitlere dönüştürebilmek amacıyla çeşitli konform tasvir tekniklerini, **Ursell (1949)**'in teorisıyla birleştirerek kullanmışlardır ve böylece daha gerçekçi gemi formlarının, gemi hızının sıfır olması durumunda, düzgün dalgalardaki hareketleri hesaplanabilmeye başlanmıştır. Kullanılan konform tasvir tekniklerinden en çok kullanılanı **Lewis**' in geliştirdiği iki parametrelili teknik olmuştur. **Tasai (1960)** ise, **Lewis**'in iki parametrelili ailelerini kullanmak yerine, n -parametrelili aileler kullanarak, bir silindirin serbest yüzeyde dalı-çıkma hareketi yapması durumunda üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvetleri frekansın fonksiyonu olarak elde etmiştir.

Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957)'un geminin ileriye doğru olan hızını da hesaplamalara katabilmek için geliştirdikleri yöntemde de geminin düzgün dalgalar arasındaki davranışı yalnızca sıfır hız durumu için incelenebilmiştir. **Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957)**'un baştan gelen dalgalarda dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerini hesaplamak için geliştirdikleri dilim teorisi, mühendislikte kullanılabilecek hassasiyette sonuçlar veren ilk dilim teorisidir. **Korvin-Kroukovsky ve Lewis (1955)** ve **Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957)** hidrodinamik katsayıların hesaplanması için gemi kesit özelliklerinin integrasyonunu baz alan bir dilim metodu kullanmışlardır. Bu yöntemde kesit ek su kütlelerinin hesaplanması için **Ursell (1949)**'in yüzen dairesel bir silindir için yaptığı çalışmayı kullanarak **Lewis (1929)** tarafından hesaplanmış ek su kütlesi katsayılarında serbest yüzey etkisini gösteren düzeltmeler yapmışlardır. Sönüm katsayılarının hesabında ise 1955'de yayınlanan makalede **Havelock (1942)**'un yöntemini, 1957 tarihli makalede ise **Grim (1953)**' in metodunu kullanmışlardır. Zorlayıcı dalga yüklerini, Froude-Kriloff kuvvetleri ve momentleri olarak anılan, gemi tarafından bozulmamış olan

dalgalardan gelen yüklere, geminin dalgalar arasındaki varlığı durumunda oluşan difraksiyon terimlerinin eklenmesiyle elde etmişlerdir. Bu teori daha sonra **Jacobs (1958)** tarafından, düşey kesme kuvvetini ve eğilme momentini de hesaplayabilecek şekilde genişletilmiştir.

Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957)'un dilim teorisi ve deneyler arasındaki uyum oldukça tatmin edici olsa da, hareket denklemi katsayılarındaki ileri hızı hesaba katan terimlerin **Timman ve Newman (1962)**'ın simetri ilişkisini sağlamadığı görülmüştür.

Daha sonraları, **Korvin-Kroukovsky ve Jacobs**'un teorisi, modifiye edilmiş ve genişletilmiştir. Örneğin, **Smith (1967)**, **Gerristma ve Beukelman (1967)** tarafından modifiye edilen dilim teorisinin baştan gelen dalgalarda yüksek hızlarda seyreden bir destroyerin hareketlerini deneylerle uyum içerisinde hesapladığını göstermiştir.

Özellikle, konformal tasvir için daha çok parametre kullanılmasıyla gemi kesitlerinin daha doğru bir şekilde transformasyonunu sağlayan “yakın-uyum” yöntemlerinin kullanılmaya başlamasıyla, kesit ek su kütlesi ve sönüm katsayılarının hesaplanmasında büyük ilerleme kaydedilmiştir. Örneğin, **Smith ve Salvesen (1970)** baştan gelen düzgün dalgalarda yüksek hızlarda seyreden, büyük yumrubaşı baş kesitleri olan tekne formlarının hareketlerinin dahi, yakın-uyum yöntemleri ile oldukça hassas bir şekilde hesaplanabildiğini göstermişlerdir.

Frank (1967), derin bir suda yüzen bir gemi kesiti için, konform tasvir kullanmadan, hidrodinamik katsayıların hesaplanmasını sağlayan kaynak dağılımı teorisini geliştirmiştir. Böylece, yumrubaşı bir baş kesiti gibi tamamen batmış olan bir gemi kesiti için ve alan katsayısı çok düşük olan kesitler için de hidrodinamik katsayılar hesaplanmıştır.

Ogilvie ve Tuck (1969) geminin dalgaları baştan alması durumu için slender-body teorisini kullanarak, tamamen yeni bir dilim teorisi geliştirmişlerdir.

Ayrıca, **Salvesen, Tuck ve Faltinsen (1970)** düzgün dalgalarda sabit hızla seyreden bir gemi için dalıp-çıkma, baş-kıç vurma, yan-öteleme, yalpa ve savrulma hareketlerini ve dalgalar nedeniyle oluşan düşey ve yatay kesme kuvveti, eğilme momenti ve burkulma momentlerinin hesaplanmasına olanak sağlayan yeni bir dilim teorisi geliştirmişlerdir.

Takagi ve Ganno (1967), makalelerinde, dilim teorisinin kabullerinin dalgalarda yüzen bir geminin hareketlerinin hesaplanmasındaki doğruluğunu incelemişlerdir. Dilim teorisinin lineer bir teori olduğunu ve lineerlik koşulunun uygulanabilmesi için, üç boyut etkisinin ve hız etkisinin ihmal edilebilmesini sağlayan, gemi gövdesinin yeterince uzun olması gerekliliği, geminin hareketleri dolayısıyla oluşan dalgaların boylarının gemi boyuna ve gelen dalgaların boyuna oranla oldukça kısa olması gerekliliği ve tekneye etkiyen hidrodinamik basıncın yer değiştirmeden bağımsız olması gerekliliğini hatırlatmışlardır. Viskozite ve kesit şeklinin etkisinin pratik olarak ihmal edilebileceğini ancak üç boyut etkisinin ve seyir hızı etkisinin geniş bir dalga boyu/gemi boyu aralığı incelendiğinde çok daha büyük olduğunu vurgulamışlardır. Sonlu su derinliği etkisi için ise, su derinliği/gemi boyu oranının 1'den büyük olması koşulunda hidrodinamik kuvvetlerin ve gemi hareketlerinin ihmal edilebilir derecede etkilendiğini ancak, söz konusu oranın 0,5'den küçük olduğunda bu büyüklüklerin sonlu derinlikten etkilendiklerini ve sonlu derinlikteki hareket genliklerinde sonsuz derinliktekine oranla azalma olduğunu gözlemişlerdir. Sığ sularda, hidrodinamik katsayıların hesaplanması üzerine **Keil (1974)** Lewis'in konform tasvir tekniğini kullandığı bir teori geliştirmiştir.

80'li yılların başlarında, kişisel bilgisayarların kullanılmaya başlamasıyla, gemi hareketlerinin hesaplamalı olarak elde edilmesi yaygınlaşmıştır. Bu yıllardan sonra bilgisayar kapasitelerinin ve dolayısıyla hesaplama hızlarının hızla artması, üç boyutlu teorilerin daha kolay bir şekilde geliştirilmesini sağlamıştır. Ancak, ileri seyir hızının üç boyutlu teorilerde oldukça kompleks bir problem oluşturması, dilim teorisi gibi iki boyutlu yaklaşımların günümüzde hala yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmaktadır. **Faltinsen ve Svensen (1990)** iki boyutlu ve üç boyutlu teorilerin avantaj ve dezavantajlarını incelemişlerdir.

1.2. Dilim Teorisi

Dilim teorisi üç boyutlu hidrodinamik bir problemin iki boyutlu, analitik olarak çözülmesi mümkün olan alt problemlere indirgenmesi amacını taşıyan hesaplamalı bir yöntemdir. Geminin, viskozitesiz, homojen, yüzey gerilimi olmayan sıkıştırılmaz, irrotasyonel bir akışkanın yani ideal bir akışkanın yüzeyinde yüzen rijit bir cisim olduğu düşünülür. Dilim teorisi kullanılarak, üç boyutlu yüzen bir cisim üzerinde oluşan kuvvet ve momentler iki boyutlu potansiyel teori yardımıyla

hesaplanabilir. Gemiye etkiyen yükler hesaplanırken geminin yalnızca suyun altında kalan kısmı hesaba katılır. Dilim teorisi gemiye uygulanırken, geminin sınırlı sayıda iki boyutlu dilimlerden oluştuğu düşünülür. Her dilim, temsil ettiği gemi en kesitinin formuna sahiptir ve her bir dilimin sonsuz uzunluktaki yüzen bir silindirin bir kesiti olduğu varsayılır.

Dilim teorisindeki ilk adım, başlangıç noktasından ξ uzaklığındaki bir gemi kesiti üzerinde gemi ile dalgaların bağıl düşey hareketleri nedeniyle oluşan hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanmasıdır. Her bir gemi kesitine etkiyen kuvvetler hesaplandıktan sonra, bu kuvvetler gemi boyunca integre edileceklerdir. Böylece gemi üzerindeki yükler hesaplanmış olacaktır. Ayrıca, her bir dilim için, iki boyutlu olarak ek su kütlesi ve sönüm katsayıları hesaplanabilir. Daha sonra, bu hidrodinamik değerlerin gemi boyunca integre edilmesiyle, gemi ek su kütlesi, sönüm katsayısı ve hareket denklemlerinde yer alan diğer hidrodinamik katsayılar hesaplanabilir. Sonuç olarak, ikinci dereceden diferansiyel denklemler olan hareket denklemlerinin katsayıları ve sağ tarafındaki yükler hesaplanmış olacağından, geminin hareketleri çözülmüş olacaktır.

1.2.1 Tanımlar

Şekil 1.2’de harmonik bir dalga sistemi, sabit bir t zamanı için, üç boyutlu olarak görülmektedir. Dalga boyu, λ , dalga genliği, ζ_a , dalga profili, ζ ile gösterilmiştir. xy düzlemi, sakin su yüzeyini göstermektedir. z ekseninin pozitif yönü, sakin su hattından yukarıya doğrudur. x eksenini ise, dalga oluşumu yönünde pozitifdir. Su derinliği, h , deniz dibi ($z=-h$) ile sakin su yüzeyi ($z=0$) arasından ölçülmektedir.

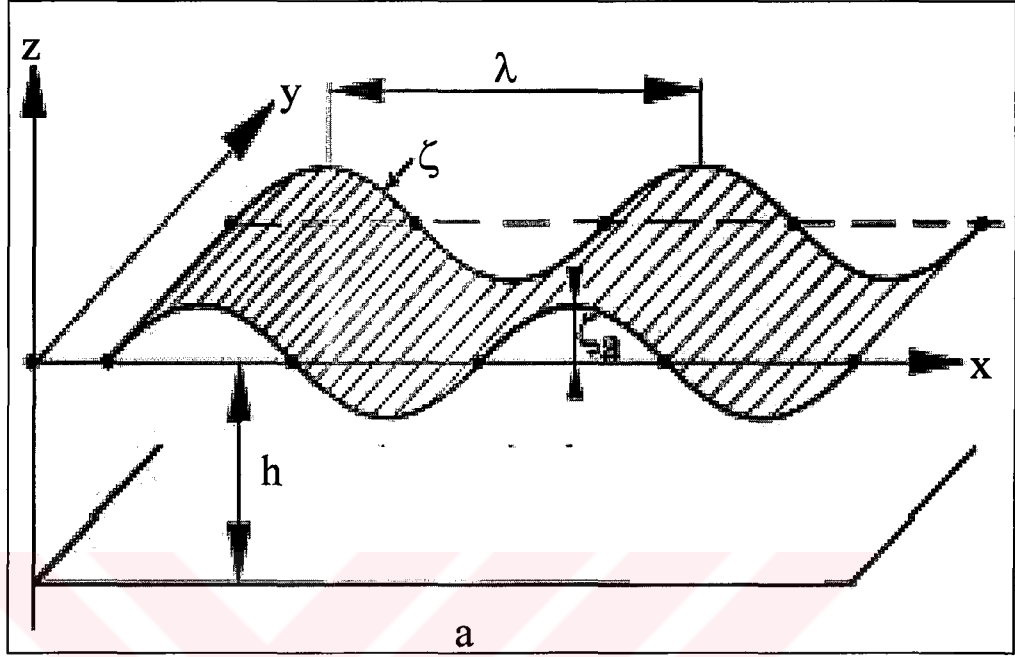
İki dalga tepesinin ya da iki dalga çukurunun oluşması arasında geçen süre dalga periyodu, T , olarak adlandırılır. Dalga boyu ve dalga frekansı aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.3)$$

Dalga, bir dalga periyodu boyunca bir dalga boyu kadar ilerlediğinden, dalga hızı denklem (1.4)’de görüldüğü gibi yazılabilir:

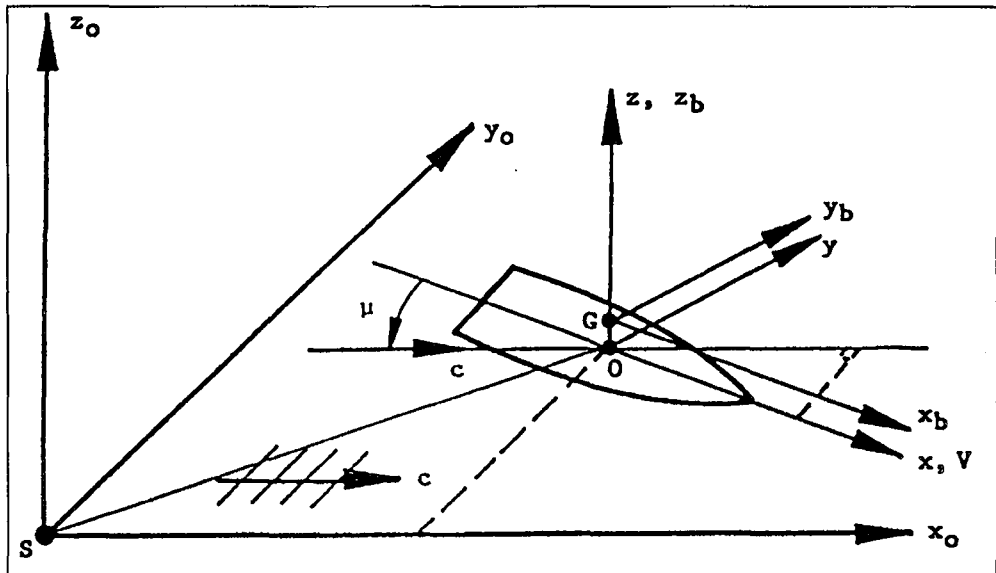
$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

(1.4)



Şekil 1.2. Harmonik Dalga

Dalgalarda yüzen bir geminin hareketlerini tanımlamak amacıyla, Şekil 1.3'deki üç adet koordinat sistemi tanımlanmıştır. $S(x_0, y_0, z_0)$ koordinat sistemi uzayda sabittir. $x_0 y_0$ düzlemi sakin su yüzeyinde bulunmaktadır. x_0 , dalga ilerleme yönünü göstermektedir. z_0 ise yukarıya doğru pozitif yönlü olan düşey eksenidir.



Şekil 1.3. Koordinat Sistemleri

Diğer bir $O(x,y,z)$ koordinat sistemi ise, gemi ile birlikte, geminin hızına eşit olan V sabit hızıyla hareket etmektedir. x eksen, gemi hızı ile aynı yöndedir. y eksen, gemiye göre iskele yönündedir ve z eksen ise, yukarıya doğru pozitif olan düşey eksenidir. Gemi, $O(x,y,z)$ hareketli koordinat sistemi etrafında salınım yapmaktadır. Söz konusu koordinat sisteminin orijini olan O noktası, gemi ağırlık merkezi olan G 'nin üzerinde ya da altında bulunmaktadır. xy düzlemi sakin su yüzeyinde yer almaktadır.

Üçüncü bir koordinat sistemi olan $G(x_b,y_b,z_b)$, orijini geminin ağırlık merkezi ile çakışık olacak şekilde düzenlenmiştir. x_b , gemi hızı yönündedir. y_b , geminin iskele tarafına doğru pozitifdir. z_b , ise yukarıya doğrudur.

Dalgaların, gemi ilerleme doğrultusu ile μ açısı yapacak şekilde pozitif x_0 yönünde ilerledikleri düşünülürse, dalga profili denklem (1.5)'de görülebileceği gibi ifade edilebilir.

$$\zeta = \zeta_a \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot x_0) \quad (1.5)$$

$O(x,y,z)$ koordinat sistemi, gemi hızı V ile hareket etmekte olduğundan, x_0 $O(x,y,z)$ koordinat sistemi bileşenleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$x_0 = V \cdot t \cdot \cos \mu + x \cdot \cos \mu + y \cdot \sin \mu \quad (1.6)$$

Karşılaşma frekansı ve dalga frekansı arasındaki bağıntı denklem (1.7)'de yer almaktadır.

$$\omega_e = \omega - k \cdot V \cdot \cos \mu \quad (1.7)$$

Denklem (1.6) ve denklem (1.7) kullanılarak, denklem (1.5) aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\zeta = \zeta_a \cdot \cos(\omega_e \cdot t - k \cdot x \cdot \cos \mu - k \cdot y \cdot \sin \mu) \quad (1.8)$$

$O(x,y,z)$ koordinat sisteminde, geminin y eksen etrafındaki dönme hareketi olarak tanımlanabilecek olan baş-kıç vurma ve z eksen boyunca geminin aşağı ve yukarı yönlerde yaptığı yer değiştirmeler olarak tanımlanabilecek olan dalıp-çıkma hareketlerinin denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

Dalıp-çıkma hareketi;

$$z = z_a \cdot \cos(\omega_e \cdot t + \varepsilon_{z\zeta}) \quad (1.9)$$

Baş-kıç vurma hareketi;

$$\theta = \theta_a \cdot \cos(\omega_e \cdot t + \varepsilon_{\theta\zeta}) \quad (1.10)$$

Böylece, O(x,y,z) koordinat sistemindeki harmonik hızlar ve ivmeler, denklem (1.9) ve (1.10)'da görülen açısal ya da doğrusal yer değiştirmelerin birinci ve ikinci türevleri alınarak bulunabilir. Örneğin, dalıp-çıkma hareketi için;

$$\begin{aligned} z &= z_a \cdot \cos(\omega_e \cdot t + \varepsilon_{z\zeta}) \\ \dot{z} &= -\omega_e \cdot z_a \cdot \sin(\omega_e \cdot t + \varepsilon_{z\zeta}) \\ \ddot{z} &= -\omega_e^2 \cdot z_a \cdot \cos(\omega_e \cdot t + \varepsilon_{z\zeta}) \end{aligned} \quad (1.11)$$

1.2.2 Dalga Potansiyeli

xz düzleminde hareket etmekte olan bir dalganın potansiyeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Phi_w(x, z, t) = P(z) \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.12)$$

$P(z)$, z' ye bağlı bilinmeyen bir fonksiyondur. $P(z)$ fonksiyonunu ve dolayısıyla $\Phi_w(x, z, t)$ dalga potansiyelinin çözülebilmesi için düzgün harmonik dalga potansiyelinin sağlaması gereken koşullardan yararlanılır. Bu koşullar, süreklilik koşulu ya da Laplace denkleminin sağlanması, serbest yüzey dinamik ve kinematik sınır koşulları ile deniz dibindeki sınır koşulunun sağlanması şeklinde sıralanabilir.

1.2.3 Süreklilik Koşulu ve Laplace Denklemi

Akışkan zerreciklerinin, x, y ve z eksenleri yönlerindeki hızları olan u , v , w sırasıyla v_x , v_y , ve v_z olarak tanımlanırsa, dalga hız potansiyelinden faydalanılarak akışkan zerresinin üç yöndeki hızları denklem (1.13)' de görülebileceği gibi tanımlanır.

$$u = v_x = \frac{\partial \Phi_w}{\partial x} \quad v = v_y = \frac{\partial \Phi_w}{\partial y} \quad w = v_z = \frac{\partial \Phi_w}{\partial z} \quad (1.13)$$

Akışkanın sıkıştırılmaz ve homojen olduğu kabul edildiğinden, akışkan zerrecikleri için süreklilik koşulu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.14)$$

Potansiyel akışlar için, denklem (1.14)'de görülen süreklilik koşulu Laplace denkleminde dönüşmektedir:

$$\nabla^2 \Phi_w = \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial z^2} = 0 \quad (1.15)$$

Akışkan parçacıklarının, yalnızca xz düzleminde hareket ettikleri düşünülürse, akışkan parçacıklarının y yönünde hızlarının bulunmadığı yani hızın y bileşeninin sıfır olduğu söylenebilir. Bu durumda:

$$v = \frac{\partial \Phi_w}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial y^2} = 0 \quad (1.16)$$

Akışkan parçacıklarının y hız bileşeninin sıfır olduğunu dikkate alarak, dalga potansiyeli için yazılan denklem (1.12)'yi Laplace denkleminde yerine koyulması durumunda aşağıda görülen ikinci dereceden homojen diferansiyel denklem elde edilir:

$$\frac{d^2 P(z)}{dz^2} - k^2 \cdot P(z) = 0 \quad (1.17)$$

$P(z)$ 'nin çözümü aşağıdaki gibidir:

$$P(z) = C_1 \cdot e^{+k \cdot z} + C_2 \cdot e^{-k \cdot z} \quad (1.18)$$

Bu durumda, dalga potansiyeli iki bilinmeyen katsayıya bağlı olarak denklem (1.19)'da görülebileceği gibi yazılabilir.

$$\Phi_w(x, z, t) = (C_1 \cdot e^{+k \cdot z} + C_2 \cdot e^{-k \cdot z}) \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.19)$$

1.2.4 Deniz Dibiindeki Sınır Koşulu

Akışkan zerrelerinin, deniz dibi yüzeyindeki düşey hızları sıfırdır. Öyle ise, $z = -h$ için;

$$\frac{\partial \Phi_w}{\partial z} = 0 \quad (1.20)$$

Bu sınır koşulu, denklem (1.19)'da yazılmış olan dalga potansiyeline uygulanırsa;

$$k \cdot C_1 \cdot e^{-k \cdot h} - k \cdot C_2 \cdot e^{+k \cdot h} = 0 \quad (1.21)$$

C_1 ve C_2 katsayıları aşağıdaki gibi bir C katsayısı ile tanımlanabilir:

$$C = 2 \cdot C_1 \cdot e^{-k \cdot h} = 2 \cdot C_2 \cdot e^{+k \cdot h} \quad (1.22)$$

Öyle ise;

$$P(z) = C \cdot \cosh[k \cdot (h + z)] \quad (1.23)$$

ve

$$\Phi_w(x, z, t) = C \cdot \cosh[k \cdot (h + z)] \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.24)$$

1.2.5 Serbest Yüzey Dinamik Sınır Koşulu

Akışkanın serbest yüzeyindeki basınç, p , atmosferik basınç olan p_o 'a eşittir. Basınçla ilgili olan bu koşul serbest yüzeydeki dinamik sınır koşulu olarak adlandırılır.

Üç hız bileşenine sahip, daimi olmayan, irrotasyonel bir akış için Bernoulli denlemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot (u^2 + v^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + g \cdot z = 0 \quad (1.25)$$

İki boyutlu olarak düşünülduğünde, $v=0$ olacaktır. Dalga dikliklerinin çok küçük olduğu kabul edilir ve dolayısıyla diğer hız bileşenlerinin de çok küçük olduğunu varsayılırsa, lineerleştirilmiş Bernoulli denklemi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{p}{\rho} + g \cdot z = 0 \quad (1.26)$$

p/ρ değeri, sabit olduğu için, $\partial \Phi_w / \partial t$ teriminin içerisine koyularak Bernoulli denklemi düzenlenirse, serbest yüzeyde, $z = \zeta$ için, sınır koşulu aşağıdaki şekli alacaktır.

$$\frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + g \cdot \zeta = 0 \quad (1.27)$$

Serbest yüzeydeki dalga potansiyeli Taylor serisine açılır ve dalga yüzeyinin düşey yer değiştirmesinin bağıl olarak küçük olduğu düşünülürse, dalga yüzey profili için denklem (1.28) elde edilebilir.

$$\zeta = \frac{\omega \cdot C}{g} \cdot \cosh[k \cdot h] \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.28)$$

Denklem (1.28), dalga genliği, ζ_a , (1.29)'daki gibi alınırsa,

$$\zeta_a = \frac{\omega \cdot C}{g} \cdot \cosh[k \cdot h] \quad (1.29)$$

$$\zeta = \zeta_a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1.30)$$

Dalga profili denklemi, denklem (1.30)'da görüldüğü gibi düzenlenebilir. Böylece, denklem (1.24) su derinliğine bağlı olarak, aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$\Phi_w = \frac{-\zeta_a \cdot g}{\omega} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (h + z)]}{\cosh[k \cdot h]} \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot x) \quad (1.31)$$

Derin su koşulunda ise, dalga potansiyeli denklem (1.32)'de görülen halini alacaktır.

$$\Phi_w = \frac{-\zeta_a \cdot g}{\omega} \cdot e^{kz} \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot x) \quad (1.32)$$

1.2.6 Serbest Yüzey Kinematik Sınır Koşulu

Serbest yüzeyde bulunan bir akışkan zerresinin düşey hızının serbest yüzeyin düşey hızına eşit olması koşulu serbest yüzey kinematik sınır koşulu olarak adlandırılır.

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (1.33)$$

$$\text{ve} \quad \frac{dz}{dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (1.34)$$

Denklem (1.34)'de yer alan ikinci terim, dalga dikliğinin küçük kabul edilmesinden dolayı, iki küçük değerın çarpımını içermektedir. İki küçük değerin çarpımı daha da küçük olacağından bu terim ihmal edilebilir. Bu durumda $z = \zeta$ için,

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (1.35)$$

olacaktır.

Serbest yüzeydeki bir akışkan zerresinin düşey hızı, $z = \zeta$ için;

$$\frac{\partial \Phi_w}{\partial z} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (1.36)$$

olacaktır. Denklem (1.36), dalğanın düşey yer değiştirmesinin bağıl olarak çok küçük kabul edilmesinden dolayı $z = 0$ için de geçerli olacaktır.

$z = 0$ için, serbest yüzey dinamik sınır koşulu olan denklem (1.27)'nin zamana göre türevi alınacak olursa;

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial t^2} = 0 \quad (1.37)$$

elde edilecektir. Denklem (1.35) göze alınarak, serbest yüzey kinematik sınır koşulu $z = 0$ için aşağıda görüldüğü gibi yazılır.

$$\frac{dz}{dt} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial^2 \Phi_w}{\partial t^2} = 0 \quad (1.38)$$

1.2.7 Yayılım İlişkisi

Dalga potansiyelinin ifade edildiği denklem (1.31), denklem (1.38)'de yerine yazılacak olursa, herhangi bir su derinliği için dalga frekansı ile dalga sayısı arasındaki yayılım (dispersion) ilişkisi elde edilir.

$$\omega^2 = k \cdot g \cdot \tanh[k \cdot h] \quad (1.39)$$

Derin su için;

$$\omega^2 = k \cdot g \quad (1.40)$$

olacaktır. Gemi üzerindeki, hidromekanik yükler ve dalga zorlayıcı kuvvetleri hesaplanırken, $x \approx x_b$, $y \approx y_b$ ve $z \approx z_b$ olduğu kabul edilir. Ayrıca, geminin ileriye doğru bir hıza sahip olması durumunda, dalga frekansının yerini karşılaşma frekansı ω_e alacaktır. Öyle ise, $G(x_b, y_b, z_b)$ koordinat sisteminde, dalga profili aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\zeta = \zeta_a \cdot \cos(\omega_b \cdot t - k \cdot x_b \cdot \cos \mu - k \cdot y_b \cdot \sin \mu) \quad (1.41)$$

Düzgün dalgalar için, dalga potansiyeli ise aşağıdaki şekli alacaktır.

$$\Phi_w = \frac{-\zeta_a \cdot g}{\omega} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (h + z_b)]}{\cosh[k \cdot h]} \cdot \sin(\omega_b \cdot t - k \cdot x_b \cdot \cos \mu - k \cdot y_b \cdot \sin \mu) \quad (1.42)$$

1.3. Düzgün Dalgalarda Yüzen Cisim

Sonlu derinliğe sahip, ideal bir akışkan içerisinde, harmonik dalgalarda yüzen rijit bir cisim düşünülürse, akışkanın hız potansiyeli üç bileşene ayrılabilir. Bu üç bileşen, cismin sakin sudaki salınım hareketi için radyasyon potansiyeli, Φ_r , gelen dalgaların hız potansiyeli, Φ_w , kısıtlanmış cismin etrafındaki dalgaların difraksiyon

potansiyeli, Φ_d olacaktır. Böylece akışkanın hız potansiyeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Phi(x, y, z, t) = \bar{\Phi}_r + \bar{\Phi}_w + \bar{\Phi}_d \quad (1.43)$$

Hız potansiyeli, Laplace denklemini, deniz dibindeki sınır koşulunu ve serbest yüzey sınır koşulunu sağlamak zorundadır. Salınım hareketi yapan rijit cisim için ayrıca üç adet sınır koşulu yazılabilir. Bunlar, salınım yapan cismin yüzeyindeki kinematik sınır koşulu, radyasyon koşulu ve simetri ya da anti-simetri koşullarıdır. Cismin yüzeyi, $P(x, y, z)$ 'in herhangi bir noktasındaki normal hız, v_n olmak üzere, salınım yapan rijit cisim yüzeyindeki kinematik sınır koşulu denklem (1.44)'de görülebilir.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = v_n(x, y, z, t) \quad (1.44)$$

Radyasyon koşuluna göre, salınım yapan cisimden uzaklığı R olan bir akışkan zerresinin, söz konusu R uzaklığının sonsuza yaklaşması durumunda hız potansiyelinin sıfıra yaklaşması gerekmektedir. Radyasyon koşulu, denklem (1.45)'de verilmiştir.

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \Phi = 0 \quad (1.45)$$

Simetri koşuluna göre, cismin simetri çizgisinin iki yanında kalan noktalarda, akışkan zerrelerinin yatay hızlarının birbirlerine zıt yönde olması gerekmektedir. Cismin dalıp-çıkma hareketi için simetri koşulu geçerlidir.

1.3.1 Kuvvet ve Momentler

Kuvvet ve momentler, cismin akışkanın altında kalan yüzeyi S üzerinde p basıncının integre edilmesiyle elde edilmektedir.

Kuvvet, $\vec{F}$ ve moment $\vec{M}$ ile gösterilecek olursa;

$$\vec{F} = - \iint_S (p \cdot \vec{n}) \cdot dS \quad (1.46)$$

ve

$$\vec{M} = - \iint_S p \cdot (\vec{r} \times \vec{n}) \cdot dS \quad (1.47)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (1.46) ve (1.47)'de görülen $\vec{n}$, dS yüzeyindeki normal vektördür. $\vec{r}$ ise yine dS yüzeyinin $O(x,y,z)$ koordinat sistemindeki pozisyon vektörüdür. p basıncı, lineerleştirilmiş Bernoulli denklemi ile, hız potansiyelleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p = -\rho \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \rho \cdot g \cdot z \quad (1.48)$$

Böylece hidromekanik kuvvet ve moment denklemleri aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \rho \cdot \iint_S \left(\frac{\partial \Phi_r}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} + g \cdot z \right) \cdot \vec{n} \cdot dS \\ \vec{M} &= \rho \cdot \iint_S \left(\frac{\partial \Phi_r}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} + g \cdot z \right) \cdot (\vec{r} \times \vec{n}) \cdot dS \end{aligned} \quad (1.49)$$

1.3.2 Hidrodinamik Yükler

Hidrodinamik yükler, sakin suda salınım yapan bir cisim üzerine akışkan tarafından uygulanan dinamik kuvvetler ve momentler olarak tanımlanır. Radyasyon hız potansiyeli, Φ_r , yani cismin akışkan içerisindeki altı serbestlik dereceli hareketlerinden dolayı meydana gelen hız potansiyeli, j . hareketten kaynaklanan hız potansiyeli Φ_j olmak üzere, denklem (1.50)'de görüldüğü gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \Phi_r(x, y, z, t) &= \sum_{j=1}^6 \Phi_j(x, y, z, t) \\ &= \sum_{j=1}^6 \phi_j(x, y, z) \cdot v_j(t) \end{aligned} \quad (1.50)$$

j yönündeki $\Phi_j(x, y, z, t)$, j yönünde, zamandan bağımsız olan hız potansiyeli $\phi_j(x, y, z)$ ile j yönünde zamanın bağılısı salınımsal bir hız olan $v_j(t)$ 'nin çarpımı

şeklinde yazılmıştır. Böylece cismin yüzeyindeki normal hız aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_r}{\partial n} &= \frac{\partial}{\partial n} \sum_{j=1}^6 \Phi_j \\ &= \sum_{j=1}^6 \left\{ \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \cdot v_j \right\}\end{aligned}\quad (1.51)$$

Öyle ise, radyasyon kuvvet ve momentleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}\vec{F}_r &= \rho \iint_S \left(\frac{\partial}{\partial t} \sum_{j=1}^6 \phi_j \cdot v_j \right) \cdot \vec{n} \cdot dS \\ \vec{M}_r &= \rho \iint_S \left(\frac{\partial}{\partial t} \sum_{j=1}^6 \phi_j \cdot v_j \right) \cdot (\vec{r} \times \vec{n}) \cdot dS\end{aligned}\quad (1.52)$$

Radyasyon kuvvet ve momentleri aşağıdaki gibi bileşenlerine ayrılabilirler.

$$\vec{F}_r = (X_{r1}, X_{r2}, X_{r3})$$

ve

$$\vec{M}_r = (X_{r4}, X_{r5}, X_{r6}) \quad (1.53)$$

Burada, k=1,...,6 olmak üzere;

$$\vec{X}_{rk} = \rho \iint_S \left(\frac{\partial}{\partial t} \sum_{j=1}^6 \phi_j \cdot v_j \right) \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \cdot dS \quad (1.54)$$

yazılabilir. Denklem (1.54), ϕ_j ve ϕ_k 'nin zamandan bağımsız olduğu göz önüne alındığında aşağıdaki formu alır.

$$X_{rk} = \sum_{j=1}^6 X_{rkj} = \sum_{j=1}^6 \frac{dv_j}{dt} \cdot \rho \iint_S \left(\phi_j \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \right) \cdot dS \quad (1.55)$$

X_{rkj} , cismin j doğrultusundaki zorlanmış salınım hareketinden kaynaklanan k doğrultusundaki radyasyon kuvveti ya da momentidir. $j=k$ için, kuvvet ya da moment kendisiyle aynı doğrultudaki hareketten kaynaklanmaktadır. $j \neq k$ durumunda ise, bir doğrultudaki kuvvet ya da moment bir başka doğrultudaki hareketten kaynaklanmaktadır.

Bir salınım hareketi için hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s_j = s_{aj} \cdot e^{-i\omega t} \quad (1.56)$$

Denklem (1.56)'dan faydalanılarak, salınım hareketinin hızı ve ivmesi denklem (1.57)'de görülebileceği gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \dot{s}_j &= v_j = -i \cdot \omega \cdot s_{aj} \cdot e^{-i\omega t} \\ \ddot{s}_j &= \frac{dv_j}{dt} = -\omega^2 \cdot s_{aj} \cdot e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (1.57)$$

Hidrodinamik kuvvet ve momentler, ivme ile aynı fazda olan yükler ve hız ile aynı fazda olan yükler olarak gruplanabilirler. Öyle ise;

$$\begin{aligned} X_{rkj} &= -M_{kj} \cdot \ddot{s}_j - N_{kj} \cdot \dot{s}_j \\ &= (s_{aj} \cdot \omega^2 \cdot M_{kj} + i \cdot s_{aj} \cdot \omega \cdot N_{kj}) \cdot e^{-i\omega t} \\ &= \left(-s_{aj} \cdot \omega^2 \cdot \rho \iint_S \phi_j \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \cdot dS \right) \cdot e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (1.58)$$

yazılabilir.

Öyle ise, cismin j doğrultusundaki salınım hareketi için, aynı doğrultudaki hız potansiyeli ϕ_j olmak üzere, hidrodinamik ek su kütlesi ve sönüm çapraz bağlaşım katsayıları denklem (1.59) ve (1.60)'da görülebileceği gibi verilebilir.

$$M_{kj} = -\text{Re} \left\{ \rho \iint_S \phi_j \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \cdot dS \right\} \quad (1.59)$$

ve

$$N_{kj} = -\text{Im} \left\{ \rho \cdot \omega \iint_S \phi_j \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \cdot dS \right\} \quad (1.60)$$

Cismin k doğrultusundaki salınım hareketi için, aynı doğrultudaki hız potansiyeli ϕ_k olmak üzere, hidrodinamik ek su kütlesi ve sönüm çapraz bağlaşım katsayıları ise denklem (1.61) ve (1.62)'de görülebileceği gibi verilir.

$$M_{jk} = -\text{Re} \left\{ \rho \iint_S \phi_k \cdot \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \cdot dS \right\} \quad (1.61)$$

ve

$$N_{jk} = -\text{Im} \left\{ \rho \cdot \omega \iint_S \phi_k \cdot \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \cdot dS \right\} \quad (1.62)$$

1.3.3 Dalga ve Difraksiyon Yükleri

Hidrodinamik kuvvet ve momentin içinde yer alan dalga ve difraksiyon terimleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \vec{F}_w + \vec{F}_d &= \rho \iint_S \left(\frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} \right) \cdot \vec{n} \cdot dS \\ \vec{M}_w + \vec{M}_d &= \rho \iint_S \left(\frac{\partial \Phi_w}{\partial t} + \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} \right) \cdot (\vec{r} \times \vec{n}) \cdot dS \end{aligned} \quad (1.63)$$

İleriye doğru hıza sahip olmayan, hareketleri kısıtlanmış bir cismin üzerindeki kuvvetler lineer süperpozisyon ile elde edilebilir. İleriye hızın sıfır olması durumu, cismin yüzeyi üzerindeki sınır koşulunun basitleşerek aşağıdaki hali almasını sağlar.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial \Phi_w}{\partial n} + \frac{\partial \Phi_d}{\partial n} = 0 \quad (1.64)$$

Böylece, dalgalarda yüzen, hareketleri kısıtlanmış bir cisim için dalga kuvvet ve momentleri denklem (1.65)'de görüldüğü gibi yazılabilir. $k=1,...,6$ olmak üzere;

$$X_{wk} = -i \cdot \rho \cdot e^{-i\omega t} \iint_S (\phi_w' + \phi_d) \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \cdot dS \quad (1.65)$$

Denklem (1.65)'de, ϕ_k , radyasyon potansiyeli, ϕ_w , gelen dalgaların potansiyeli, ϕ_d ise difraksiyon potansiyelidir. Gelen dalgaların potansiyelinin bilinmesine rağmen, difraksiyon potansiyeli bilinmemektedir. Green'in ikinci teoreminden faydalanılarak, gelen dalga ve difraksiyon potansiyelleri arasında bir bağıntı elde edilir. Bunun sonucunda **Haskind (1957)** bağıntıları olarak bilinen denklem (1.66) elde edilir.

$$X_{wk} = -i \cdot \rho \cdot e^{-i\omega t} \iint_S \left(\phi_w \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} + \phi_k \cdot \frac{\partial \phi_w}{\partial n} \right) \cdot dS \quad (1.66)$$

Akışkan zerrecilerinin, cismin yüzeyine normal doğrultuda olan hızları denklem (1.67)'de görüldüğü gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi_w}{\partial n} &= \phi_w \cdot k \cdot \left\{ \frac{\partial z}{\partial n} + i \cdot \left(\frac{\partial x}{\partial n} \cdot \cos \mu + \frac{\partial y}{\partial n} \cdot \sin \mu \right) \right\} \\ &= \phi_w \cdot k \cdot \{ f_3 + i \cdot (f_1 \cdot \cos \mu + f_2 \cdot \sin \mu) \} \end{aligned} \quad (1.67)$$

Öyle ise, dalga yükleri aşağıdaki formu alacaktır.

$$\begin{aligned} X_{wk} &= -i \cdot \rho \cdot e^{-i\omega t} \cdot \iint_S \phi_w \cdot f_k \cdot dS \\ &\quad + i \cdot \rho \cdot e^{-i\omega t} \cdot k \cdot \iint_S \phi_w \cdot \phi_k \cdot \{ f_3 + i \cdot (f_1 \cdot \cos \mu + f_2 \cdot \sin \mu) \} \cdot dS \end{aligned} \quad (1.68)$$

Denklem (1.68)'de yer alan ilk terim Froude-Kriloff kuvvetleri veya momentleri olarak adlandırılır ve gelen dalgalardan kaynaklanan dalga yüklerini ifade etmektedir. İkinci terim ise, gelen dalgaların, akışkanın içinde bulunan hareketleri kısıtlanmış cisimden etkilenmeleri nedeniyle oluşan yükleri göstermektedir.

1.3.4 Hidrostatik Yükler

Hidrostatik yükler, kaldırma kuvveti ve momentlerini içerirler. Genel bir biçimde denklem (1.69)'da görülebileceği gibi ifade edilebilirler. $k=1,...,6$ için;

$$X_{sk} = \rho \cdot g \iint_S z \cdot f_k \cdot dS \quad (1.69)$$

Burada, X_{sk} , hidrostatik kuvvet ve moment bileşenlerini, z düşey yer değiştirmeyi ve f_k ise doğrultu kosinüslerini göstermektedir.

1.4. Hareket Denklemleri

Düzgün dalgalarda, altı serbestlik derecesinde hareketler yapan bir cisim için hareket denklemleri denklem (1.70)'de görülebileceği gibi yazılmaktadır.

$$\sum_{j=1}^6 \left[\left(M_{ij} + a_{ij} \right) \ddot{x}_i + b_{ij} \dot{x}_i + c_{ij} x_i \right] = F_i \quad ; i=1, \dots, 6 \quad (1.70)$$

Hareket denklemlerinin sağ tarafında yer alan kuvvet ve momentlerin hesaplanmasında iki temel kabul yapılabilir. Bu kabullerden birincisi, hidrodinamik kuvvet ve momentlerin, cismin, cismin salınım hareketinden etkilenmemiş akışkan yüzeyinde yaptığı harmonik salınım hareketleri tarafından indüklenmekte olması ve diğeri ise, zorlayıcı dalga kuvvet ve momentlerinin hareketleri kısıtlanmış cisim üzerinde, gelen dalgalar tarafından indüklenmekte olması şeklindedir. Lineerlik kabulü dolayısıyla, hareket denklemlerinin sağ tarafındaki yükleri elde etmek için hidromekanik kuvvet ve momentler ile zorlayıcı dalga kuvvet ve momentleri toplanır. Öyle ise, geminin düzgün dalgalarda yaptığı altı hareket için hareket denklemleri ayrı ayrı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\rho \cdot \nabla \cdot \dot{x}) &= \rho \cdot \nabla \cdot \dot{x} &= X_{h1} + X_{w1} \\ \frac{d}{dt}(\rho \cdot \nabla \cdot \dot{y}) &= \rho \cdot \nabla \cdot \dot{y} &= X_{h2} + X_{w2} \\ \frac{d}{dt}(\rho \cdot \nabla \cdot \dot{z}) &= \rho \cdot \nabla \cdot \dot{z} &= X_{h3} + X_{w3} \\ \frac{d}{dt}(I_{xx} \cdot \dot{\phi} - I_{xz} \cdot \dot{\psi}) &= I_{xx} \cdot \ddot{\phi} - I_{xz} \cdot \ddot{\psi} &= X_{h4} + X_{w4} \\ \frac{d}{dt}(I_{yy} \cdot \dot{\theta}) &= I_{yy} \cdot \ddot{\theta} &= X_{h5} + X_{w5} \\ \frac{d}{dt}(I_{zz} \cdot \dot{\psi} - I_{zx} \cdot \dot{\phi}) &= I_{zz} \cdot \ddot{\psi} - I_{zx} \cdot \ddot{\phi} &= X_{h6} + X_{w6} \end{aligned} \quad (1.71)$$

Denklem (1.71)'de hareket denklemleri sırasıyla, boy-öteleme, yan-öteleme, dalıp-çıkma, yalpa, baş-kıç vurma ve savrulma hareketleri için yazılmıştır. Ayrıca; ∇ , geminin deplasman hacmini, I_{ij} , geminin kütle atalet momentlerini göstermektedir. X_{h1} , X_{h2} , X_{h3} , sırasıyla x , y ve z doğrultularındaki hidromekanik kuvvetleri, X_{h4} , X_{h5} , ve X_{h6} ise x , y ve z doğrultularındaki hidromekanik momentleri göstermektedir. X_{w1} , X_{w2} , X_{w3} , sırasıyla x , y ve z doğrultularındaki zorlayıcı dalga kuvvetlerini, X_{w4} , X_{w5} , ve X_{w6} ise sırasıyla x , y ve z doğrultularındaki zorlayıcı dalga momentlerini göstermektedir.

Konvansiyonel gemi formlarında, geminin gövdesi iskele-sancak simetrisine sahiptir. Geminin yaptığı hareketlerin bir kısmı da bu geometrik özellikten dolayı simetrikken diğer kısmı ise asimetrik olacaktır. Geminin altı hareketinden, dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve boy-öteleme hareketleri simetrik olanlarıdır. Dolayısıyla, bu hareketleri yapan gemi için, geminin iskele tarafındaki bir noktanın hareketi, aynı noktanın gemi boyuna simetri hattına göre ayna simetriği olan sancak tarafındaki noktanın hareketi ile aynı olacaktır. Bu özellikten dolayı, gemi hareketleri genellikle iki hareket grubuna ayrılarak incelenirler. Dolayısıyla, geminin dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve boy öteleme birleşik hareketleri ve asimetrik hareketler olan savrulma, yan-öteleme ve yalpa birleşik hareketleri iki grup halinde incelenebilirler. Ayrıca, boy-öteleme hareketinin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketlerine etkisi ihmal edilebilir derecede olduğundan, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri genellikle ikili olarak incelenirler. Bu çalışmanın, ikinci bölümünde incelenmiş olan **Korvin-Kroukovsky (1957)**'nin dilim teorisinde dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketleri, boy-öteleme hareketinin etkisi ihmal edilerek hesaplanmıştır.

Sırasıyla, boy-öteleme, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketleri için hareket denklemleri denklem (1.72), (1.73) ve (1.74)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 (\rho \cdot \nabla + a_{11}) \cdot \ddot{x} &+ b_{11} \cdot \dot{x} + c_{11} \cdot x \\
 &+ a_{13} \cdot \ddot{z} + b_{13} \cdot \dot{z} + c_{13} \cdot z \\
 &+ a_{15} \cdot \ddot{\theta} + b_{15} \cdot \dot{\theta} + c_{15} \cdot \theta = X_{w1}
 \end{aligned} \tag{1.72}$$

$$\begin{aligned}
 &a_{31} \cdot \ddot{x} + b_{31} \cdot \dot{x} + c_{31} \cdot x \\
 + (\rho \cdot \nabla + a_{33}) \cdot \ddot{z} &+ b_{33} \cdot \dot{z} + c_{33} \cdot z \\
 &+ a_{35} \cdot \ddot{\theta} + b_{35} \cdot \dot{\theta} + c_{35} \cdot \theta = X_{w3}
 \end{aligned} \tag{1.73}$$

$$\begin{aligned}
& a_{51} \cdot \ddot{x} + b_{51} \cdot \dot{x} + c_{51} \cdot x \\
& + a_{53} \cdot \ddot{z} + b_{53} \cdot \dot{z} + c_{53} \cdot z \\
& + (I_{yy} + a_{55}) \cdot \ddot{\theta} + b_{55} \cdot \dot{\theta} - c_{55} \cdot \theta = X_{w5}
\end{aligned} \tag{1.74}$$

Sırasıyla, yan-öteleme, yalpa ve savrulma birleşik hareketleri için hareket denklemleri ise denklem (1.75), (1.76) ve (1.77)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
& (\rho \cdot \nabla + a_{22}) \cdot \ddot{y} + b_{22} \cdot \dot{y} + c_{22} \cdot y \\
& + a_{24} \cdot \ddot{\phi} + b_{24} \cdot \dot{\phi} + c_{24} \cdot \phi \\
& + a_{26} \cdot \ddot{\psi} + b_{26} \cdot \dot{\psi} + c_{26} \cdot \psi = X_{w2}
\end{aligned} \tag{1.75}$$

$$\begin{aligned}
& a_{42} \cdot \ddot{y} + b_{42} \cdot \dot{y} + c_{42} \cdot y \\
& + (I_{xx} + a_{44}) \cdot \ddot{\phi} + b_{44} \cdot \dot{\phi} + c_{44} \cdot \phi \\
& + (-I_{xz} + a_{46}) \cdot \ddot{\psi} + b_{46} \cdot \dot{\psi} + c_{46} \cdot \psi = X_{w4}
\end{aligned} \tag{1.76}$$

$$\begin{aligned}
& a_{62} \cdot \ddot{y} + b_{62} \cdot \dot{y} + c_{62} \cdot y \\
& + (-I_{zx} + a_{64}) \cdot \ddot{\phi} + b_{64} \cdot \dot{\phi} + c_{64} \cdot \phi \\
& + (I_{zz} + a_{66}) \cdot \ddot{\psi} + b_{66} \cdot \dot{\psi} + c_{66} \cdot \psi = X_{w6}
\end{aligned} \tag{1.77}$$

Geminin ileriye doğru hızının sıfır olması durumunda, gemi üzerindeki yükler, iki boyutlu yüklerin gemi boyunca integre edilmesiyle hesaplanır.

$$\begin{aligned}
X_{h1} &= \int_L X_{h1}' \cdot dx_b & X_{w1} &= \int_L X_{w1}' \cdot dx_b \\
X_{h2} &= \int_L X_{h2}' \cdot dx_b & X_{w2} &= \int_L X_{w2}' \cdot dx_b \\
X_{h3} &= \int_L X_{h3}' \cdot dx_b & X_{w3} &= \int_L X_{w3}' \cdot dx_b \\
X_{h4} &= \int_L X_{h4}' \cdot dx_b & X_{w4} &= \int_L X_{w4}' \cdot dx_b \\
X_{h5} &= -\int_L X_{h3}' \cdot x_b \cdot dx_b & X_{w5} &= -\int_L X_{w3}' \cdot x_b \cdot dx_b \\
X_{h6} &= +\int_L X_{h2}' \cdot x_b \cdot dx_b & X_{w6} &= +\int_L X_{w2}' \cdot x_b \cdot dx_b
\end{aligned} \tag{1.78}$$

Denklem (1.78)'de sırasıyla, boy-öteleme, yan-öteleme, dalıp-çıkma, yalpa, baş-kıç vurma ve savrulma hareketleri için hidromekanik kuvvet ve momentler ile zorlayıcı dalga kuvvet ve momentleri verilmiştir. X_{hj} 'ler hidromekanik kuvvet ve momentleri, X_{wj} 'ler ise zorlayıcı dalga kuvvet ve momentlerini göstermektedir. X_{hj}' j . yönde kesit

üzerinde oluşan hidromekanik kuvvet ya da momenti göstermektedir. X'_{wj} ise j . yönde kesit üzerindeki zorlayıcı dalga kuvvet ya da momentini göstermektedir.

1.5. Hidrodinamik Katsayılar

Dilim teorisinde, iki boyutlu hidrodinamik yan-öteleme, dalıp-çıkma ve yalpa katsayılarının hesaplanması için kullanılabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Söz konusu metodlar, **Ursell (1949)**'ın teorisini ve konform tasvir yöntemini temel alan metodlar ve **Frank (1967)**'in derin su için geliştirdiği kaynak teorisi olarak ikiye ayrılabilir.

Ursell (1949), bir akışkan yüzeyinde salınım yapan bir silindirin hidrodinamik katsayılarının hesaplanması için analitik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. **Tasai (1961)** ve daha birçokları Lewis transformasyonu ile **Ursell (1949)**'in yöntemini birleştirerek gemi kesitleri için hidrodinamik katsayıları hesaplamışlardır. Lewis transformasyonu yalnızca iki parametre ile yapılmaktadır ve transformasyon sonucunda elde edilen kesitin yalnızca genişliği, su çekimi ve kesit alanı gerçek kesit ile aynı olacaktır. Daha sonraları, yakın-uyum (close-fit) olarak adlandırılan ve ikiden fazla tasvir parametresi kullanılan konform tasvir yöntemleri geliştirilmiştir. Tasvir parametrelerinin sayısı arttırıldıkça gemi kesitinin daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesi mümkün olmaktadır.

Tasvir metodlarında, kesit ile akışkan yüzeyi arasında bir kesişim noktasına ihtiyaç duyulduğundan, söz konusu metodların yumrubaşı bir gemi kesiti gibi tamamen batmış olan kesitler için kullanılması uygun değildir. Ayrıca, konform tasvir yöntemleri özellikle geminin kıç bölgesinde bulunan düşük kesit alan katsayılı kesitlerin tasvir edilmesinde problemler olabilmektedir. **Frank (1967)**, kesitleri çok sayıda çizgisel elemanın birleşmesinden oluşan herhangi bir simetrik şekli sabit en kesitli bir silindir olarak ele almıştır. Green fonksiyonunu kullanarak, her çizgisel elemanın orta noktasında bulunduğu varsayılan birim şiddetteki kaynağın kompleks potansiyelini temsil ettiği bir integral yöntemi geliştirmiştir. Bu metodun en büyük dezavantajı irregüler frekanslardır. Irregüler frekanslar çözümün tek olmadığı ya da aniden çok farklı bir değer aldığı ayrık frekanslardır. Faltinsen, bu irregüler frekanslardan kurtulabilmek için frekans parametresi yükseldikçe daha çok sayıda

çizgisel parçacık kullanmayı ya da irregüler frekanslardaki değerler arasında interpolasyon yapılmasını önermiştir (**Bishop ve diğerleri, 1978**).

İki boyutlu kesit için elde edilen hidrodinamik katsayılar gemi boyunca integre edilerek üç boyutlu hidrodinamik katsayılar elde edilir.

1.5.1 Konform Tasvir Yöntemi – Lewis (1929) Transformasyonu

Ursell (1949)'ın potansiyel katsayıların hesaplanması için geliştirdiği teorisi yalnızca yarı-dairesel kesitler için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu yöntem kullanılarak gemi kesitlerinin potansiyel katsayılarının hesaplanabilmesi için gemi kesitlerinin konform tasvir yöntemi ile birim yarı-daire kesitleri cinsinden ifade edilmelerine ihtiyaç doğmuştur.

Genel transformasyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$z = M_s \cdot \sum \{a_{2n-1} \cdot \zeta^{-(2n-1)}\} \quad (1.79)$$

Denklem (1.79)'da $z=x+iy$ gemi en kesitinin bulunduğu düzlemi temsil etmektedir. $\zeta = ie^\alpha \cdot e^{-i\theta}$ ise birim yarı-dairenin bulunduğu düzlemi temsil etmektedir. a_{2n-1} ise konform tasvir katsayısıdır. n , konform tasvir parametresi sayısıdır.

Gemi formlarının Lewis'in iki parametrelili konform tasvir yöntemi ile temsil edilmesinin ayrıntılı bir anlatımı Kerzeck ve Tuck (1969) tarafından yapılmıştır.

İki parametrelili Lewis transformasyon denklemi aşağıdaki gibidir.

$$z = M_s \cdot (a_{-1} \cdot \zeta + a_1 \cdot \zeta^{-1} + a_3 \cdot \zeta^{-3}) \quad (1.80)$$

Denklem (1.80)'de $a_{-1} = +1$ 'dir. M_s ölçüm faktörü iken, a_1 ve a_3 Lewis katsayıları olarak adlandırılmaktadırlar. Yarı-dairesel kesitin bulunduğu düzlemdeki değişkenler ile gemi kesitinin bulunduğu düzlemdeki x yatay, y düşey koordinatlar arasında aşağıdaki bağıntı bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} x &= M_s \cdot (e^\alpha \cdot \sin \theta + a_1 \cdot e^{-\alpha} \cdot \sin \theta - a_3 \cdot e^{-3\alpha} \cdot \sin 3\theta) \\ y &= M_s \cdot (e^\alpha \cdot \cos \theta - a_1 \cdot e^{-\alpha} \cdot \cos \theta + a_3 \cdot e^{-3\alpha} \cdot \cos 3\theta) \end{aligned} \quad (1.81)$$

Gemi en kesitinin konform tasvir ile dönüştürüldüğü kesite ait konturları elde edebilmek için α açısı yerine sıfır yazılması gerekmektedir. Böylece, Lewis formu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} x_0 &= M_s \cdot ((1 + a_1) \cdot \sin \theta - a_3 \cdot \sin 3\theta) \\ y_0 &= M_s \cdot ((1 - a_1) \cdot \cos \theta + a_3 \cdot \cos 3\theta) \end{aligned} \quad (1.82)$$

Denklem (1.82)'de yer alan ölçüm faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$M_s = \frac{B_s/2}{1 + a_1 + a_3} = \frac{D_s}{1 - a_1 + a_3} \quad (1.83)$$

B_s , kesit su hattı yarı genişliği iken D_s kesit su çekimidir.

M_s ölçüm faktörü ve a_1 ve a_3 Lewis katsayıları, gemi kesitinin kesit genişliği, kesit su çekimi ve kesit alanı ile Lewis formunun benzer özelliklerinin aynı olmasına dikkat edilerek hesaplanır.

Yarı genişlik / su çekimi oranı H_0 denklem (1.84)'de kesit alan katsayısı σ_s ise denklem (1.85)'de görülebileceği gibi verilir. A_s kesit alanı olmak üzere;

$$H_0 = \frac{B_s/2}{D_s} = \frac{1 + a_1 + a_3}{1 - a_1 + a_3} \quad (1.84)$$

$$\sigma_s = \frac{A_s}{B_s \cdot D_s} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1 - a_1^2 - 3 \cdot a_3^2}{(1 + a_3)^2 - a_1^2} \quad (1.85)$$

(1.84) ve (1.85) denklemlerinden yararlanılarak a_1 ve a_3 Lewis katsayıları çözülür.

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{-c_1 + 3 + \sqrt{9 - 2 \cdot c_1}}{c_1} \\ a_1 &= \frac{H_0 - 1}{H_0 + 1} \cdot (a_3 + 1) \end{aligned} \quad (1.86)$$

Lewis formları her gemi kesitine uyum sağlayamamaktadır. Verilen bir yarı- genişlik/su çekimi oranına karşılık kesit alan katsayısının bulunması gereken bir aralık mevcuttur. Bu aralık denklem (1.87)'de görülebileceği gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned}
H_0 \leq 1.0: \quad & \frac{3 \cdot \pi}{32} \cdot (2 - H_0) < \sigma_s < \frac{\pi}{32} \cdot \left(10 + H_0 + \frac{1}{H_0} \right) \\
H_0 \geq 1.0: \quad & \frac{3 \cdot \pi}{32} \cdot \left(2 - \frac{1}{H_0} \right) < \sigma_s < \frac{\pi}{32} \cdot \left(10 + H_0 + \frac{1}{H_0} \right)
\end{aligned} \tag{1.87}$$



2. KORVIN-KROUKOVSKY YÖNTEMİNİN TABLOLARLA BİLGİSAYAR ORTAMINA AKTARILMASI

Baştan ya da kıçtan gelen düzgün dalgalarda ilerleyen bir gemi için, üzerine etkiyen kuvvet ve momentlerin dengesini ifade eden hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Boy öteleme hareketi ihmal edilmiştir.):

$$\begin{aligned} m\ddot{z} + cz &= H_f \\ J\ddot{\theta} + C\theta &= H_m \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada;

m : Gemi kütlesi

J : Gemi atalet momenti

z : Dalıp-çıkma hareketinde yer değiştirme

θ : Baş-kıç vurma hareketinde açısal yer değiştirme

c : Birim geri çağırma kuvveti

C : Birim geri çağırma momenti

H_f : Kuvvet

H_m : Geminin ağırlık merkezi etrafındaki moment

Geminin sakin sudaki salınımıyla ilgili olan terimler denklem (2.1)' in sol tarafına taşınacak olursa, denklem aşağıdaki şeklini alır:

$$\begin{aligned} a\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + g\theta &= \overline{F}e^{i\omega t} \\ A\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Gz &= \overline{M}e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)' in katsayıları Tablo 2.1 ve Tablo 2.2' de aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
a &= m + \rho \int (Sk_2 k_4) d\xi \\
A &= J + \rho \int (Sk_2 k_4) \xi^2 d\xi \\
d &= D = \rho \int (Sk_2 k_4) \xi d\xi \\
b &= \int N(\xi) d\xi \\
B &= \int N(\xi) \xi^2 d\xi - 2VD - V\rho \int \xi^2 d(Sk_2 k_4) \\
e &= \int N(\xi) \xi d\xi - 2V\rho \int (Sk_2 k_4) d\xi - V\rho \int \xi d(Sk_2 k_4) \\
E &= \int N(\xi) \xi d\xi - V\rho \int \xi d(Sk_2 k_4) \\
c &= \rho g \int B d\xi \\
C &= \rho g \int B \xi^2 d\xi - VE \\
g &= \rho g \int B \xi d\xi - Vb \\
G &= \rho g \int B \xi d\xi
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Burada;

$$N(\xi) = \frac{\bar{A}^2 \rho g^2}{w^3} \tag{2.4}$$

ξ = Kesitin LCG'ye olan uzaklığı

ρ = Suyun yoğunluğu

m = Gemi kütlesi

J = Gemi atalet momenti

S = Kesitin yüklü su hattındaki alanı

B = Kesitin yüklü su hattındaki genişliği

V = Model hızı

g = Yerçekimi ivmesi

k_2 = Atalete ulaşma katsayısı

Tablo 2.1. Model Özellikleri

TABLO A-1 MODEL ÖZELLİKLERİ														Δξ	
Model:	1919.2	Model Boyu, LBP:	4.800	Max Genişlik:	0.648	Jirasyon Yarçapı, ko	1.147	Draft:	0.286	Model Deplasmanı:	44.340	10. Kesite Göre LCG'nin Yeri:	0.12'(fwd)	Δξ	
Kesit Numarası:	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	$\sum_{i=1}^{19}$	$\sum_{i=1}^{19}$	$\Delta \xi \sum_{i=1}^{19}$	m	1.3776604
1	ξ from LCG	2.040	1.560	1.080	0.600	0.120	-0.360	-0.840	-1.320	-1.800	-2.280			J	1.8124624
2	ξ^2	4.162	2.434	1.166	0.360	0.014	0.130	0.706	1.742	3.240	5.198				
3	B	0.362	0.643	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.562	0.300				
4	H	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286				
5	S	0.081	0.169	0.184	0.184	0.184	0.184	0.183	0.172	0.118	0.035				
6	WT/RT	3.750	10.660	11.460	12.120	12.020	11.620	11.600	10.080	6.330	2.710				
7	y = S/B	0.224	0.263	0.284	0.284	0.284	0.284	0.282	0.265	0.210	0.117				
8	BH	0.104	0.184	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.161	0.086				
9	Cs = S/BH	0.782	0.919	0.993	0.993	0.993	0.993	0.987	0.928	0.734	0.408				
10	B/H	1.266	2.248	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	1.965	1.049				
11	C'z	0.990	1.200	1.470	1.470	1.470	1.470	1.440	1.230	0.940	0.750				
12	B^2	0.131	0.413	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.316	0.090				
13	B^2 C'z	0.130	0.496	0.617	0.617	0.617	0.617	0.605	0.516	0.297	0.068				
14	$\rho S k^2 = \rho \pi / 8 * (13)$	0.099	0.377	0.469	0.469	0.469	0.469	0.460	0.393	0.226	0.051				
15	$g_m = (6)/g$	0.117	0.331	0.356	0.377	0.373	0.361	0.360	0.313	0.197	0.084	2.869	1.377		
16	$(g_m) \xi^2 = (2)*(15)$	0.485	0.806	0.415	0.136	0.005	0.047	0.254	0.546	0.637	0.438	3.769	1.809		
17	$\rho g B = \rho g * (3)$	22.568	40.086	40.398	40.398	40.398	40.398	40.398	40.398	35.036	18.703	358.780	172.214		
18	$\rho g B \xi$	46.039	62.534	43.630	24.239	4.848	-14.543	-33.934	-53.325	-63.066	-42.642	-26.221	-12.586		
19	$\rho g B \xi^2$	93.919	97.554	47.120	14.543	0.582	5.236	28.505	70.389	113.518	97.224	568.589	272.923		

Tablo 2.2. Hidrodinamik Katsayıların Hesaplanması

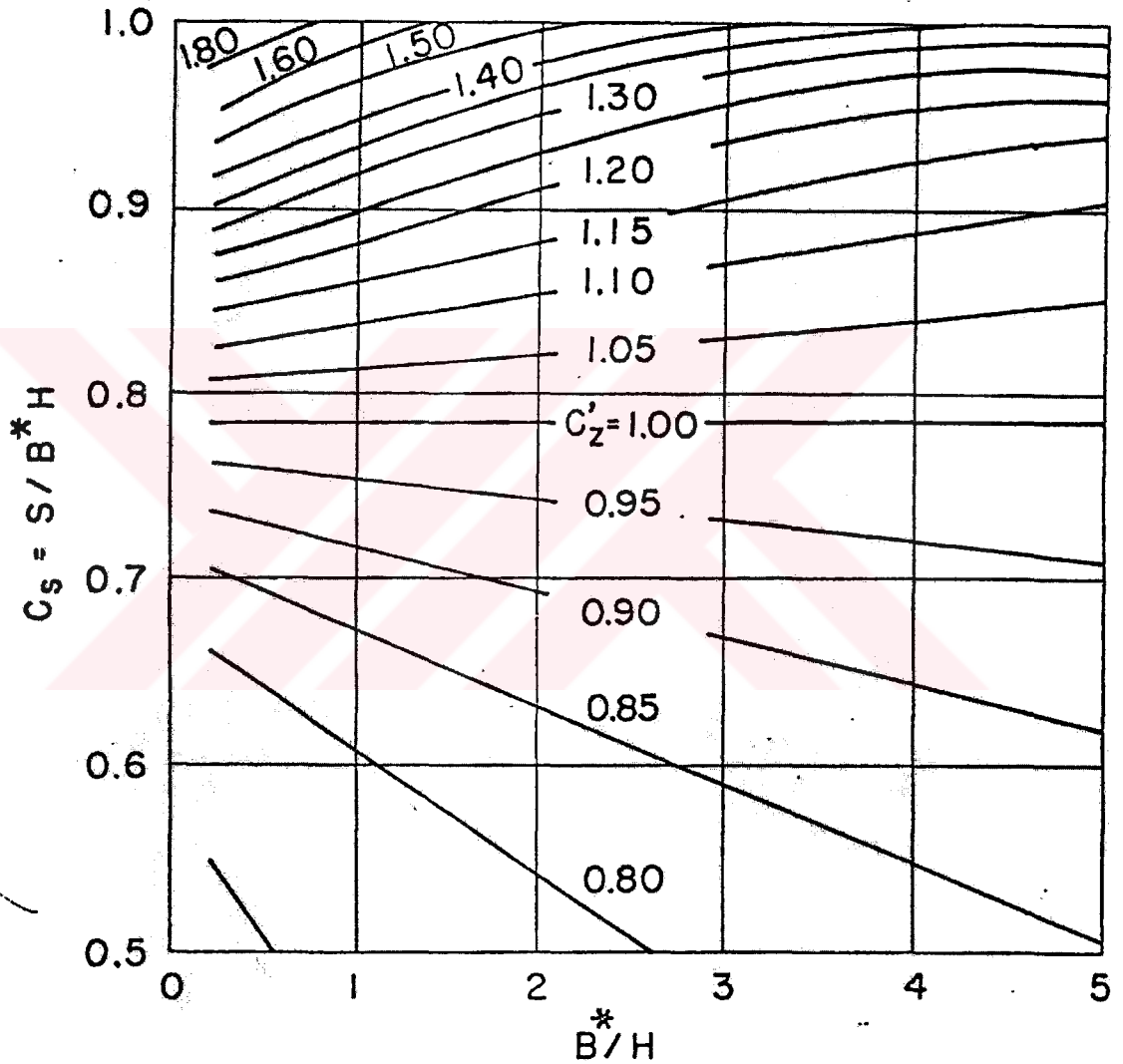
TABLO A-2 HİDRODİNAMİK KATSAYILARIN HESAPLANMASI													
Model	1919.2	Model Hızı, V:	2.394	Dalga Boyu:	4.800	Dalga Hızı, Cw:	4.950	Karşılaşma Frekansı, w:	9.620	w ² /2g	1.438	pg ² /w ³	2.259
Kesit Numarası:	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	$\sum_{i=1}^{19}$	$\sum_{i=1}^{19}$	$\Delta \xi \sum_{i=1}^{19}$
1	ξ , from LCG	2.040	1.560	1.080	0.600	0.120	-0.360	-0.840	-1.320	-1.800	-2.280		
2	$\xi^{\wedge}2$	4.162	2.434	1.166	0.360	0.014	0.130	0.706	1.742	3.240	5.198		
3	B	0.362	0.643	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.562	0.300		
4	B w ² /2g	0.520	0.924	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.808	0.431		
5	S	0.081	0.169	0.184	0.184	0.184	0.184	0.183	0.172	0.118	0.035		
6	k4	0.629	0.598	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.596	0.670		
7	k2 k4	0.395	0.689	0.789	0.789	0.789	0.789	0.777	0.706	0.589	0.507		
8	pSk2 k4	0.062	0.226	0.281	0.281	0.281	0.281	0.275	0.235	0.135	0.034	2.091	1.004
9	pSk2 k4 ξ	0.127	0.352	0.304	0.169	0.034	-0.101	-0.231	-0.310	-0.242	-0.078	0.021	0.010
10	pSk2 k4 $\xi^{\wedge}2$	0.258	0.549	0.328	0.101	0.004	0.036	0.194	0.410	0.436	0.179	2.495	1.198
11	d(pSk2 k4)/d ξ	-0.283	-0.227	-0.031	0.000	0.000	0.000	0.043	0.143	0.208	0.183		
12	V d(pSk2 k4)/d ξ	-0.678	-0.543	-0.074	0.000	0.000	0.000	0.103	0.342	0.498	0.438		
13	A'	0.470	0.537	0.408	0.408	0.408	0.408	0.422	0.520	0.763	0.849		
14	A ²	0.221	0.288	0.166	0.166	0.166	0.166	0.178	0.270	0.582	0.721		
15	N(ξ)=A ² pg ² /w ³	0.499	0.651	0.376	0.376	0.376	0.376	0.402	0.611	1.315	1.628	6.611	3.173
16	N(ξ) $\xi^{\wedge}2$	2.077	1.585	0.439	0.135	0.005	0.049	0.284	1.064	4.261	8.465	18.364	8.815
17	N(ξ)-V d(pSk2 k4)/d ξ	1.177	1.195	0.450	0.376	0.376	0.376	0.299	0.268	0.817	1.190		
18	[N(ξ)-V d(pSk2 k4)/d ξ] ξ	2.400	1.864	0.486	0.226	0.045	-0.135	-0.251	-0.354	-1.471	-2.714	0.095	0.046
a	2.382	B	8.815	C	272.813	d=D	0.010	e	-4.761	g	-20.183	$\Delta \xi$	0.480
A	3.010	E	0.046	G	-12.586	b	3.173	c	172.214				

$$k_2 = Cz' (\pi B^2 / 8S) \quad (2.5)$$

C_z' = Kesit atalet katsayısı (Prohaska, 1947) tarafından B/H oranına ve C_s kesit katsayısına bağlı olarak tanımlanmıştır. (Şekil 2.1)

k_4 = Serbest yüzey etkisi için k_2 katsayısını düzeltme faktörü (Şekil 2.2)

$\bar{A}$ = Salınım yapan cisim tarafından oluşturulan dalga genliklerinin cisim salınım genliğine oranı (Şekil 2.3)

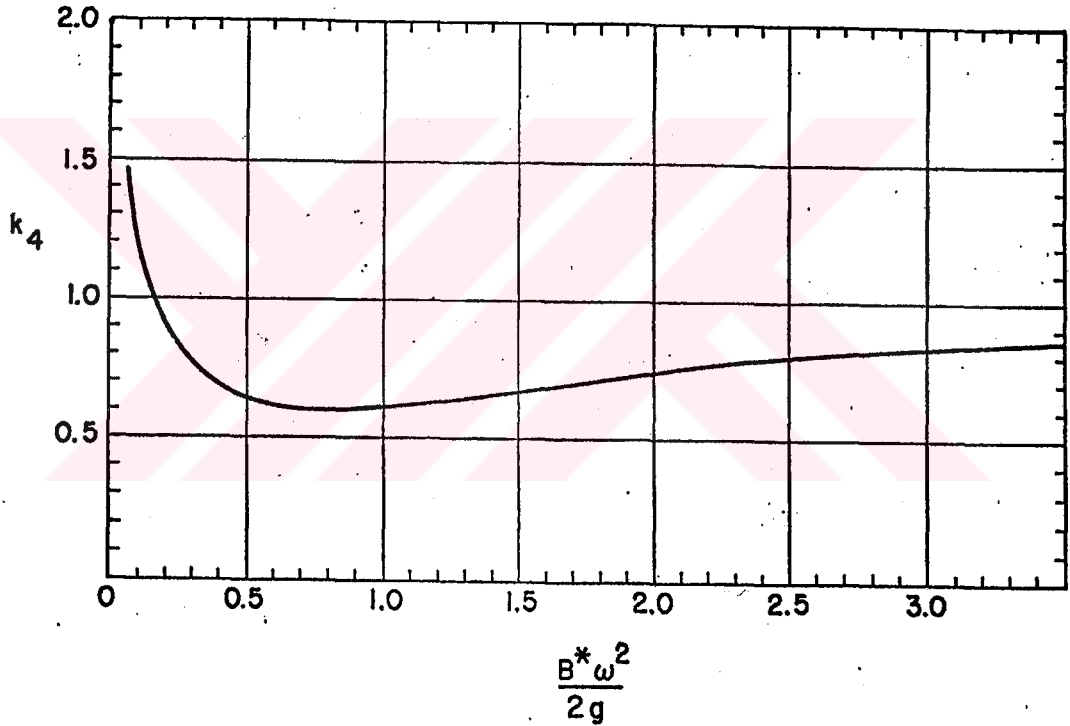


Şekil 2.1. Prohaska (1947) tarafından B/H oranına ve C_s kesit katsayısına bağlı olarak tanımlanan kesit atalet katsayısı

Tablo 2.1, Tablo 2.2, Tablo 2.3, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'de görülen hesaplamalar, 4.8 ft boyunda, blok katsayısı 0.8 olan bir Seri 57 modelinin, 2.394 ft/s hızla L/48 yüksekliğinde ve L boyunda dalgalarda ilerlemesiyle ilgili hesaplamalardır.

Kullanılan modelin özellikleriyle ilgili ayrıntılı bilgi **Jacobs ve diğerleri (1960)** ve **Jacobs ve Dalzell (1960)**'da bulunabilir.

Tablo 2.1' de katsayıların hesaplanmasında ihtiyaç duyulan *gemi kütlesi m* ve *gemi atalet momenti J* gemiden alınan 20 kesitin özellikleri kullanılarak 15. ve 16. satırlarda hesaplanmaktadır. Tablo 2.2' de ise bu iki değer ve kesitlerin gerekli diğer özellikleri kullanılarak hareket denklemlerinde yer alan katsayılar hesaplanmaktadır. Denklem grubu (2.3)'de görülen integrasyonlar, modelin bölünmüş olduğu 20 kesitten 10 adet tek istasyondaki değerlerin doğrudan toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu yöntemin seçilme nedeni, 11 adet çift istasyondaki değerlerin Simpson Yöntemi ile nümerik olarak integre edilmesiyle elde edilen sonuçların değer bir farklılık içermemesidir.

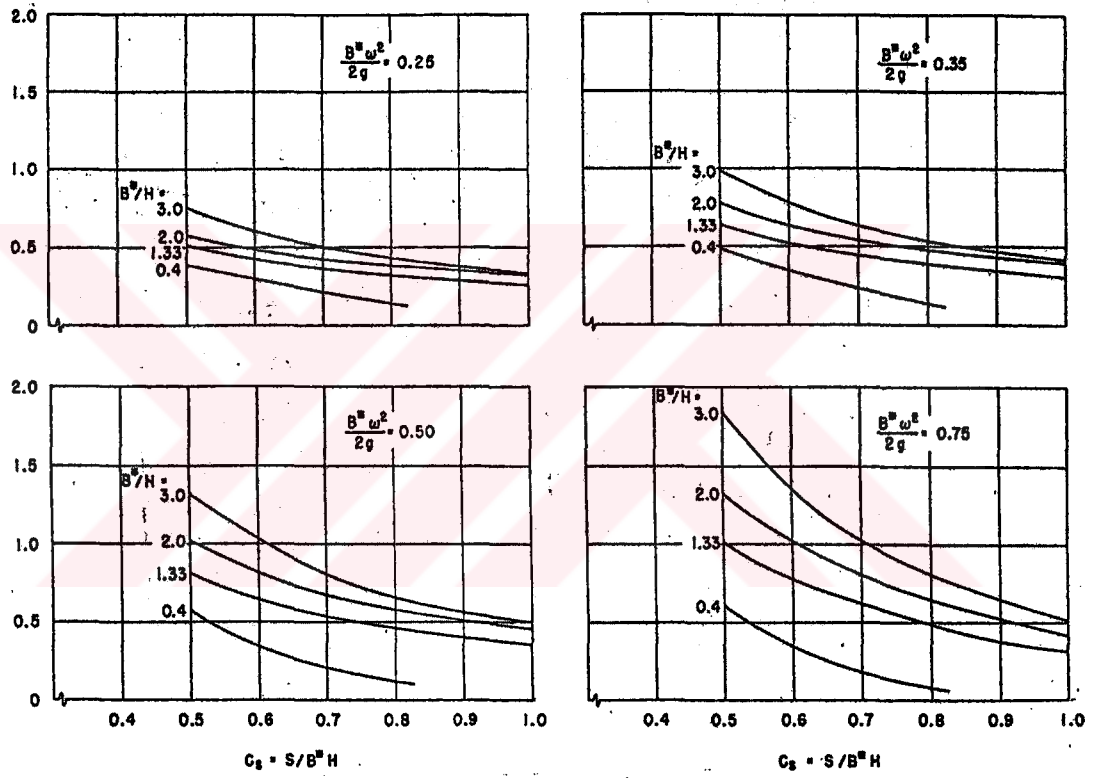


Şekil 2.2. Silindir için Ursell (1953) tarafından tanımlanan k_4 katsayısı

Denklem (2.2)' nin sağ tarafındaki terimler zorlayıcı kuvvet ve moment olarak bilinmektedir.

$$\begin{aligned}
\bar{F} &= F_0 e^{i\sigma} \\
RE(\bar{F} e^{i\omega t}) &= F_0 \cos(\omega t - \sigma) \\
\bar{M} &= M_0 e^{i\tau} \\
RE(\bar{M} e^{i\omega t}) &= M_0 \cos(\omega t - \tau)
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Burada F_0 ve M_0 dalgalar tarafından oluşturulan dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma kuvvetlerinin genlikleridirler ve denklem (2.7) ve (2.8) kullanılarak hesaplanmaktadır;



Şekil 2.3. Grim (1953) tarafından çıkarılmış $\bar{A}$ - C_s eğrileri

$$\begin{aligned}
F &= \int_s^b \frac{dF}{dx} dx \\
M &= \int_s^b \frac{dF}{dx} \left(\xi + \frac{1}{\pi} \frac{dS}{d\xi} \right) dx
\end{aligned} \tag{2.7} \text{ ve } (2.8)$$

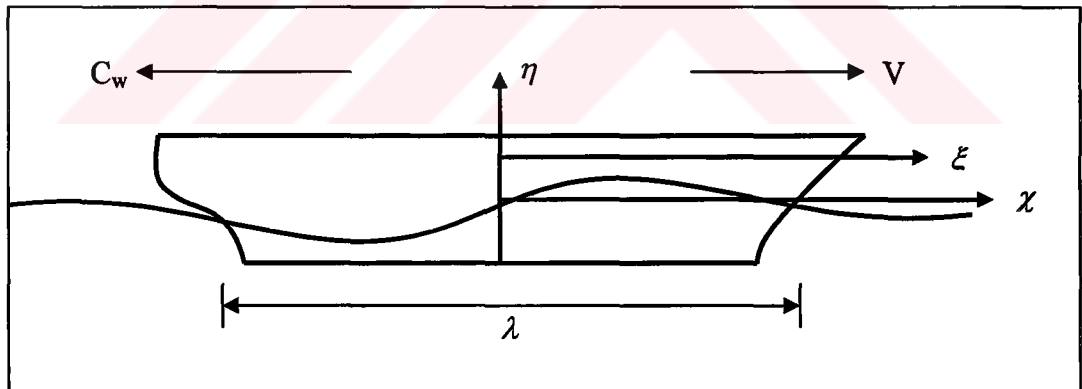
Burada, s ve b integrasyon sınırları sırasıyla gemi baş ve kıçındaki x değerlerini göstermektedirler. $\frac{dF}{dx}$ gemi kesitine etkiyen birim zorlayıcı kuvvettir ve basitleştirilmiş olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{dF}{dx} = \left\{ \rho g B \eta + \left[N(\xi) - V \rho \frac{d(Sk_2 k_4)}{d\xi} \right] \dot{\eta} + \rho (Sk_2 k_4) \ddot{\eta} \right\} e^{\frac{-2\pi y}{\lambda}} \quad (2.9)$$

Ayrıca birim zorlayıcı moment de $\xi \frac{dF}{dx}$ olarak verilebilir.

Denklem (2.1.9)' un ilk terimi kesitin duvar bordalı kabul edilen bölümünde dalgalar dolayısıyla sephiyede oluşan değişimi, ikinci terim yitirgen sönüm etkisini, üçüncü terim gemi kıç ve başının asimetrisi dolayısıyla oluşan dinamik etkiyi ve sonuncu terim de dalgalar içindeki akış nedeniyle oluşan atalet etkisini ifade etmektedir.

Eksponansiyel terim, $\exp(\frac{-2\pi y}{\lambda})$, ise dalgadaki basınç gradyanının etkisini hesaba katmaktadır. (Burada λ dalga boyunu, $-y$ ise dizayn yüklü su hattından aşağıya doğru alınan draftı göstermektedir.)



Şekil 2.4. Koordinat Sistemi

Şekil 2.4'de dalgaların ve geminin hareket yönlerini gösteren iki grup koordinat eksenini görülmektedir. Koordinat sistemlerinden biri, orijini geminin LCG' sine yerleştirilmiş olarak, gemi ile birlikte hareket etmektedir. (ξ, η) Diğer koordinat sisteminin ise orijin noktası dalga tepesinden önceki dalga düğüm noktasındadır ve

yatay eksenini dalga tepesi yönünde pozitifdir. (χ, η) Baştan gelen dalgalarda dalga yüksekliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\eta = h \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (2.10)$$

Burada ;

$$x = \xi + Vt + C_w t \quad (2.11)$$

h :dalga genliği, C_w :dalga hızı, λ :dalga boyu ve V :gemi hızı'dır. $t=0$ anında dalga düğüm noktası LCG' dedir ve $x = \xi$ ' dır.

Dalgadaki su parçacıklarının düşey hızı:

$$\dot{n} = \frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \frac{d\xi}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + V \frac{\partial \eta}{\partial \xi} ; \quad \left(\frac{dV}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{dh}{dt} = 0 \right) \quad (2.12)$$

Öyle ise;

$$\dot{\eta} = \frac{2\pi h C_w}{\lambda} \cos\left(\frac{2\pi \xi}{\lambda} + \omega t\right) \quad (2.13)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda dalga üzerindeki su parçacıklarının düşey ivmeleri ise;

$$\ddot{\eta} = -\frac{4\pi^2 h C_w^2}{\lambda^2} \sin\left(\frac{2\pi \xi}{\lambda} + \omega t\right) \quad (2.14)$$

olacaktır. Öyle ise denklem (2.9) aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\begin{aligned} \frac{dF}{dx} = & \cos \omega t \left\{ \left[h \rho g B - \frac{4\pi^2 h C_w^2}{\lambda^2} \rho S k_2 k_4 \right] \sin \frac{2\pi \xi}{\lambda} + \frac{2\pi h C_w}{\lambda} \left[N(\xi) - \frac{V d(\rho S k_2 k_4)}{d\xi} \right] \cos \frac{2\pi \xi}{\lambda} \right\} e^{\frac{-2\pi y}{\lambda}} \\ & + \sin \omega t \left\{ \left[h \rho g B - \frac{4\pi^2 h C_w^2}{\lambda^2} \rho S k_2 k_4 \right] \cos \frac{2\pi \xi}{\lambda} - \frac{2\pi h C_w}{\lambda} \left[N(\xi) - \frac{V d(\rho S k_2 k_4)}{d\xi} \right] \sin \frac{2\pi \xi}{\lambda} \right\} e^{\frac{-2\pi y}{\lambda}} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Toplam zorlayıcı kuvvet ve momenti aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{Bmatrix} F \\ M \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_0 \cos(\omega t - \sigma) \\ M_0 \cos(\omega t - \tau) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ M_1 \end{Bmatrix} \cos \omega t + \begin{Bmatrix} F_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} \sin \omega t \quad (2.16)$$

ve

$$\begin{Bmatrix} F_0 \\ M_0 \end{Bmatrix} = \sqrt{\begin{Bmatrix} F_1 \\ M_1 \end{Bmatrix}^2 + \begin{Bmatrix} F_2 \\ M_2 \end{Bmatrix}^2} \quad (2.17)$$

Burada, F_1 ve F_2 zorlayıcı (dalıp-çıkma) kuvvet bileşenleri ve M_1 , M_2 zorlayıcı (başkık vurma) momenti bileşenleridir. Bu bileşenler Tablo 2.3'ün 17,18,19 ve 20. satırlarında aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$F_{1,2} = \Delta \xi \sum_1^{19} \left(\frac{dF_{1,2}}{dx} \right) \quad (2.18)$$

ve

$$M_{1,2} = \Delta \xi \sum_1^{19} \xi \left(\frac{dF_{1,2}}{dx} \right) \quad (2.19)$$

$$\sigma = \arctan \frac{F_2}{F_1} \quad (2.20)$$

$$\tau = \arctan \frac{M_2}{M_1} \quad (2.21)$$

$$\frac{dF_1}{dx} = e^{-2\eta/\lambda} \left\{ \left[\rho g B h - \rho h S k_2 k_4 \omega_0^2 \right] \sin \frac{2\pi \xi}{\lambda} + h \omega_0 \left[N(\xi) - V \rho \frac{dS k_2 k_4}{d\xi} \right] \cos \frac{2\pi \xi}{\lambda} \right\} \quad (2.22)$$

Tablo 2.3. Zorlayıcı Kuvvet ve Momentlerin Hesaplanması

TABLO A-3 ZORLAYICI KUVVET VE MOMENTLERİN HESAPLANMASI													
Model:	1919.2	Model Hızı, V:	2.354	Dalga Boyu:	4.800	Dalga Hızı, Cw:	4.950	Dalga Geniği, h:	0.050	$2\pi/\lambda$	1.309	Dalga Frekansı, w0:	6.480
Kesit Numarası:		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	$\sum_{i=1}^{19}$	$\Delta \xi \sum_{i=1}^{19}$
1	ξ , from LCG	2.040	1.560	1.080	0.600	0.120	-0.360	-0.840	-1.320	-1.800	-2.280		
2	$2\xi \pi/\lambda$	2.670	2.042	1.414	0.785	0.157	-0.471	-1.100	-1.728	-2.356	-2.985		
3	$\sin(2\xi \pi/\lambda)$	0.454	0.891	0.988	0.707	0.156	-0.454	-0.891	-0.988	-0.707	-0.156		
4	$\cos(2\xi \pi/\lambda)$	-0.891	-0.454	0.156	0.707	0.988	0.891	0.454	-0.156	-0.707	-0.988		
5	$2\pi y/\lambda$	0.293	0.344	0.372	0.372	0.372	0.372	0.370	0.347	0.275	0.153		
6	$e^{(-2y\pi/\lambda)}$	0.746	0.709	0.690	0.690	0.690	0.690	0.691	0.706	0.760	0.858		
7	$\rho g B h$	1.128	2.004	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	1.752	0.935		
8	$\rho S k^2 k^4 (-h w_0^2)$	-0.130	-0.474	-0.590	-0.590	-0.590	-0.590	-0.578	-0.494	-0.282	-0.072		
9	7+8	0.998	1.531	1.430	1.430	1.430	1.430	1.442	1.526	1.469	0.863		
10	$[N(\xi) - V d(\rho S k^2 k^4) / d\xi](h w_0)$	0.381	0.387	0.146	0.122	0.122	0.122	0.097	0.087	0.265	0.386		
11	9*3	0.453	1.364	1.412	1.011	0.224	-0.649	-1.285	-1.507	-1.039	-0.135		
12	10*4	-0.340	-0.176	0.023	0.086	0.120	0.109	0.044	-0.014	-0.187	-0.381		
13	11+12	0.114	1.188	1.435	1.097	0.344	-0.541	-1.241	-1.521	-1.226	-0.516		
14	9*4	-0.889	-0.695	0.224	1.011	1.412	1.274	0.655	-0.239	-1.039	-0.852		
15	10*3	0.173	0.345	0.144	0.086	0.019	-0.055	-0.086	-0.086	-0.187	-0.060		
16	14-15	-1.062	-1.040	0.080	0.925	1.393	1.329	0.741	-0.153	-0.852	-0.792		
17	13*6	0.085	0.842	0.990	0.757	0.237	-0.373	-0.857	-1.075	-0.932	-0.443	-0.769	F1
18	16*6	-0.793	-0.737	0.055	0.638	0.961	0.917	0.512	-0.108	-0.647	-0.680	0.117	F2
19	17*1	0.173	1.314	1.069	0.454	0.028	0.134	0.720	1.418	1.677	1.010	7.997	M1
20	18*1	-1.617	-1.150	0.059	0.383	0.115	-0.330	-0.430	0.143	1.165	1.550	-0.112	M2
$\Delta \xi$	0.480	F=	0.373 cos(wt)	-171.333	M=	3.839 cos(wt - 0.8058974)	w0^2	41.984					

Tablo 2.4. Dalıp-Çıkma ve Baş-Kıç Vurma Hareketleri için Hareket Denklemlerinin Çözümü

TABLO A-4 DALIP-ÇIKMA VE BAŞ-KIÇ VURMA HAREKET DENKLEMLERİNİN ÇÖZÜMLERİ									
Model:	1919.200	Model Hızı, V:	2.394	Dalga Boyu:	4.800	Dalga Hızı, Cw:	4.950	Dalga Genliği, h:	0.050
Fo	0.373	σ	171.333	Mo	3.839	τ	-0.806		
$\bar{F}$	-0.369	+	-0.056	i	PS	-2310.671	+	-4262.298	i
$\bar{M}$	3.839	+	0.054	i	QR	305.475	+	609.701	i
P	-48.187	+	30.528	i	PS-QR	-2616.146	+	-4871.999	i
S	-5.770	+	84.798	i	$(PS - QR)$	-2616.146	+	4871.999	i
Q	-21.112	+	-45.801	i	$(PS - QR)(PS - QR)$	30580593.520	+	0.000	i
R	-13.515	+	0.440	i	$\bar{F}S$	6.897	+	-30.958	i
$\bar{M}P$	-186.618	+	114.581	i	$\bar{M}Q$	-78.566	+	-176.949	i
$\bar{F}R$	5.010	+	0.598	i	$\bar{F}S - \bar{M}Q$	85.463	+	145.992	i
$\bar{M}P - \bar{F}R$	-191.628	+	113.983	i	$(\bar{F}S - \bar{M}Q)(PS - QR)$	-934853.835	+	34438.802	i
$(\bar{M}P - \bar{F}R)(PS - QR)$	-53999.123	+	-1231807.852	i					
θ_1			θ_2			Z1		Z2	
$\bar{\theta}$	-0.002	+	-0.040	i	$\bar{Z}$	-0.031	+	0.001	i
θ_0	0.040	rad			Zo	0.031			
ϵ	87.534				δ	177.890			

$$\frac{dF_2}{dx} = e^{-2\pi y/\lambda} \left\{ \left[\rho g B h - \rho h S k_2 k_4 w_0^2 \right] \cos \frac{2\pi \xi}{\lambda} - h w_0 \left[N(\xi) - V \rho \frac{dS k_2 k_4}{d\xi} \right] \sin \frac{2\pi \xi}{\lambda} \right\} \quad (2.23)$$

Tablo 2.3'den elde edilen F_0 , M_0 , σ ve τ değerleri Tablo 2.4'de girdi olarak kullanılmaktadır.

Denklem (2.1.2)'in ilk satırında θ ve ikinci satırında z içeren terimler dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri arasındaki etkileşimi göstermektedirler. Geminin düzgün dalgalarda hareket ettiği kabulü yapıldığından dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri daimi olacaktır. Dolayısıyla geçici tepkiler yok olacaklardır ve denklem (2.2)'in özel çözümünü göz önüne almak yeterli olacaktır. Denklem (2.2)'in özel çözümü aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} z &= \bar{Z} e^{i\omega t} \\ \theta &= \bar{\theta} e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Kompleks genlikler ise;

$$\bar{Z} = z_0 e^{-i\delta} \quad (2.25)$$

ve

$$\bar{\theta} = \theta_0 e^{-i\varepsilon} \quad (2.26)$$

olacaktır. Burada Z_0 ve θ_0 sırasıyla dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genliklerinin mutlak değerleridirler. Z ve θ 'nın reel kısımlarının alınması yeterli olacaktır.

$$z = z_0 \cos(\omega t - \delta) \quad (2.27)$$

ve

$$\theta = \theta_0 \cos(\omega t - \varepsilon) \quad (2.28)$$

δ, ε gemi ile dalgalar arasındaki faz farkını göstermektedir. Denklem (2.2)'in çözümü denklem grubu (2.29)'da ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned}
\bar{Z} &= \frac{\bar{M}Q - \bar{F}S}{QR - PS} = \frac{(\bar{M}Q - \bar{F}S)(\overline{QR - PS})}{QR - PS(QR - PS)} = Z_1 - iZ_2 \\
\bar{\theta} &= \frac{\bar{F}R - \bar{M}P}{QR - PS} = \frac{(\bar{F}R - \bar{M}P)(\overline{QR - PS})}{QR - PS(QR - PS)} = \theta_1 - i\theta_2 \\
\delta &= \arctan \frac{Z_2}{Z_1} \\
\varepsilon &= \arctan \frac{\theta_2}{\theta_1} \\
\theta_0 &= \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2} \\
Z_0 &= \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} \\
P &= -aw^2 + ibw + c \\
Q &= -dw^2 + iew + g \\
R &= -Dw^2 + iEw + G \\
S &= -Aw^2 + iBw + C
\end{aligned} \tag{2.29}$$

Tablo 2.4' de denklem grubu (2.29) kullanılarak Z_0 , θ_0 , $\bar{Z}$, $\bar{\theta}$, ve δ, ε değerleri hesaplanmaktadır.

Tablo 2.5' de ise gemi üzerine etkiyen kuvvetlerin boyuna dağılımları elde edilebilmektedir. Yük denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{df}{dx} = -\delta m(\ddot{z} + \xi \ddot{\theta}) - \rho S k_2 k_4 (\ddot{z} + \xi \ddot{\theta} - 2V \dot{\theta}) - \left[N(\xi) - V \rho \frac{d(S k_2 k_4)}{d\xi} \right] (\dot{z} + \xi \dot{\theta} - 2V \dot{\theta}) - \rho g B(z + \xi \theta) + \frac{dF}{dx} \tag{2.30}$$

Burada, $\frac{dF}{dx}$ denklem (2.2)' de tanımlanmış olan, dalgalardan dolayı oluşan toplam yüküdür. Diğer terimler ise denklem (2.2)' deki yük bileşenlerine benzerdirler, fakat baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma yer değiştirmeleri, hızları ve ivmelerinden kaynaklanmaktadır.

$$\begin{aligned}
z &= z_0 (\cos wt \cos \delta + \sin wt \sin \delta) \\
\dot{z} &= -wz_0 (\sin wt \cos \delta - \cos wt \sin \delta) \\
\ddot{z} &= -w^2 z_0 (\cos wt \cos \delta + \sin wt \sin \delta) \\
\theta &= \theta_0 (\cos wt \cos \varepsilon + \sin wt \sin \varepsilon) \\
\dot{\theta} &= -w\theta_0 (\sin wt \cos \varepsilon - \cos wt \sin \varepsilon) \\
\ddot{\theta} &= -w^2 \theta_0 (\cos wt \cos \varepsilon + \sin wt \sin \varepsilon)
\end{aligned} \tag{2.31}$$

Denklem (2.27) aşağıdaki gibi düzenlenerek, yukarıdaki yer değiştirme, hız ve ivmeler yerlerine yazılacak olursa;

$$\frac{df}{dx} = \frac{df_1}{dx} \cos wt + \frac{df_2}{dx} \sin wt \tag{2.32}$$

$$\begin{aligned}
\frac{df_1}{dx} &= (\delta m + \rho S k_2 k_4) (w^2 z_0 \cos \delta + w^2 \xi \theta_0 \cos \varepsilon) + (\rho S k_2 k_4) (2Vw\theta_0 \sin \varepsilon) \\
&- \left[N(\xi) - V\rho \frac{d(Sk_2 k_4)}{d\xi} \right] (w z_0 \sin \delta + w \xi \theta_0 \sin \varepsilon - V\theta_0 \cos \varepsilon) - (\rho g B) (z_0 \cos \delta + \xi \theta_0 \cos \varepsilon) + \frac{dF_1}{dx}
\end{aligned} \tag{2.33}$$

ve

$$\begin{aligned}
\frac{df_2}{dx} &= (\delta m + \rho S k_2 k_4) (w^2 z_0 \sin \delta + w^2 \xi \theta_0 \sin \varepsilon) - (\rho S k_2 k_4) (2Vw\theta_0 \cos \varepsilon) \\
&+ \left[N(\xi) - V\rho \frac{d(Sk_2 k_4)}{d\xi} \right] (w z_0 \cos \delta + w \xi \theta_0 \cos \varepsilon - V\theta_0 \sin \varepsilon) - (\rho g B) (z_0 \sin \delta + \xi \theta_0 \sin \varepsilon) + \frac{dF_2}{dx}
\end{aligned} \tag{2.34}$$

Tablo 2.5’ de orta kesitteki kesme kuvveti ve eğilme momenti hesaplandığından, kullanılan moment kolu a her kesitin orta kesite olan uzaklığını göstermektedir. Dolayısıyla;

$$\begin{aligned}
f_1 &= \int_{1/2l} \frac{df_1}{dx} dx \\
f_2 &= \int_{1/2l} \frac{df_2}{dx} dx
\end{aligned} \tag{2.35}$$

Tablo 2.5. Orta Kesitteki Kesme Kuvvetinin ve Eğilme Momentinin Hesaplanması

TABLO A-5 ORTA KESİTTİKİ KESME KUVVETİ VE EĞİLME MOMENTİNİN HESAPLANMASI													
Model:	1919.2	Model Hızı, V:	2.394	Dalga Boyu, λ:	4.800	Dalga Boyu/Geni Boyu	1.000	Dalga Genliği, h:	0.050	Karşılaşma Frekansı, w:	9.620	w^2	92.544
		z0	0.031	sin δ	0.925	cos δ	-0.380	θ0	0.040	sin ε	-0.417	cos ε	0.909
Kesit Numarası:		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	$[\frac{1}{2}(\sum_1^9 - \sum_{11}^{19})]$	$\Delta \xi \square$
1	ξ, from LCG	2.040	1.560	1.080	0.600	0.120	-0.360	-0.840	-1.320	-1.800	-2.280		
2	a, from station 10	2.160	1.680	1.200	0.720	0.240	-0.240	-0.720	-1.200	-1.680	-2.160		
3	δm	0.117	0.331	0.356	0.377	0.373	0.361	0.360	0.313	0.197	0.084		
4	ρSk2 k4	0.062	0.226	0.281	0.281	0.281	0.281	0.275	0.235	0.135	0.034		
5	(3)+(4)	0.179	0.557	0.637	0.658	0.655	0.642	0.636	0.548	0.331	0.119		
6	pgB	22.568	40.086	40.398	40.398	40.398	40.398	40.398	40.398	35.036	18.703		
7	N(ξ)-V d(ρSk2 k4)/dξ	1.177	1.195	0.450	0.376	0.376	0.376	0.299	0.268	0.817	1.190		
8	(5)*(1)	0.364	0.869	0.688	0.395	0.079	-0.231	-0.534	-0.724	-0.596	-0.270		
9	(6)*(1)	46.039	62.534	43.630	24.239	4.848	-14.543	-33.934	-53.325	-63.066	-42.642		
10	(7)*(1)	2.400	1.864	0.486	0.226	0.045	-0.135	-0.251	-0.354	-1.471	-2.714		
11	(w^2 z0 cos ε)*(5)	-0.192	-0.600	-0.686	-0.708	-0.705	-0.692	-0.685	-0.591	-0.357	-0.128		
12	(w^2 θ0 cos ε)*(8)	1.235	2.945	2.334	1.338	0.266	-0.784	-1.811	-2.455	-2.022	-0.917		
13	(2 w V sin ε θ0)*(4)	-0.048	-0.175	-0.218	-0.218	-0.218	-0.218	-0.213	-0.182	-0.104	-0.027		
14	(-z0 cos ε)*(6)	0.263	0.467	0.470	0.470	0.470	0.470	0.470	0.470	0.408	0.218		
15	(-θ0 cos ε)*(9)	-1.687	-2.291	-1.599	-0.888	-0.178	0.533	1.243	1.954	2.311	1.563		

Tablo 2.5. (Devam) Orta Kesitteki Kesme Kuvvetinin ve Eğilme Momentinin Hesaplanması

TABLO A-5 ORTA KESİTTTEKİ KESME KUVVETİ VE EĞİLME MOMENTİNİN HESAPLANMASI													
Model:	1919.2	Model Hızı, V:	2.394	Dalga Boyu, λ:	4.800	Dalga Boyu/Geni Boyu	1.000	Dalga Geniği, h:	0.050	Karşılaşma Frekansı, w:	9.620	w ²	92.544
		z ₀	0.031	sin δ	0.925	cos δ	-0.380	θ ₀	0.040	sin ε	-0.417	cos ε	0.909
	Kesit Numarası:	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	$\frac{1}{2}(\sum_1^{19} - \sum_{11}^{19})$	$\Delta \xi$
16	(-w z ₀ sin δ + V θ ₀ cos ε) * (7)	-0.217	-0.220	-0.083	-0.069	-0.069	-0.069	-0.055	-0.050	-0.151	-0.220		
17	(-w θ ₀ sin ε) * (10)	0.388	0.302	0.079	0.037	0.007	-0.022	-0.041	-0.057	-0.238	-0.439		
18	dF ₁ /dx	0.085	0.842	0.990	0.757	0.237	-0.373	-0.857	-1.075	-0.932	-0.443		
19	Sum (11) through (18)	-0.108	0.243	0.303	0.048	-0.468	-1.064	-1.542	-1.665	-1.288	-0.571	6.149	2.952
20	(19)*(2)	-0.232	0.408	0.364	0.035	-0.112	0.255	1.110	1.998	2.164	1.232	-0.916	-0.440
21	(w ² z ₀ sin δ) * (5)	0.467	1.458	1.668	1.722	1.714	1.681	1.665	1.436	0.867	0.310		
22	(w ² θ ₀ sin ε) * (8)	-0.567	-1.352	-1.071	-0.614	-0.122	0.360	0.831	1.127	0.928	0.421		
23	(-2 w V cos ε θ ₀) * (4)	-0.105	-0.381	-0.474	-0.474	-0.474	-0.474	-0.465	-0.397	-0.227	-0.058		
24	(-z ₀ sin δ) * (6)	-0.638	-1.134	-1.143	-1.143	-1.143	-1.143	-1.143	-1.143	-0.991	-0.529		
25	(-θ ₀ sin ε) * (9)	0.774	1.052	0.734	0.408	0.082	-0.245	-0.571	-0.897	-1.061	-0.717		
26	(-w z ₀ cos δ + V θ ₀ sin ε) * (7)	0.084	0.086	0.032	0.027	0.027	0.027	0.021	0.019	0.059	0.085		
27	(w θ ₀ cos ε) * (10)	0.846	0.657	0.171	0.080	0.016	-0.048	-0.089	-0.125	-0.519	-0.957		
28	dF ₂ /dx	-0.793	-0.737	0.055	0.638	0.961	0.917	0.512	-0.108	-0.647	-0.680		
29	Sum (21) through (28)	-0.325	0.721	1.723	2.360	2.674	2.598	2.177	1.328	0.220	-0.369	0.060	0.029
30	(29)*(2)	-0.702	1.211	2.068	1.699	0.642	-0.623	-1.567	-1.593	-0.370	0.798	-0.117	-0.056
Δξ	0.480			SHEAR	2.952	cos(wt -)	0.563	)	BENDING M.	0.443	cos(wt -)	7.309	)

$$m_1 = \int_{1/2l} a \frac{df_1}{dx} dx \quad (2.36 \text{ a}) \text{ ve } (2.36 \text{ b})$$

$$m_2 = \int_{1/2l} a \frac{df_2}{dx} dx$$

ve orta kesitteki kesme kuvveti ve eğilme momenti sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\frac{\sqrt{f_1^2 + f_2^2}}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \quad (2.37)$$

3. LLOYDS' REGISTER VE SCORES PROGRAMI

3.1. Giriş

3.1.1 Lloyds' Register Programı

Bu programın temel amacı geminin dalgalar nedeniyle oluşan hareketlerini ve gemi üzerindeki dinamik yükleri hesaplamaktır. Program, istenilen özellikte dalgalarda sabit hızla hareket eden bir gemi için hareket ve yük genlik karşılık fonksiyonlarını (RAO) hesaplamaktadır. Bu hesaplamaları dalıp-çıkma, baş-kıç vurma, yalpa, yansavrulma ve savrulma hareketleri için gerçekleştirmektedir. Ayrıca, gemi üzerindeki enine ve boyuna gerilme dağılımları ve eğilme momenti dağılımları da elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar daha sonra, ana program sonrası çalışan programlarda kullanılarak düzgün olmayan dalgalarda kısa ve uzun vadeli hareket tahminlerinde bulunulabilir.

Ana program LR2570 çalışmadan önce, ana programın çalışması için gerekli olan veri dosyalarını hazırlayan bir ön program (DATAGEN) bulunmaktadır. Bu ön programın çalışması için ise üç adet veri dosyası hazırlanması gerekmektedir. Bunlardan ilki tekne ofsetini ve ana boyutlarını içeren “.HUL” uzantılı bir dosyadır. Diğerleri ise programın çalışma kısıtlarını belirleyen “.CND” uzantılı kontrol dosyası ve teknenin ağırlık dağılımının bilinmesi ve eğilme momentlerinin hesaplanmak istenmesi durumunda kullanılan “.MAS” uzantılı tekne ağırlık dağılımı dosyasıdır. DATAGEN programı çalışırken, hazırlanmış olan üç veri dosyasının içeriğinde bulunmayan, teknenin trimi, ağırlık merkezinin boyuna ve yüksekliğine yeri, yalpa, baş-kıç vurma ve savrulma jirasyon yarıçapları gibi bilgiler de sorulmaktadır. Ayrıca, DATAGEN alt programı çalışırken tekneyi ölçeklendirmek ve yeni, ölçeklendirilmiş tekne için ana programın girdisi olan dosyaları elde etmek mümkündür.

DATAGEN alt programının çalışması sonucunda, ana program LR2570' in çalışması için gerekli olan “.RES” ve “.ISC” uzantılı iki veri dosyası elde edilir. “.RES” uzantılı dosya, adeta, DATAGEN alt programına verilen bilgilerin doğruluğunu ve

kontrolünü sağlayan bir dosyadır. DATAGEN, girdi olarak aldığı, teknenin tüm hidrostatik özelliklerini tekrar hesaplamaktadır. “.ISC” uzantılı dosya ise tüm bu verilerin ana program LR2570’in okuyabileceği şekilde düzenlenmiş halidir.

Ana program LR2570 çalıştığında, “.RSC” uzantılı, hareketler ve yüklerle ilgili tüm sonuçları içeren dosyayı oluşturmaktadır. Ana program, ayrıca, kendisinden sonra çalışan ve karışık denizlerde kısa ve uzun vadeli hareket tahminleri yapan ek programın çalışması için gerekli veri dosyasını da hazırlamaktadır.

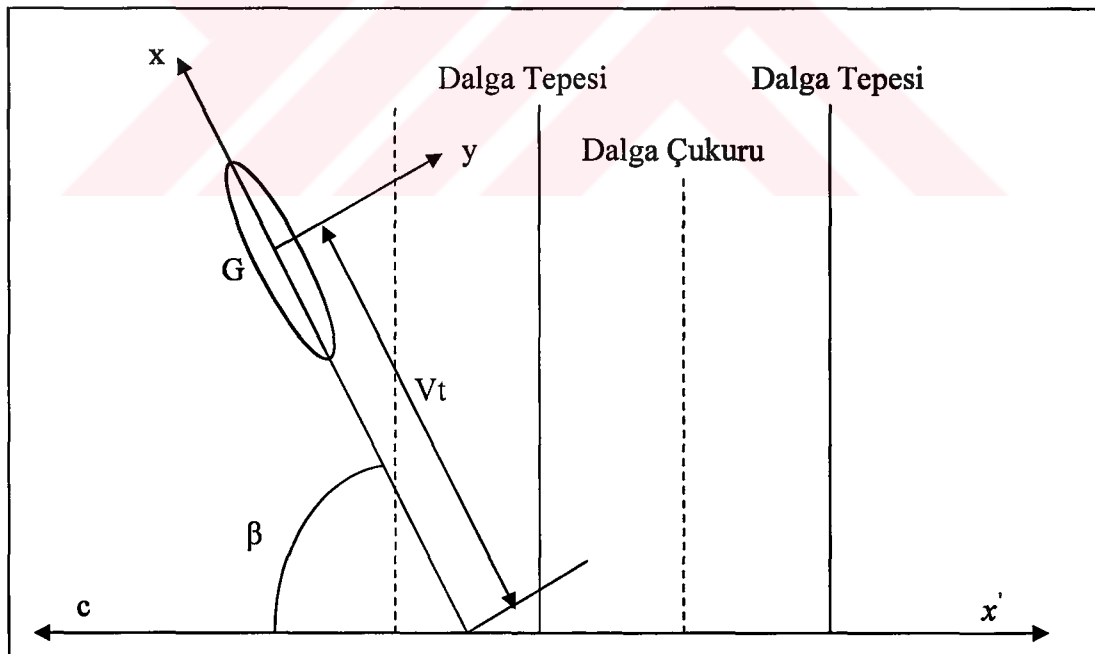
3.1.2 Scores Programı

Scores programı, Lloyds’ Register programının ticari hale getirilmemiş olan ilk versiyonudur. Programın yazılmasında, gelecekte yapılabilecek ek ve değişiklikler için kodun esnek ve basit olmasına özen gösterilmiştir (**Raff, 1972**). Programın temel amacı ve kullanılan teori Lloyd’s Register ticari programı ile tamamen aynıdır. Ancak, ek olarak Lloyd’s Register programı gerekli kesitlerde Frank yakın-uyum yöntemi’nin kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada Scores programının kullanılmasının nedeni, bilgisayar kodunun değiştirilmeye ve ek yapılmaya açık olmasıdır. Aslı FORTRAN IV dilinde yazılmış olan program, günümüzde MS Developer Studio ile kullanılabilir hale getirilmiş ve bazı değişiklikler yapılarak FORTRAN 90 diline çevrilmiştir. Bununla birlikte, çalışmanın amacı gereğince, üç boyutlu hidrodinamik katsayıların hesaplandığı Subroutine COEFF’e karşılaştırması yapılan diğer üç yöntem için gerekli satırlar eklenmiştir. Program kodunun modifiye edilmiş olan altprogramını içeren bölümü EK A’ da görülebilir.

Scores programı, Ship Structure Committee’ nin sponsorluğunu üstlendiği, dalgalardaki gemi eğilme momenti tepkilerinin bilgisayar simülasyonunun yapılması konulu bir araştırma projesi kapsamında hazırlanmıştır. Programda kullanılan analitik metodun geliştirilmesi **Kaplan (1969)**’ın Ship Structure Committee için hazırladığı SSC-193 raporu ile başlar. Söz konusu raporda, gemide dalgalar tarafından indüklenen düşey ve yatay düzlemdeki eğilme momentlerinin hesaplanması için dilim teorisine dayanan analitik bir metod geliştirilmiştir. Geliştirilen metodun programlanarak bilgisayar ortamına aktarılması **Kaplan ve diğerleri (1969)** tarafından SSC-197 raporunda konu alınmıştır. Bu aşamada, lineerleştirilmiş olan düşey düzlemdeki hareketler ve düşey eğilme momenti karşılık fonksiyonları, geminin dalgaları baştan alması durumunda hazırlanan program

Bu çalışmada, geminin baştan gelen düzgün dalgalarda, düşey düzlemde yaptığı baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri ve oluşan eğilme momentleri incelendiğinden izleyen 3.2 bölümünde programın kullandığı yöntemin düşey düzlem ile ilgili bölümü özetlenmiştir.

Dalga sistemi ve gemi için kullanılan iki ayrı koordinat sistemi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Dalgalar sabit c hızıyla uzayda sabit olan negatif x' eksenı yönünde yayılmaktadırlar. Gemi sabit V hızıyla, dalgaların yayılım yönüyle β açısı yapacak

şekilde, pozitif x eksenini yönünde ilerlemektedir. x ve y eksenleri gemiyle birlikte hareket etmektedirler ve başlangıç noktaları hesaplamalarda kolaylık sağlamak amacıyla geminin G ağırlık merkezi olarak seçilmiştir.

3.2.2 Dalga Hız Potansiyeli

Kısa periyotlu dalgalar için dalga hız potansiyeli su derinliğinden bağımsız olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\phi_w = -ace^{-kz'} \cos k(x'+ct) \quad (3.1)$$

Burada; a dalga genliği, c dalga hızı, k dalga sayısı, t zaman, z' sakin su yüzeyinden aşağıya doğru olan düşey koordinat ve x' ise uzayda sabit olan eksendir.

x-y düzlemindeki bir noktanın x' üzerindeki koordinatı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$x' = -(x + Vt) \cos \beta + y \sin \beta \quad (3.2)$$

Dalgaların sakin su yüzeyine göre olan yükseklikleri yukarıya doğru pozitif olmak üzere aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\eta = \frac{1}{g} \left[\frac{\partial \phi_w}{\partial t} \right]_{z'=0} = a \sin k(x'+ct) \quad (3.3)$$

x-y koordinatlarında:

$$\eta = a \sin k[-x \cos \beta + (c - V \cos \beta)t] \quad (3.4)$$

$$\dot{\eta} = \frac{D\eta}{Dt} = \left[\frac{\partial}{\partial t} - V \frac{\partial}{\partial x} \right] \eta(x, t) \quad (3.5)$$

$$\dot{\eta} = akc \cos k[-x \cos \beta + y \sin \beta + (c - V \cos \beta)t] \quad (3.6)$$

$$\text{ve} \quad \ddot{\eta} = \frac{D\dot{\eta}}{Dt} = akc \sin k[-x \cos \beta - y \sin \beta + (c - V \cos \beta)t] \quad (3.7)$$

Hareket denklemlerinin çözümleri, x-y eksenlerinin başlangıç noktasındaki dalga yüksekliği referans alınarak yazılacağına göre;

$$\eta = a \sin k(c - V \cos \beta)t \quad (3.8)$$

ya da $\eta = a \sin w_e t$

Burada $w_e = \frac{2\pi}{\lambda}(c - V \cos \beta) \quad (3.9)$

karşılaşma frekansıdır.

3.2.3 Düşey Düzlem Denklemleri

Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma bileşik hareketlerinin denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m \ddot{z} = \int_{x_s}^{x_b} \frac{dz}{dx} dx + Z_w \quad (3.10)$$

$$I_y \ddot{\theta} = - \int_{x_s}^{x_b} \frac{dz}{dx} x dx + M_w \quad (3.11)$$

Burada;

m = gemi kütlesi

$\frac{dz}{dx}$ = kesit üzerindeki düşey hidrodinamik kuvvet

x_s, x_b = gemi kıç ve başının koordinatları

Z_w = gemi üzerindeki dalga zorlayıcı kuvveti

I_y = y eksenini etrafında gemi kütle atalet momenti

M_w = gemi üzerindeki dalga zorlayıcı momenti

Toplam düşey kuvvet aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{dZ}{dx} = - \frac{D}{Dt} \left[A'_{33}(\dot{z} - x\dot{\theta} + V\theta) \right] - N'_z(\dot{z} - x\dot{\theta} + V\theta) - \rho g B^*(z - x\theta) \quad (3.12)$$

Burada;

A'_{33} = kesit ek su kütlesi

ρ = su yoğunluğu

B^* = kesitin yüklü su hattındaki genişliği

N'_z = kesit sönüm kuvveti katsayısı

$$\text{ve } N'_z = \rho g^2 \bar{A}^2 [w_e]^3 \quad (3.13)$$

Burada, $\bar{A}$ dalga genliklerinin dalıp-çıkma genliğine oranıdır.

İki boyutlu, kesit ek su kütlesi ve sönüm kuvveti katsayılarının hesaplanmasında **Grim (1959)**' in yöntemi kullanılmaktadır.

Denklem (3.11)' deki türev açılarak yazılırsa:

$$\frac{dZ}{dx} = -A'_{33}(\ddot{z} - x\ddot{\theta} + 2V\dot{\theta}) - \left[N'_z - V \frac{dA'_{33}}{dx} \right] (\dot{z} - x\dot{\theta} + 2V\dot{\theta}) - \rho g B^* (z - x\theta) \quad (3.14)$$

(3.10) ve (3.11) hareket denklemleri aşağıdaki formlarını alırlar:

$$(a' \ddot{z} + b' \ddot{\theta} + c' z) - d \ddot{\theta} - e \dot{\theta} - g' \theta = Z_w \quad (3.15)$$

$$A \ddot{\theta} + B \dot{\theta} + C \theta - D \ddot{z} - E \dot{z} - G' \theta = M_w \quad (3.16)$$

Burada;

$$a' = m + \int A'_{33} dx$$

$$b = \int N'_z dx - V \int d(A'_{33})$$

$$c' = \rho g \int B^* dx$$

$$d = D = \int A'_{33} x dx$$

$$\begin{aligned}
e &= \int N'_z x dx - 2V \int A'_{33} dx - v \int x d(A'_{33}) \\
g' &= \rho g \int B^* x dx - Vb \\
A &= I_y + \int A'_{33} x^2 dx \\
B &= \int N'_z x^2 dx - 2V \int A'_{33} x dx - V \int x^2 d(A'_{33}) \\
C &= \rho g \int B^* x^2 dx - VE \\
E &= \int N'_z x dx - V \int x d(A'_{33}) \\
G' &= \rho g \int B^* x dx
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Burada tüm integraller gemi boyunca alınmaktadır.

Dalga zorlayıcı kuvvet ve momentleri aşağıdaki gibi yazılabilirler:

$$Z_W = \int_{x_a}^{x_b} \frac{dZ_W}{dx} dx \tag{3.18}$$

$$M_W = - \int_{x_a}^{x_b} \frac{dZ_W}{dx} x dx \tag{3.19}$$

Gemi kesitine etki eden düşey dalga kuvveti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{dZ_W}{dx} = - \left[\rho g B^* \eta + \left(N'_z - V \frac{dA'_{33}}{dx} \dot{\eta} + A'_{33} \ddot{\eta} \right) \right] e^{-k\bar{h}} \tag{3.20}$$

Burada $\bar{h}$ = kesit ortalama su çekimidir.

(3.4), (3.5) ve (3.7) denklemlerinde elde edilen $\eta, \dot{\eta}$ ve $\ddot{\eta}$ ifadeleri $y=0$ alarak toplandığında aşağıdaki ifadeler elde edilirler:

$$\begin{aligned} \frac{dZ_w}{dx} = & -ae^{-k\bar{h}} \left\{ \left[(\rho g B^* - A'_{33} k g) \sin(-kx \cos \beta) + kc \left(N'_z - V \frac{dA'_{33}}{dx} \right) \cos(-kx \cos \beta) \right] \cos \omega_e t \right. \\ & \left. + \left[(\rho g B^* - A'_{33} k g) \cos(-kx \cos \beta) - kc \left(N'_z - V \frac{dA'_{33}}{dx} \right) \sin(-kx \cos \beta) \right] \sin \omega_e t \right\} \frac{\sin\left(\frac{\pi B^*}{\lambda} \sin \beta\right)}{\frac{\pi B^*}{\lambda} \sin \beta} \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\bar{h} \text{ değeri yaklaşık olarak } \bar{h} = Hc_s \quad (3.22)$$

şeklinde alınmıştır. Burada, H = kesit su çekimi ve c_s = kesit alan katsayısıdır.

Hareket denklemlerinin daimi hal çözümü, karmaşık gösterim kullanılarak, bilinen ikinci derece adi diferansiyel denklem yöntemleri ile elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$z = z_0 \sin(\omega_e t + \delta) \quad (3.23)$$

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega_e t + \varepsilon)$$

Burada sıfır indisi genlikleri göstermekte olup, δ ve ε ise faz açılarıdır. Pozitif bir faz açısı, hareketin dalga yüksekliğine (3.8)'de ifade edildiği gibi yön verdiği anlamına gelmektedir.

Düşey yük aşağıdaki şekilde verilir:

$$\frac{df_z}{dx} = -\delta m \left(\ddot{z} - x \ddot{\theta} \right) + \frac{dz_w}{dx} \quad (3.24)$$

Burada, δm = birim boydaki bölgesel kütledir.

Denklem (3.24) atalet, hidrodinamik, hidrostatik ve dalga zorlayıcı kuvvetlerinin toplamıdır.

x_0 noktasındaki düşey eğilme momenti

$$BM_z(x_0) = \left[\int_{x_s}^{x_0} \text{or} \int_{x_0}^{x_b} \right] (x - x_0) \frac{df_z}{dx} dx \quad (3.25)$$

şeklinde verilebilir. Hareketlere benzer bir formda ise;

$$BM_z = BM_{z0} \sin(\omega_e t + \sigma) \quad (3.26)$$

3.3. Çeşitli Dilim Teorilerinde Hidrodinamik Katsayıların Hesaplanması

Bilindiği üzere, bir geminin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri bir çift lineer hareket denklemi ile ifade edilmektedir. Söz konusu hareket denklemlerindeki katsayılar hidrodinamik katsayılar olarak adlandırılırlar. Geminin dalgalarda ilerlerken sahip olduğu hızın, hareketleri üzerine etkisi hidrodinamik katsayıların içerisine dahil edilerek hesaplamalara katılmaktadır. Bu bölümde, ileriye hızın, çeşitli dilim teorilerinde hidrodinamik katsayıların hesaplanmasında nasıl göz önüne alındığı incelenecektir.

Serbest yüzeyin etkisi ihmal edildiğinde, geminin ileriye doğru olan hızının zamana bağlı türevlere etkisi basitleştirilerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + V \cdot \frac{\partial}{\partial x} \quad (3.27)$$

Çeşitli dilim teorileri, hız etkisinin teoriye dahil edilmesi için denklem (3.27)'den ve karşılaşma frekansının tanımından yararlanmaktadırlar. Ancak, bu yaklaşım, teorik olarak incelendiğinde, geminin ileriye doğru olan hızının küçük olması ve karşılaşma frekansının ise yüksek olması durumlarında geçerli olabileceği söylenebilir (Odabaşı ve Hearn, 1977).

Sırasıyla, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri için hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$a' \ddot{z} + b' \ddot{z} + c' \dot{z} - d' \ddot{\theta} - e' \dot{\theta} - g' \theta = Z_w \quad (3.28)$$

$$A \ddot{\theta} + B \dot{\theta} + C \theta - D \ddot{z} - E \dot{z} - G \theta = M_w \quad (3.29)$$

Hareket denklemlerindeki hidrodinamik katsayılar Kaplan (1969)'a göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$a' = m + \int A'_{33} dx$$

$$b = \int N'_z dx - V \int d(A'_{33})$$

$$c' = \rho g \int B^* dx$$

$$d = D = \int A'_{33} x dx$$

$$e = \int N'_z x dx - 2V \int A'_{33} dx - v \int x d(A'_{33})$$

$$g' = \rho g \int B^* x dx - Vb$$

$$A = I_y + \int A'_{33} x^2 dx$$

$$B = \int N'_z x^2 dx - 2V \int A'_{33} x dx - V \int x^2 d(A'_{33})$$

$$C = \rho g \int B^* x^2 dx - VE$$

$$E = \int N'_z x dx - V \int x d(A'_{33})$$

$$G' = \rho g \int B^* x dx \quad (3.30)$$

Aynı katsayılar, **Gerritsma ve Beukelman (1964)**'a göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$a' = m + \int A'_{33} dx$$

$$b = \int N'_z dx - V \int d(A'_{33})$$

$$c' = \rho g \int B^* dx$$

$$d = \int A'_{33} x dx + \frac{V}{w_e^2} \int N'_z dx - \frac{V^2}{w_e^2} \int d(A'_{33})$$

$$e = \int N'_z x dx - 2V \int A'_{33} dx - V \int x d(A'_{33})$$

$$g' = \rho g \int B^* x dx$$

$$A = I_y + \int A'_{33} x^2 dx + \frac{V}{w_e^2} \int N'_z x dx - \frac{V^2}{w_e^2} \int x d(A'_{33})$$

$$B = \int N'_z x^2 dx - 2V \int A'_{33} x dx - V \int x^2 d(A'_{33})$$

$$C = \rho g \int B^* x^2 dx$$

$$D = \int A'_{33} x dx$$

$$E = \int N'_z x dx - V \int x d(A'_{33})$$

$$G' = \rho g \int B^* x dx \quad (3.31)$$

Gerritsma ve Beukelman (1964)'ın B ve D katsayıları hız etkisini içermemektedir.

Ogilvie ve Tuck (1969) tarafından narin gemiler ve yüksek dalga frekansları için geliştirilen rasyonel dilim teorisinde ise katsayılar, denklem (3.31)'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Ancak, denklem (3.31)'de, kütle ve sönüm çapraz bağlaşım katsayılarında (d,D,e,E) yer alan ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yönteminin pratik uygulamasını zorlaştıran integral terimlerine yer verilmemiştir.

$$a' = m + \int A'_{33} dx$$

$$b = \int N'_z dx$$

$$c' = \rho g \int B^* dx$$

$$d = \int A'_{33} x dx + \frac{V}{w_e^2} \int N'_z dx$$

$$e = \int N'_z x dx - V \int A'_{33} dx$$

$$g' = \rho g \int B^* x dx$$

$$A = I_y + \int A'_{33} x^2 dx$$

$$B = \int N_z' x^2 dx$$

$$C = \rho g \int B^* x^2 dx$$

$$D = \int A_{33}' x dx - \frac{V}{w_e^2} \int N_z' dx$$

$$E = \int N_z' x dx + V \int A_{33}' dx$$

$$G' = \rho g \int B^* x dx \quad (3.32)$$

Narin gemiler için Gerritsma-Beukelman (1964) ve Ogilvie-Tuck (1969) arasındaki fark yalnızca A ve D katsayıları arasında kalmaktadır. (Beukelman, 1970)

Vugts (1970) ve Salvasen ve diğerleri (1970) hızın hidrodinamik katsayılarında göz önüne alınması için, kesit kütle katsayısına ve dolayısıyla diğer katsayılarla sönümün gemi boyunca değişimini içeren $\frac{d(N_z')}{dx}$ terimini eklemişlerdir. Vugts (1970) ve Salvasen ve diğerleri (1970)'nin hidrodinamik katsayıları denklem (3.33)'de görülebilir.

$$a' = m + \int A_{33}' dx + \frac{V}{w_e^2} \int d(N_z')$$

$$b = \int N_z' dx - V \int d(A_{33}')$$

$$c' = \rho g \int B^* dx$$

$$d = \int A_{33}' x dx + \frac{2V}{w_e^2} \int N_z' dx - \frac{V^2}{w_e^2} \int d(A_{33}') + \frac{V}{w_e^2} \int x d(N_z')$$

$$e = \int N_z' x dx - 2V \int A_{33}' dx - V \int x d(A_{33}') - \frac{V^2}{w_e^2} \int d(N_z')$$

$$g' = \rho g \int B^* x dx$$

$$A = I_y + \int A'_{33} x^2 dx + \frac{2V}{w_e^2} \int N'_z x dx - \frac{V^2}{w_e^2} \int x d(A'_{33}) + \frac{V}{w_e^2} \int x^2 d(N'_z)$$

$$B = \int N'_z x^2 dx - 2V \int A'_{33} x dx - V \int x^2 d(A'_{33}) - \frac{V}{w_e^2} \int x d(N'_z)$$

$$C = \rho g \int B^* x^2 dx$$

$$D = \int A'_{33} x dx - \frac{V}{w_e^2} \int x d(N'_z)$$

$$E = \int N'_z x dx - V \int x d(A'_{33})$$

$$G = \rho g \int B^* x dx \quad (3.33)$$

Narin gemiler için, Vugts (1970) ve Salvase ve diğerleri (1970) ve Ogilvie ve Tuck (1969)'ın hesapladığı katsayılar A ve B katsayıları dışında benzerlik göstermektedir. Ogilvie ve Tuck (1969)'ın A ve B katsayılarında hıza bağlı düzeltme bulunmamaktadır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Korvin_Kroukovsky Yöntemi ile Uygulama Çalışması

4.1.1 Uygulama Çalışması için Kullanılan Gemi Formları

Çalışma kapsamında iki adet uygulama çalışması yapılmıştır. Birinci uygulama çalışmasında, Uluslararası EUCLID Projesi kapsamında, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda denizcilik deneyleri yapılmış olan bir savaş gemisi formunun (Model AG), baştan gelen düzgün dalgalarındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri, tablo (2.1), (2.2), (2.3), (2.4) ve (2.5) kullanılarak Korvin-Kroukovsky yöntemiyle ve ayrıca hazır bir paket program olan Lloyds' Register Gemi Hareketleri Hesap Programı ile hesaplanmıştır. İki programın verdiği sonuçlar, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. İkinci uygulama çalışmasında ise, kovansiyonel bir konteynır gemisi formunun (CONT-FL), baştan gelen düzgün dalgalarda yaptığı dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri, yine, iki program kullanılarak hesaplanmış ve her iki programın verdiği sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tablo 4.1' de hareketleri hesaplanan iki gemi formunun özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.1. Uygulama için Kullanılan Gemilerin Temel Özellikleri

Özellik	Model AG	CONT-FL
∇ (m ³)	0.552	35744.100
LBP (m)	5.720	195.400
L_{WL} (m)	5.720	195.620
B_{max} (DWL) (m)	0.775	29.800
T (m)	0.248	10.100
C_B	0.502	0.608
C_M	0.806	0.893
LCB (%+FWD)	0.084	0.489
LCF (%+FWD)	-2.655	0.467
WSA (m ²)	4.815	4546.200

değerleri asimptotik olarak 1 değerine yaklaştığından $k_4 = 1$ olarak alınmıştır. $\bar{A}$ katsayıları ise, Gören (1979)'in gemi hareketleri programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.2' de bu çalışmanın sonuçları görülmektedir. Bölüm 4.1.2 içerisinde yer alan tüm tablolar ve grafiklerde, Korvin-Kroukovsky yöntemi ile hesaplanan sonuçlar, Korvin-Kroukovsky yönteminin izlenmesinde Jacobs ve diğerleri (1960)'nin Davidson Laboratuvarı için hazırladıkları 791 no'lu rapordan yararlanıldığı için Report791 olarak anılmaktadır.

Tablo 4.2. Model AG Dalıp-Çıkma ve Baş-Kıç Vurma Genlik Karşılık Fonksiyonları (Gemi Hızı $V=0$ m/s)

w (rad/sn)	Report 791		Lloyds' Register		Deney		λ/L
	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	
1.5	0.815	0.939	0.755	0.928	1.009	1.037	4.788
1.7	0.825	0.967	0.770	0.947	1.015	1.047	3.727
1.9	0.845	0.986	0.801	0.960	1.028	1.054	2.984
2.1	0.888	0.993	0.866	0.985	1.054	1.057	2.443
2.3	0.969	0.980	0.994	0.991	1.101	1.052	2.036
2.5	1.104	0.941	1.219	0.989	1.175	1.038	1.724
2.7	1.219	0.866	1.312	0.938	1.259	1.010	1.478
2.9	1.176	0.697	1.111	0.818	1.251	0.939	1.281
3.1	0.698	0.329	0.589	0.530	0.934	0.731	1.121
3.3	0.152	0.065	0.015	0.445	0.436	0.425	0.989
3.5	0.011	0.007	0.040	0.280	0.119	0.205	0.879
3.7	0.001	0.000	0.110	0.168	0.034	0.084	0.787
3.9	0.004	0.000	0.130	0.066	0.072	0.023	0.708
4.1	0.004	0.000	0.130	0.024	0.073	0.008	0.641
4.3	0.003	0.000	0.120	0.058	0.064	0.020	0.583
4.5	0.001	0.000	0.090	0.050	0.036	0.017	0.532
4.7	0.000	0.000	0.030	0.033	0.021	0.012	0.488
4.9	0.000	0.000	0.010	0.023	0.013	0.008	0.449

CONT-FL'nin baştan gelen düzgün dalgalarındaki hareketleri iki hız için, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de görülen dalga frekansları(ω) ve dalga boyu/model boyu oranları(λ/L) için hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. CONT-FL Dalıp-Çıkma ve Baş-Kıç Vurma Genlik Karşılık Fonksiyonları (Gemi Hızı V=0 m/s)

V=0 m/s	Report 791		Lloyds' Register		λ/L
w (rad/sn)	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	
0.3	0.7800	0.4220	0.9188	0.5127	3.5011
0.4	0.6780	0.7800	0.7466	0.8300	1.9715
0.5	0.3220	0.9010	0.4178	1.0164	1.2618
0.6	0.1000	0.7580	0.0421	0.8416	0.8753
0.8	0.0800	0.2880	0.0380	0.3966	0.4929
0.9	0.0760	0.2320	0.0492	0.2726	0.3890
1.2	0.0300	0.0250	0.0068	0.0272	0.2188
1.5	0.0200	0.0020	0.0005	0.0030	0.1400
1.8	0.0004	0.0012	0.0003	0.0012	0.0973
2.1	0.0001	0.0011	0.0002	0.0012	0.0715
2.4	0.0010	0.0012	0.0003	0.0014	0.0547

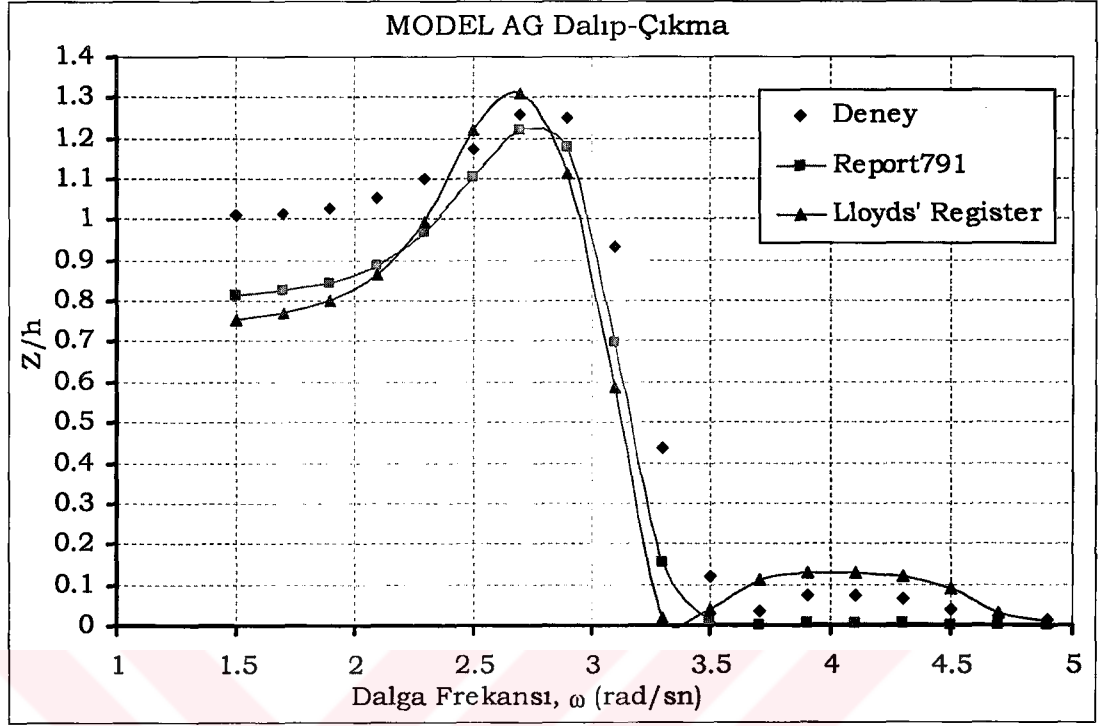
Tablo 4.4. CONT-FL Dalıp-Çıkma ve Baş-Kıç Vurma Genlik Karşılık Fonksiyonları (Gemi Hızı V=6.18 m/s)

V=6.18 m/s	Report 791		Lloyds' Register		λ/L
w (rad/sn)	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	dalıp-çıkma	baş-kıç vurma	
0.3	0.9104	0.2895	0.9515	0.5343	3.5011
0.4	0.7950	0.8300	0.8306	0.9462	1.9715
0.5	0.5530	1.1570	0.6173	1.3142	1.2618
0.6	0.1950	0.9623	0.2760	1.0160	0.8753
0.8	0.0500	0.1220	0.0797	0.1810	0.4929
0.9	0.0052	0.0062	0.0138	0.0473	0.3890
1.2	0.0050	0.0040	0.0012	0.0033	0.2188
1.5	0.0050	0.0040	0.0005	0.0012	0.1400
1.8	0.0050	0.0040	0.0003	0.0007	0.0973
2.1	0.0050	0.0040	0.0001	0.0004	0.0715
2.4	0.0050	0.0040	0.0001	0.0003	0.0547

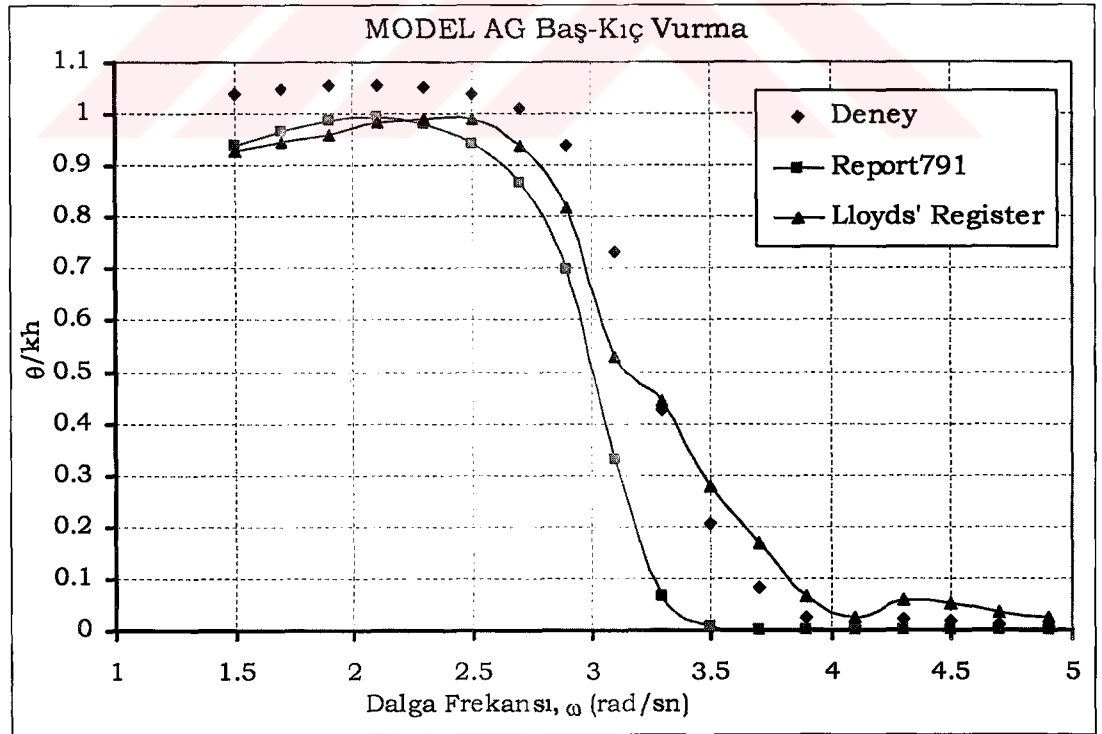
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de Model AG formunun sıfır hızdaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri boyutsuz olarak dalga frekansı(ω)’a bağlı olarak grafik halinde görülebilmektedir.

Model AG formunun Şekil 4.4’de görülen baş-kıç vurma hareketi için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, dalga frekansının yaklaşık olarak 2,7 ila 3,7 değerleri

arasında bulunduğu bölgede her iki yöntemle elde edilen sonuçların deney sonuçlarına göre sapmalarının daha fazla olduğu söylenebilir.



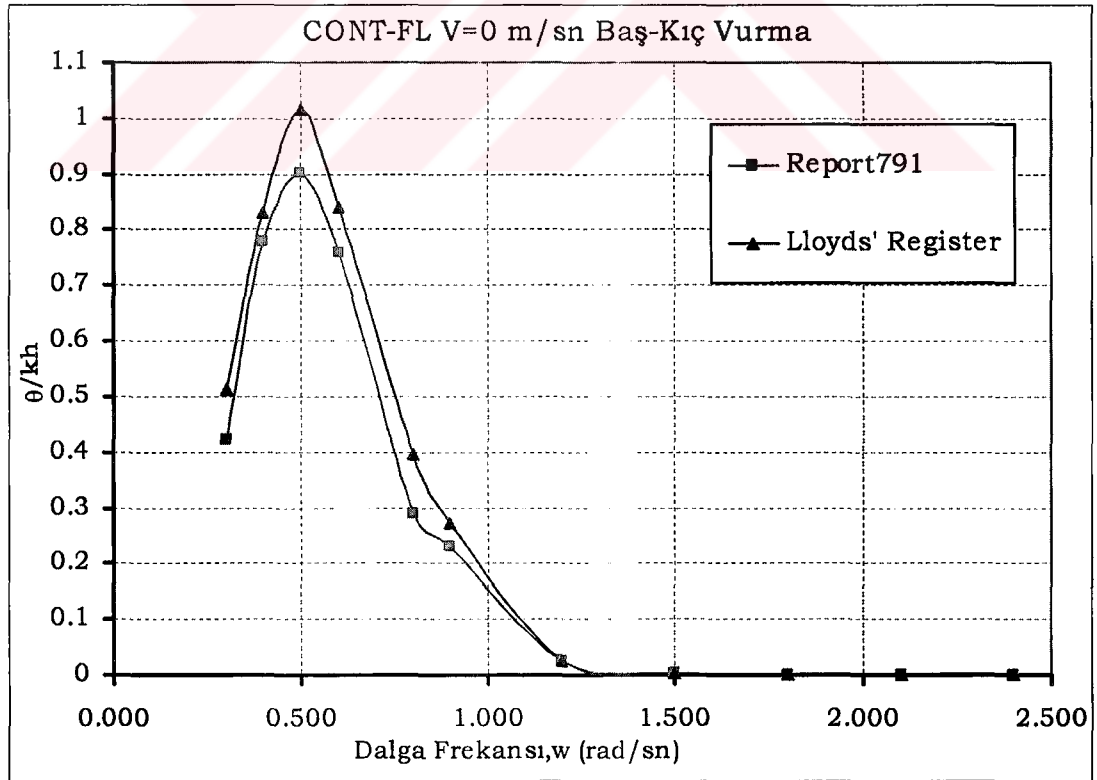
Şekil 4.3. Model AG dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu



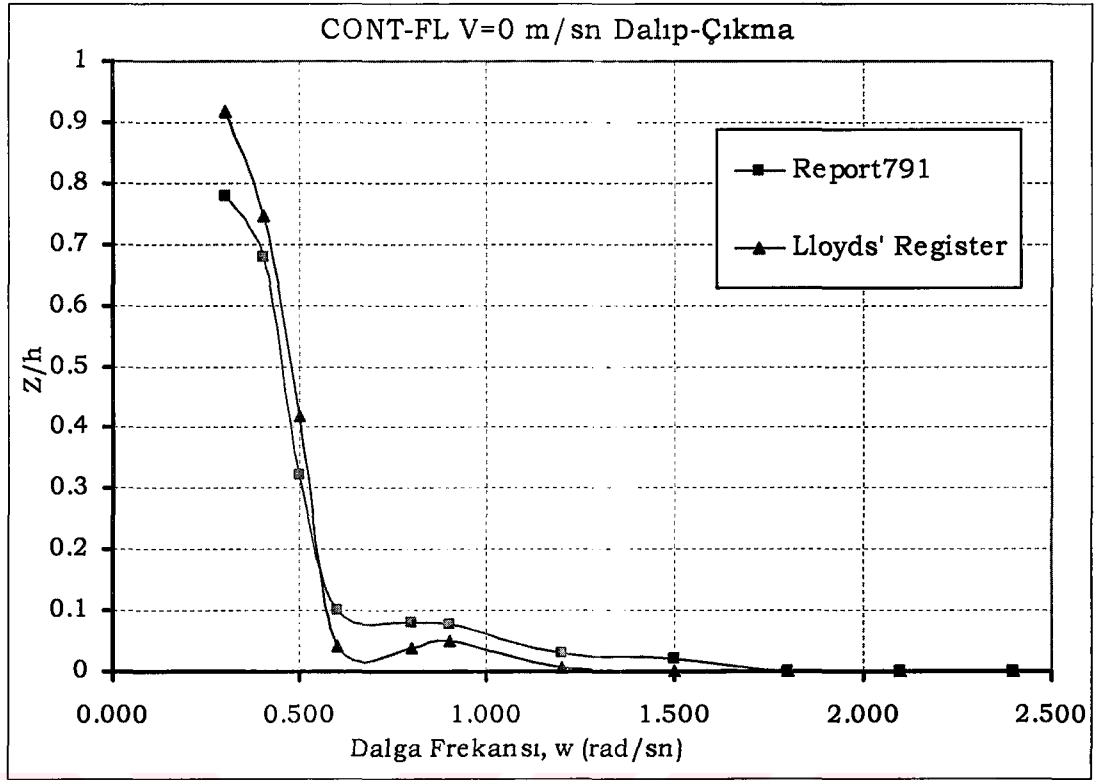
Şekil 4.4. Model AG baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu

Ancak, dalga frekansının 2,5'den küçük değerleri ve 4'den büyük değerleri için iki yöntemin (Report791 ve Lloyds' Register) kullanılmasıyla elde edilen boyutsuz baş-kıç vurma hareket genliklerinin birbirlerine ve deneylerden elde edilen verilere daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Aynı formun, Şekil 4.3'de yer alan, dalıp-çıkma hareketine ait sonuçlarına bakılacak olursa, deney sonuçlarına göre iki programın verdiği sonuçlarda bir paralel kayma gözlemlendiği söylenebilir. Tüm bu sapmalara neden olarak, Model AG' in baş bölgesinde V şekilli kesitlere sahip olması ve dolayısıyla bu bölgede, Korvin-Kroukovsky yöntemindeki yüklü su hattında duvar bordalı olma kabulünden uzaklaşması ve yine baş bölgedeki sonar domlu kesitlerin Lewis formlarıyla modellenmeye pek uygun olmayışları gösterilebilir. Lloyd's Register programının özellikle baş-kıç vurma değerlerinde gerçeğe daha yakın sonuçlar vermesinin nedeni olarak ise, baştaki V kesitlerin ve sonar domlu olan iki baş kesitinin Frank Metodu ile modellenmiş olması gösterilebilir.

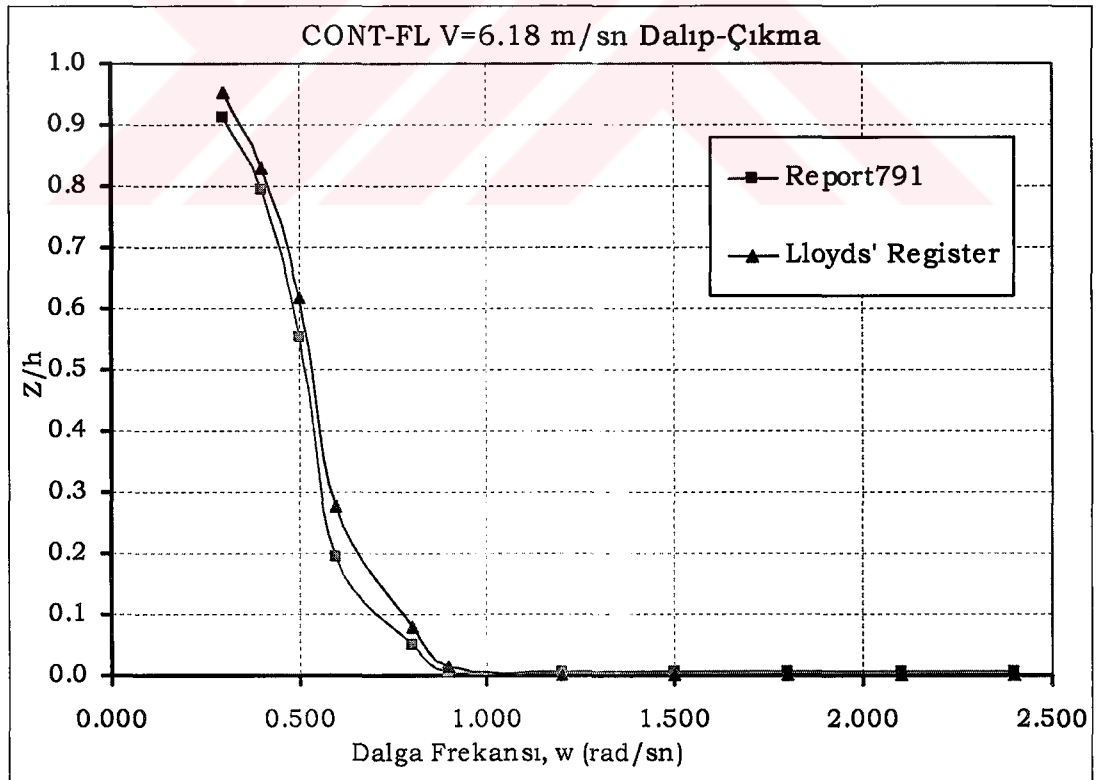
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da CONT-FL formunun sıfır hızdaki baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri boyutsuz olarak dalga frekansına karşı görülmektedir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de ise CONT-FL formunun 6.18 m/s hızdaki baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri boyutsuz olarak dalga frekansına karşı görülmektedir.



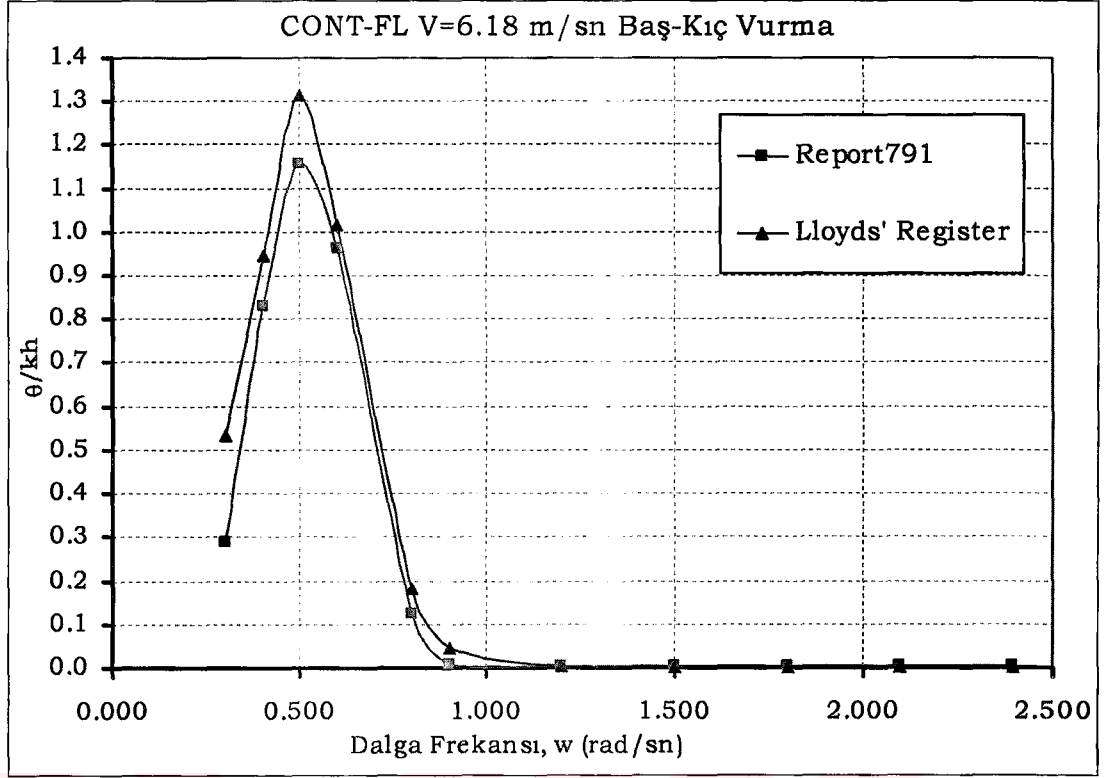
Şekil 4.5. CONT-FL baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu ($V=0$ m/s)



Şekil 4.6. CONT-FL dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu ($V=0$ m/s)



Şekil 4.7. CONT-FL dalıp-çıkma genlik karşılık fonksiyonu ($V=6.18$ m/s)



Şekil 4.8. CONT-FL baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonu ($V=6.18$ m/s)

CONT-FL formu için yapılan hesaplamalar sonucunda, Korvin-Kroukovsky'nin teorisini baz alan program ile Lloyd's Register'ın programının sonuçları arasında özellikle yüksek frekans değerlerinde mükemmel bir uyum gözlenmektedir.

CONT-FL formunun iki hız değeri için baş-kıç vurma boyutsuz hareket genliklerinin incelendiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.8'de görülebileceği üzere, dalga frekansının 0,5 değerini aldığı bölgede, sonuçlar birbirinden bir miktar ayrılmaktadır. Bu ayrılmanın nedeni olarak, CONT-FL formunun gemi baş ve kıçındaki kesitlerinin Lewis formlarına uygun olmaması ve Lloyd's Register'ın programı kullanılırken bu kesitlerin Frank Metodu ile modellenmiş olması gösterilebilir.

CONT-FL formunun, iki hız değeri için boyutsuz dalıp-çıkma hareket genliklerinin dalga frekansına bağlı olarak incelendiği Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelenecek olursa; iki gemi hızı için de elde edilmiş olan sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

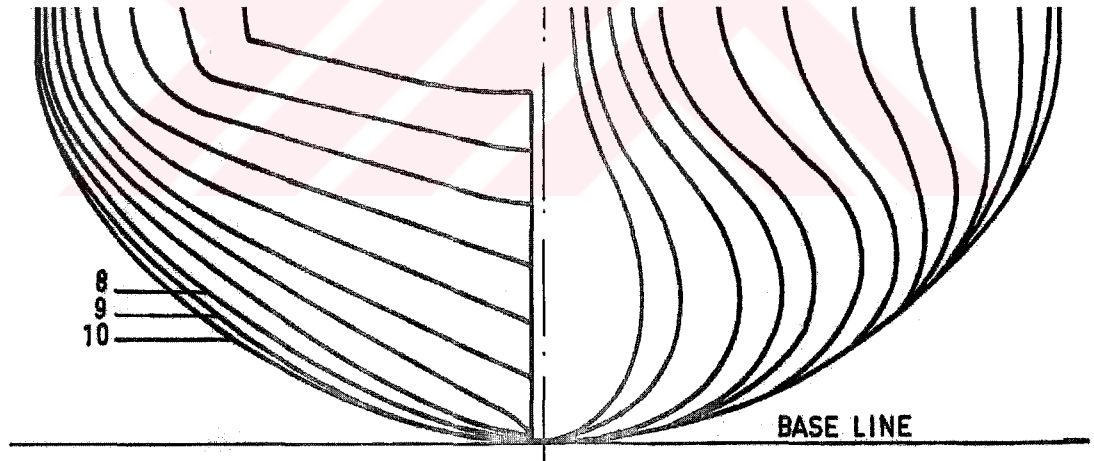
Genel olarak, CONT-FL formunun kesitleri U formulu olmaya yakın olduğundan, yüklü su hattında duvar bordalı olma kabulünden daha az sapmaktadır. Dolayısıyla iki programın sonuçlarının bu örnekte çok daha uyumlu olduğu söylenebilir.

Görüldüğü gibi, iki uygulama çalışmasında da sonuçlar karakteristik olarak birbirleriyle uyumludur. Ancak bazı bölgelerde hareket genliklerinin boyutsuz genlikleri için elde edilen değerlerde deney verilerine göre sapmalar gözlenmektedir.

Sonuç olarak, Korvin-Kroukovsky yöntemini temel alarak hazırlanan tabloların sağlıklı bir şekilde çalıştığı ve sonuçlarda yer yer rastlanan sapma ve uyumsuzlukların, seçilen gemi formlarının, teorisinin kabullerine yeterli derecede uygun olmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

4.2. Çeşitli Dilim Teorilerinin Hesaplamalı Karşılaştırması

Bu bölümde, Kaplan (1969), Gerritsma ve Beukelman (1964), Ogilvie ve Tuck (1969) ve Vugts (1970)'un yöntemleri kullanılarak, Davidson A destroyer gemisinin baştan gelen dalgadaki, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri, ilgili hidrodinamik katsayıları ve boyuna eğilme momentleri hesaplanmış ve birbirleriyle ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'da hesaplamalarda kullanılan Davidson A formu görülmektedir.



Şekil 4.9. Davidson A En Kesit Eğrileri Resmi

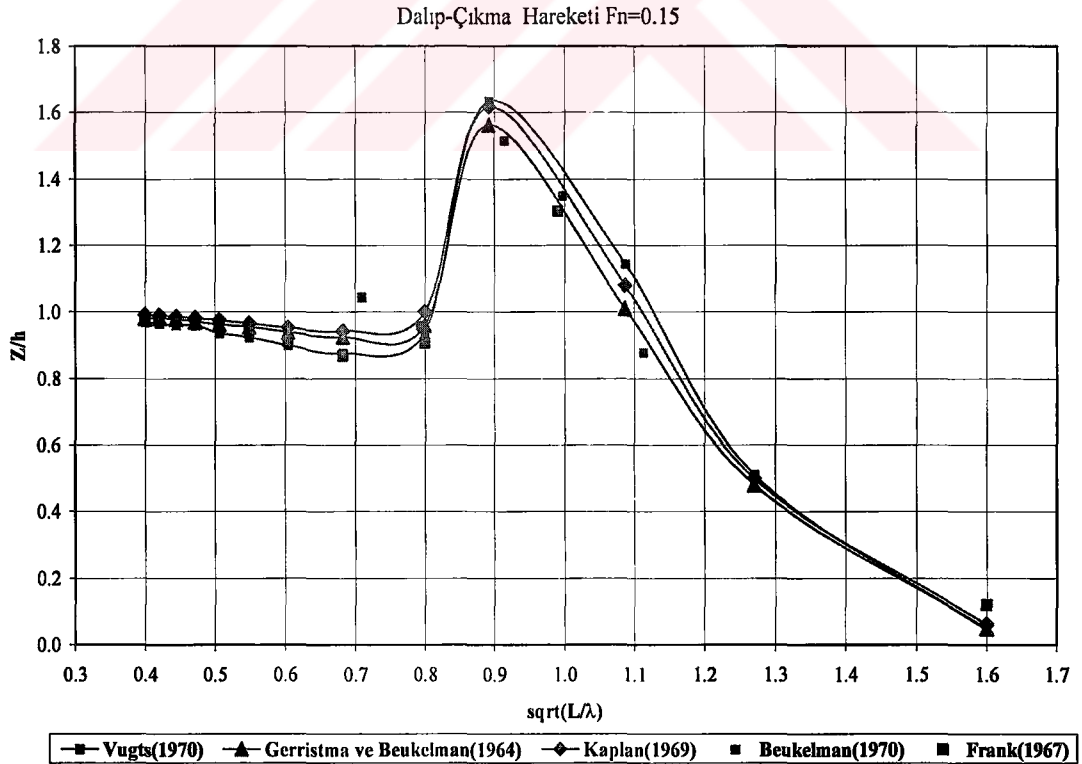
Davidson A destroyeri, konvansiyonel bir kıç formuna ve oldukça yumru başlı bir baş formuna sahiptir. Söz konusu formun baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri daha önce deneylerle Breslin ve Eng (1965), Smith ve Salvesen (1970) ve Beukelman (1970) tarafından test edilmiştir. Ayrıca, bu formun dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri ve ek su kütlesi ve sönüm kuvveti katsayılarının hesaplanması amacıyla daha önce yapılmış hesaplamalı çalışmalar da bulunmaktadır. Odabaşı ve

Beukelman (1970)'ın yayınlanmamış olan çalışmalarında, bu form için dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri, ek su kütlesi ve sönüm kuvveti katsayıları **Lewis (1929)** transformu, **Frank (1967)** close fit yöntemi, **Tasai (1959)** close fit yöntemi ve MIT'nin denizcilik programı kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Tablo 4.5'de Davidson A model formunun ana değerleri görülebilir.

Tüm hesaplamalar, formun, aslı ile arasında 33.545 değerinde lineer bir oran bulunan modeli için yapılmıştır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de formun, $F_n = 0.15$ için sırasıyla dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genlikleri boyutsuzlaştırılarak, gemi boyu/ dalga boyu oranının kareköküne karşılık çizilmiştir.

Tablo 4.5. Davidson A Model Formu Ana Değerleri

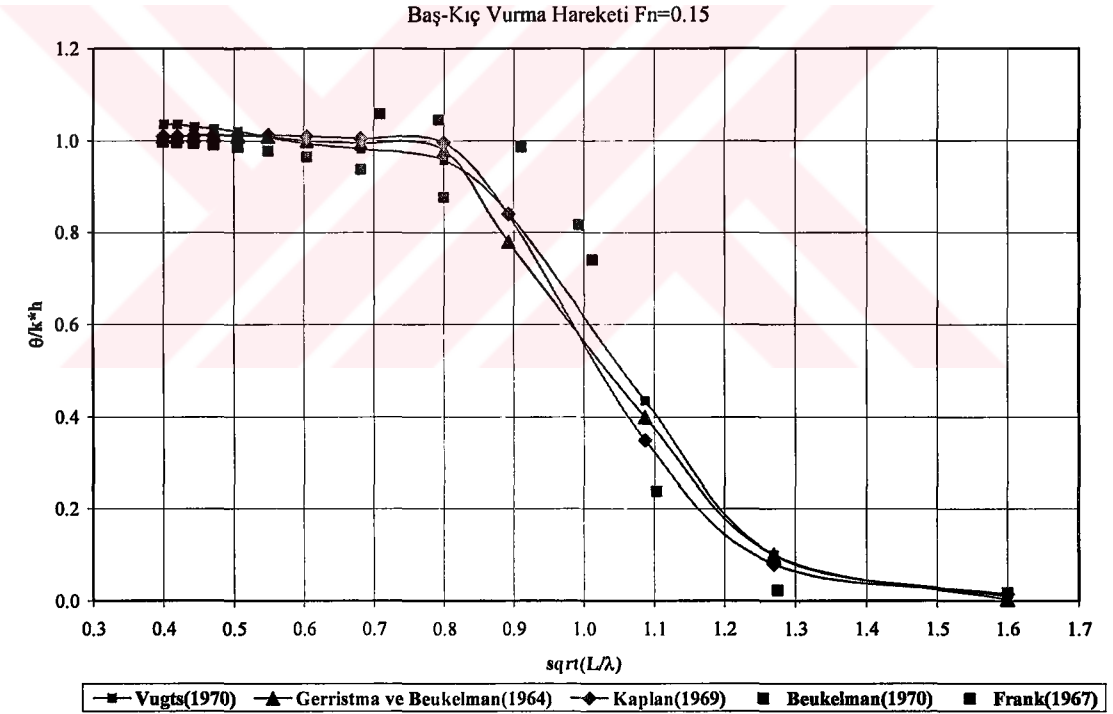
$L_{pp}(m)$	$B_{max}(m)$	$T(m)$	Deplasman Hacmi(m^3)	C_B	C_M	LCB(+Fwd) (m)	k_{yy}
3.481	0.371	0.127	0.08845	0.536	0.778	0.058	$0.25 L_{pp}$



Şekil 4.10. Davidson A Dalıp-Çıkma Hareketi $F_n=0.15$

$F_n=0.15$ için, söz konusu dört dilim teorisi yaklaşımı ile hesaplanan dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genliklerinin, kesit ek su kütleleri ve kesit sönüm katsayılarının hesaplanmasındaki yöntem farklılığından dolayı, **Frank (1967)** yakın-uyum(close-fit) yönteminin verdiği sonuçlar ile de karşılaştırılabilmesi için **Sarıöz (2004)**'ün kendi gemi hareketleri programını kullanarak hesapladığı değerler kullanılmıştır.(Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma boyutsuz genliklerinin karşılaştırıldığı, $F_n=0.15$ ve $F_n= 0.55$ için olan grafiklerde (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15), deney verileriyle karşılaştırma yapabilmek için **Beukelman (1970)**'den alınan değerler kullanılmıştır. En son sözü geçen değerler, deneylerden elde edilmiş hidrodinamik katsayılar, kuvvet ve momentler kullanılarak hesaplanmıştır (**Beukelman, 1970**).

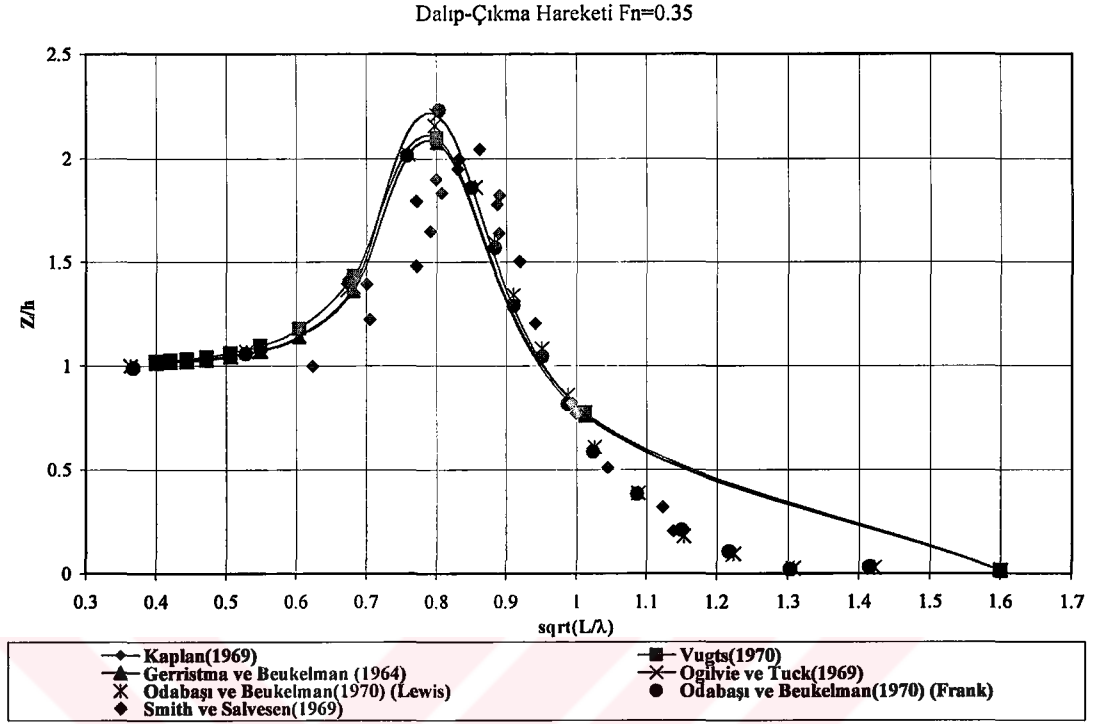
$F_n= 0.35$ için hazırlanan grafiklerde (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) ise, deney verileri **Smith ve Salvesen (1969)**'den alınmıştır.



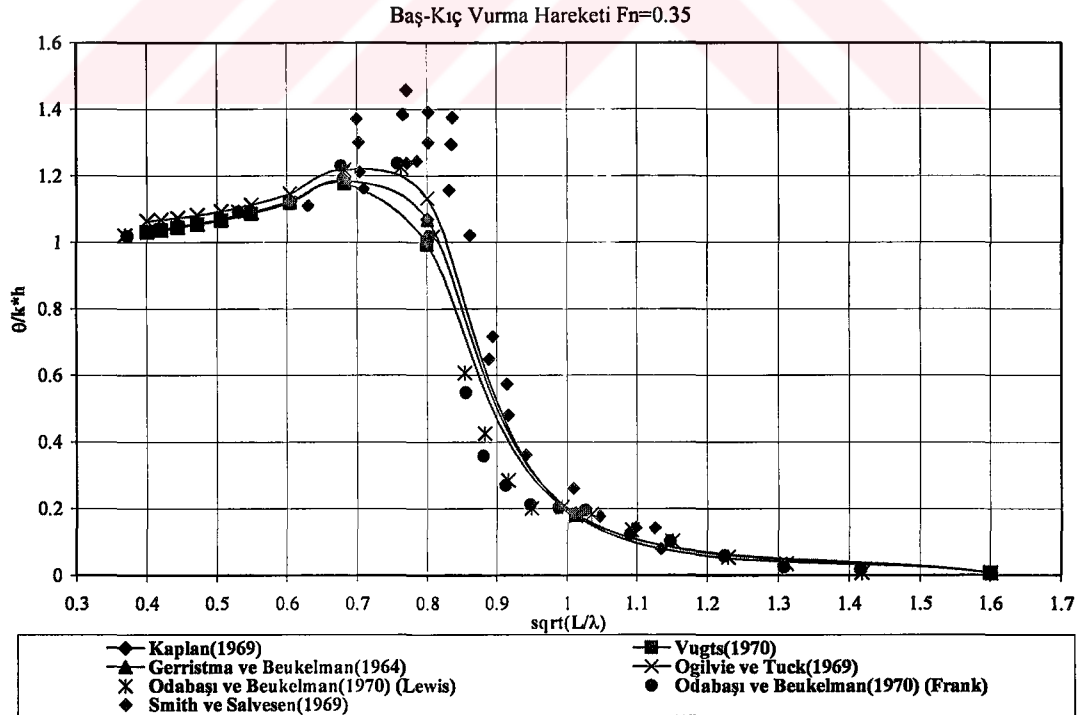
Şekil 4.11. Davidson A Baş-Kıç Vurma Hareketi $F_n=0.15$

$F_n= 0.35$ ve $F_n=0.55$ değerleri için, dört dilim teorisi yaklaşımı ile hesaplanan baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareket genlikleri, deney verilerine ek olarak, **Odabaşı ve Beukelman (1970)**'den alınan Lewis transformu ve Frank close fit yöntemi kullanılarak elde edilmiş olan değerlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.12, Şekil 4.13,

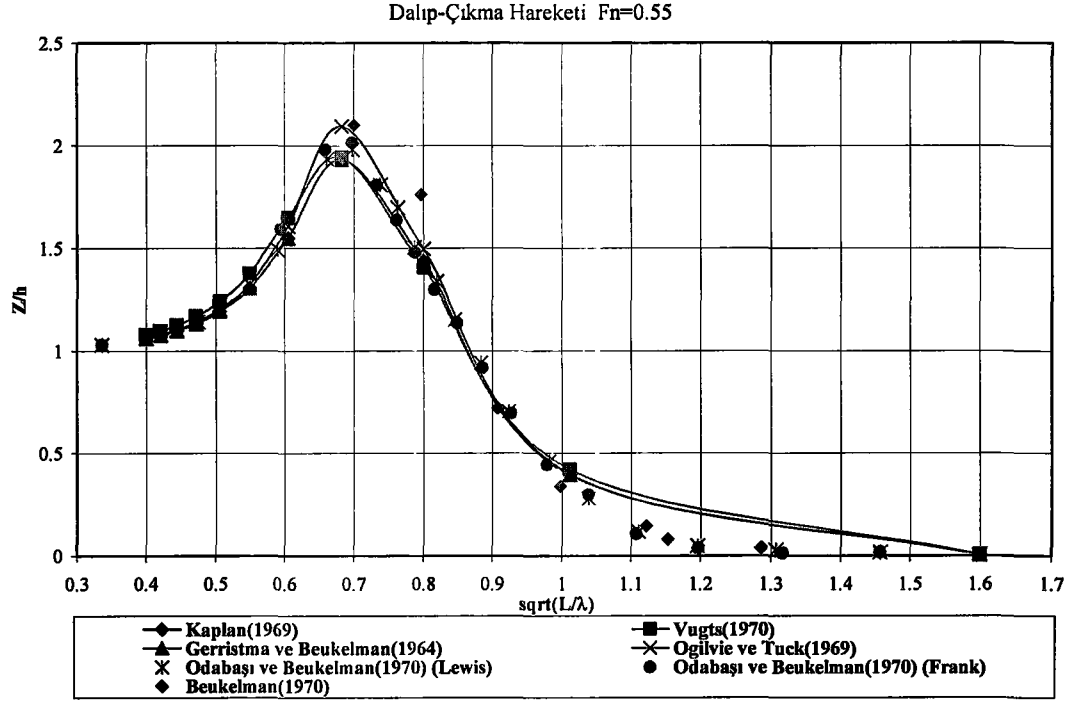
Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de sırasıyla $Fn=0.35$ ve $Fn=0.55$ için dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genlikleri boyutsuz olarak görülmektedir.



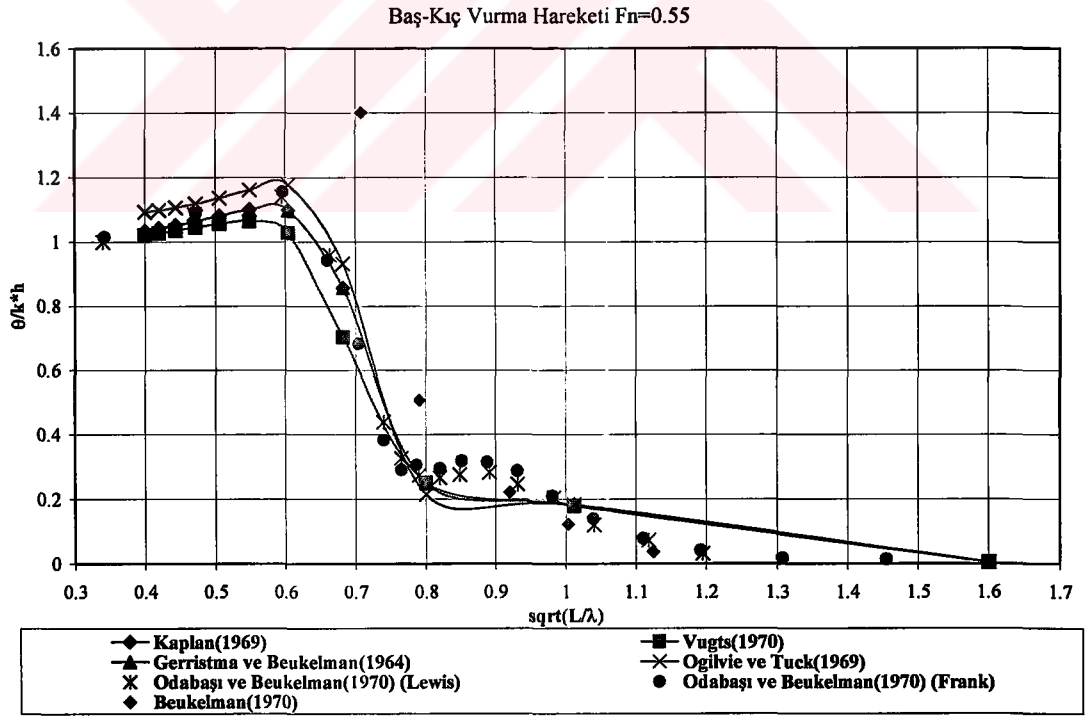
Şekil 4.12. Davidson A Dalıp-Çıkma Hareketi $Fn=0.35$



Şekil 4.13. Davidson A Baş-Kıç Vurma Hareketi $Fn=0.35$



Şekil 4.14. Davidson A Dalıp-Çıkma Hareketi $Fn=0.55$



Şekil 4.15. Davidson A Baş-Kıç Vurma Hareketi $Fn=0.55$

Üç hız için yapılan hesaplamaların, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareket genlikleri için verdiği sonuçların genel olarak deneysel verilerle ve literatürdeki sayısal verilerle uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Ancak, Şekil 4.12’de görülen, $F_n=0.35$ için, dört yöntem ile elde edilen boyutsuz dalıp-çıkma hareket genliklerinin, deney verilerine göre, daha düşük bir gemi boyu/dalga boyu oranında maksimum değerlerini aldıkları söylenebilir. $F_n=0.35$ için, baş-kıç vurma boyutsuz hareket genliklerinin yer aldığı Şekil 4.13 incelendiğinde, grafikte yer alan tüm hesaplamalı yöntemlerin, özellikle boyutsuz gemi boyu/ dalga boyu oranının ($\sqrt{L/\lambda}$) 0.7 ile 1.0 değerleri arasında deney verilerine göre daha düşük sonuçlar verdikleri söylenebilir. $F_n=0.15$ ve $F_n=0.55$ için baş-kıç vurma hareketlerinin incelendiği, Şekil 4.11 ve Şekil 4.15 incelendiğinde, aynı aralık için sayısal hesaplamaların tümünde deney verilerine göre daha düşük sonuçlar gözlendiği söylenebilir. Dalıp-çıkma hareket genliklerinin hesaplanmasında ise, $F_n=0,35$ dışındaki Froud sayıları için, dört teoremin de oldukça başarılı olduğu söylenebilir.

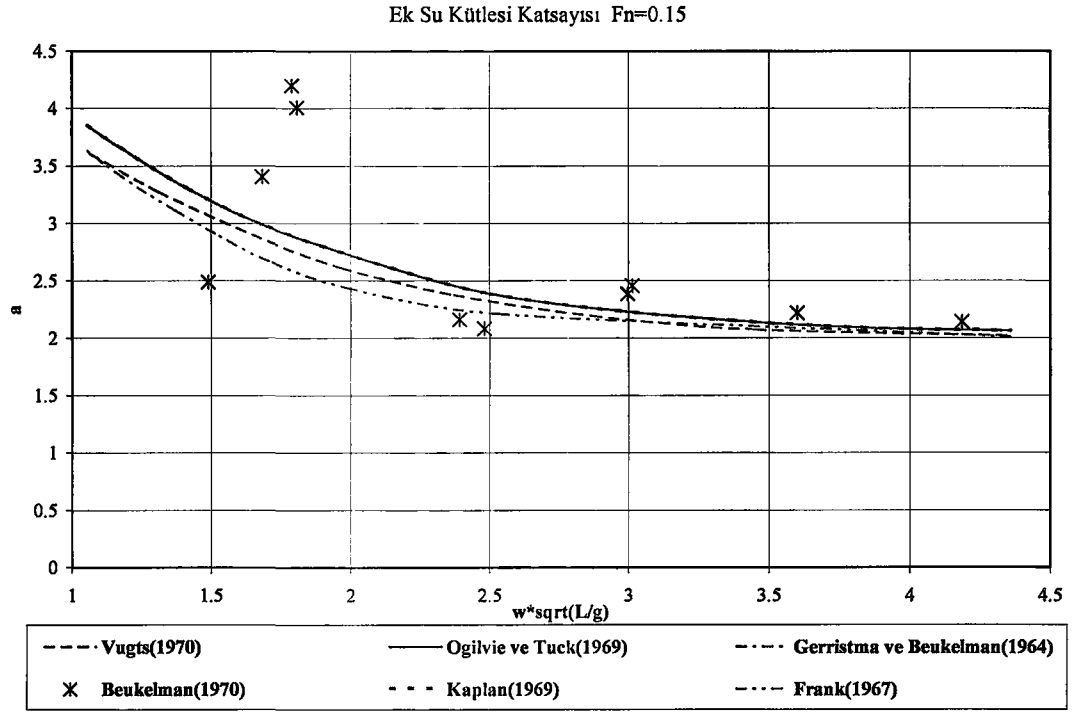
Vugts (1970), Gerritsma ve Beukelman (1964), Ogilvie ve Tuck (1969) ve Kaplan (1969)’ın yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla, ek su kütlesi ve sönüm katsayıları da modelin üç hızı için incelenmiştir.

Hesaplanan değerler, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de görülebileceği gibi **Beukelman (1970)’den alınan deney verileri ile birlikte, her Froud sayısında(F_n) ek su kütlesi ve sönüm kuvveti katsayıları için ayrı birer grafik oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca, grafiklere Frank (1967) close fit yöntemi ile elde edilmiş olan değerler de eklenmiştir. Frank (1967) close fit yöntemi için kullanılan değerler, Sarıöz (1993)’e ait Fortran kodu ile hesaplanmış olan değerlerdir.**

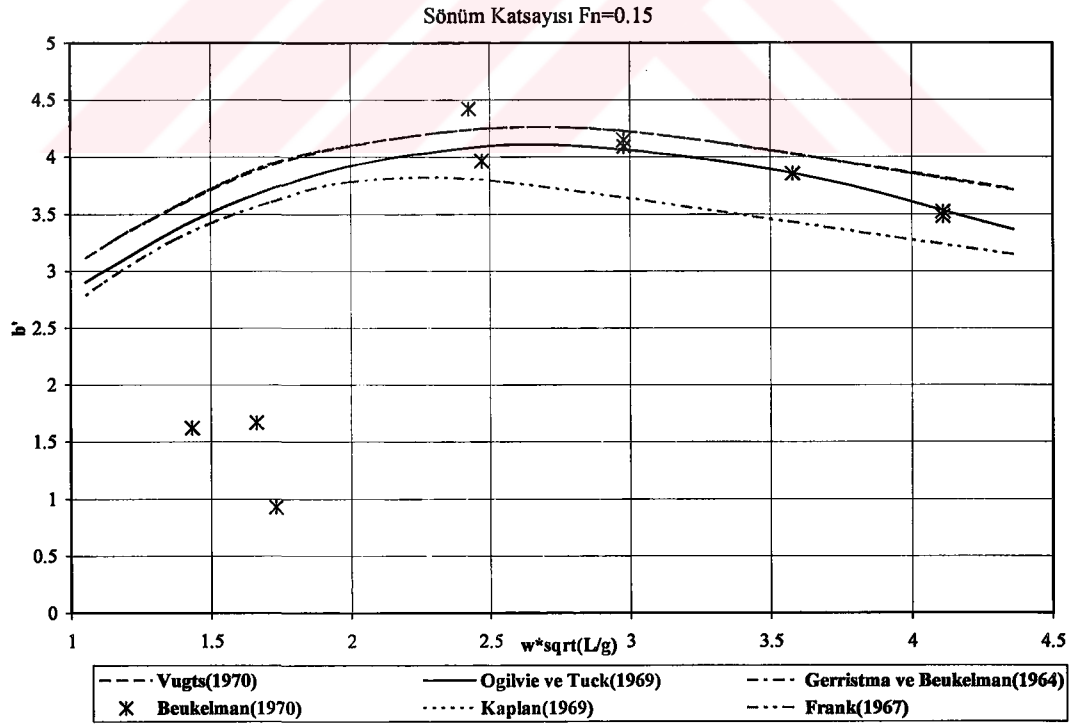
Ek su kütlesi ve sönüm katsayıları boyutsuzlaştırılarak grafiklere aktarılmıştır. Ek su kütlesi, a' , ve sönüm katsayısı, b , sırasıyla aşağıdaki gibi boyutsuzlaştırılarak a ve b' elde edilmiştir.

$$a = 1 + \frac{a'}{\rho \nabla} \quad (4.1)$$

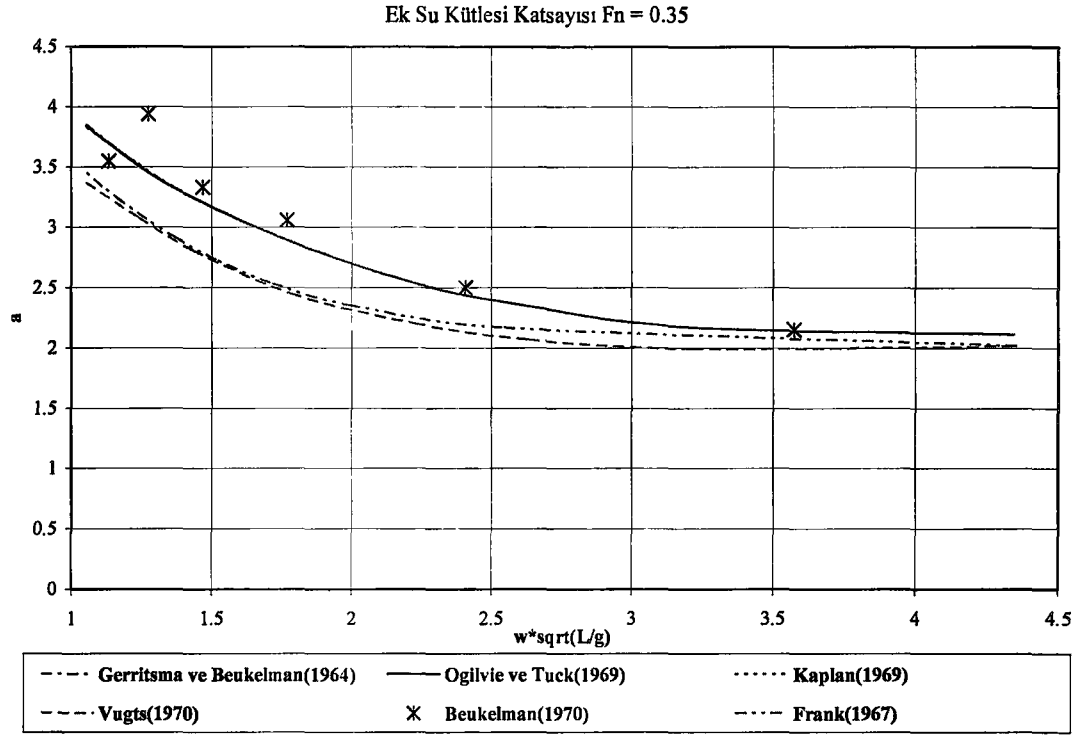
$$b' = \frac{b\sqrt{gL}}{\rho g \nabla} \quad (4.2)$$



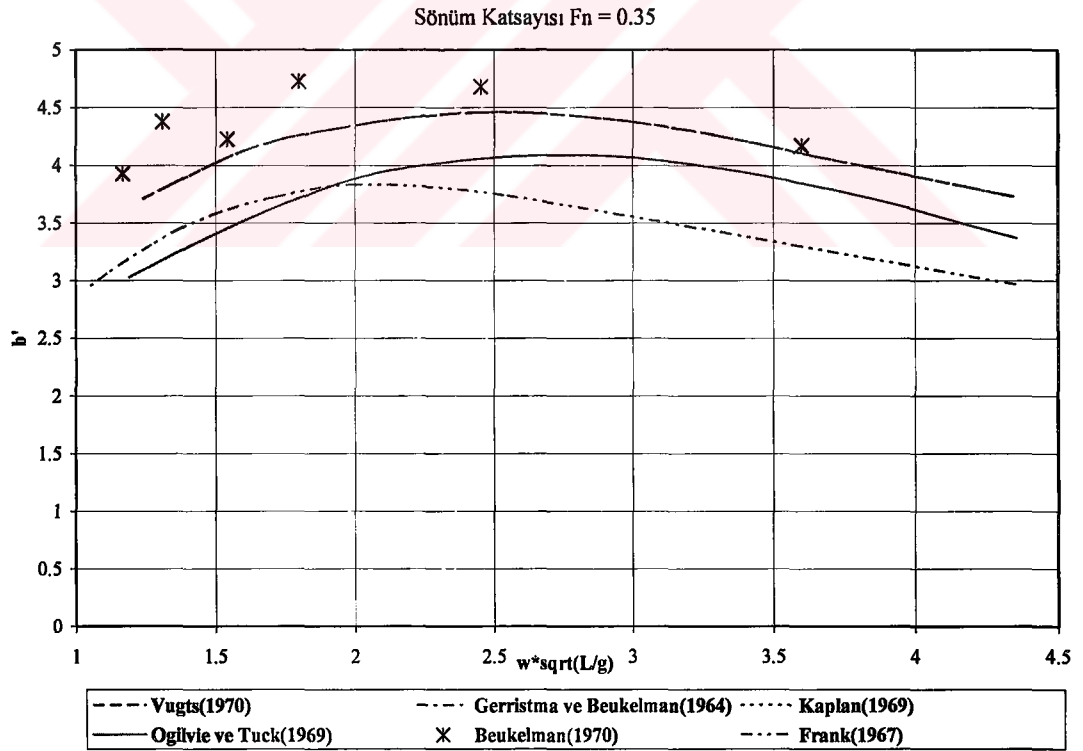
Şekil 4.16. Davidson A Ek Su Kütlesi Katsayısı $F_n=0.15$



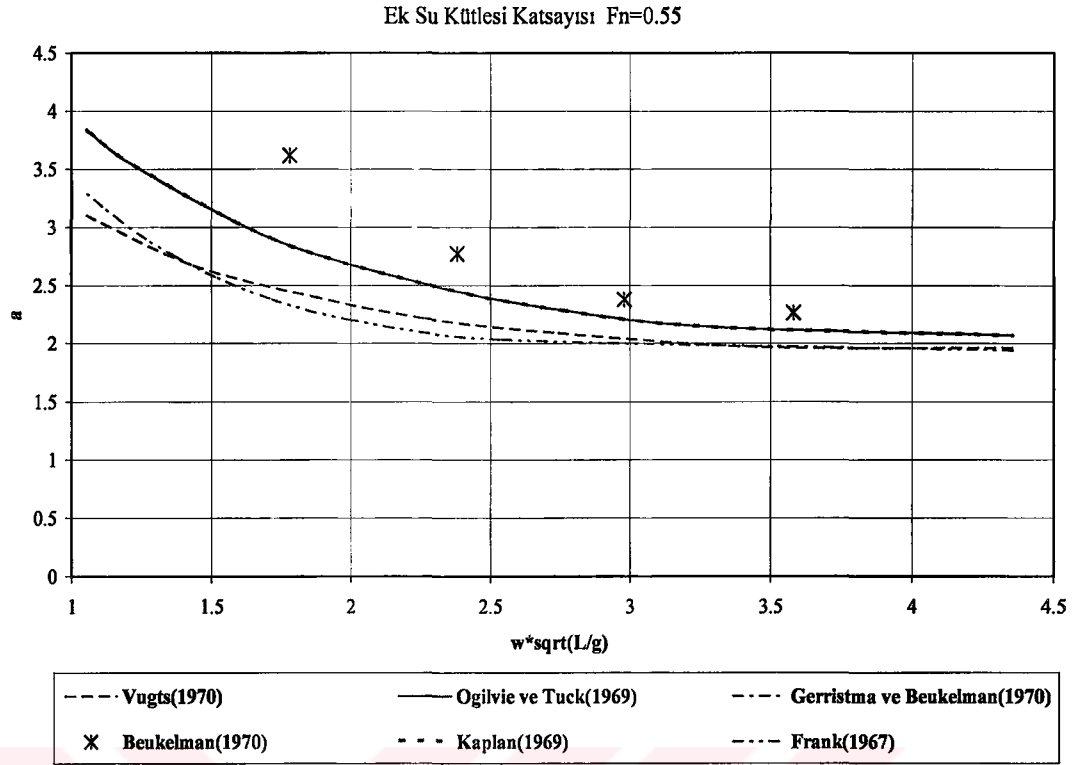
Şekil 4.17. Davidson A Sönüm Katsayısı $F_n=0.15$



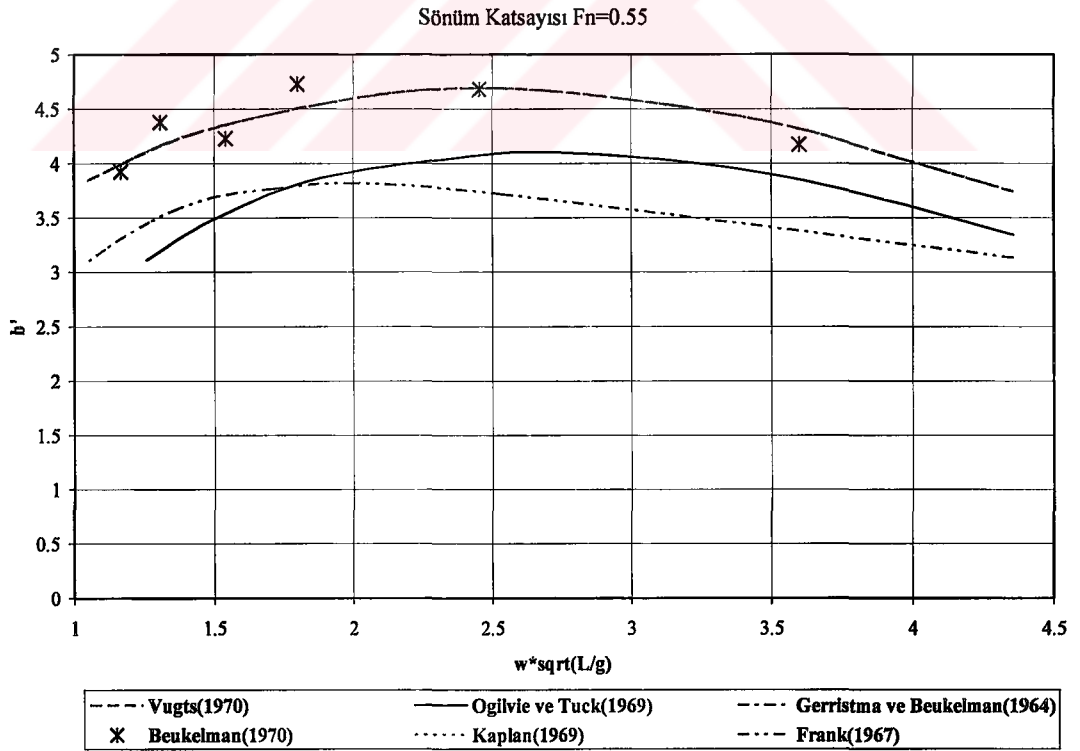
Şekil 4.18. Davidson A Ek Su Kütlesi Katsayısı $F_n=0.35$



Şekil 4.19. Davidson A Sönüm Katsayısı $F_n=0.35$



Şekil 4.20. Davidson A Ek Su Kütlesi Katsayısı $F_n=0.55$

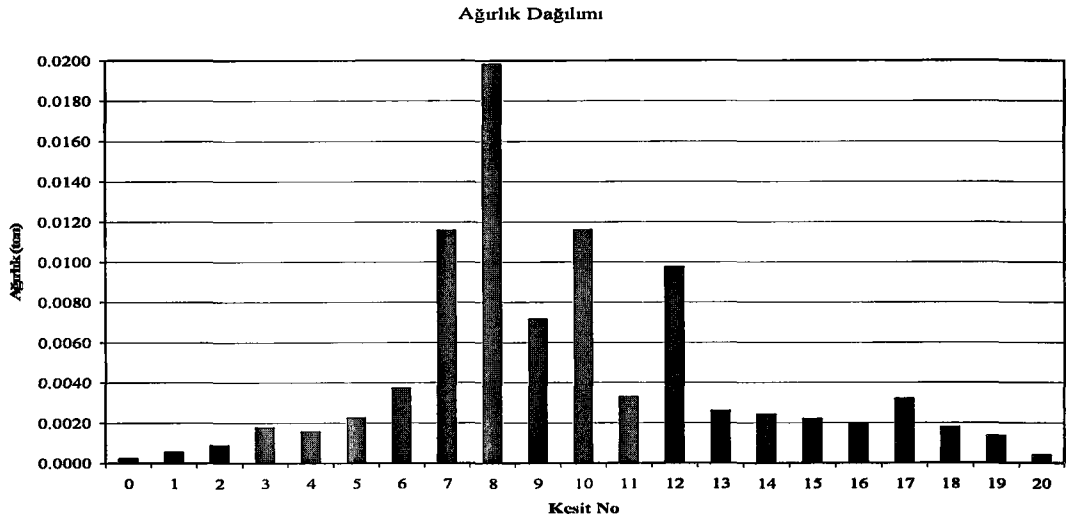


Şekil 4.21. Davidson A Sönüm Katsayısı $F_n=0.55$

Kaplan (1969), Gerristma ve Beukelman (1964) ve Ogilvie ve Tuck (1969)'ın yöntemlerinin, üç yöntemde de ek su kütlesi hesabında geminin seyir hızının etkisini göze alınmamış olmasına rağmen, deney verileriyle karşılaştırıldıklarında üç hız değeri için de ek su kütlesinin hesaplanmasında oldukça başarılı oldukları söylenebilir.

Sönüm katsayısının hesaplanmasında ise, **Kaplan (1969), Gerristma ve Beukelman (1964) ve Vugts (1970)**'un hız düzeltmesi için kullandıkları ek su kütlesinin gemi boyunca değişimini içeren terimin deney verilerine yaklaşımda başarı gösterdiği söylenebilir. Buna karşın, sönüm katsayısı ile ilgili grafikler incelendiğinde, **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yöntemi ile elde edilen değerlerin, gemi seyir hızı arttıkça deney verilerinden uzaklaştığı görülebilir. Ayrıca, $F_n=0.15$ 'de dört yöntemin de, düşük dalga frekanslarında sönüm katsayısının deneylerle elde edilmiş değerlerinden oldukça uzak olduğu, ancak hız yükseldikçe dört yöntemin de aynı dalga frekanslarında verdiği sonuçlarda iyileşme olduğu, özellikle **Kaplan (1969), Gerristma ve Beukelman (1964) ve Vugts (1970)**'un $F_n=0.55$ için çok başarılı sonuçlar verdiği ifade edilebilir.

Kaplan (1969), Gerristma ve Beukelman (1964), Ogilvie ve Tuck (1969) ve Vugts (1970)'un yöntemlerinin eğilme momenti hesaplanmasında göstereceği performansların değerlendirilmesi amacıyla, üç Froude sayısı için gemi üzerindeki oluşan boyuna eğilme momentleri hesaplanmış ve sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Şekil 4.22'de Davidson A modelinin, boyuna eğilme momentlerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlık dağılımı görülmektedir.

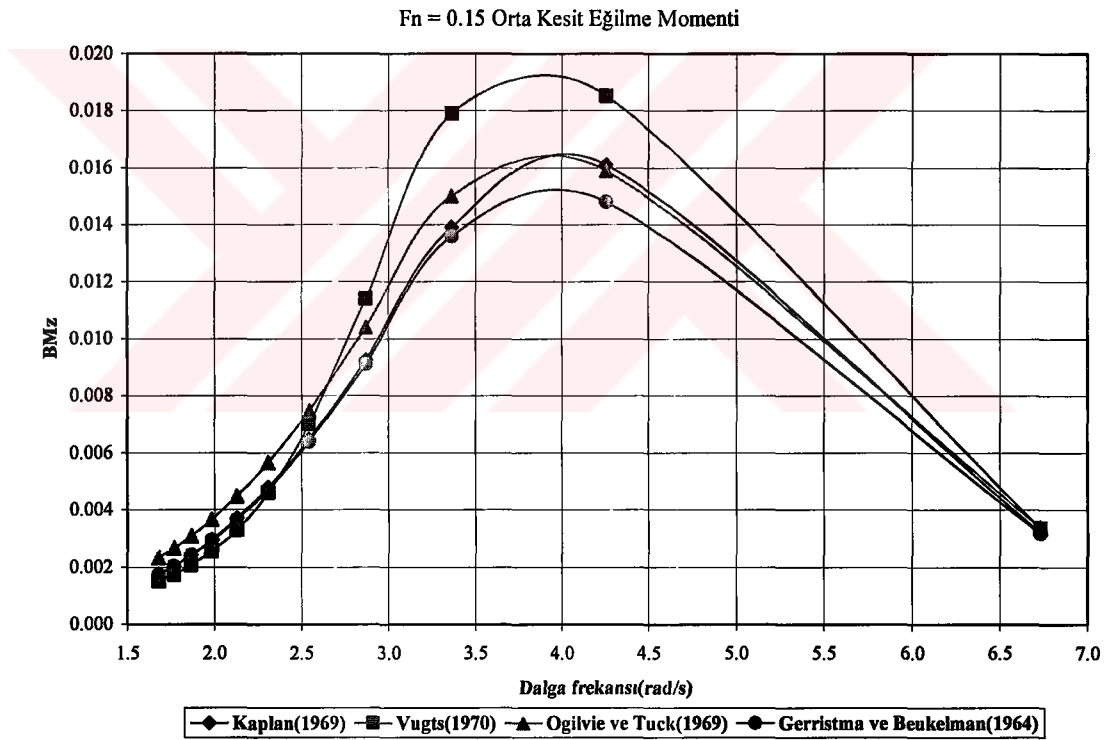


Şekil 4.22. Davidson A Ağırlık Dağılımı

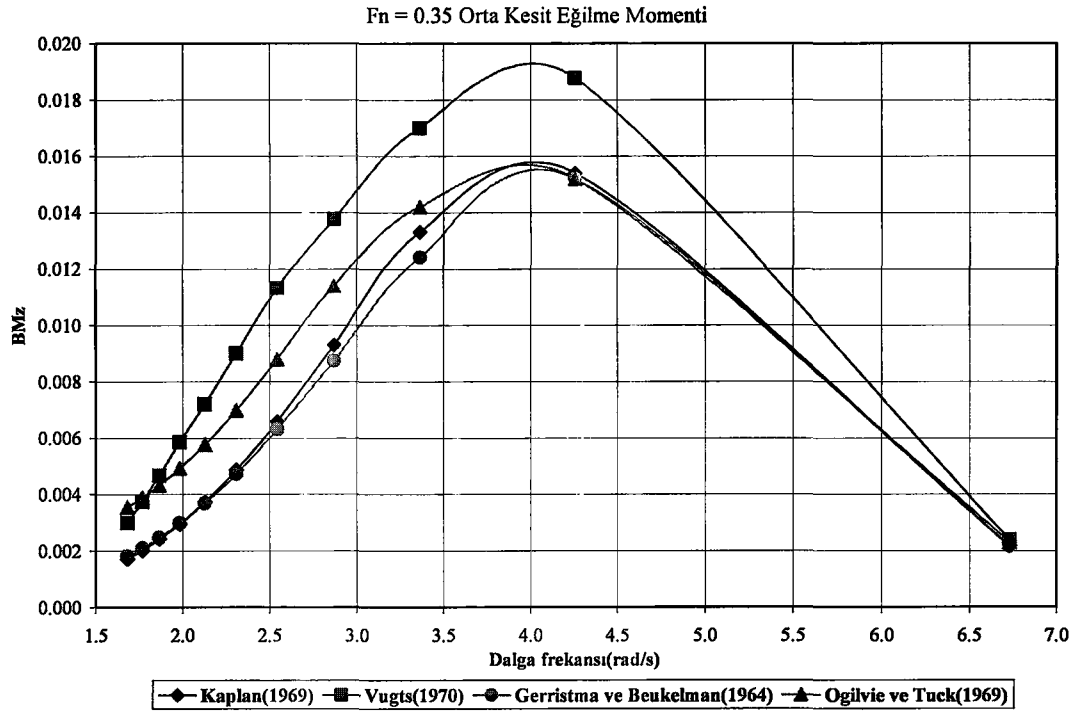
Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de sırasıyla $F_n=0.15$, $F_n=0.35$ ve $F_n=0.55$ için farklı dalga frekanslarında orta kesit üzerinde oluşan boyutsuz eğilme momentleri görülmektedir. Eğilme momentleri aşağıdaki gibi boyutsuzlaştırılmıştır.

$$BM_z = \frac{BM_z}{\rho g B^* L^2 a} \quad (4.3)$$

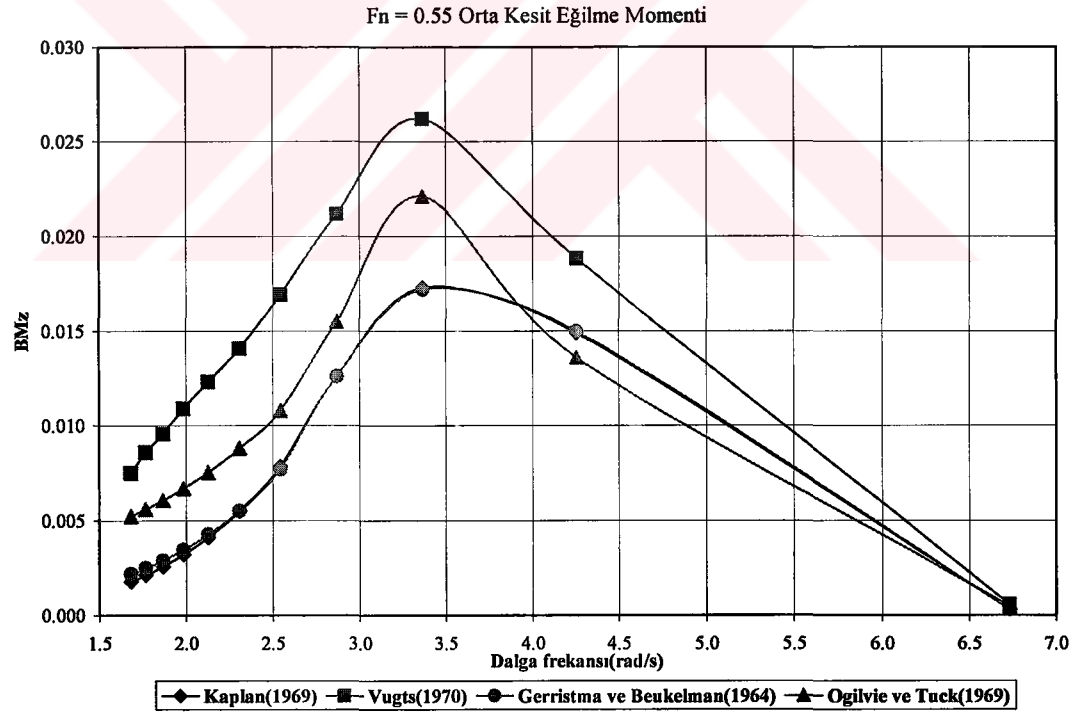
Dört yöntem kendi içlerinde değerlendirildiklerinde, **Kaplan (1969)** ve **Gerristma ve Beukelman (1964)**’ın eğilme momentleri için birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği, hatta hız arttıkça iki yöntemin sonuçlarının birbirlerine daha da yaklaştıkları görülebilir. Üç F_n için de, **Vugts (1970)**’un diğer yöntemlerle aynı karakterde olmasına rağmen hız arttıkça sonuçlarının diğer yöntemlerden ayrıldığı söylenebilir.



Şekil 4.23. Davidson A Orta Kesit Eğilme Momenti $F_n=0.15$

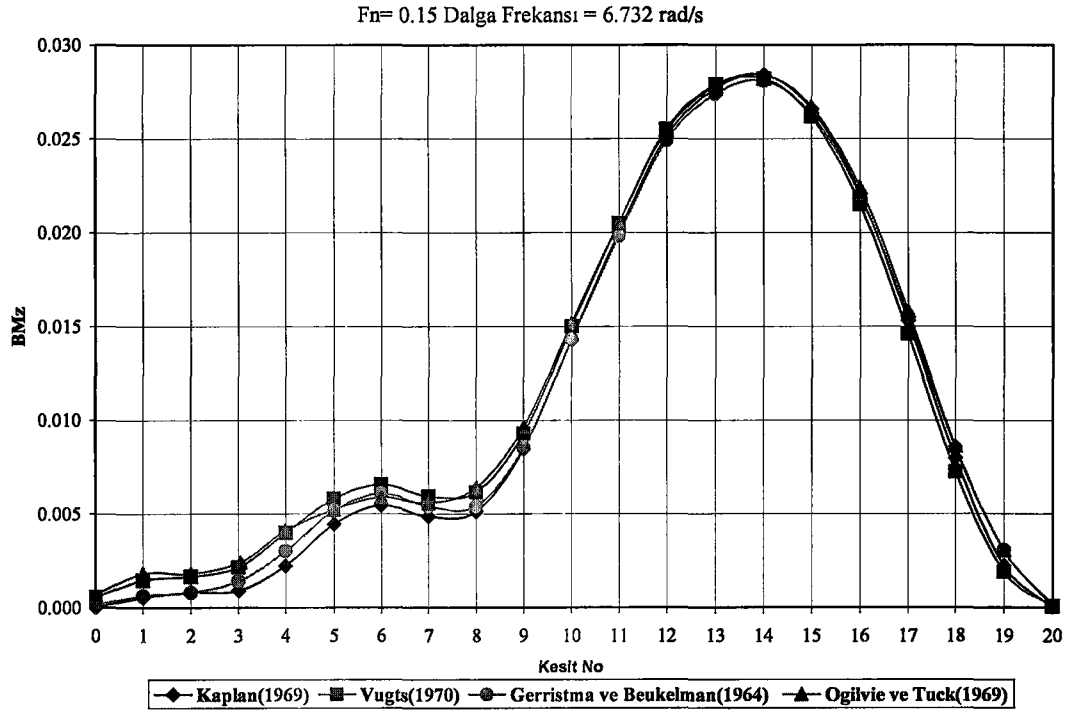


Şekil 4.24. Davidson A Orta Kesit Eğilme Momenti $F_n=0.35$

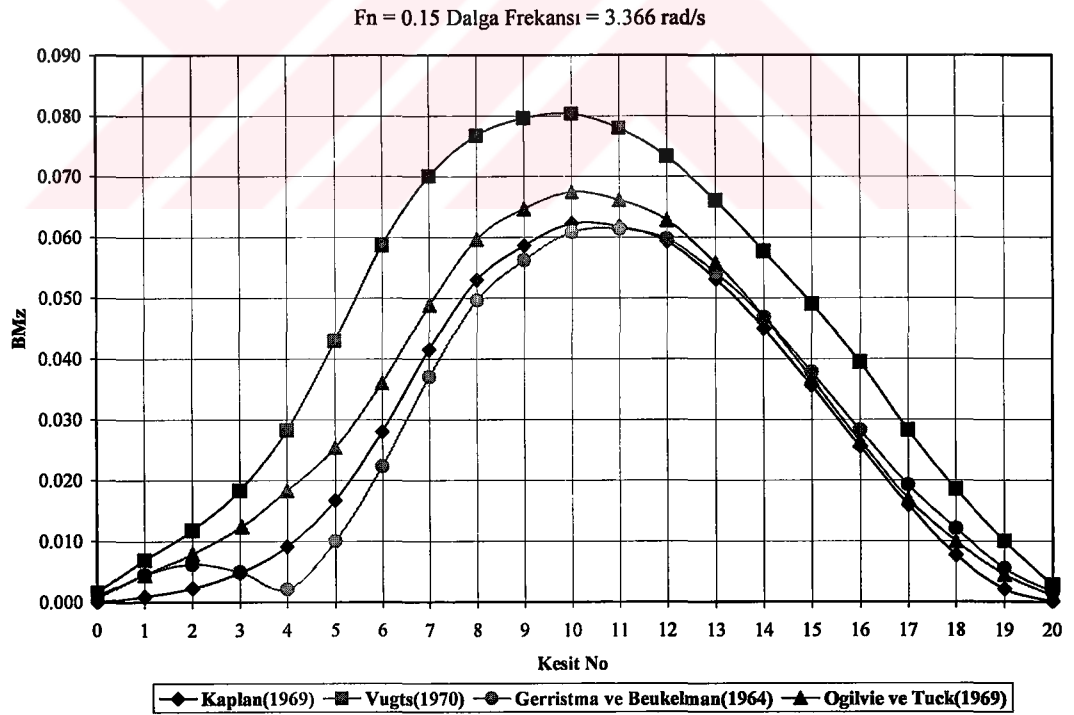


Şekil 4.25. Davidson A Orta Kesit Eğilme Momenti $F_n=0.55$

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de $F_n=0.15$ için iki dalga frekansında gemi kesitleri üzerindeki eğilme momenti dağılımı görülmektedir.

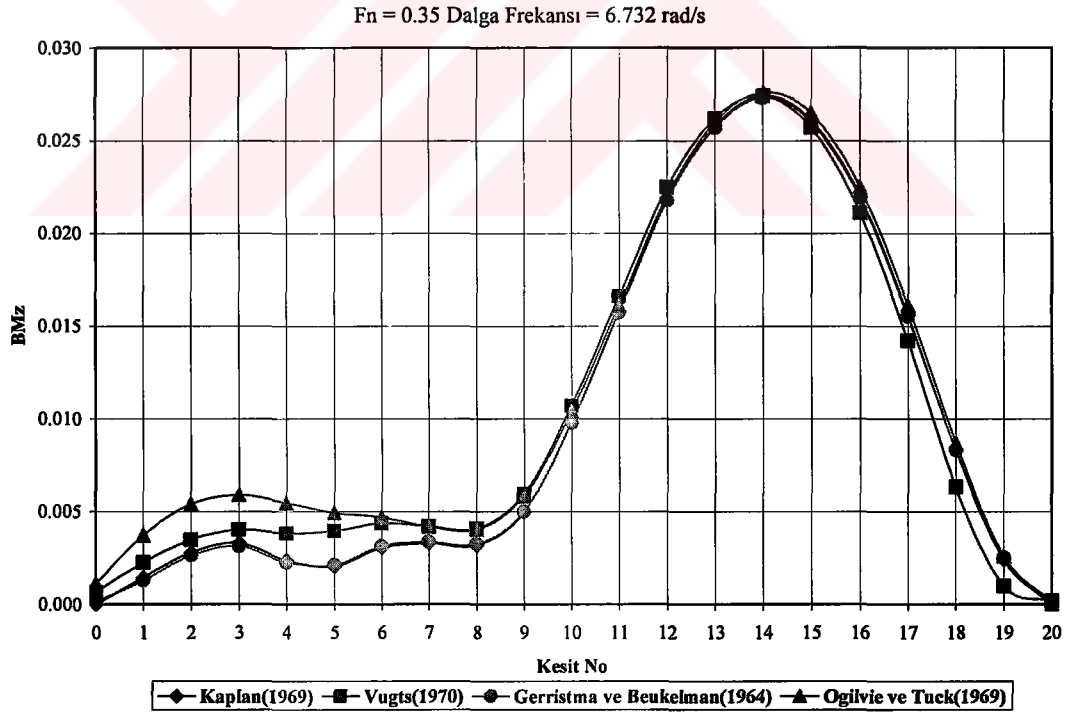


Şekil 4.26. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.15$, Dalga Frekansı = 6.732 rad/s)

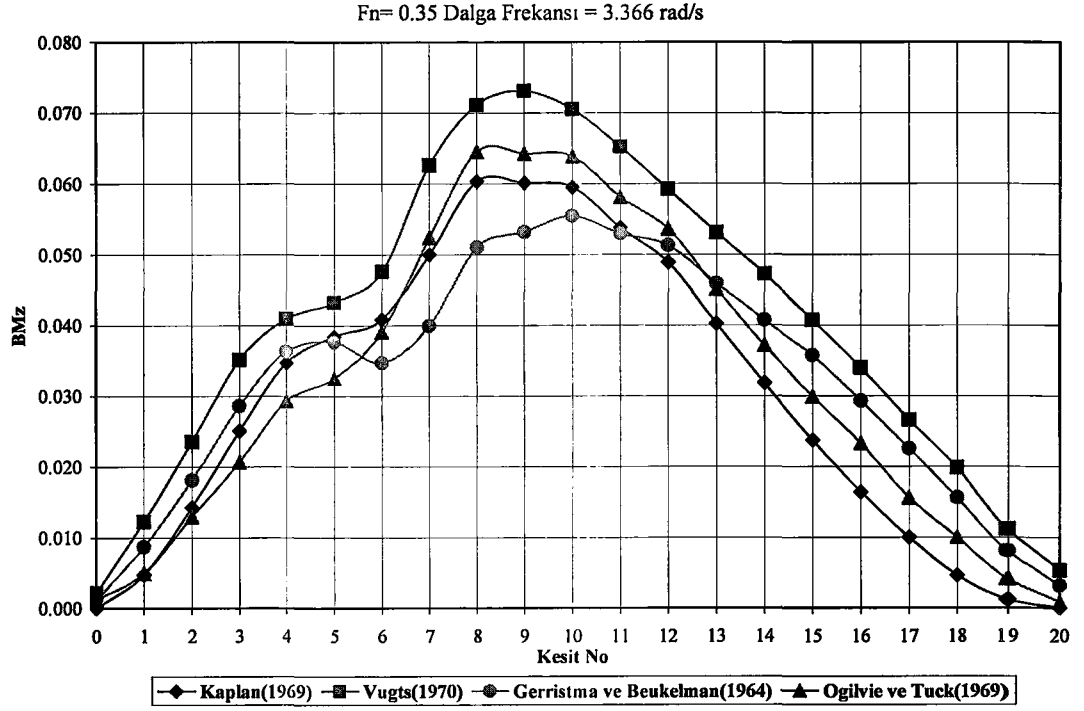


Şekil 4.27. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.15$, Dalga Frekansı = 3.366 rad/s)

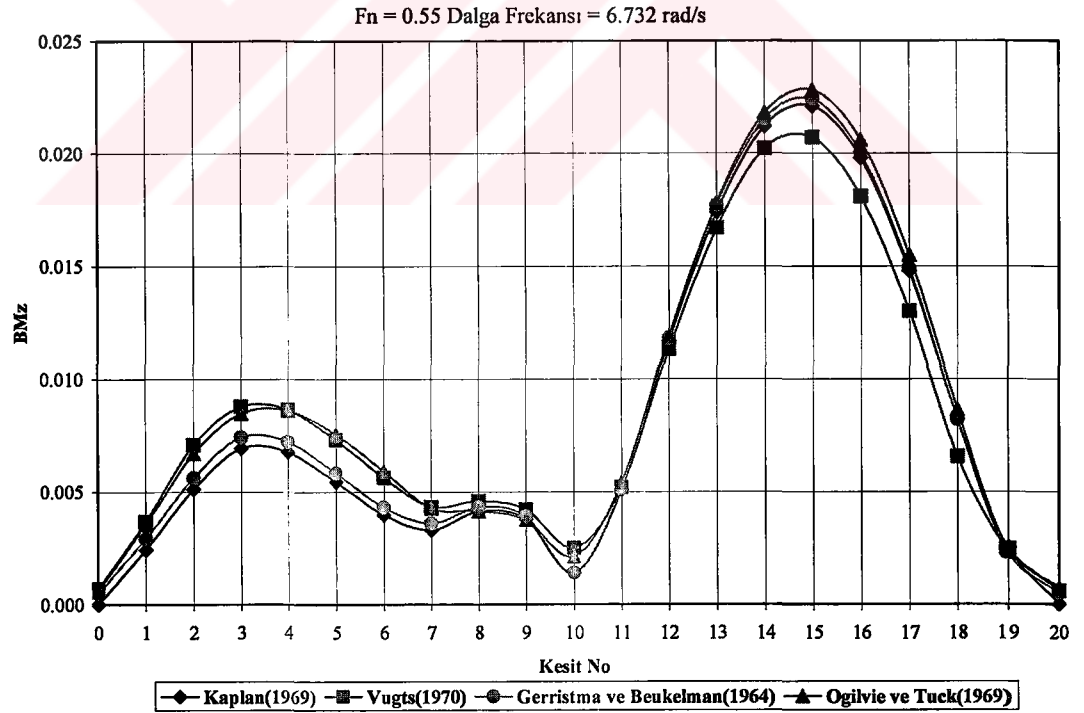
Benzer şekilde, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de sırasıyla, $F_n=0.35$ ve $F_n=0.55$ için, ikişer dalga frekansında gemi kesitleri üzerindeki eğilme momenti dağılımı görülmektedir. Dalga frekansı= 6.732 rad/s için dört yöntemin de birbirlerine oldukça uyumlu sonuçlar verdiği, özellikle orta kesit civarında sonuçların birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir. $F_n=0.35$ için **Ogilvie ve Tuck (1969)**’ın yöntemlerinin, özellikle gemi kıçına yakın olan kesitlerde, D katsayısında yapmış oldukları hız düzeltmesinden kaynaklandığı düşünülebiyecek olan bir farklılık gösterdiği ve diğer yöntemlerden ayrıldığı söylenebilir. Aynı yöntemin, yine $F_n=0.35$ ’de dalıp çıkma hareket genliklerinde diğerlerinden ve deney verilerinden daha yüksek bir noktada maksimum değerini alması dikkat çekici olabilir. D katsayısında, **Vugts (1970)** yönteminde de hız etkisi için bir terim yer almasına karşın, bu terimin sönümle değil de sönümün gemi boyunca değişimiyle ilintili olmasından dolayı aynı özelliği göstermediği düşünülebilir. Ancak, elbette ki; eğilme momentlerini dört yöntem için sadece kendi aralarında karşılaştırmaktansa deney verileriyle karşılaştırma yaparak yorumda bulunmanın çok daha sağlıklı olacağı unutulmamalıdır.



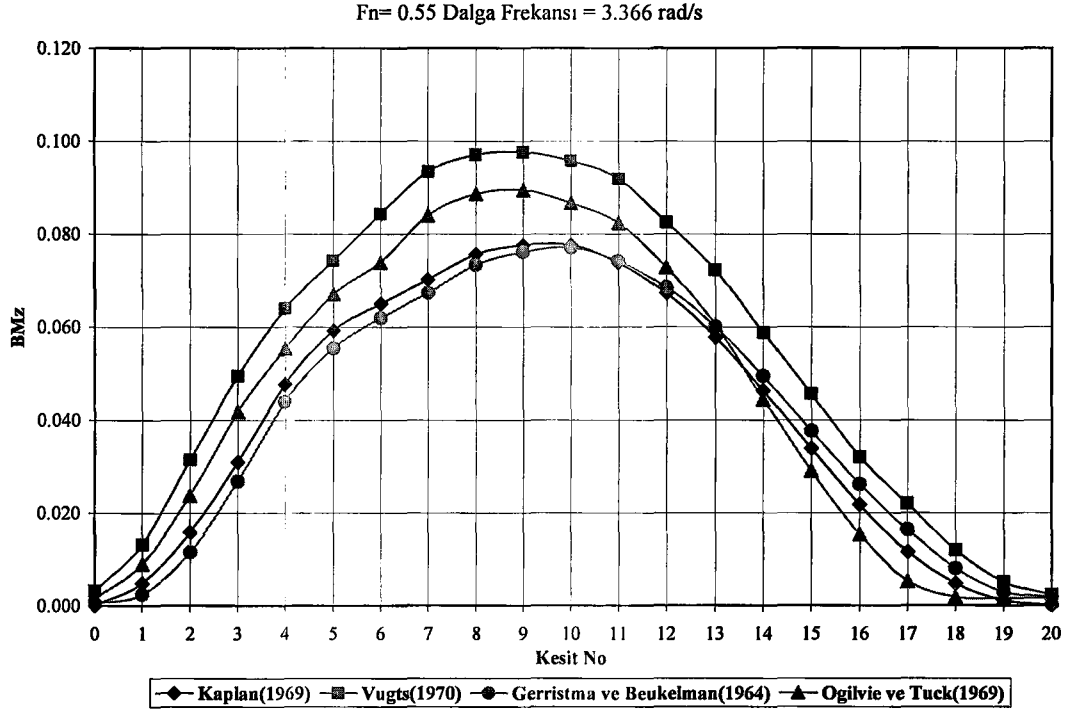
Şekil 4.28. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.35$, Dalga Frekansı = 6.732 rad/s)



Şekil 4.29. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.35$, Dalga Frekansı = 3.366 rad/s)



Şekil 4.30. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.55$, Dalga Frekansı = 6.732 rad/s)



Şekil 4.31. Davidson A Boyuna Eğilme Momentinin Kesitlere Göre Dağılımı
($F_n=0.55$, Dalga Frekansı = 3.366 rad/s)

Dalga frekansı=3.366 rad/s için olan grafiklere bakılarak, dört yöntemin de birbirlerine benzer karakterde sonuçlar verdikleri ancak, dalga frekansı küçüldükçe aralarındaki farkların belirginleştiği söylenebilir. Orta kesit üzerindeki eğilme momentlerini gösteren grafikler de göze alındığında, söz konusu belirginleşmenin belirli bir dalga frekansına dek sürdüğü ancak, özellikle düşük hızlarda, değerlendirilen en düşük dalga frekanslarında dört yöntemin verdiği sonuçların tekrar yakınlaştıkları söylenebilir.

4.3. Değerlendirme

Yapılan çalışmada, temel olarak düzgün dalgalarda yüzen bir gemi için dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bölüm 2’de dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketlerinin hesaplanmasında, mühendislikte kullanılabilecek hassasiyette sonuçlar veren ilk dilim teorisi olan **Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957)**’ un yöntemleri tablolar kullanılarak bilgisayar

ortamına aktarılmıştır. Hazırlanan tabloları, benzer bilgisayar programlarına oranla daha az veriyle kullanmak ve geminin baştan gelen dalgalarındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerini özellikle Seri 60 gibi konvansiyonel formlar için iyi bir yaklaşımla hesaplamak mümkündür.

Hazırlanan tabloların tek dezavantajının, $\bar{A}$ genlik oranlarının tablolarda hesaplanmaması olduğu düşünülmektedir. Yöntem bu değerlerin, **Grim (1953)**'in belirli frekans parametreleri için kesit alan katsayısına karşılık $\bar{A}$ değerlerini verdiği grafiklerden elde edilmesini içermektedir. Ancak bu grafiklerin kullanılmasında çok sayıda interpolasyon yapılması gerekliliğinin doğması grafiklerden elde edilebilecek $\bar{A}$ değerlerindeki hassasiyeti düşürmektedir. Uygulama çalışmasında bu hassasiyet eksikliğini giderebilmek için $\bar{A}$ değerleri farklı bir gemi hareketleri hesap programıyla hesaplanmış ve kullanılmıştır. Ancak, $\bar{A}$ değerlerinin hesaplanması için **Havelock (1942)**' yönteminin kullanılması da önerilebilir.

Çalışmanın diğer bölümünde; hız etkilerinin üç boyutlu hidrodinamik katsayılarla yansıtılması açısından farklılıklar gösteren **Kaplan (1969)**, **Vugts (1970)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yöntemlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, Scores programının ilgili altprogramına ekler yapılması suretiyle, bir uygulama çalışması yapılması amaçlanmıştır. Uygulama çalışmasında, bir savaş gemisi formu olan Davidson A'nın üç Froud sayısındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genlikleri, dalıp-çıkma ek su kütlesi ve sönüm katsayıları ve boyuna eğilme momentleri incelenmiştir.

Dalıp-çıkma ek su kütlesinin hesaplanmasında, **Kaplan (1969)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yöntemlerinin üç Froud sayısı (0.15, 0.35, 0.55) için de **Vugts (1970)**'a göre çok daha başarılı oldukları söylenebilir. Dalıp-çıkma sönüm katsayısına bakıldığında ise, **Kaplan (1969)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve **Vugts (1970)**'un yöntemlerinin özellikle yüksek Froud sayıları için **Ogilvie ve Tuck (1969)**'a göre daha başarılı bir tablo çizdiği görülmektedir. Ancak, söz konusu dört yöntemin de, $Fn=0.15$ gibi düşük bir Froud sayısında, dalga frekansının düşük değerleri için sönüm katsayısı için deney verilerinden uzak sonuçlar vermeleri dikkat çekicidir.

Dalıp-çıkma ve Baş-kıç vurma hareket genliklerinin hesaplanmasında, $Fn=0.15$ için **Kaplan (1969)**'ın daha başarılı olduğu söylenebilir. Daha yüksek Froud sayılarında

ise, içerdği integral terimleri ihmal edilerek incelenmiş olmasına karşın **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın yöntemlerinin daha başarılı olduğu düşünülebilir. Ancak, **Beukelman (1970)**'de, Davidson A formunun çok parametrelili bir transformasyon kullanarak, **Vugts (1970)**, **Gerristma ve Beukelman (1964)** ve integral terimleri ihmal edilmiş **Ogilvie ve Tuck (1969)** yöntemleriyle elde edilmiş olan dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareket genliklerinde, **Vugts (1970)**'un yönteminin deney verilerine yaklaşmak açısından öne çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla, Davidson A gibi baş kesitleri yumrubaşı olan bir formun, iki parametrelili Lewis transformasyonu ile temsil edilmesinin, hız etkileri açısından farklılıklar gösteren dört yöntemin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılmasını engellemiş olabileceği şüphesi oluşmaktadır.

Eğilme momentleri için elde edilen sonuçlarda dört yöntemin de karakterinin aynı olduğu görülmektedir. Ancak, **Ogilvie ve Tuck (1969)**'ın ve özellikle **Vugts (1970)**'un özellikle düşük dalga frekanslarında, diğer iki yöntemden oldukça farklı sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Ne yazık ki, formun eğilme momentleri için deney verilerinin bulunmaması, dört yöntemden en başarılı olanın seçilmesini engellemektedir. Ancak, teorik olarak, **Vugts (1970)**'un yönteminin eğilme momentlerinin tayininde daha başarılı olmasının beklendiği de belirtilmelidir.

Gemi kesitlerinin iki boyutlu hidrodinamik katsayılarının elde edilmesinde kullanılacak olan yöntemin, geminin form özellikleri göze alınarak seçilmesinin daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesi için gerekli olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, yapılan tüm çalışma göz önüne alınarak, iki boyutlu dilim teorisinin düzgün dalgalarda yüzen bir geminin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin hesaplanmasında başarılı olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Bishop, R.E.D., Price, W.G. and Tam, P.K.Y.**, 1978. Hydrodynamic Coefficients of Some Heaving Cylinders of Arbitrary Shape, *International Journal for Numarical Methods in Engineering*, **13**, 17-33.
- Breslin, J.P., and Eng, K.**, 1965. Resistance and Seakeeping Performance of a New High Speed Destroyer Design, *Davidson Laboratory Report No. 1082*, Stevens Institute of Technology, New Jersey.
- Faltinsen, O.M. and Svensen, T.**, 1990. Incorporation of Seakeeping Theories in CAD, *International Symposium on CFD and CAD in Ship Design*, MARIN, Wageningen, Netherlands.
- Frank, W.**, 1967. Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids, *NSRDC, Rep. No. 2375*, Washington D.C.
- Gerristma, J. and Beukelman, W.**, 1964. The Distribution of the Hydrodynamic Forces on a Heaving and Pitching Ship Model in Still Water, *Int. Shipbuilding Progress*, **123**, 506-526.
- Gören, Ö.**, 1979. Balıkçı Teknelerinin Baştan ve Kıçtan Gelen Dalgalaradaki Davranışlarının İncelenmesi, *Bitirme Ödevi*, İTÜ, İstanbul.
- Grim, O.**, 1953. Berechnung der durch Schwingungen eines Schiffskörpers erzeugten hydrodynamischen Kräfte, *JSTG*, **47**, 277-299.
- Grim, O.**, 1959. Die Schwingungen von Schimmeden Zweidimensionalen Körpern, *HSVA Report*, No. 1171, Hamburg.
- Hanaoka, T.**, 1957. On the Calculation of the Motion of a Ship among Waves, *JZK*, 69-74.
- Haskind, M.D.**, 1946. The Hydrodynamic Theory of the Oscillation of a Ship in Waves, *Prikladnaya Matematika i Mekhanika*, **9**, 33-66.
- Haskind, M.**, 1957. The Exciting Forces and Wetting of Ships in Waves (in Russian), *Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Tskhnicheshikh Nauk*, No. 7, 65-79.
- Havelock, Sir Thomas H.**, 1942. The Damping of the Heaving and Pitching Motion of a Ship, *Phil. Mag.*, **33**, 467-675.
- Hazen, H.L. and Nims, P.T.**, 1940. Calculation of Motion and Stresses of Pitching and Heaving Ship, *SNAME*, **48**, 94-113.
- Jacobs, W.R.**, 1958. The Analytical Calculation of Ship Bending Moments in Regular Waves, *Journal of Ship Research*, vol.2, no.2, 115-167.

- Jacobs, W.R., and Dalzell, J., 1960.** Theory and Experiment in the Evaluation of Bending Moments in Regular Waves, *International Shipbuilding Progress Report*, New Jersey.
- Jacobs, W.R., Dalzell, J., and Lalangas, P., 1960.** Guide to Computational Procedure for Analytical Evaluation of Ship Bending-Moments in Regular Waves, *Davidson Laboratory Report No:791*, Stevens Institute of Technology, New Jersey.
- Journee, J.M.C. and Adegeest, L.J.M., 2003.** Theoretical Manual of “Seaway for Windows”, *TUD Report No.1370*, Ship Hydromechanics Laboratory, Delft University of Technology, Netherlands.
- Kaplan, P., 1969.** Development of Mathematical Models for Describing Ship Structural Response in Waves, Ship Structure Committee Report SSC-193, Washington D.C.
- Kaplan, P., Sargent, T.P. and Raff, A.I., 1969,** An Investigation of the Utility of Computer Simulation to Predict Ship Structural Response in Waves, Ship Structure Committee Report SSC-197, Washington D.C.
- Keil, H., 1974.** Die Hydrodynamische Kräfte bei der periodischen Bewegung zweidimensionaler Körper an der Oberfläche flacher Gewässer, Bericht Nr. 305, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Deutschland.
- Kerczek, C. von and Tuck, E.O., 1969.** The Representation of Ship Hulls by Conformal Mapping Functions, *Journal of Ship Research*, vol. 13, no. 4.
- Korvin-Kroukovsky, B.V., 1955.** Investigation of Ship Motions in Regular Waves, *SNAME*, 63, 386-435.
- Korvin-Kroukovsky, B.V., 1961.** Theory of Seakeeping, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.
- Korvin-Kroukovsky, B.V. and Jacobs, W.R., 1957.** Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves, *SNAME*, 65, 590-632.
- Korvin-Kroukovsky, B.V. and Lewis, E.V., 1955.** Ship Motins in Regular and Irregular Seas, *Int. Shipb. Pr.*, Vol.2, no.6, 81-95.
- Kriloff, A., 1896.** A New Theory of The Pitching Motions of a Ship on Waves and the Stresses Produced by This Motion, *I.N.A. Transactions*, Vol. XXXVII, 326-368.
- Landweber, L. and Macagno, M.C., 1957.** Added Mass of Two Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface, *Journal of Ship Research*, vol.1, no.3, 227-247.
- Lewis, F.M., 1929.** The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Ship, *SNAME*, 37, 1-20.
- Odabaşı, A.Y. and Hearn, G.E., 1978.** Seakeeping Theories: What is the Choice?, *Trans. North East Coast Institution of Engineers and Ship Builders*, 94, 53-84.

- Ogilvie, T.F. and Tuck, E.O.**, 1969. A Rational Strip Theory of Ship Motions – Part I, The University of Michigan, Collage of Engineering, Dept.Naval Arch. & Mar. Eng.,Report No. 013.
- Prohaska, C.W.**, 1947. The Vertical Vibration of Ships, *The Shipbuilder and Marine Engine-Builder*, Oct-Nov 1947.
- Raff, A.I.**, 1972. Program Scores – Ship Structural Response in Waves, Ship Structure Committee Report SSC-230, Washington D.C.
- Salvasen, N., Tuck, E.O. and Faltinsen, O.**, 1970. Ship Motions and Sea Loads, Transactions of SNAME, vol. 78, 250-284.
- Sarıöz, K.**, 1993. A Hydrodynamic Hull Form Design Procedure in Conceptual and Preliminary Ship Design, *PhD Thesis*, Department of Marine Technology, The University of Newcastle upon Tyne.
- Sarıöz, K.**, 2004. Kişisel görüşme
- Smith, W.E.**,1967. Computation of Pitch and Heaving Motions for Arbitrary Ship Forms, *International Ship Building Progress*, vol. 14, no.155, 45-68.
- Smith, W.E. and Salvesen, N.**, 1970. Comparison of Ship Motion Theory and Experiment for Destroyer with Large Bulb, *Journal of Ship Research*, vol. 14, no. 155, 45-72.
- St.Denis, M.**, 1951. On Sustained Sea Speed, SNAME, **59**, 758-763.
- Tagaki, M. and Ganno M.**,1967. On the Accuracy of the Strip Theory Used in Calculating The Ship Motions in Waves, *Journal of The Society of Naval Architects of Japan*, vol. 121, 118-129.
- Tasai, F.**, 1959. On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching, *Report of Research Institute for Applied Mechanics*, Kyushu University, Vol. VII, No 26.
- Tasai F.**, 1960. Formula for Calculating Hydrodynamic Force on a Cylinder Heaving in the FreeSurface, (N-Parameter Family), *Technical Report*, Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Japan, Vol. VIII, No 31.
- Tasai F.**, 1961. Hydrodynamic Force and Moment Produced by Swaying and Rolling Oscillation of Cylinders on the Free Surface, *Technical Report*, Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Japan, Vol. IX, No 35.
- R. Timman and J.N. Newman**, 1962. The Coupled Damping Coefficients of a Symmetric Ship, *Journal of Ship Research*, vol. 5, no. 4, 1-7.
- Ursell, F.**, 1949. On the Heaving Motions of a Circular Cylinder, *Quart. J. Of Mechanics and Applied Mathematics*, **2**, 218-231.
- Ursell, F.**, 1953. Water Waves Generated by Oscillating Bodies, *Quart. J. Of Mechanics and Applied Mathematics*, **7**, 427-437.
- Vugts, J.H.**, 1970. The Hydrodynamic Forces and Ship Motions in Waves, Doctoral Dissertation, Uitgeverij Waltman, Delft.
- Weinblum, G. and St.Denis, M.**, 1950. On the Motions of Ships at Sea, SNAME, **58**, 184-231.

EK A

SUBROUTINE COEFF

COMMON / CONDA / PI,GAMMA,GRAV,RO

COMMON / BASDA / BPL,DISPL,TMASS,YNERT,BSTAR(21),AREA(21),

X SECOE(21),DRAFT(21),ZBAR(21),XI(21),XISQ(21),

X

DWEIGH(21),DMASS(21),ZWT(21),GRL(21),ZCG,XNERT,

X

XZPERT,GM,MINKRI,MAXKRI,INCRES,ROLDPF

COMMON / TDIR / WE,WEN,ANS(21,10),KL,KU,IO,IW

COMMON / MIMD

IA,NS,DXI,V,WANG,OMEGA,WAVEN,CW,DIX(21,5),FAC,WA

COMMON / EQMO / CV(12),CL(27),ZW,MW,YW,NW,KW

COMPLEX ZW,MW,YW,NW,KW

COMMON / PROGRAM / STORAGE(442),F(10),FX(10),FXS(4),DF(5),DFX(5),

X

DFXS(2),Y(21)

IT=IA

M=NS

DX=DXI

TV=2.0*V

C -01 CALCULATE REQUIRED INTEGRALS OVER SHIP LENGTH

DO 10 K=KL,KU

DO 2 I=1,M

2 Y(I)=ANS(I,K)

F(K)=SINT(IT,M,Y,DX)

IF ((K+1)/2 .EQ. 4) GOTO 10

DO 4 I=1,M

4 Y(I)=Y(I)*XI(I)

FX(K)=SINT(IT,M,Y,DX)

IF (K.GT.4) GOTO 10

DO 6 I=1,M

6 Y(I)=Y(I)*XI(I)

FXS(K)=SINT(IT,M,Y,DX)

```

10  CONTINUE
    BI=SINT(IT,M,BSTAR,DX)*GAMMA
    DO 13 I=1,M
13  Y(I)=BSTAR(I)*XI(I)
    BXI=SINT(IT,M,Y,DX)*GAMMA
    DO 14 I=1,M
14  Y(I)=Y(I)*XI(I)
    BXSII=SINT(IT,M,Y,DX)*GAMMA

C   -02 INCREASE ROLL DAMPING (TO ACCOUNT FOR VISCOUS
EFFECTS)
    F(8)=F(8)+ROLDPF
    IF (KL.GT.2) GOTO 19
    FAC=RO/SQRT(WEN**3/GRAV)
    F(2)=F(2)*FAC
    FX(2)=FX(2)*FAC
    FXS(2)=FXS(2)*FAC
C   -03 CALCULATE REQUIRED DERIVATIVES AND THEIR INTEGRALS
19  TDX=2.0*DXI
    MM=M-1
    DO 20 K=KL,KU,2
    KK=(K+1)/2
    DIX(1,KK)=(ANS(1,K)-ANS(2,K))/DXI
    DIX(M,KK)=(ANS(M-1,K)-ANS(M,K))/DXI
    DO 22 I=2,MM
22  DIX(I,KK)=(ANS(I-1,K)-ANS(I+1,K))/TDX
    DO 24 I=1,M
24  Y(I)=DIX(I,KK)
    DF(KK)=SINT(IT,M,Y,DX)
    IF (KK.EQ.4) GOTO 20
    DO 25 I=1,M
25  Y(I)=Y(I)*XI(I)
    DFX(KK)=SINT(IT,M,Y,DX)
    IF (KK.GT.2) GOTO 20
    DO 26 I=1,M

```

```

26  Y(I)=Y(I)*XI(I)
    DFXS(KK)=SINT(IT,M,Y,DX)
20  CONTINUE
    IF (KL.GT.2) GOTO 30
C    -04 FORM COEFFICIENTS FOR VERTICAL PLANE MOTIONS(HEAVE
PITCH)
C    KAPLAN(ORIGINAL)
C    VUGTS
C    GERBEU
C    OGITUCK
C    CV(1)=TMASS+F(1)
C    CV(1)=TMASS+F(1)+(V/WE*WE)*DF(2)
C    CV(1)=TMASS+F(1)
    CV(1)=TMASS+F(1)
C    CV(2)=F(2)-V*DF(1)
C    CV(2)=F(2)-V*DF(1)
C    CV(2)=F(2)-V*DF(1)
    CV(2)=F(2)
    CV(3)=BI
    CV(4)=FX(1)
C    CV(4)=FX(1)+(TV/WE*WE)*F(2)-
(V*V/WE*WE)*DF(1)+(V/WE*WE)*DFX(2)
C    CV(4)=FX(1)+(V/WE*WE)*F(2)-(V*V/WE*WE)*DF(1)
C    CV(4)=FX(1)+(V/WE*WE)*F(2)
C    CV(5)=FX(2)-V*DFX(1)-TV*F(1)
C    CV(5)=FX(2)-V*DFX(1)-TV*F(1)-(V*V/WE*WE)*DF(2)
C    CV(5)=FX(2)-V*DFX(1)-TV*F(1)
    CV(5)=FX(2)-V*F(1)
    CV(6)=BXI-V*CV(2)
C    CV(7)=YNERT+FXS(1)
C    CV(7)=YNERT+FXS(1)+(TV/WE*WE)*FX(2)-(V*V/WE*WE)*DFX(1)+
C X (V/WE*WE)*DFXS(2)
C    CV(7)=YNERT+FXS(1)+(V/WE*WE)*FX(2)-(V*V/WE*WE)*DFX(1)
    CV(7)=YNERT+FXS(1)
C    CV(8)=FXS(2)-V*DFXS(1)-TV*FX(1)
C    CV(8)=FXS(2)-V*DFXS(1)-TV*FX(1)-(V/WE*WE)*DFX(2)

```

```

C      CV(8)=FXS(2)-V*DFXS(1)-TV*FX(1)
      CV(8)=FXS(2)
C      CV(9)=BXSI-V*FX(2)+V*V*DFX(1)
C      CV(9)=BXSI
C      CV(9)=BXSI
      CV(9)=BXSI
      CV(10)=FX(1)
C      CV(10)=FX(1)+(V/WE*WE)*DFX(2)
C      CV(10)=FX(1)
C      CV(10)=FX(1)-(V/WE*WE)*F(2)
C      CV(11)=FX(2)-V*DFX(1)
C      CV(11)=FX(2)-V*DFX(1)
C      CV(11)=FX(2)-V*DFX(1)
      CV(11)=FX(2)+V*F(1)
      CV(12)=BXI
      WRITE (10,1380) V,WE,CV(1),CV(2),CV(3),CV(4),CV(5),CV(6)
      WRITE (11,1380) V,WE,CV(7),CV(8),CV(9),CV(10),CV(11),CV(12)
1380  FORMAT (F8.3,F8.3,F8.4,F8.4,F8.4,F8.4,F8.4,F8.4)
      IF (KU.LT.3) GOTO 40
C      -05  FORM    COEFF.    FOR    LATERAL    PLANE    MOTIONS
      SWAY,ROLL,YAW
30    CL(1)=TMASS+F(3)
      CL(2)=F(4)-V*DF(2)
      CL(3)=0.0
      CL(4)=FX(3)
      CL(5)=FX(4)-V*DFX(2)-TV*F(3)
      CL(6)=-V*CL(2)
      CL(7)=-F(9)-ZCG*F(3)
      CL(8)=-F(10)-ZCG*CL(2)+V*DF(5)
      CL(9)=0.0
      CL(10)=FX(3)
      CL(11)=FX(4)-V*DFX(2)
      CL(12)=0.0
      CL(13)=YNERT+FXS(3)
      CL(14)=FXS(4)-V*DFXS(2)-TV*FX(3)

```

```

CL(15)=-V*CL(11)
CL(16)=-XZPERT-FX(9)-ZCG*FX(3)
CL(17)=-FX(10)-ZCG*CL(11)+V*DFX(5)
CL(18)=0.0
CL(19)=-F(5)-ZCG*F(3)
CL(20)=-F(6)-ZCG*CL(2)+V*DF(3)
CL(21)=0.0
CL(22)=-XZPERT-FX(5)-ZCG*FX(3)
CL(23)=-FX(6)-ZCG*CL(11)+V*DFX(3)-TV*CL(19)
CL(24)=-V*CL(20)
CL(25)=XNERT+F(7)+ZCG*F(9)-ZCG*CL(19)
CL(26)=F(8)-ZCG*CL(20)+ZCG*(F(10)-V*DF(5))-V*DF(4)
CL(27)=DISPL*GM
40  RETURN
    END

```

EK B

DAVIDSON A DESTROYER OR REGULAR SEAS MOTION CALCULATION
09 EYLUL 2004 BURCU UNAL

1 2 1 0 1 0 0 1 1 120

3.481 1.025 9.80665 0.09066

0.000	0.0000	0.000
0.0474	2.0602	0.127
0.0838	1.6825	0.127
0.1248	1.3969	0.127
0.1710	1.1754	0.127
0.2210	1.0247	0.127
0.2616	0.9386	0.127
0.3062	0.8577	0.127
0.3374	0.8117	0.127
0.3594	0.7853	0.127
0.3612	0.7741	0.127
0.3622	0.7562	0.127
0.3612	0.7286	0.127
0.3554	0.6950	0.127
0.3488	0.6424	0.127
0.3430	0.5797	0.127
0.3330	0.5001	0.127
0.3206	0.4185	0.127
0.2942	0.3423	0.127
0.2590	0.2644	0.127
0.2144	0.1818	0.127
0.0300	0.09275	
0.00023		
0.00053		
0.00087		
0.00178		
0.00156		

0.00225
0.00372
0.01157
0.01984
0.00715
0.01161
0.00327
0.00974
0.00258
0.00241
0.00219
0.00198
0.00319
0.00178
0.00135
0.00040

	0	20	1				
1.00000	1.3598	21.7563	2.03965	0.8764	3.2134	1.1685	
0.1							
90.0	180.0	90.0					

ÖZGEÇMİŞ

Burcu Ünal, 1979 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretimini İzmir Cemil Midilli İlkokulu’nda, orta ve lise öğretimini ise İzmir Karşıyaka Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1997-2001 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Bölümü’nde lisans öğretimine devam etti. 2001 yılında, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Yüksek Lisans programına kaydoldu ve Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında, aynı fakültede araştırma görevlisi olan Y.Müh. U. Oral Ünal ile evlenen Burcu Ünal, halen üniversitedeki görevine devam etmektedir.

