

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANEVRA SİMÜLASYONLARI İLE YARI AMPİRİK
TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Deniz UŞAR**

Anabilim Dalı : GEMİ İNŞAATI MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEMİ İNŞAATI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**MANEVRA SİMÜLASYONLARI İLE YARI AMPİRİK
TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Deniz UŞAR
(508041003)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ali İhsan Aldoğan
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Kadir SARIÖZ (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Metin TAYLAN (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2007

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada, bana bilgi, tecrübe ve değerli fikirleri ile yol gösteren ve her konuda destek olan değerli hocam Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan'a, çalışmalarına önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Kadir Sarıöz'e ve her daim yardımlarını esirgemeyen Yük. Müh. Erdem Üçer ve Dr. Bahadır Uğurlu'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri, sevgi, özveri, anlayış ve koşulsuz destek için anneme, babama ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007

Deniz UŞAR

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. MANEVRA SİMÜLASYONLARINDA KULLANILAN MODÜLER MATEMATİK MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TEMEL YAPISI	7
2.1. Giriş	7
2.2. Matematik Model	8
2.3. Hidrodinamik Kuvvetlerin Modellenmesi	11
2.3.1. Temel Kavramlar	11
2.3.2. Tekne Hidrodinamik Kuvvetleri	12
2.3.3. İvme Atalet Kuvvetleri	12
2.3.4. Sönüm Kuvvetleri	13
2.3.4.1. Tekne Kaldırma (Lift) Kuvvetleri	14
2.3.4.2. Tekne Çapraz-Akım Etkileri	16
2.4. Tekne Direnci ve Pervane Kuvvetleri	17
2.5. Dümen Modülü	20
2.5.1. Pervane Kayma Akımının Dümen Performansı Üzerine Etkisi	21
2.5.2. Akım Düzeltme Faktörleri	23
2.6. Manevra Simülasyon Programı	24
2.6.1. Standart Hareket Denklemleri	24
2.6.2. Gemi Tekne Kuvvetleri	29
2.6.3. Çift Pervaneli Gemiler	30
2.6.4. Pervane Kuvvetleri	30
2.6.5. Dümen kuvvetleri	31
2.6.6. Diferansiyel İtme	32
2.6.7. Asimetrik Kuvvetler ve Momentler	32
2.6.8. Sevk Oranına Bağlı Terimler	33
2.6.9. Düşük Gemi Hızlarının ve Büyük Sürüklenme Açılarının Tanımlanması	33
3. HİDRODİNAMİK TÜREV DEĞERLERİNİN ELDE EDİLMESİ	35
3.1. Giriş	35

3.2. Hidrodinamik Türevlerin Sınırlandırılmış Model Deneyleri ile Elde Edilmesi	35
3.2.1. Doğrusal (Straight Line) Çekme Deneyi	35
3.2.2. Döner Kol Tekniği	38
3.2.3. Düzlemsel Hareket Mekanizması (PMM)Tekniği	40
3.3. Hidrodinamik Türevlerin Yarı-ampirik Yöntemlerle Hesaplanması	45
3.3.1. Dilim Teorisi	45
3.3.2. Yarı ampirik Metotlar	47
3.3.3. Çoklu Regresyon Analizi	48
4. GEMİLERLE YAPILAN DÖNME MANEVRA DENEYLERİ VE DÖNME MANEVRALARINDA YÖRÜNGE KARAKTERİSTİKLERİ	51
4.1. Giriş	51
4.2. Dönme Manevra Deneyi	52
4.2.1. Dönme Manevrasının Evreleri	52
4.2.1.1. Yaklaşım Evresi	53
4.2.1.2. Dönmenin Birinci Evresi	53
4.2.1.3. Dönmenin İkinci Evresi	54
4.2.1.4. Dönmenin Üçüncü Evresi	55
4.2.2. Dönme Manevrasında Yörünge Karakteristikleri	57
4.2.3. Dönmede Hız Azalması	58
4.3. Dönme Manevrası Yörünge Karakteristiklerinin Yarı-ampirik Yöntemler ile Tayin Edilmesi	58
5. MANEVRA SİMÜLASYONLARI İLE YARI-AMPİRİK TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	63
5.1. Giriş	63
5.2. Karşılaştırmada Kullanılan Gemilerin Temel Karakteristik Özellikleri	64
5.3. Dönme Manevra Simülasyonları ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemleri Kullanılarak Edilen Dönme Manevrası Karakteristiklerinin Karşılaştırılması	67
5.4. Deneyler ve Yarı-ampirik Yöntemlerle Elde Edilen Hidrodinamik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerine Yaptığı Etkilerin Karşılaştırılması	69
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
6.1. Giriş	73
6.2. Sonuçlar	74
6.3. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	77
KAYNAKLAR	78
EKLER	80
ÖZGEÇMİŞ	147

KISALTMALAR

Ad	: İlerleme
Ch	: Dümen kirişi
NR	: Dümen adedi
PMM	: Düzlemsel Hareket Mekanizması
RPM	: Pervane devir sayısı
Sp	: Dümen açıklığı
SS	: Tek pervane
ST	: Kıç tipi
STD	: Sürekli dönme dairesi çapı
TD	: Taktik çap
Tr	: Transfer
TS	: Çift pervane

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1: Lyster ve Knights'ın Çalışmalarında Kullanılan Veri Aralıkları....	60
Tablo 5.1: Esso Osaka Tankeri Geometrik Karakteristikleri.....	65
Tablo 5.2: MARAD Serisi Gemilerin Temel Geometrik Karakteristikleri.....	66
Tablo 5.3: MARAD Serisi Gemilerde Dümen ve Pervanelerin Geometrik Karakteristikleri.....	66
Tablo 5.4: Esso Osaka Tankeri Dönme Manevrası Simülasyon Sonuçları.....	67
Tablo 5.5: Esso Osaka Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları	67
Tablo 5.6: Esso Osaka Tankerinin Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri	69
Tablo 5.7: Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları.....	70

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Koordinat Sistemi.....	10
Şekil 3.1: Y ve N'nin Tayininde Modelin Deney Tankındaki Yerleşimi.....	36
Şekil 3.2: Y ve N'nin Tayin Edilmesinde Modelin Dönen-Kol Mekanizmasındaki Yerleşimi.....	38
Şekil 3.3: Düzlemsel Hareket Deneyinde Modelin Yerleşimi.....	40
Şekil 3.4: Yan Ötellenme Hareketinde İzlenen Yörünge.....	41
Şekil 3.5: Modelin Yanal Doğrultudaki Doğrusal Hız ve İvmeleri.....	42
Şekil 3.6: Rotadan Sapma Hareketinde Yörünge ve Modelin Yerleşimi.....	43
Şekil 4.1: Dönme Manevrasında Yörünge Karakteristikleri.....	52
Şekil 5.1: Ezzo Osaka Tankeri En Kesit ve Profil Görünüşleri.....	65
Şekil 5.2: İlerleme-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları.....	68
Şekil 5.3: Taşınma-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları.....	68
Şekil 5.4: Sürekli Dönme Hızı-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Tahmin Yöntemi Sonuçları.....	68
Şekil 5.5: Sürekli Dönme Çapı-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları.....	68
Şekil 5.6: Taktik Çap-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Tahmin Yöntemi Sonuçları.....	69
Şekil 5.7: Deneysel ve Yarı-ampirik Türev Değerlerinin Toplu Karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.8: Deneysel ve Yarı-ampirik Türevlerin Dönme Yörünge Karakteristiklerine Etkileri	72

SEMBOL LİSTESİ

Δ	: Deplasman
a_0	: PMM de yan hareket genliği
A_0	: Pervane disk alanı
A_B	: Batık baş profil alanı
A_R	: Dümen alanı
A_{RP}	: Dümenin hareketli kısmının alanı
B	: Gemi genişliği
C_B	: Blok katsayısı
C_D	: Direnç katsayısı
C_H	: X' istasyonundaki sıfır frekans ek kütle katsayısı
C_L	: Kaldırma kuvveti katsayısı
C_{vs}	: Gemiye ait viskoz sürüklenme katsayısı
C_{vm}	: Modele ait viskoz sürüklenme katsayısı
D	: Akım doğrultusunda direnç kuvveti
D_p	: Pervane çapı
F	: Gemiye etkiyen toplam su kuvveti
F_{CFD}	: Çapraz akım direnç kuvveti
$\bar{F}_L$	: Ortalama kaldırma kuvveti
$\bar{F}_D$	: Ortalama direnç kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
I_p	: Pervane atalet momenti
I_x, I_y, I_z	: x, y, z-eksenleri etrafında gemi kütlesi atalet momenti
J	: Pervane ilerleme katsayısı
J_0	: Gemi sevk durumu pervane ilerleme katsayısı
$K_T(J_p)$	: Pervane itme katsayısı
$K_Q(J_p)$	: Pervane dönme momenti katsayısı
L	: Gemi boyu, Akıma dik kaldırma kuvveti
m	: Gemi kütlesi
n	: Pervane devir sayısı
N_R	: Normal dümen kuvveti
N	: z-ekseni etrafında gemiye etkiyen su momenti
N_v	: N nin v ye göre kısmi türevi
$N_{\dot{v}}$	: N nin $\dot{v}$ ye göre kısmi türevi
$N_{\dot{\psi}}$	: N nin $\dot{\psi}$ ye göre kısmi türevi
$N_{\ddot{\psi}}$	: N nin $\ddot{\psi}$ ye göre kısmi türevi

N_{δ}	: N nin δ ya göre kısmi türevi
o	: Gemiye bağlı sabit eksen takımı başlangıç noktası
O	: Yere bağlı sabit eksen takımı başlangıç noktası
p	: Yalpa hızı
P	: Dümene gelen bileşke kuvvet
Q_P	: Pervane dönme momenti
Q_E	: Ana makine dönme momenti
Q_H	: Şaft eksenini etrafında dümen momenti
r	: Dönme dairesi yarıçapı, savrulma hızı
T	: Gemi su çekimi derinliği, Pervane itmesi
t_s	: Gemiye ait itme azalması katsayısı
t_m	: Modele ait itme azalması katsayısı
u	: V hızının x-ekseni üzerindeki bileşeni
u_R	: Dümen üzerine gelen akıma ait ortalama hız
u_a	: Pervane üzerine gelen akıma ait ortalama hız
v	: V hızının y-ekseni üzerindeki bileşeni
V	: o noktasının sabit eksen takımındaki hızı
w	: V hızının z-ekseni üzerindeki bileşeni
x	: Gemiye bağlı o dan geçen eksen
x_G	: o noktasından kütle merkezine uzaklık
X_P	: Pervane itme kuvveti
X	: Toplam F kuvvetinin x-ekseni üzerindeki bileşeni
x, y, z	: o dan geçen gemiye bağlı eksen takımı
Y	: Toplam F kuvvetinin y-ekseni üzerindeki bileşeni
Y_v	: Y nin v ye göre kısmi türevi
$Y_{\dot{v}}$	: Y nin $\dot{v}$ ye göre kısmi türevi
$Y_{\dot{\psi}}$	: Y nin $\dot{\psi}$ ye göre kısmi türevi
$Y_{\ddot{\psi}}$	: Y nin $\ddot{\psi}$ ye göre kısmi türevi
Y_{δ}	: Y nin δ ya göre kısmi türevi
α	: Hücüm açısı
β	: Sürüklenme açısı
β_R	: Dümen üzerindeki gerçek sürüklenme açısı
δ_e	: Etkin dümen açısı
δ	: Dümen açısı
ε	: Tekne ve pervanenin dümendeki akımı düzeltme etkisi açısı
ε	: PMM’de faz farkı
θ	: Trim açısı
ϕ	: Yalpa açısı
η	: Pervane itme katsayısı
ψ	: Yatayda dönme açısı
ω	: Dairesel frekans

GEMİ MANEVRA SİMÜLASYONLARI İLE YARI AMPİRİK TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Deniz taşıtları, tüm yükleme durumları için, yüksek ve orta yükseklikteki hızlarda ve sakin su veya rüzgarlı ve sert deniz koşullarında, rotalarını takip edebilme, liman ve sınırlandırılmış kanallarda güvenle manevra yapabilme ve kabul edilebilir mesafelerde durabilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Gemi manevra karakteristiklerinin tanımlanması için yaygın olarak kullanılan tam-ölçekli denemeler vasıtası ile gemiye ait hareket karakteristiklerinin ölçülmesi, doğrusal stabilite özelliklerinin elde edilmesi ve kontrol sistemlerinin tepki ve limitlerinin değerlendirilmesi mümkündür. Bu karakteristikler önceden belirlenmiş bir hızın korunduğu ve rotanın izlendiği veya sistematik şekilde değiştirildiği testler ile elde edilebilir. Tam ölçekli manevra deneyleri, gemi sahiplerine ve gemi inşaatı mühendislerine gemi işletim karakteristikleri ve geminin rota-tutma, rota değiştirme ve acil durum manevra karakteristikleri hakkında detaylı bilgiler sağlamaktadır. Gemilerle yapılan belli başlı manevra deneyleri, Dieudonné-spiral manevra deneyi, Bech-spiral manevra deneyi, zig-zag manevra deneyi, durma manevra deneyi ve dönme manevra deneyi olarak sıralanabilir. Dönme manevra deneyi, önemli oluşu, pratikte sıklıkla uygulanma gerekliliği nedeni ile eskiden beri gemilere uygulanmakta ve gemi manevra kabiliyeti ve karakteristiklerinin belirlenebilmesi için önemli bilgiler sağladığından halen gemi manevraları arasında en çok üzerinde durulan manevra türü olmaya devam etmektedir.

Gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilmesi için yapılan denemeler, inşa edilmiş tam-ölçekli bir gemi ile açık deniz koşullarında gerçekleştirilmelerine rağmen, geminin davranışları matematiksel modeller kullanan simülasyon programları veya çok sayıda gemi tecrübesinin regresyon analizi sonuçlarına dayanan ampirik veya yarı-ampirik tahmin yöntemleri kullanılarak dizayn aşamasının erken safhalarında tayin edilebilir.

Birçok gemi manevraları tahmin teknikleri temelde yarı-ampiriktir ancak ampirik ve yarı ampirik tahmin yöntemleri özellikle belirli bir performans seviyesi ve en uygun tekne-makine-pervane-dümen yapısı tasarımının talep edildiği modern dizayn uygulamaları için yetersiz kalabilir. Bu noktada, geniş kapsamlı, kesin bir veri tabanı, analitik metotlar ve model deney sonuçları gibi çok çeşitli kaynaklar kullanılarak geliştirilmiş spesifik manevra kodları tarafından desteklenen manevra simülasyon programları kullanılabilir.

Simülasyon programlarında kullanılan hidrodinamik verilerin hemen hemen hepsi model deney yöntemleri ile elde edilmektedir. Bazı durumlarda belirli bir tekne ve belirli deniz koşulları için model deneyleri gerçekleştirilmekte, bazı durumlarda ise hidrodinamik katsayılar mevcut sistematik ve spesifik model verileri ve destekleyici teoriler temel alınarak tayin edilmektedir.

Sınırlandırılmış model deney sonuçlarını temel alan manevra simülasyon programları, gemi manevra performansının belirlenmesinde tam-ölçekli deneylerden sonra en uygun yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, çok uzun zaman almakta ve pahalıya mal olmaktadır. Başlangıç dizayn aşamasında zaman ve gider limitleri nedeni ile manevra performansının tayin edilmesinde model deney verilerine başvurulamadığından, yaklaşık formüller ve mevcut veritabanı kullanılarak elde edilen temel parametreler, başlangıç dizayn aşamasında gemi manevra performansının tahmin edilmesi için bir ölçü teşkil edebilir. Bu yaklaşık formüller, model deneyleri ve sayısal hesaplamalar (regresyon vs.) vasıtası ile yarı-ampirik olarak elde edilmiştir.

Bu noktada, gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik manevra tahmin yöntemlerinin mukayese edilmesi, elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tahmin yöntemlerinin hangi mertebede başarılı olduğunun belirlenmesi ve model deneylerine, simülasyon programlarına ve tam ölçekli deneylere baş vurulmaksızın temel gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi zorunlu hale gelmektedir.

Bu çalışmada, gemilere sıklıkla uygulanan ve gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilmesinde kullanılan en yaygın tanımlayıcı manevra kabul edilen dönme manevrası için, gemi manevra simülasyonları, Ankudinov V., ile yarı-ampirik manevra tahmin yöntemleri, Lyster ve Knights, Esso Osaka tankeri ve MARAD serisi gemiler kullanılarak mukayese edilmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tahmin yöntemlerinin hangi mertebede başarılı olduğu belirlenmiş ve model deneylerine, simülasyon programlarına ve tam ölçekli deneylere baş vurulmaksızın temel gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Ayrıca manevra simülasyonlarında kullanılan gemilere ait hidrodinamik türev değerlerinin teorik ve ampirik yöntemler, Jones, W. Smitt, Norrbın, Inoue ve Clarke, kullanılarak hesaplanan değerleri ile deneysel yöntemlerle elde edilen değerleri karşılaştırılmış, türev değerleri arasındaki farkların dönme manevra karakteristiklerine yaptığı etkiler incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarla, Lyster ve Knights'a ait yarı ampirik yöntemin özellikle dolgun gemilerin dönme manevra karakteristiklerinin hesaplanmasında sadece büyük dümen açıları için yeterli olduğu, küçük dümen açıları içinse sonuçların büyük oranda sapması nedeni ile ön dizayn hesaplamaları için dahi kullanılmaması gerektiği, ayrıca, yarı ampirik ve teorik yöntemlerin hidrodinamik türev değerlerinin hesaplanmasında yetersiz kaldığı ve bu değerlerin manevra simülasyonlarında kullanılmaları halinde elde edilen manevra karakteristiklerinde ve yörüngelerinde hatalı sonuçların elde edilmesine neden olacağı sonucuna varılmıştır. Bu noktada sınırlandırılmış model deneylerinin türev değerlerinin ve manevra karakteristiklerinin belirlenmesinde en güvenilir yöntemler olduğu bir kez daha kanıtlanmıştır.

COMPARISON OF SHIP MANEUVERING SIMULATIONS AND SEMI EMPIRICAL PREDICTION TECHNIQUES

SUMMARY

Sea vessels must be able to maintain their course in the open sea, to maneuver safely in ports and restricted channels and to stop within a reasonable distance. These minimum capacities are required under any load condition, both at high speeds and at more moderate speeds associated with restricted waters and in both calm conditions and in windy or rough conditions. Definitive maneuvers (sea trials) are widely used to determine a ship's maneuvering characteristics. Many of the sea maneuvering trials performed on most merchant ships before they are formally delivered to the ship owner are based on the verification of the ship's dynamic behavior characteristics, the acquisition of an indication of its straight line stability, the evaluation of the robustness and the limitations of the control system and the assessment of the ship's behavior in emergency situations. The maneuvering characteristics can be obtained by conduction of sea maneuvering trials which are, turning circle, pull-out, zigzag, and direct and inverse spiral tests, mostly based on holding or changing a predetermined course and speed in a systematic way. The turning circle maneuver has traditionally received the most attention in treaties on ship maneuverability. One reason for this is that it has been and still is an important practical maneuver that ships frequently perform.

Although these test were carried out on a ship actually built and at sea, the ship's behavior can be simulated in the design stage by means of simulation programs using mathematical models or estimated based on linear simplified stability criteria and empirical methods derived primarily from past experience of sea trials. Empirical approach can be not enough for modern design practice particularly when a required level of performance of optimal design of the hull-engine-propeller-rudder complex for specific operational conditions is demanded. Therefore, ship maneuvering assessment simulations being generic and supported by the provision of a broad and accurate database and specific maneuvering codes developed from various sources, such as analytical methods, model test results and full scale trial data, can be used.

At this time, the ultimate source of most hydrodynamic data used in simulators is model test results. In some cases model tests for a particular vessel and waterway are conducted and in other cases the hydrodynamic data are estimated on the basis of available systematic and specific model data and supporting theories.

Although the maneuvering simulation programs, based on the data obtained from captive model test results, are considered to be the most effective method for the assessment of ship maneuvering performance except from the full scale trials, they require significant amount of time and money consumption to be conducted. At early design stages, due to the time and cost limitations, captive model test results can not be used for determination of the maneuvering performance.

Therefore, prediction equations and principle parameters based on available data can be utilized as a criterion for the assessment of ship's maneuvering performance. These prediction equations are derived semi empirically based on model test results and numerical calculations (regression analysis etc.).

At this point, a comparison between the results obtained using maneuvering simulations and semi-empirical maneuvering prediction techniques must be made in order to determine the accuracy of prediction techniques and to assess whether these techniques can or can not be used for determination of main ship maneuvering characteristics without the use of full-scale trial data, captive model test data or maneuvering simulations.

This study includes the comparison of the results obtained by the use of one of the widely used maneuvering simulation program developed by Ankudinov V. and calculated using semi-empirical maneuvering prediction techniques proposed by Lyster and Knights for determination of ship maneuvering characteristics. Analysis for the Esso Osaka and the MARAD series ships turning circle maneuvering simulation results and the results obtained from prediction equations for ships' turning circles were compared in order to determine the accuracy of prediction equations. In addition, the values of hydrodynamic coefficients, utilized in maneuvering simulations, were calculated theoretically and using semi-empirical methods proposed by Jones, W. Smitt, Norrbin, Inoue and Clarke. The values obtained were compared with the captive model test results and the effect of the difference between these results on maneuvering simulations was analyzed.

The results obtained in this study shows that the semi-empirical formulations derived from a large number of ship maneuvering trials were succeed in the determination of turning characteristics only at high rudder angels for full form ships. For small rudder angels the results obtained were so deflected that the use of these formulations even for preliminary design studies may cause dramatic errors. In addition, semi-empirical and theoretical methods used for calculation of the hydrodynamic maneuvering coefficients were acquired to be inadequate; therefore the use of these derivatives in maneuvering simulations instead of the ones obtained from the captive model test results affects the predicted maneuvering characteristics and the trajectories.

1. GİRİŞ

Gemi manevra analizleri, üç genel aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşama, teknenin dinamik denge karakteristiklerinin, dümen boyutu da gözden geçirilerek yapılan, lineer analizi, ikinci aşama, kontrol edilebilirliğin tamamı ile belirlenebildiği, deneysel veriler kullanılarak yapılan doğrusal olmayan (non-lineer) analiz, ve son aşama, deneysel verilerin ve non-lineer analiz içerisindeki bağıntıların düzeltilmesi için yapılan model deneyleridir.

Gemi manevra performansının, tekne geometrisinin, sevk ve kontrol karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak, mümkün mertebe kusursuz ve hızlı tayin edilebilmesi için kantitatif performans verileri gerekmektedir. Bu gibi belirlemeler güvenilir ve sistemli gemi dizaynı veya mevcut gemilerin etkili manevra analizi ve manevra tahmini için kullanılabilir. Bu değerlendirmeler en etkin modern teorisinin ve günümüzde oldukça ilerlemiş olan deneye dayalı bağıntıların gelişmiş bilgisayarlarla birleştirilmesi ile yapılabilir.

Önceki gemi dizaynı uygulamalarında gemi manevra performansı, doğrusal basitleştirilmiş stabilite kriterini temel alan ve önceki deneyimlerden elde edilen yarı ampirik yöntemler ile tahmin edilmekteydi. Gemi hareket ve manevraları alanında özellikle dönme manevraları üzerine yapılmış başlıca ampirik analiz çalışmalarına, Lindgren ve Norrbın'ın tek pervaneli gemilerin minimum dönme dairelerinin tahmin edilebilmesi amacı ile yaptıkları çalışmalara ek olarak, Kadono ve Yamasaki'nin ilerleme, transfer ve 90° dönüş için gerekli zaman konularında yaptıkları analiz çalışması ve Shiba tarafından aynı boy ve genişlik oranına sahip modellerin blok katsayılarını, su çekimlerini, baş-kıç su çekimleri arasındaki farkları (trim), dümen alanlarını, dümen açılarını ve yaklaşım hızlarını sistematik şekilde değiştirerek gerçekleştirdiği model deneyleri sayılabilir [5]. Ayrıca Lyster ve Knights yaptıkları çalışmada, tek ve çift pervaneli gemiler için sürekli dönme dairesi, taktik çap, ilerleme, transfer ve dönüşle bağlı hız düşümü değerlerini veren ampirik tahmin denklemleri elde etmişlerdir [5].

Ho-Young Lee ve Sang Sung Shin, gemilerin manevra performanslarının dizaynı başlangıç aşamasında belirlenebilmesi amacı ile 19 ayrı model kullanarak düzlemsel hareket mekanizması deneyleri gerçekleştirmişler ve seçtikleri temel parametreler için uyguladıkları regresyon analizleri sonunda gemilerin doğrusal stabilitesinin tayin edilebilmesi için gelişmeler sağlamışlardır [7]. Norrbın, dönme dairesinin kinetiği, kinematiği ve dönme manevralarının gemi manevra yeteneklerinin tanımlanabilmesi konularında çalışmalar yapmış, Denny ve Hubble, çeşitli dümen açıları ve yaklaşım hızları için dönme karakteristiklerini inceleyerek deplasman tekneleri ve kayıcı teknelerin sürekli dönme dairesi çaplarını ve dönme hızlarını veren yöntemler ve formüller geliştirmişlerdir [9, 10].

Birçok gemi manevraları tahmin teknikleri temelde yarı-ampirik olmakla birlikte ampirik ve yarı ampirik tahmin yöntemleri özellikle belirli bir performans seviyesi ve en uygun tekne-makine-pervane-dümen yapısı tasarımının talep edildiği modern dizayn uygulamaları için yetersiz kalabilir. Bu noktada, geniş kapsamlı, kesin bir veri tabanı, analitik metotlar ve model deney sonuçları gibi çok çeşitli kaynaklar kullanılarak geliştirilmiş spesifik manevra kodları tarafından desteklenen manevra simülasyon programları kullanılabilir.

Gemi hareketlerinin modellenmesinde kullanılan matematiksel yaklaşımlar önemli ölçüde çeşitlilik göstermekle birlikte özellikle non-lineer gemi manevralarının analizinde yaygın olarak kullanılan matematiksel yöntemler sağlam temeller üzerine kurulmuştur. Çeşitliliğin en büyük nedeni ise, özellikle gemi kıçında meydana gelen iz dağılımı, girdaplar ve yüzey dalgaları ile bağlantılı olarak tekne, pervane ve dümen etrafındaki akım fenomeninin son derece karmaşık bir hal alması ve bu fenomenin matematiksel olarak tanımlanmasındaki zorluklardır.

Gemi hareket ve manevralarının matematik modellerle tanımlanarak manevra simülasyonlarının geliştirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ankudinov, Kaplan ve Jacobsen, dönen gemiler etrafındaki akımı modelleyerek, temel gemi elemanlarının tek tek hesaba katılabildiği modüler bir yaklaşımla gemi manevralarının gerçek zamanlı simülasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [3]. Asinonovsky, Huang ve Oakes ise dizayn aşamasında manevra ve rota tutma kabiliyetinin belirlenebilmesi için bir simülasyon programı geliştirmişlerdir [6]. Daidola, Graham ve Chandash, geniş bir aralıktaki tek gövdeli gemilerin (mono hull) rota tutma ve enerji sarfiyatı karakteristiklerinin belirlenebilmesi için bir manevra

simülasyon programının geliştirilmesi ve uygulanması üzerine çalışmalar yapmışlardır [8]. Bunlara ek olarak gemi manevraları simülasyonlarının son derece detaylı şekilde gerçekleştirilebildiği paket programlar mevcuttur.

Bir gemi manevrasının olabildiğince gerçekçi şekilde tanımlanabilmesi için, açıklıkla belirlenebilen hidrodinamik bileşenler kullanılır. Viskoz kuvvetler, doğrusal terimlerin (kaldırma ve sirkülasyon etkileri) ve ikinci dereceden (çapraz akım) terimlerin bir toplamı olarak ifade edilirken, ivme atalet kuvvetlerinin gerçekte akışkan ataletinin neticesi olduğu varsayılır. Temelde yüzen cisim manevraları için geliştirilen ve “mutlak kare” sistemi üzerine kurulu bu yaklaşımlar, sınırlanmış model deney verileri kullanılarak yapılan eğri-uydurma işlemleri ile elde edilen, üçüncü dereceden ya da kübik denklemler kullanan sistemler ile farklılık göstermekte, diğer yandan her iki sistemde de eşitliklerde bulunan sabit katsayılar manevra esnasında tekneye etki eden hidrodinamik kuvvetleri temsil etmektedir [14]. Hidrodinamik kuvvet ve momentler, genelde Taylor seri açılımları formunda hızların ve ivmelerin kuvvetleri şeklinde ifade edilir, ancak bu kuvvet ve momentlerin bilinmediği bazı özel dizaynlar için analitik veya deneysel teknikler ile tayin edilmeleri gerekli olur.

Viskoz akış terimi içeren gemi manevra hidrodinamik kuvvetlerini hesaplamak için kullanılabilecek çok az sayıda teorik yöntem bulunmaktadır. Birçok manevra deneyinde kullanılan standart prosedürler, sınırlanmış model deneyleri ile hidrodinamik kuvvetlerin ölçülmesi, daha sonra bilgisayar simülasyonları kullanarak manevra karakteristiklerinin tahmin edilmesi şeklindedir. Hidrodinamik katsayıların belirlenebilmesinde kullanılan başlıca deneysel yöntemler doğrusal çekme deneyi, döner kol tekniği ve düzlemsel hareket mekanizması tekniği olarak sıralanabilir.

Talep edilen kontrol edilebilirlik karakteristiklerinin sağlanması amacı ile dümen dizaynı ve tekne form varyasyonları özellikle göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak sınırlandırılmış model deneyleri kullanılarak, ana boyutlar, tekne formu ve dümen-pervane düzeni gibi manevra yeteneğini doğrudan etkileyen dizayn değişkenleri hızlı ve sistematik bir biçimde incelenemediğinden, pratik bir dizayn metodu ihtiyacı karşılanamaz. Oysaki bahsedilen değişkenlerin temel gemi dizaynının erken aşamalarında tayin edilmiş olmaları gerekmektedir.

Gemi manevra karakteristiklerinin belirlenmesinde gerekli en temel elementler olan hidrodinamik katsayıların elde edilmesinde pahalıya mal olan ve uzun zaman gerektiren sınırlanmış model deneylerine alternatif olarak teorik ve yarı-ampirik yöntemler kullanılabilir. Jones tarafından dilim metodu kullanılarak elde edilen ifadeler ve W. Smitt, Norrbin, Inoue ve Clarke'a ait temel yarı-ampirik tahmin yöntemleri kullanılarak hız ve ivme türev değerleri ampirik olarak hesap edilebilir [2]. Deneysel yöntemlerle elde edilen türev değerlerinin kullanıldığı sayısal simülasyonlar, ilerleyen aşamalarda hesap edilen katsayıların deneysel yöntemlerle elde edilen katsayılarla karşılaştırılması, mevcut farklılıkların manevra simülasyonlarında elde edilen sonuçlara etkilerinin incelenmesi ve ampirik ifadelerle tahmin edilen dizayn manevra performansının doğrulanmasında kullanılabilir.

Dizaynın başlangıç aşamasında gerçekleştirilen manevra analizi, geminin yatay düzlemdeki başlangıç dinamik stabilitesinin incelenmesi ve gemi gövdesinin su altı profil alanına oranla yeterli dümen boyutunun tayin edilmesi gibi dizayn karakteristiklerinin göz önüne alınmasını kapsamaktadır. Bu temel karakteristikler genel olarak doğrusallaştırılmış hareket denklemleri temel alınarak analiz edilir. Analizin bu ilk safhasında, manevra karakteristiklerinin tahmin edilebilmesi için öncelikli olarak lineer formüller kullanılır.

Daha ileri dizayn aşamalarında, çok çeşitli güç ve kontrol edilebilirlik gereksinimlerinin de hesaba katılmasının gerekli olması dolayısı ile en uygun gemi dizaynının yapılabilmesi için gerçekçi, doğrusal olmayan bir manevra performans simülasyonunu gerekli hale gelir. Analizin bu ikinci aşaması, boy ötelenme-yan ötelenme ve savrulma serbestlik derecelerini içeren doğrusal olmayan manevra modelini, birleşik ampirik, analitik ve istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak hesap edilen hidrodinamik katsayılar ile bir araya getirmektedir. Böylece, farklı tekne-dümen-pervane konfigürasyonları için dönme, rota değiştirme ve durma yeteneklerinin ayrıca pervane su akıntısı ve hız düşmesi etkilerinin tayin edilebilmesi için sayısal bir kriter sağlanmış olur.

Dizaynın ilerleyen aşamalarında, model deneyleri, matematiksel modellerde bulunan hidrodinamik katsayılarda düzeltmeler yapılması amacı ile kullanılır. Özellikle tekne formunun ve temel boyutsal parametrelerin alışılmışın dışında olduğu durumlarda bu tür deneylerin ön dizayn aşamasında yapılması gerekli olabilir.

Geminin genel olarak boy ötelenme, yan ötelenme ve savrulma serbestlik derecelerine sahip katı bir gövde olduğu düşünülerek yatay düzlem gemi manevra tahminleri için en elverişli koşullar tanımlanabilir. Diğer üç serbestlik derecesindeki gemi hareketleri yalpa, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma tipik olarak normal hız aralığında manevra performansına dikkate değer bir etki yapmamaktadır ve genelde konvansiyonel gemi dizaynında hesaba katılmazlar, buna karşın yüksek hızlarda manevra yapması gerekli olan teknelerde yalpa hareketlerinin de göz önünde bulundurulması gerekli olabilir. Gemi manevra denklemleri en genel formda aşağıdaki denklem sistemine indirgenerek ifade edilebilir [1].

$$\text{boy öteleme: } m[\dot{u} - vr - x_G r^2] = X_H + X_P + X_R + X_{ext}$$

$$\text{yan öteleme: } m[\dot{v} + ur + x_G \dot{r}] = Y_H + Y_P + Y_R + Y_{ext}$$

$$\text{rotadan sapma: } I_Z \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) = N_H + N_P + N_R + N_{ext} \quad (1.1)$$

Burada H, P, R ve ext indisleri sırası ile tekne, pervane, dümen ve gemiye etkiyen dış kuvvetleri tanımlamaktadır. Yukarıda yazılan üç serbestlik derecesine sahip denklemler, gemiye sabitlenmiş, orijini teknenin ağırlık merkezine veya ağırlık merkezinden x_G mesafesine yerleştirilmiş, boyuna eksenin x , enine eksenin y ile gösterildiği sağ el dikey hareketli eksen takımını referans almaktadır. Sol tarafta bulunan terimler atalet tepkilerini, ve sağ taraftaki terimler ise gemiye etki eden hidrodinamik kuvvet ve momentleri ve dış kuvvetleri temsil etmektedir. Yukarıda bulunan 1.1 denklemlerinde u ve v boyuna ve enine hızlar ve r savrulma hızıdır. m gemi kütlesi ve I_z gemi ortasından geçen düşey bir eksen etrafındaki atalet momentidir. Gemi orta noktası ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe x_G ' dir. Sadece tekne, pervane ve dümen terimleri bırakılarak 1.1 denklem sistemi boyutsuz olarak daha uygun bir formda ifade edilebilir. Bu sonuç sevk, idare ve manevrada kullanılan doğrusallaştırılmış hareket denklemlerinin genel formudur:

$$(Y'_v - m')\dot{v}' + Y'_v v' + (Y'_r - m'x'_G)\dot{r}' + (Y'_r - m')r' + Y'_\delta \delta = 0$$

$$(N'_v - m'x'_G)\dot{v}' + N'_v v' + (N'_r - I'_Z)\dot{r}' + (N'_r - m'x'_G)r' + N'_\delta \delta = 0 \quad (1.2)$$

Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, gemilere sıklıkla uygulanan ve gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilmesinde kullanılan en yaygın tanımlayıcı manevra

kabul edilen dönme manevrası için, gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik manevra tahmin yöntemlerinin Esso Osaka tankeri ve MARAD serisi gemiler için mukayese edilmesidir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tahmin yöntemlerinin hangi mertebede başarılı olduğu incelenmiş ve model deneylerine, simülasyon programlarına ve tam ölçekli deneylere başvurulmaksızın temel gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilip edilemeyeceği belirlenmiştir [17, 18]. Ayrıca manevra simülasyonlarında kullanılan gemilere ait hidrodinamik türev değerlerinin teorik ve ampirik yöntemler kullanılarak hesaplanan değerleri ile deneysel yöntemlerle elde edilen değerleri karşılaştırılmış, aradaki farkların dönme manevra karakteristiklerine yaptığı etkiler incelenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, gemi manevralarının analizine ve analizde kullanılan temel teorik ve deneysel yaklaşımlara değinilmiş, ikinci bölümünde, manevra simülasyonlarında kullanılan TURN programına ait teori ve temel matematik model ve program içerisindeki temel hareket denklemleri tanımlanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, gemi manevra simülasyonlarında kullanılan hidrodinamik katsayıların elde edilmesinde uygulanan deneysel ve ampirik metotlar tanıtılmış, dördüncü bölümünde ise dönme manevra deneyi, dönme manevra karakteristikleri ve bu karakteristiklerin tahmin edilmesinde kullanılan ampirik yöntemlere yer verilmiştir. Beşinci bölüm çalışmada kullanılan gemilerin temel özelliklerini ve gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik yöntemlerin karşılaştırılmasını, altıncı bölüm ise elde edilen sonuçları ve ileride yapılabilecek çalışmaları içermektedir.

2. MANEVRA SİMÜLASYONLARINDA KULLANILAN MODÜLER MATEMATİK MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TEMEL YAPISI

2.1 Giriş

Modüler matematiksel bir modelin oluşturulmasında, modellemenin doğası gereği sağlanması gerekli en temel koşul, her bir modüler eleman ile ilişkili hidrodinamik kuvvetlerin ve bu temel elemanlar arasındaki etkileşimin kusursuz şekilde temsil edilmesidir. Dolayısı ile elemanlardan her birinin (örn. tekne, dümen ve pervane), hem birbirinden bağımsız (izole) olduğu durumdaki, hem de diğer temel gemi elemanlarına göre belirli konumda bulunduğu durumdaki akım alanlarına ve kuvvetlere ilişkin deney verileri gerekmektedir. Bu gibi deneylerde hesaba katılması zorunlu değişkenlerin değişim aralığının genişliği ve harcanması gereken zaman ve para miktarının fazlalığı göz önünde bulundurularak, incelenen bu spesifik konu için temel teoriyi ve mevcut deney verilerini birleştiren daha basit yaklaşımlar kullanılabilir. Böyle bir yaklaşım ile değişkenlerin ve sınır koşullarının birbiri ile tutarlılık gösterecek şekilde tayin edilmesine ve incelenmesine imkân sağlayan uygun tipte formüller elde edilebilir [3]. Bu yaklaşım, incelenen konunun temel fiziksel yapısı göz önünde bulundurulmaksızın, öncelikli olarak fonksiyonel bir uygunluk meydana getirme temeline dayanan mevcut metotlardan farklılık göstermektedir.

Bu gibi formülasyonların elde edilmeleri hatta açıkça tanımlanabilmeleri dahi oldukça zordur. Bu nedenle temel bir ana eleman, görece büyük kuvvetleri meydana getiren takıntılar ve bu elemanlar arasındaki etkileşimin niteliği hakkında, ilgili hava taşıtı ve güdümlü füze aerodinamiği alanlarından yardım alınması söz konusudur. Birçok örnekte karşılaşılan ve itme sistemlerinden kaynaklanan mevcut tüm önemli etkiler de, kullanılan temel teorik analizde hesaba katılmaktadır. Tüm bu kavramsal yaklaşımları uyarlayan, uygun bir nitel fiziksel tanım derecesine ve nicel yapısal forma sahip bir prosedür, gemi manevraları için modüler matematiksel bir model kurulması yönünde büyük önem taşımaktadır.

Gemiler ve uzay araçları arasındaki en önemli fark, tekne ve dümen boyutlarının bağıl oranı olduğu kadar, gemiler göz önüne alındığında, iz dağılımında düzensizliğe, akımlarda ayrılmaya vs. sebep olan viskozite etkisinin varlığıdır. Bu gibi fiziksel fenomenlerin varlığı mevcut yaklaşımı gemi hidrodinamiği ile ilgili, özellikle de düzgün doğrusal harekete ait, direnç ve sevk alanlarında deneysel veri toplanmaya yöneltmiştir. Manevra uygulamalarında, özellikle dümen bölgesindeki ize ait hız alanının değişmesine ve gemi gövdesinin etkin dümen açısı üzerinde akım düzgünleştirici etki yapmasına katkıda bulunan viskozite kaynaklı akım olaylarının niteliği analitik değerlendirme yolu ile tanımlanmalıdır [14].

2.2 Matematik Model

Gemi hareket ve manevraları alanındaki yeni yaklaşımlarda asıl amaç, mevcut sonuçların olabildiğince geniş biçimde kullanılabilmesini sağlamak, ayrıca modelleme ve analizi olabildiğince basit tutarak değişik alanlardan kullanıcıların bu model ve analizleri kendi özel problemlerine uygulayabilmelerine, model, model parçaları ve verileri paylaşabilmelerine ve gerektiğinde karşılaştırabilmelerine olanak sağlamaktır. Deneysel veya teorik yöntemlerle elde edilen hidrodinamik katsayıların değerleri önemli ölçüde kullanılan matematik modele bağlı olduğundan, ölçülmüş kuvvet ve moment değerleri gibi işlenmemiş verilerin paylaşılması oldukça mantıklıdır. Tam ölçekli veriler dahi ölçümlerden, kullanılan ölçüm aletlerinden, izlenen yöntemden ve çevresel etkenlerden kaynaklanan kusurlar dolayısı ile dikkatle işleme tabi tutulmalıdır. Örneğin, çok iyi bilinen Esso Osaka tankerine ait tam ölçekli denemelerde elde edilen, sığ ve derin sulardaki yörünge ve seyir açısı verileri yeterli kesinliğe sahip olmasına rağmen, yanal hız (sürüklenme) ölçümlerinde elde edilen veriler büyük oranda hatalar içermektedir [16]. Model deney sonuçları, model ne kadar büyük olursa olsun dümen/pervane izini ve tekne kuvvetlerini pek çok farklı şekilde etkileyen ölçek etkilerine maruz kalmaktadır. Bu etkilerin minimize edilmesi ve ölçümlerin tam-ölçekli gemi için geçerli hale getirilmesi amacı ile ölçek etkilerinden etkilenen ve etkilenmeyen hidrodinamik kuvvetlerin birbirinden ayrı incelendiği özel modelleme teknikleri ve analizlerin uygulanması gerekmektedir. Bu teknikler matematik model yapısına ve modül içeriğine son derece bağımlıdır. Model deney sonuçları, test edilen parametreler ile sınırlandırıldığından, beklenen tüm manevra ihtimallerinin kapsanması amacı ile test edilen sınırların ötesine, sınırlı bir

veri tabanı ve yetersiz hidrodinamik analizler kullanılarak gerçekleştirilen genişletme girişimleri önemli hatalara neden olabilir. Öncelikli amaç modelin her bir kısmı için bazı önemli hidrodinamik prensipleri açıklığa kavuşturarak ölçümlerin ve hesaplamaların birlikte kullanılabilmesini sağlamaktır.

Tipik matematiksel gemi manevra modeli, tekne, dümen ve itme sisteminden kaynaklanan hidrodinamik kuvvetlerin ve hidrostatik kuvvetlerin temsil edildiği, $kuvvet = kütlexivme$ (Newton Yasası) formunda bir grup denklemden oluşmaktadır. Denklemler bu kuvvetlere ek olarak rüzgar, dalga ve akıntı gibi çevre kaynaklı kuvvetleri de içerebilir. İfadelerde mümkün mertebe SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers) ve ITTC (The International Towing Tank Conference) standartlarına uygun semboller kullanılmış ayrıca hidrodinamik katsayılar dikeyler arası boy kullanılarak boyutsuz değerlere indirgenmiştir.

Denklemlerin çözümü tekne hızları ve yörüngelerine dayandığından bu değerler elde edildiğinde gemi hareket simülasyon problemi büyük ölçüde çözülmüş olur.

Gemi gövdesi etrafındaki akımın hidrodinamiği son derece karmaşık olduğundan hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması nerede ise imkansızdır, dolayısı ile teoriye, model veya gemi ölçekli ölçümlere ve diğer deneysel verilere dayanan varsayımlar kullanılır.

Gemi manevralarında matematik modellerin hemen hepsi boy öteleme, yan öteleme ve savrulma terimleri kullanılarak ifade edilir, yalpa, dalıp çıkma ve baş kış vurma etkileri ise ihmal edilir. Bu birçok konvansiyonel tekne için uygun bir yaklaşımdır. Hızlı tekneler için ise dördüncü bir yalpa denklemi gerekli olmaktadır. Dalıp çıkma ve baş kış vurma, her ne kadar incelenmemiş olsa da yanıl hareketlere eşlik ettiklerine ve endirekt olarak tekne üzerindeki basınç dağılımına etki ettiklerine dair veriler mevcuttur [2, 3].

Ek olarak, herhangi bir anda hidrodinamik kuvvetlerin sadece anlık hızlara ve ivmelere bağlı olduğu kabul edilmektedir. Düşük frekanslı gemi manevraları için akışkan etkilerinin ihmal edilmesi ciddi hatalara yol açmazken dalgalar arasında manevra yapmakta olan bir gemi için bu kabul kesinlikle doğru değildir [3].

Manevra denklemleri, gövde ekseninde geminin kütle merkezinden geçecek şekilde sabitlenmiş eksen takımı kullanılarak elde edilmiştir, Şekil 2.1.

2.3 Hidrodinamik Kuvvetlerin Modellenmesi

2.3.1 Temel Kavramlar

Temel düşünce, matematik modeli olabildiğince genel ve modüler tutmaktır, böylece her bir modül geliştirilebilir ve gerektiğinde özel bir kullanıcı ya da görev için daha yüksek veya daha düşük hassaslığa sahip bir modül ile yer değiştirebilir.

Modelin önemli özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sağlam fiziksel ilkeler üzerine kurulmuş olmakla birlikte klasik dizayn ve mühendislik uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilecek kadar basittir, ayrıca ampirik veriler ve model/gemi ölçekli deney sonuçlarına dayanan formüller ile kolaylıkla uyum sağlar.
- Dümen açısının ve pervane devrinin keyfi şekilde değiştirilebilmesine olanak sağladığından standart gemi manevraları gerçekçi bir biçimde tanımlanabilir.
- Ölçek etkileri minimum düzeydedir.
- Birçok gemi tipi ve değişik pervane/dümen donanımları için geçerlidir.
- Daha karmaşık model deney teknikleri için temel oluşturmaktadır.

Geçmiş zaman etkileri ihmal edildiği için X , Y kuvvetleri ve N , K ve Q momentleri içerisinde bulunan tepki kuvvetlerinin, dinamik u , v , r , p , n , θ ve δ değişkenlerinin anlık değerlerine bağlı olarak değişim gösterdiği bir yaklaşım benimsenebilir. Bu değişkenlere ait mümkün tüm bağıl büyüklükler Oltmann-Sharma yaklaşımı kullanılarak 2.2 eşitlikleri ile pratik biçimde ifade edilebilir [3, 15].

$$\begin{aligned}\beta &= \arctan(-v/u), & \gamma &= \arctan(rL/u) \\ \delta_e &= \delta + \beta_R, & \beta_R &= \arctan(-v_R/u_R) \\ \varepsilon &= \arctan(u_p/c_p), & \theta &= \arctan(pL/u)\end{aligned}\tag{2.2}$$

Burada, β savrulma hücum açısı (veya sürüklenme açısı), δ_e etkin dümen açısı, β_R dümen üzerindeki gerçek sürüklenme açısı, u_R ve v_R dümen üzerinde sırası ile x ve y eksenindeki hızlar, ε tekne ve pervanenin dümen üzerine gelen akımda yaptığı düzgünleştirici etkidir. Pervane çalışma parametreleri, ilerleme katsayısının,

$J = u / nD_p$ (D_p : pervane çapı) bir fonksiyonu şeklinde, itme oranı $\eta = J_o / J$ (J_o : gemi sevk durumu ilerleme katsayısı) kullanılarak uygun bir biçimde ifade edilebilir. Bu durumda, $\eta = 1$ gemi sevk durumu, $\eta = 0$ pervanenin çalışmadığı durumu ve $\eta = \infty$ pervanenin boşta çalıştığı durumu tanımlar.

2.3.2 Tekne Hidrodinamik Kuvvetleri

Eğer bir tekne ve etrafını çevreleyen akışkan, viskoz, kinetik ve potansiyel enerjiye sahip tek bir dinamik sistem olarak kabul edilirse, tekneye ait hidrodinamik kuvvetler, “hidrodinamik atalet kuvvetleri” olarak adlandırılan, X_I (“ek kütleler”), viskoz kuvvetler (tekne kaldırma, X_L , ve çapraz-akım, X_{CFD} etkileri), ve hidrostatik kuvvetler, X_{hs} , gibi fiziksel mekanizmaya katkıda bulunan parçalar şeklinde bileşenlerine ayrılabilir [3]. Hidrostatik kuvvetler kolayca hesap edilebilir. Hareket esnasında gemi geometrisi önemli ölçüde değişmiyor ise, sadece sistemdeki yalpa hareketi terimsel olarak katkı yapar.

2.3.3 İvme Atalet Kuvvetleri

Bu kuvvetler öncelikli olarak su altı tekne geometrisi tarafından tanımlanırlar ve “ek kütle” terimleri cinsinden ifade edilirler. Atalet kuvvetleri ve viskoz kuvvetler arasında bir etkileşim olmadığı kabulü ile potansiyel akım teorisi kullanılarak, ivme atalet kuvvetlerine ait değerler elde edilebilir [14]. Atalet kuvvetleri esasen ileri doğrultudaki hızdan bağımsızdır ve bu kuvvetlerin tekne geometrisinin ve salınım frekansının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmesi için birçok nümerik kod bulunmaktadır. Eğer dalga-yapma (wave making) ihmal edilirse, yatay düzlemde hareket eden bir gemi gövdesi için, sınırlandırılmamış bir akışkan içerisinde üç serbestlik derecesi ile hareket eden simetrik bir çift-gövde kabulü yapılabilir.

Yatay hareketler 2.3 denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} X_I &= X_{\dot{u}}\dot{u} + X_{vr}vr + X_{rr}r^2 \\ Y_I &= Y_{\dot{v}}\dot{v} + X_{\dot{u}}ur + Y_{\dot{r}}\dot{r} \\ N_I &= N_{\dot{r}}\dot{r} + N_{\dot{v}}(\dot{v} + u\dot{r}) + (Y_{\dot{v}} - X_{\dot{u}})uv \end{aligned} \quad (2.3)$$

$X_{vr} = -Y_{\dot{v}}$ ve $X_{rr} = -Y_{\dot{r}}$ terimleri viskoz kuvvetlerin etkilerini de içermektedir.

Konvansiyonel gemi gövdeleri için, derin sularda olduğu kadar sığ sularda da oldukça yeterli görünen ek kütle dilim metodu kullanılarak, atalet ve sönüm kuvvetlerini tanımlayan, kesitlere ait ek kütleler $m'_y = \mu(\xi)$, kesit alanının normali ve Y eksenini arasında kalan doğrusal kosinüs, $\cos \alpha = \cos'(n, y)$, ile çarpılırsa geminin gövde geometrisi daha yaklaşık şekilde hesaba katılabilmektedir. Buradan, $X - Y$ eksenindeki ek kütleler 2.4 ifadeleri ile verilen entegrasyonların gemi boyunca yapılması yolu ile hesaplanabilir [3]:

$$Y_v = -\int L m'_y \cos \alpha dx$$

$$X_u = -\int L m'_y |\sin \alpha| dx \quad (2.4)$$

Y'_r , N'_v ve N'_r terimleri, kesite ait ek kütlelerin x ve x^2 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Dilim metodu kullanılarak yapılan standart bir hesaplamada yarı ampirik üç boyutlu düzeltme katsayıları kullanılabilir.

$$Y_v^{3D} = Y_v^{2D} (1 - 0,5B/L),$$

$$Y_r^{3D} = Y_r^{2D} (1 - B/L),$$

$$N_v^{3D} = N_v^{2D} (1 - B/L)$$

$$N_r^{3D} = N_r^{2D} (1 - 1,6B/L) \quad (2.4a)$$

Takıntıların yaptığı katkılar standart formüller kullanılarak tayin edilmiştir [3].

2.3.4 Sönüm Kuvvetleri

Viskoz etkiler matematiksel ve fiziksel modelleme için kritik öneme sahip bileşenlerdir ve günümüzde keyfi üç boyutlu bir gövde etrafındaki akım ve kuvvetlerin hesap edilmesinde önemli ölçüde ilerleme sağlanmıştır. Diğer yandan, bu tür hesaplamalar son derece karmaşık ve yüksek maliyetli olduğundan, daha özensiz olmasına rağmen yeterli kesinlik derecesine sahip yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır. Viskoz akış fenomenine ait, hem matematiksel hem de deneysel yaklaşımlar için gerçekçi formüllerin tayin edilebilmesi amacı ile gemi gövdesi etrafındaki akım basit şekilde özetlenebilir. Tekneye yakın sınır tabakada, akışkan hızı viskozite tarafından büyük ölçüde etkilenmektedir. Küçük sürüklenme

açıları, gemi gövdesi, sürüklenme açısının konvansiyonel bir dümendeki hücum açısına benzer rol oynadığı bir kaldırma yüzeyi olarak kabul edilebilir [3]. Gemi gövdesi, kaldırma (lift), sirkülasyon ve izler girdaplar oluşturur (boyuna viskoz etkiler). Birbirine bağlı boyuna ve enine hareketin etkisi ile meydana gelen sonuç yanal kuvvet ve savrulma hareketleri tekne kaldırma kuvvetleri olarak adlandırılır. Bu kuvvetlere ait değerler genel olarak viskoz olmayan akım ve sirkülasyonun da tayin edilebilmesi doğrultusunda belirli Kutta-Jukovsky koşulu kullanılarak hesaplanır [3]. Bu durumda Reynolds sayısı teorik olarak sonsuz kabul edilmektedir. Lift F_L , akım normalinde kendine eşlik eden bir indüklenmiş direnç (induced drag), F_d ile birlikte tesir eder. Diğer yandan model deneyleri ile elde edilen kaldırma kuvveti katsayılarının, özellikle küçük modeller kullanıldığında ölçek etkileri tesiri altında kalması kuvvetle muhtemeldir. Daha büyük sürüklenme açıları, meydana gelen girdapların oluşacağı yerlerinin veya kuvvetlerinin belirlenebilmesi için kullanılabilecek uygun herhangi bir yöntem bulunmamaktadır ve kuvvetlerin önemli bir bölümü “çapraz akım direnci” F_{CFD} kaynaklıdır (çapraz viskoz etki) [14]. Gövdeye göre bu girdaplar sabit kabul edilebilir ancak, akışkan ile birlikte hareket eden enine bir düzlem için tekne bu girdapları geride bırakıyormuş gibi görünmektedir. Gövdeden yayılan girdapların sınır tabakada bir ayrılmaya yol açmaları kaçınılmazdır. Gemi hidrodinamiğinde, izler girdapların ayrılmalarına ve gövde üzerindeki dağılımlarına (ve bu dağılımın Reynolds, Froude sayılarına ve sürüklenme açılarına oranına) ait detaylar, birbirleri ile etkileşimleri ve yayılımları (dissipation) tam olarak açıklanamamaktadır.

2.3.4.1 Tekne Kaldırma (Lift) Kuvvetleri

Küçük sürüklenme açıları ve savrulma hızları için tekne kaldırma kuvvetleri, ölçümler ve hesaplamalar sonucu elde edilen tekne kuvvet eğrisine ait türevler olarak tanımlanırlar. Sürüklenme açısının ve savrulma hızının artması ile birlikte, ayrılmanın kademeli olarak arttığı, kaldırma kuvvetinin ise azaldığı kabul edilebilir [14]. Bazı sürüklenme açıları stall (dümen profillerinde hücum açısı ile orantılı artan kaldırma kuvvetindeki ani süreksizlik ve düşme) meydana gelir. Bu durum liftin, F_L büyük oranda düşmesine, lift eğiminin yarı yarıya azalmasına neden olur. Sadece sürüklenme göz önüne alındığında gemiye etki eden kaldırma (lift) kuvvetleri 2.5 ifadeleri kullanılarak genellenebilir [3]:

$$X = F_L \sin \beta - F_d \cos \beta$$

$$Y = F_L \cos \beta - F_d \sin \beta$$

$$N = x_N \cdot Y \operatorname{sgn} u \quad (2.5)$$

Şekil 2.1’de gösterilen işaret kabulüne göre lift, yan ötelenme hızına zıt bir işarete sahiptir ve indüklenmiş direnç F_d her zaman negatiftir. Savrulma formülü, 2.5 denklemleri ile benzerlik göstermesine rağmen, savrulma hareketinden kaynaklanan yanal hız dağılımı gemi gövdesi boyunca çeşitlilik gösterdiğinden, nispeten karmaşıktır. Etkin hücum açısı $\gamma^* = \arctan(krL \operatorname{sgn} u / u)$, $k \approx 0,4$, şeklinde tanımlanabilir [3]. Rotadan sapma hareketinden kaynaklanan tekne kaldırma kuvvetleri, $krL \operatorname{sgn} u$ yerine $-v$ ve γ^* yerine β konulduğunda denklem 2.5 ile benzerlik göstermektedir.

F_L ve F_d terimleri deneysel veya analitik yollar ile elde edilebilir. Bu terimlerin hesaplanması için kanat ve narin gövde teorilerini temel alan birçok teorik metot bulunmaktadır [3]. Küçük yan oranlı kanatlar/dümenler için:

$$F_L = 0,5 \rho L^2 [\bar{F}_L u v], \quad F_D = 0,5 \rho L^2 [\bar{F}_D u^2 v^2], \quad \bar{F}_D = 0,5 \bar{F}_L \quad (2.6)$$

Kaldırma kuvvetlerine ait teorik ve yarı ampirik denklemler ve mevcut deneysel veriler arasında kabul edilebilir bir korelasyon kurulabilmektedir.

Model deney sonuçlarını kullanarak gemi sönüm kuvvetlerini tekne geometrisinin bir fonksiyonu olarak hesaplayan birçok ampirik formül geliştirilmiştir. Kullanılan bu model deney sonuçlarının en önemli eksikliği, çoğu deneyin kendi pervane ve dümen donanımına sahip modeller ile gerçekleştirilmiş olması dolayısı ile kuvvet ölçümlerinin pervane ve dümen etkilerinin tesiri altında kalmış olmasıdır. Bu sonuçların modüler modellemede kullanılabilmeleri için pervane-dümen etkilerinin deney sonuçlarından çıkarılması gereklidir. Ancak birçok durumda, büyük önem taşıyan dümen-pervane deney bilgileri elde edilemez ve dolayısı ile etkileri tam olarak belirlenemez [3].

Lineer sönüm hidrodinamik katsayılarını tanımlayan 2.7 denklemleri, pek çok değişik tekne geometrisi için, uygun tekne normalleştirme parametrelerinin bulunması amacı ile narin gemi yaklaşımı kullanılarak yapılan çalışmalarla ve

düzlemsel hareket deneyleri veri havuzuna uygulanan çoklu regresyon analizi ile elde edilmiştir [3].

$$\begin{aligned}
-Y'_v &= (\pi/2)x_1 + 0,8Y \\
Y'_r &= 0,54C_Bx + 0,25C_BY \\
-N'_v &= (\pi/4)x + 0,41Y \\
-N'_r &= 0,4C_Bx + 0,175C_BY
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Burada, $x_1 = (T/L)^2(1 + 1,5C_BT/B)$, $x = (T/L)^2(1 + 0,5C_BT/B)$ ve $Y = BT/L^2$.

Konvansiyonel gemi gövdeleri için lineer sönüm katsayıları narin gemi yaklaşımı veya dilim metodu kullanılarak da bulunabilir.

$x = \xi$ düzlemindeki akışkanın yanal momentumu $[v'_s \cdot m'_y]$ şeklinde verilebilir, burada v'_s ve m'_y sırası ile kesite ait yanal hız ve ek küttedir. Buradan kesite ait yanal kuvvet aşağıdaki şekilde 2.8 denklemi ile ifade edilir [13].

$$Y' = d(v'_s m'_y) / dt \tag{2.8}$$

Yanal kuvvetin gemi kışındaki büyüklüğü sınır tabakanın durumundan etkilenmektedir. Toplam sönüm kuvveti, akımın ayrılarak gemi yüzeyini terk etmeye başladığı kesite kadar tekne boyunca yapılan entegrasyon ile elde edilir. Sönüm kuvvetinin tekne boyunca dağılımına ve toplam değerine ait tahminler mevcut deney sonuçları ile uyumluluk göstermektedir ancak entegrasyonun nerede sonlandırılacağı kesinlik kazanmamıştır [2].

2.3.4.2 Tekne Çapraz-Akım Etkileri

Gerçekte non-lineer bir fenomen olmakla birlikte çapraz akım etkilerinin hesaplanmasında basit dilim teorisi kullanılabilir. Kesite ait yanal kuvvet Y'_{CFD} , lokal kesite ait yanal hızın, v'_s , lokal su çekiminin, $T(x)$ ve lokal çapraz-akım direnç katsayısının, $C_{CFD}(x)$, karesi ile orantılıdır [3]. Toplam kuvvetler, Y_{CFD} , N_{CFD} ve X_{CFD} (tekne asimetrisinden ve direnç (drag) katsayısından kaynaklanmaktadır) tekne

boyunca entegre edilir. Eğer her bir kesit için bir $C_{CFD}(x)$ fonksiyonu biliniyor ise (teorik veya deneysel) yan kuvvet, 2.9 denklemleri ile,

$$Y_{CFD} = -\rho \int_l C_{CFD}(x) T(x) v_s(x) |v_s(x)| \cos \alpha dx \quad (2.9)$$

kolaylıkla nümerik olarak hesaplanabilir [3]. Bu fonksiyonun kesit geometrisine, sürüklenme açılarına ve büyük ihtimalle, Reynolds ve Froude sayılarına bağlı olacağı kabul edilmektedir. Bir C_{CFD} fonksiyonunun, standart manevralarda ve özellikle küçük sürüklenme açısı değişim aralıklarında sürüklenme açısına bağlı olması beklenmektedir. Deney verilerine dayanan ampirik $C_{CFD}(\beta) = C_{CFD}(90^\circ)(1 - \exp(4|\beta|))$ bağıntısı (β radyan cinsinden), basit bir $|\sin \beta|$ formülünden çok daha kesin sonuçlar vermektedir. Reynolds sayısının ve Froude sayısının ölçek etkilerinin C_{CFD} üzerindeki tesirlerine ait kullanılabilir veri mevcut olmamakla birlikte 10^9 ve üzeri Reynolds sayılarında, düşük hızda ve düşük frekansta gerçekleştirilen manevralarda bu etkilerin minimum olacağı kabul edilmektedir [3]. C_{CFD} 'nin en-kesit ve tekne geometrisine bağımlılığı gemi ortasında sabit olmakla birlikte uçlara doğru artan asimetri ile birlikte (pervane veya yumru baş hesaba katıldığında) artar. Pervaneye ait çapraz akım etkileri çok belirgin olduğundan ve pervane yükünün bir fonksiyonu olduğundan özel bir araştırma alanı teşkil etmektedir. Direkt C_{CFD} ölçümlerinin mevcut olmadığı durumlarda, gemi gövdesi üzerindeki C_{CFD} dağılımı sınırlandırılmış model deneylerinden elde edilen $Y_v|v|', Y_v|r|'$ gibi ölçülmüş çapraz akım katsayı değerleri ve gemi-benzeri en kesitlere ait ampirik C_{CFD} değerleri kullanılarak tayin edilebilir [14].

2.4 Tekne Direnci ve Pervane Kuvvetleri

Tekne direnç kuvveti $X(u)$, sırası ile Reynolds ve Froude ölçeğine bağlı bir toplam şeklinde yazılırsa,

$$X(u) = 1/2 \rho S u^2 [(1 + K) C_F(R_N) + C_W(F_n)] \quad (2.10)$$

sistematik model deney çalışmaları ve Reynolds sayısı korelasyon tahsisatı kullanılarak direnç kuvveti oldukça hatasız şekilde hesap edilebilir [13].

Pervane kuvvetinin olabildiğince gerçekçi modellenmesi gemi manevraları ve dümen kuvveti modellenmesi için büyük önem taşır. Pervane itmesi X_p ve pervane dönme momenti Q_p aşağıdaki denklemler ile ifade edilir:

$$X_p = (1-t) \cdot \rho n^2 D_p^4 K_T(J_p), \quad Q_p = -2\pi I_p \dot{n} - \rho n^2 D_p^5 K_Q(J_p) \quad (2.11)$$

İtme katsayısı $K_T(J_p)$ ve dönme momenti katsayısı $K_Q(J_p)$, açık su karakteristiklerinin iz ve itme azalması da hesaba katılarak tekne arkası durumuna adapte edilmesine dayanan standart teknikler kullanılarak hesap edilir. Pervane hızı ve ilerleme oranı aşağıdaki gibi tanımlanır [13]:

$$u_p = (1-w_p)u, \quad J_p = u(1-w_p)/(nD_p) \quad (2.12)$$

Rasgele seçilebilecek manevralarda, imkân dâhilindeki tüm eksenel ve dönel hareket kombinasyonlarının kapsanabilmesi amacı ile pervane kuvvetinin C_T^* , C_Q^* katsayı terimleri ve u_p , c_p ve ε değişkenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılması daha uygun olur:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \arctan(u_p / c_p), \quad c_p = 0,7\pi n D_p \\ C_T^* &= 2T / \rho A_0 (u_p^2 + c_p^2) \\ C_Q^* &= 2Q / \rho A_0 D (u_p^2 + c_p^2) \end{aligned} \quad (2.13)$$

burada, A_0 pervane disk alanıdır. İlerleme açılarının küçük bir aralıkta değiştiği ($\varepsilon \sim 0-20^\circ$) durumlarda sıklıkla interpolasyon kullanılmaktadır. Bu aralığın dışında kalan açılarda ise Oltmann/Sharma [15] tarafından teklif edilen aşağıdaki ifadeler kullanılabilir:

$$\begin{aligned} C_T^*(\varepsilon) &= A_T \cos \varepsilon |\cos \varepsilon| - B_T \sin \varepsilon |\sin \varepsilon| \\ C_Q^*(\varepsilon) &= A_Q \cos \varepsilon |\cos \varepsilon| - B_Q \sin \varepsilon |\sin \varepsilon| \end{aligned} \quad (2.14)$$

Aşağıdaki formül kullanılarak direnç ve sevk kuvvetleri basit ve güvenilir bir biçimde modellenebilir:

$$X_{res} + X_{prop} = 1/2 \rho L^2 [(a_{hull} + a_{prop})u^2 + b_{prop} u n D_p + c_{prop} (n D_p)^2] \quad (2.15)$$

burada, a , b ve c sabitleri u ve n 'in tüm kombinasyonları için, model deneyleri veya uygun ölçeklendirmeye ve viskoz düzeltme toleransına sahip sistematik deney verileri kullanılarak tanımlanmalıdır [3].

Model deneylerinden elde edilen iz tahmin değerlerini içeren önceki formüller, tekne-pervane ve dümen-pervane etkileşiminden kaynaklanan ölçek etkilerine maruz kalmaktadır. Mevcut yaklaşımda gemiye ait iz üç bileşene ayrılabilir; deplasman izi, sürtünme izi ve dalga izi. Model deney hızı tam ölçekli durum ile aynı Froude sayısının sağlanabilmesi doğrultusunda seçildiğinden, Reynolds sayısı ve buna bağlı olarak modele ait viskoz iz, tam-ölçekli gemiden farklı olur.

Tam ölçekli deney şartlarında sınır tabaka kalınlığı model deney şartlarındaki sınır tabaka kalınlığına oranla daha küçük olacağından gemi izi, w_s , model izinden, w_m , daha küçük olacaktır. Sınır tabakanın genişlemesi, ikincil bir etki olarak, potansiyel akım alanını da etkiler. Gemi dönme manevraları esnasında, sınır tabaka (ve iz) asimetrik hal alarak tam-gemi formu ve büyük sürüklenme açıları için ayrılma eğilimi gösterir. Bu asimetri nedeni ile dış tarafta oluşan nispeten hızlı akım direkt olarak pervaneye gelerek ilave boylamsal ve yanıl akış hızları meydana getirir.

İleri yönde doğrusal harekete ait iz birçok araştırmaya konu olmuştur. Standart ölçeklendirme prosedürünün en önemli eksikliği, itme azalması katsayısının farklı ölçekler için aynı kaldığı kabulünün yapıyor olmasıdır. Birçok gemi tipi için gerçekleştirilen model deneylerine ve tam-ölçekli denemelere ait sonuçlar analiz edilerek aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir [13]:

$$t_s = t_m + k(C_B)(C_{vs} - C_{vm}), \quad k = 38,2C_B - 12,1 \quad (2.16)$$

burada C_{vs} ve C_{vm} sırası ile gemiye ve modele ait viskoz sürüklenme katsayısıdır. 2.16 ifadesi ve momentum denklemi kullanılarak pervane iz katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$w_{Ps} = (t_s + 0,04) + (w_{Pm} - t_m - 0,04)c_{vs} / c_{vm} \quad (2.17)$$

burada t_s ve t_m sırası ile gemiye ve modele ait itme azalması katsayısıdır.

2.5 Dümen Modülü

Dümen modellemesi, açıklanan modüler yaklaşımdaki en temel öğelerden biri olarak kabul edilir. Dümen, dümen-tekne ve dümen-pervane etkileşimi için uygun toleransa sahip bağımsız bir eleman olarak ele alınmalıdır. Bu etkileşimler oldukça karmaşık ve yeterince araştırılmamış olmalarına rağmen mevcut veriler (ampirik ve analitik) bu modül içerisinde gerçek zamanlı simülasyonlar veya gemi dizayn çalışmaları için kullanılabilir. Dümen, bir tekne arkasında, pervane tarafından hızlandırılmış bir akım içerisine daldırılmış düşük yan oranına sahip bir kanat olarak kabul edilir[2, 3, 14].

Dümen, tekne arkasında bulunduğu durumda, yerel boy-ötelenme, yan ötelenme ve savrulma hızlarına ek olarak pervane kayma akım hızına bağlı, zamanla değişen bir akım içerisinde hareket etmektedir.

Bu nedenle dümen üzerindeki etkin boyuna ve enine hızlar 2.18 denklemleri ile aşağıdaki gibi yazılabilir [3]:

$$u_R = [u_a + r y_R + u_j], \quad v_R = [\gamma_v v + \gamma_r r x_R] \quad (2.18)$$

Burada $u_a = u(1 - w_R)$ ilerleme hızı, $r = \dot{\psi}$ savrulma hızı, w_R dümen iz katsayısı, u_j pervane kayma akımı ve γ_v ve γ_r ise tekne ve pervanenin yan ötelenme ve rotadan sapma hızları üzerindeki etkisine ait akım düzeltme faktörleridir.

Bu durumda etkin hücum açısı β_e , geometrik dümen açısı δ ve yerel (etkin) sürüklenme açısı β_R değerlerinin toplamına eşit olmaktadır, örnek olarak,

$$\delta_e = \delta + \beta_R, \quad \beta_R = \arctan(-v_R / u_R).$$

Buradan, dümen kaynaklı kuvvetler tekne koordinatları boyunca parçalara ayrılarak incelenirse:

$$\begin{aligned} X_R &= \rho / 2 A_R (u_R^2 + v_R^2) (C_{LR} \sin \beta_R - C_{DR} \cos \beta_R) \\ Y_R &= \rho / 2 A_R (u_R^2 + v_R^2) (C_{LR} \cos \beta_R - C_{DR} \sin \beta_R) \\ N_R &= Y_R x_R - X_R y_R \end{aligned} \quad (2.19)$$

Burada, x_R ve y_R dümen kuvvet bileşenlerine ait koordinatlarıdır.

2.5.1 Pervane Kayma Akımının Dümen Performansı Üzerine Etkisi

Dümen tarafından meydana getirilen kuvvet dümen üzerine gelen akıma ait hızın karesinin bir fonksiyonudur. Dümen pervane arkasına yerleştirildiğinde pervane su akıntısının etkisinde kalır.

Eksenel doğrultuda konumlandırılmış bir pervaneden kaynaklanan su akıntısı tesirinde kalan bir dümen üzerine gelen akıma ait ortalama hız, aşağıdaki şekilde yazılabilir [13]:

$$u_R = u_a + \Delta u_s$$

burada, u_R dümen üzerine gelen akıma ait ortalama hız, u_a pervane üzerine gelen akıma ait ortalama hız ve Δu_s pervane etkisi ile arttırılmış akım hızı değeridir.

$$u_R = u_a [1 + K_m (\sqrt{1 + 8 / \pi (K_T / J^2)} - 1)] \quad (2.20)$$

burada K_m dümenin pervaneye göreli eksenel pozisyonunun bir fonksiyonudur, akıntı yönünde pervane merkezinde 0,5 değerine ve sonsuzda 1,0 değerine eşittir, K_T itme katsayısı ($T / \rho n^2 D_p^4$) ve J ilerleme sabitidir ($u_a / n D_p$).

Dümen üzerine gelen ortalama akım hızının hesaplanması için kullanılabilecek diğer bir eşitlik aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$u_R = u_a \sqrt{1 + K (8 / \pi) (K_T / J^2)} \quad (2.21)$$

burada K deneylerden elde edilen ampirik bir sabittir. Fujii'ye ait formül [3],

$$u_R = u_a \sqrt{1 + K S^{1,5}} \quad (2.22)$$

burada S pervaneye ait gerçek kayma oranı $[1 - (u_a / pn)]$ ve p pervane pitchidir.

Gerçeğe uygun bir hidrodinamik dümen kuvveti modellemesi, dümen üzerindeki efektif hız, $c_c = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}$ ve efektif dümen açısı, $\delta_e = \delta + \beta_R$, temel alınarak yapılmalıdır. Tipik dönme manevralarında δ ve β_R zıt işaretlere sahiptir ve δ_e geometrik dümen açısından az da olsa daha küçük bir değere sahiptir. Eğer dümenin bir kısmı pervane kayma akımı içerisinde kalmakta ise pervaneden kaynaklanan ilave

etkiler dikkate alınmalıdır. A_R toplam alanına sahip ve bu alanın A_{RP} kadar bir kısmı pervane kayma akımı içerisinde bulunan tipik dümenler için dümen lift değeri aşağıdaki toplam şeklinde ifade edilebilir [13]:

$$L_R = 0,5\rho[C_{LR}[A_{RP}(u_a + u_p)^2 + (A_{RP} - A_R)u_a^2]] \quad (2.23)$$

burada, A_R toplam dümen alanı ve A_{RP} dümenin pervane akımı içerisinde kalan kısmının alanıdır. Pervane etkileri olmaksızın dümen lift değerinin

$$L_R = 0,5\rho C_{LR} A_R u_a^2 \text{ olduğu göz önünde bulundurulduğunda, düzeltme faktörü,}$$

$$\gamma_{RP} = 1 + 2u_p A_{RP} / u_a A_R + (u_p / u_a)^2 \cdot (A_{RP} / A_R) \quad (2.24)$$

akım hızında pervaneden kaynaklanan hız artışı için bir ölçü teşkil edebilir. Denklem 2.15 ile benzer formda yazılırsa,

$$\gamma_{RP} = 1 + e_R (u_a n D_p) + f_R (u_a n D_p)^2 \quad (2.25)$$

burada e_R ve f_R katsayıları gemi/dümen geometrisinin ve tekne/dümen/pervane etkileşiminin birer fonksiyonudur ve u ve n 'nin bütün kombinasyonları için analitik veya ampirik olarak belirlenebilirler. Ölçek etkileri nedeni ile yapılacak düzeltmeler, formüle iz katsayısı şeklinde direkt olarak etki ederken, gemi direnci ile orantılı olarak değişen itme yükü vasıtası ile dolaylı olarak etki yapar.

Etkin dümen açısı δ_e , 0° ile 360° arasında değişebileceği için dümen, lineer ve çapraz-akım terimlerine sahip küçük bir gemi gövdesi olarak kabul edilebilir, [13]. Buradan,

$$L_R = 0,5\rho A_R C_c^2 \cdot [L_1 + C_{CFDR} \sin \delta_e |\sin \delta_e|]$$

$$D_R = 0,5\rho A_R C_c^2 \cdot [L_1^2 / \pi a + C_{CFDR} |\sin \delta_e|^3] \quad (2.26)$$

burada $L_1 = (dC_L / d\delta) \cos \delta_e \sin \delta_e$ ve a dümene ait yan oranıdır (aspect ratio). Çapraz akım sürüklenme katsayısı C_{CFDR} bire çok yakındır ve Reynolds sayılarından bağımsızdır.

Dümene ait ivme (atalet) kuvvet bileşeni F_R^I ,

$$F_R^I = M_R [\dot{v} + r x_R] \cos \delta \quad (2.27)$$

denklem 2.19 ile ifade edilen toplam dümen kuvvetlerine eklenmiştir.

Dümenine ait ek kütle M_R aşağıdaki şekilde tayin edilebilir:

$$M_R = \pi \rho b_R A_R / (a^2 + 1)^{0.5} \quad (2.28)$$

burada b_R dümen yüksekliğidir.

2.5.2 Akım Düzeltme Faktörleri

Akım düzeltme faktörleri, dümen kuvvet modellemesinde kritik öneme sahip olmakla birlikte yeterince araştırılmamış ve tam olarak anlaşılamamıştır. Bununla birlikte düzlemsel hareket mekanizması deney verileri kullanılarak akım düzeltme faktörleri hakkında fikir sahibi olunabilir. Söz konusu deney verilerinin en önemli özelliği tekne ve dümen kaynaklı kuvvetlerin, farklı dönüş hızları (RPM) ve farklı model hızları için ayrı ayrı ölçülmüş olmasıdır. $Y_{v\eta}, Y_{r\eta} \dots$ ve $Y_{\delta\eta}$ terimleri aynı faktör $\eta_o = J_o / J$ (J ilerleme katsayısı, $\eta = 1$ gemi sevk durumu) için tahmin edilen tekne ve dümen kaynaklı kuvvetleri temsil etmektedir. Örneğin, $Y_{v\eta}, Y_v$ 'nin $(\eta - 1)$ cinsinden ifade edilmesinde kullanılan birinci derece katsayıdır. Aşağıdaki oranların istenilen akım düzeltme faktörleri (çarpanları) olduğu açıkça görülmektedir:

$$Y_{v\eta} / Y_{\delta\eta} = \gamma_\beta \text{ ve } Y_{r\eta} / Y_{\delta\eta} = \gamma_r \quad (2.29)$$

Bu oranlar aynı zamanda γ_β ve γ_r 'nin az da olsa daha açık fiziksel anlamlar kazanmasına olanak sağlar. Dümen açısının sıfır ($\delta = 0$) ve sürüklenme açısının küçük olduğu kabul edilirse, dümene ait yanal kuvvet, denklem 2.19, aşağıdaki basitleştirilmiş halde yazılabilir:

$$\begin{aligned} Y_R &= 0,5 \rho A_R^2 c_e^2 C_{LR} \approx 0,5 \rho A_R^2 c_e^2 \cdot (dC_L / d\delta_e) \delta_e \\ &\approx 0,5 \rho A_R^2 c_e^2 (dC_L / d\delta_e) (-\gamma_v \cdot v) = \Delta Y_{\delta=0} \end{aligned} \quad (2.30)$$

$\Delta Y_{\delta=0}$ terimi dümenin varlığı dolayısı ile tekne lineer sönümünde meydana gelen artışı teşkil etmektedir, $Y_{lin} = Y_{lin}^{hull} + \Delta Y_{\delta=0}$. Bu eşitlik, sabit kanatçıkların hız bağılısı

türevlere yaptığı katkıyı tanımlayan ifadeler ile benzerlik göstermektedir [13]. γ_v ve γ_r ’nin tayin edilebilmesi için yapılması gerekli iki deneyden ilki değişen sürüklenme açıları için, $\beta \neq 0$ ($\delta = 0$), tekne kuvvetlerinin ölçülmesi ve ikincisi de $\beta = 0$ durumunda, değişen dümen açıları için model kuvvetlerinin ölçülmesidir. Deneyler, gemi sevk durumunu da içeren belirli bir ilerleme katsayısı J , aralığında gerçekleştirilmelidir. Değişkenlerin lineer bağlı olduğu varsayımına dayanarak, ilk deneye ait deney verilerinin eğiminden $Y_{v\eta}$, ikinci deneye ait deney verilerinin eğiminden $Y_{\delta\eta}$ elde edilir. Benzer yaklaşım γ_r faktörü için kullanılabilir.

γ_v ve γ_r ’nin hesaplanması için, deneysel yöntemler kullanılarak elde edilen aşağıdaki 2.31 formülleri kullanılabilir:

$$\begin{aligned}\gamma_v &= 1 - 1,5(B/L)\sqrt{C_B B/T} \\ \gamma_r &= \gamma_v[0,44 + 0,22\gamma_v]\end{aligned}\tag{2.31}$$

Denklem 2.31’de yer alan γ_v ve γ_r faktörleri sadece teknenin fonksiyonlarıdır. Mevcut deney sonuçları pervane geometrisinin ve performansının etkilerine dair önemli bilgiler sağlamamaktadır.

2.6 Manevra Simülasyon Programı

SMAP Gemi Manevra Değerlendirme Programı’na ait TURN modülü vasıtası ile gerçekleştirilen non-lineer manevra simülasyonlarında kullanılan standart hareket denklemleri ve matematiksel modeller bu bölümde açıklanacaktır.

2.6.1 Standart Hareket Denklemleri

Denklem 2.31, 2.32 ve 2.33 ile verilen üç serbestlik derecesine sahip boy ötelenme, yan ötelenme ve savrulma hareket denklemleri, orijini cismin kütle merkezine sabitlenmiş, sağ-el dikey, hareketli eksen takımı referans alınarak ifade edilmiştir [13].

$$\begin{aligned}
m(\dot{u} - v r - x_G r^2) = & \frac{\rho}{2} L^3 \left[\left(X_{\dot{u}}' u_R + \left(X_{vr}' |\cos \beta_R| - X_{\dot{u}}' |\sin \beta_R| \right) v_R r_R \right) \right. \\
& + \frac{\rho}{2} L^4 \left(X_{rr}' r_R^2 \right) + \frac{\rho}{2} L^2 \left(X_{vv}' v_R^2 \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 u_R^2 \left(a_i + \frac{b_i}{2} \eta_s + \frac{c_i}{2} \eta_s^2 + \frac{b_i}{2} \eta_p + \frac{c_i}{2} \eta_p^2 \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 v_R^2 \left[\frac{X_{vv\eta}'}{2} (\eta_s - 1) + \frac{X_{vv\eta}'}{2} (\eta_p - 1) \right] \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 \left[u_{p_p}^2 \left(\frac{Y_{RUD}'}{2} \delta_p \right) + u_{p_s}^2 \left(\frac{Y_{RUD}'}{2} \delta_s \right) \right] \\
& \left[u_{p_p}^2 \left(\frac{X_{RUD}'}{2} \right) \delta_p^2 + u_{p_s}^2 \left(\frac{X_{RUD}'}{2} \right) \delta_s^2 \right]
\end{aligned} \tag{2.32}$$

Burada,

$$X_{RUD}' = X_{\delta_r \delta_r}', \quad U_{RUD}^2 = u_R^2 + (v_R + r_R x_s)^2, \quad x_s = L N_{\delta_r}' / Y_{\delta_r}'$$

$$u_{p_p}^2 = [E(i) u_{rud}^2 + F(i) u_{rud} D_p n_p + G(i) D_p^2 n_p^2]$$

$$u_{p_s}^2 = [E(i) u_{rud}^2 + F(i) u_{rud} D_p n_s + G(i) D_p^2 n_s^2]$$

Eksenlerin, açıların, doğrusal hız bileşenlerinin, açısal hız bileşenlerinin, kuvvetlerin ve momentlerin pozitif yönleri Şekil 2.1 ile gösterilmiştir. Aksi belirtilmediği sürece, denklemlerde kullanılan hidrodinamik katsayılara ait nümerik değerler gemi sevk noktası $\eta = 1$ içindir.

Denklemler, tüm gemi konfigürasyonu göz önünde bulundurularak yazılmıştır. Zira çeşitli katı cisim hareket koşullarında tümü ile takıntılı gemi durumu için gerçekleştirilen düzlemsel hareket veya diğer sınırlandırılmış model deneyleri ile elde edilen katsayılara ait değerler, dümen ve tekne arasındaki, pervane ve tekne arasındaki ve dümen ve pervane arasındaki etkileşimden kaynaklanan etkileri içermektedir. 2.32, 2.33 ve 2.34 denklemleri, denizaltıların altı serbestlik dereceli kompleks manevra simülasyon çalışmalarını gerçekleştirmek için yıllarca yoğun bir şekilde kullanılmış denklemleri temel almaktadır [13].

$$\begin{aligned}
m(\dot{u} - v r - x_G r^2) = & \frac{\rho}{2} L^4 \left(Y_{\dot{r}}' \dot{r} + Y_{r|r|}' r_R |r_R| \right) + \frac{\rho}{2} L^3 \left(Y_{\dot{v}}' \dot{v} \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 \left(Y_r' u_R r_R + Y_{v|r|}' v_R |r_R| \right) + \frac{\rho_A}{2} L^2 \left(v_A^2 Y_A' \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^4 \left(Y_{vr}^2 v_R r_R^2 / U_R \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 \left[Y_v' u_R v_R + Y_{v|v|}' v_R |v_R| + Y_{v\eta}' u_R v_R \left(\frac{\eta_s + \eta_p}{2} - 1 \right) \right] \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 \left[Y_{v|v|\eta}' v_R v_R \left(\frac{\eta_s + \eta_p}{2} - 1 \right) \right] \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 Y_{r\eta}' u_R r_R \left(\frac{\eta_s + \eta_p}{2} - 1 \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 \left[u_{p_p}^2 \left(\frac{Y_{RUD}}{2} \delta_p \right) + u_{p_s}^2 \left(\frac{Y_{RUD}}{2} \delta_s \right) \right] \\
& \left[w_{p_p}^2 \left(\frac{Y_*'}{2} \right) + w_{p_s}^2 \left(\frac{Y_*'}{2} \right) \right] \tag{2.33}
\end{aligned}$$

Burada,

$$Y_{RUD}' = Y_{\delta_r}'$$

$$w_{p_p}^2 = \left[AU(i) u_{rud}^2 + BU(i) u_{rud} D_p n_p + CU(i) D_p^2 n_p^2 \right]$$

$$w_{p_s}^2 = \left[AU(i) u_{rud}^2 + BU(i) u_{rud} D_p n_s + CU(i) D_p^2 n_s^2 \right]$$

(i=1, 2, 3, ve 4)

Denizaltı durumu için boyutsuz hidrodinamik katsayıların hızdan bağımsız olduğu düşünülür. Bu kabul özellikle düşük ve orta hızlarda çalışan konvansiyonel gemi tiplerine uygulandığında oldukça başarı sağlamaktadır. Sadece üç serbestlik derecesine - boy ötelenme, yan ötelenme, ve savrulma – sahip, yüzey gemi durumu için (surface ship case), bu hareketlerin dalıp çıkma, baş kış vurma ve yalpa hareketleri ile etkileşimi ihmal edilir. Ek olarak, pervane yüklemesindeki değişimin dümen katsayıları üzerindeki etkisinin daha iyi ifade edilebilmesi amacı ile özellikle eksenel denklemede (x doğrultusu) yapılan modifikasyonlar açıkça belirtilmiştir.

$$\begin{aligned}
I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} - u r) = & \frac{\rho}{2} L^5 \left(N_{\dot{r}}' \dot{r} + N_{r|r|}' r_R |r_R| \left\{ 1 + 2 \left[1 - \tanh \left| \frac{2u_R}{r_R L} \right| \right] \right\} \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^4 N_{\dot{v}}' \dot{v} + \frac{\rho}{2} L^4 \left(N_r' u_R r_R + N_{v|r|}' v_R |r_R| \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^5 \left(N_{v r^2}' v_R r_R^2 / U_R \right) + \frac{\rho}{2} L^4 N_{r \eta}' u_R r_R \left(\frac{\eta_s + \eta_p}{2} - 1 \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 \left[N_{v \eta}' u_R v_R + N_{v|v|}' v_R |v_R| \right] \left(\frac{\eta_s + \eta_p}{2} - 1 \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 \left[u_{p_p}^2 \left(\frac{N_{RUD}' \delta_s}{2} \right) + u_{p_s}^2 \left(\frac{N_{RUD}' \delta_s}{2} \right) \right] \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 \left[N_v' u_R v_R + N_{v|v|}' v_R |v_R| \right] + \frac{\rho_A}{2} L^3 N_A' u_A^2 \\
& + \frac{\rho}{2} L^2 u_R^2 \left(-y_s \left(\frac{b_i}{2} \eta_s + \frac{c_i}{2} \eta_s^2 \right) + y_p \left(\frac{b_i}{2} \eta_p + \frac{c_i}{2} \eta_p^2 \right) \right) \\
& + \frac{\rho}{2} L^3 \left[w_{p_p}^2 \left(\frac{N_*'}{2} \right) + w_{p_s}^2 \left(\frac{N_*'}{2} \right) \right] \tag{2.34}
\end{aligned}$$

Burada,

$$N_{RUD}' = N_{\delta_s}'$$

Çift pervaneli gemilerin manevra çalışmalarında, yüzey gemilerine ait manevra simülasyon programı, aşağıdaki ek koşulları/özellikleri içerecek şekilde düzenlenmiştir.

- İleri ve geri yöndeki hareket ve manevraların, sıfır hız değerinden geçişte sürekli simülasyonunun gerçekleştirilmesi.
- Hem ana dümenin hem de takviye dümenin (flanking rudder) ifade edilmesi.
- Farklı itme değerlerine sahip çift pervanenin ifade edilmesi.
- Dümen pervane etkileşimini de içeren düşük hız hidrodinamiğine bilhassa dikkat edilmesi.

Hareket denklemlerinin elde edilmesinde non-lineer katsayıların, ikinci mertebeye kadar ilerletilen polinomlara uygulanan en küçük kareler metodu vasıtası ile ifade edildiği mutlak-kare yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, diğer yüzey gemisi simülasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan üçüncü mertebe Taylor açılımı

yaklaşımı ile farklılık göstermektedir. Mutlak kare metodu, günümüzde aralarında daha önceden üçüncü mertebeden Taylor açılım yöntemini de kullanan birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir [3, 13]. Bu durumun başlıca nedeni, mutlak kare metodunun bilgisayar simülasyon çalışmalarında kullanılmaya daha elverişli olmasıdır. Diğer neden olarak, kuvvet ve moment katsayılarındaki nonlineerliğin ikinci mertebeden bir fonksiyon olma eğilimi gösteren çapraz akım direnci (cross-flow drag) ile yakından ilişkili olması gösterilebilir. Örneğin, maksimum dümen açısı ile çok büyük sürüklenme açılarındaki dönme manevrası yapan tipik gemilerde, dönme dairesi çapı genellikle üç gemi boyunu aşmamaktadır. Bu gibi ekstrem manevralarla ilgili non-lineer (doğrusal olmayan) katsayılardan bazıları, ampirik verilerle birleştirilmiş çapraz akım direnç teorisi kullanılarak başarılı bir biçimde elde edilebilir.

Hidrodinamik katsayılara ait uygun değerler için, denklem 2.32, 2.33 ve 2.34 ile gösterilen gemi hareket denklemleri, büyük genlikli zig zaglar, sert (tight) dönüşler ve diğer önemli hız değişimlerini içeren manevraları kapsayan sakin-derin sudaki tüm ileri doğrultudaki gemi hareket ve manevra yörüngelerinin tayin edilmesinde kullanılabilir. Benzer şekilde, hidrodinamik katsayılara ait farklı bir dizi başka değer kullanılarak denklemler, derin sudaki geri doğrultudaki gemi manevralarının tahmininde kullanılabileceği gibi, aynı denklemler sabit derinlikte sığ su için ileri ve geri doğrultudaki gemi manevralarının tayininde de kullanılabilir. Her bir farklı durum için temel matematik model, spesifik bir gemiyi ifade etmek için nümerik olarak elde edilen terimleri içeren hareket denklemleri kullanılarak tanımlanmıştır. Bu amaçla, tipik olarak deneysel yollarla elde edilmiş tüm hidrodinamik katsayıların nümerik değerlerine ek olarak, geminin uygun ataletsel ve geometrik karakteristik özelliklerini içeren eksiksiz bir giriş veri seti kullanılmaktadır [13].

Kullanılan programda hidrodinamik katsayılara, aşağıdaki kurallara uyacak şekilde değerler atanır.

- a. Aşağıdaki katsayılar $u_R > 0$ (ileri yönde hareket) veya $u_R < 0$ (geri yönde hareket) olmasına bağlı olarak iki değerden birini alır.

$$X'_{\dot{u}}, X'_{v_r}, X'_{v_v}, X'_{v_v\eta}, Y'_{\dot{r}}, Y'_{\dot{r}}, Y'_{r|r|}, Y'_{v|r|}, Y'^2_{v_r}, Y'_{r\eta}, Y'_v, N'_{\dot{r}}, N'_{\dot{r}}, N'_{r|r|}, N'_{\dot{v}}, N'_{v|r|}, N'^2_{v_r}, N'_{r\eta}$$

- b. Aşağıdaki katsayılar, bağıl sürüklenme açısına, β_R , bağlı olarak üç değerden birini alır.

$$\beta_R < \pm 30^\circ, \quad 30^\circ < \beta_R < 150^\circ, \quad 150^\circ < \beta_R < 210^\circ$$

$$Y'_v, Y'_{v|v|}, Y_{v\eta}, N'_v, N'_{v|v|}, N_{v\eta}$$

- c. Aşağıdaki katsayılar, u_R ve pervane dönüş doğrultusuna, $n = n_{p,s}$, bağlı olarak dört değerden birini alırlar.

$$u_R > 0, n > 0; u_R > 0, n < 0; u_R < 0, n > 0; u_R < 0, n < 0$$

$$N'_{\delta_r}, X'_{\delta_r \delta_r}, Y'_{\delta_r}, Y'_*, N'_*$$

$$u_p^2 \text{'nin hesabında } E(i), F(i), G(i)$$

$$w_p^2 \text{'nin hesabında } AU(i), BU(i), CU(i)$$

- d. Eksenel kuvvet denklemindeki net itmenin hesaplanmasında kullanılan AP , BP ve CP katsayıları gemi hızına ve pervane dönüşüne bağlı olarak sekiz farklı değerden bir tanesini alırlar.

2.6.2 Gemi Tekne Kuvvetleri

Boy ötelenme, yan ötelenme ve savrulma lineer ve non-lineer (doğrusal ve doğrusal olmayan) hidrodinamik kuvvetleri aşağıdaki boyutsuz katsayılar ile standart SNAME terminolojisi kullanılarak, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$X'_{\dot{u}}, X'_{v\dot{v}}, \dots, Y'_v, Y'_{v|v|}, \dots, N'_{v|v|}$$

Bu katsayılar a ait nümerik değerler, bölüm 3'de açıklanan yöntemler kullanılarak tayin edilebilir. Denklem 2.32, 2.33 ve 2.34 ile gösterilen hareket denklemleri, bağıl hız terimleri cinsinden yazılmıştır.

$$u_R = u - u_c, \quad v_R = v - v_c, \quad r_R = r - r_c \quad (2.35)$$

Burada u , v ve r gemi hızları ve u_c , v_c ve r_c ise gemi boyunca değişebilecek bir akım hızının tanımlanabilmesine olanak sağlayan akım hızlarıdır [13].

2.6.3 Çift Pervaneli Gemiler

Çift pervane-dümen aranjmanına sahip gemilerde, pervanelerden her biri değişik devir değerinde ve dönme yönünde çalışabilir. Pozitif pervane devri, geminin ileri doğrultudaki hareketinde pozitif itme sağlamak için tanımlanır. (2.32) ifadesindeki hareket denklemlerinde,

$$n_p = RPM(1) \quad \text{iskele pervanesi dönme hızı (devir/saniye)}$$

$$n_s = RPM(2) \quad \text{sancak pervanesi dönme hızı (devir/saniye)}$$

2.6.4 Pervane Kuvvetleri

Gemi direnci ve itmesine ait boyutsuz değer, pervane itme oranlarının, η_p ve η_s , bağılısı olarak aşağıda verilen ikinci dereceden 2.36 denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} X'_{res/prop} &= \frac{T - R}{\frac{1}{2} \rho L^2 u_R^2} \\ &= AP(I, J) + \frac{BP(I, J)}{2} \eta_p + \frac{CP(I, J)}{2} \eta_p^2 + \frac{BP(I, J)}{2} \eta_s + \frac{CP(I, J)}{2} \eta_s^2 \end{aligned} \quad (2.36)$$

Burada, T net pervane itmesi, R direnç, L gemi boyu, u_R geminin bağıl ilerleme hızı, $\eta_p = J_0 / J_p$ ve $\eta_s = J_0 / J_s$ sırası ile iskele ve sancak pervanelerinden kaynaklanan gemi itme oranları, $J_p = u_R / n_p D_p$ ve $J_s = u_R / n_s D_p$ sırasıyla iskele ve sancak pervaneleri pervane ilerleme katsayıları, D_p pervane çapı ve J_0 pervaneye ait dizayn ilerleme katsayısıdır.

J_0 değeri, gemi sevk noktası için $\eta_{p,s} = 1$, $J_{p,s} = J_0$ ve net pervane gücü sıfır olacak şekilde tanımlanmıştır.

$AP(I, J)$, $BP(I, J)$ ve $CP(I, J)$ katsayıları ($I = 2, J = 4$), çeşitli gemi hızı ve pervane dönme hızları için farklı değerlere sahiptir.

$$I = 1, u_R > 0 \text{ için ileri yönde hareket} \begin{cases} \text{Pozitif RPM ve } \eta_{p,s} \geq 1 \text{ için } \rightarrow J = 1 \\ \text{Pozitif RPM ve } 0 < \eta_{p,s} \leq 1 \text{ için } \rightarrow J = 2 \\ \text{Negatif RPM ve } -1 < \eta_{p,s} \leq 0 \text{ için } \rightarrow J = 3 \\ \text{Negatif RPM ve } \eta_{p,s} \leq -1 \text{ için } \rightarrow J = 4 \end{cases}$$

$$I = 2, u_R < 0 \text{ için geri yönde hareket} \begin{cases} \text{Pozitif RPM ve } \eta_{p,s} \geq 1 \text{ için} \rightarrow J = 1 \\ \text{Pozitif RPM ve } 0 < \eta_{p,s} \leq 1 \text{ için} \rightarrow J = 2 \\ \text{Negatif RPM ve } -1 < \eta_{p,s} \leq 0 \text{ için} \rightarrow J = 3 \\ \text{Negatif RPM ve } \eta_{p,s} \geq -1 \text{ için} \rightarrow J = 4 \end{cases}$$

2.6.5 Dümen kuvvetleri

Dümen(ler) tarafından meydana getirilen kuvvet ve momentler dümen(ler) üzerine gelen akım hızları esas alınarak aşağıdaki şekilde tanımlanırlar [13].

İskele Dümen

$$U_{p_p}^2 = [E(i)u_{rud}^2 + F(i)u_{rud}D_p n_p + G(i)D_p^2 n_p^2] \quad (2.37)$$

Sancak Dümen

$$U_{p_s}^2 = [E(i)u_{rud}^2 + F(i)u_{rud}D_p n_s + G(i)D_p^2 n_s^2] \quad (2.38)$$

Burada $i=1, 2, 3$ ve 4 ve $U_{rud} = \left[U_R^2 + v_R - r_R \frac{L^2}{2} \right]^{1/2}$ dümendeki üzerindeki toplam akım hızıdır.

Dümen kuvvetleri, 2.39, 2.40 ve 2.41 denklemleri kullanarak hesap edilir.

$$X_{rud} = \frac{1}{2} \rho L^2 \left[\frac{1}{2} XDRDR(i)U_{p_p}^2 \delta_p^2 + \frac{1}{2} XDRDR(i)U_{p_s}^2 \delta_s^2 \right] \quad (2.39)$$

$$Y_{rud} = \frac{1}{2} \rho L^2 \left[\frac{1}{2} XDRDR(i)U_{p_p}^2 \delta_p^2 + \frac{1}{2} YDRN(i)U_{p_s}^2 \delta_s^2 \right] \quad (2.40)$$

$$N_{rud} = \frac{1}{2} \rho L^3 \left[\frac{1}{2} XDRDR(i)U_{p_p}^2 \delta_p^2 + \frac{1}{2} NDRN(i)U_{p_s}^2 \delta_s^2 \right] \quad (2.41)$$

($i=1, 2, 3$ ve 4)

Burada, boyutsuz hidrodinamik dümen katsayıları $XDRDR(i)$, $YDRN(i)$ ve $NDRN(i)$ tanımlanmış giriş verileridir.

Dümen katsayıları ve $E(i)$, $F(i)$ ve $G(i)$ katsayıları aşağıdaki dört çalışma koşuluna karşılık gelir.

$$\text{İleri yönde hareket } u_R > 0 \begin{cases} \text{pozitif RPM için} \rightarrow i = 1 \\ \text{negatif RPM için} \rightarrow i = 2 \end{cases}$$

$$\text{Geri yönde hareket } u_R < 0 \begin{cases} \text{pozitif RPM için} \rightarrow i = 3 \\ \text{negatif RPM için} \rightarrow i = 4 \end{cases}$$

Bu gösterim bütün gemi hızları ve pervane devirleri için dümen kuvvetleri ve momentlerinin doğru olarak modellenmesine ve eşleştirilmesine olanak sağlar.

2.6.6 Diferansiyel İtme

Savrulma moment denklemi içerisinde yer alan ve diferansiyel pervane itmeleri nedeni ile meydana gelen dönme momenti aşağıdaki 2.42 ifadesi kullanılarak hesap edilir [13].

$$N_{dif.itm.} = \frac{1}{2} \rho L^2 u_R^2 \begin{bmatrix} Y_p \left(\frac{BP(I,J)}{2} \eta_p + \frac{CP(I,J)}{2} \eta_p^2 \right) \\ - Y_s \left(\frac{BP(I,J)}{2} \eta_s + \frac{CP(I,J)}{2} \eta_s^2 \right) \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

Burada,

Y_p iskele pervanesinin merkez hattından mesafesi [giriş dosyasında YCSP(1)]

Y_s sancak pervanesinin merkez hattından mesafesi [giriş dosyasında YCSP(2)]

2.6.7 Asimetrik Kuvvetler ve Momentler

Simetrik olmayan kuvvet ve momentler boyutsuz Y'_* [giriş dosyasında YSTAR(i)] ve N'_* [giriş dosyasında NSTAR(i)] şeklinde tanımlanmış ve 2.43 ve 2.44 denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$Y_{asym} = \frac{1}{2} \rho L^2 \left[w_{p_p}^2 \left(\frac{Y'_*}{2} \right) + w_{p_s}^2 \left(\frac{Y'_*}{2} \right) \right] \quad (2.43)$$

$$N_{asym} = \frac{1}{2} \rho L^2 \left[w_{p_p}^2 \left(\frac{N'_*}{2} \right) + w_{p_s}^2 \left(\frac{N'_*}{2} \right) \right] \quad (2.44)$$

Bu kuvvet ve momentlerin hesaplanmasında, dümen kuvvetlerinin tanımlanmasında da kullanılan w_{p_p} ve $w_{p_{ps}}$ hızları esas alınmıştır.

$$w_{p_p}^2 = [AU(i)u_{rud}^2 + BU(i)u_{rud}D_p n_p + CU(i)D_p^2 n_p^2]$$

$$w_{p_s}^2 = [AU(i)u_{rud}^2 + BU(i)u_{rud}D_p n_s + CU(i)D_p^2 n_s^2] \quad (i=1, 2, 3 \text{ ve } 4)$$

AU , BU ve CU katsayıları, dümen katsayılarına benzer şekilde tanımlanmıştır.

2.6.8 Sevk Oranına Bağlı Terimler

Bu terimler fiziksel olarak, pervanenin aşırı-yüklü veya az-yüklü çalışma durumları için, esasen pervane ve dümen arasındaki etkileşim nedeni ile meydana gelen tekne boy-ötelenme, savrulma ve yan-ötelenme kuvvetlerindeki değişimi ifade eder. Denklem (2.32)'deki hareket denklemlerinde ve veri dosyası içersinde aşağıdaki şekilde tanımlanmışlardır.

$$\begin{aligned} X'_{v\eta} &= X'VN(i) \\ Y'_{v\eta} &= Y'VN(i) \\ N'_{v\eta} &= N'VN(i) \end{aligned} \quad i = \begin{cases} u_R \geq 0 \text{ ve pozitif RPM için} \rightarrow 1 \\ u_R \geq 0 \text{ ve negatif RPM için} \rightarrow 2 \\ u_R < 0 \text{ ve pozitif RPM için} \rightarrow 3 \\ u_R < 0 \text{ ve negatif RPM için} \rightarrow 4 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} Y'_{r\eta} &= Y'RN(k) \\ N'_{r\eta} &= N'RN(k) \end{aligned} \quad k = \begin{cases} u_R \geq 0 \text{ ileri yönde hareket} \rightarrow 1 \\ u_R < 0 \text{ geri yönde hareket} \rightarrow 2 \end{cases}$$

2.6.9 Düşük Gemi Hızlarının ve Büyük Sürüklenme Açılarının Tanımlanması

Gerçek manevralarda, gemilerin, ileri ve geri doğrultudaki hızlarda, ve bazı durumlarda, büyük sürüklenme açıları ve düşük hızlarda idare edilmesi muhtemeldir. Bu gibi durumlarda meydana gelen hidrokinamik kuvvet ve momentlerin tam anlamı ile ifade edilebilmesi amacı ile, değişik bağıl sürüklenme açısı, β_R , aralıkları için farklı hidrokinamik katsayılar kullanılır [13].

$$\beta_R = \text{ArcTan}\left(-\frac{v_R}{u_R}\right)$$

$$U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}, \quad v_R = -U_R \sin \beta_R, \quad u_R = U_R \cos \beta_R$$

30° 'den küçük sürüklenme açıları, $|\beta_R| \leq 30^\circ$ ve 30° 'yi aşan sürüklenme açıları için iki farklı yan-ötelenme kuvvet ve moment katsayı veri seti mevcuttur.

Geniş kapsamlı deney verilerinin analizine dayanan non-lineer X_{vr} ve $N_{r|r|}$ hidrodinamik kuvvetleri 2.45 ve 2.46 denklemleri ile yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

$$X_{vr} = \frac{\rho}{2} L^3 \left[X'_{vr} |\cos \beta_r| - X'_{ur} |\sin \beta_r| \right] v_R r_R \quad (2.45)$$

$$N_{r|r|} = \frac{\rho}{2} L^5 N'_{r|r|} \left[3 - 2 \tanh \left| \frac{2u_R}{L r_R} \right| \cdot r|r| \right] \quad (2.46)$$

Bu formüller büyük sürüklenme açıları ve düşük hız rejimleri için gerçekçi gemi davranışının uygun şekilde ifade edilebilmesine olanak sağlar.

3. HİDRODİNAMİK TÜREV DEĞERLERİNİN ELDE EDİLMESİ

3.1 Giriş

Hidrodinamik türev değerleri genel olarak, deneysel, matematiksel yöntemler veya sistematik model deney sonuçlarından yararlanılarak elde edilen yarı teorik yarı ampirik formüller kullanılarak tayin edilir. Bu yöntemler içerisinde en güvenilir sonuçlar, sınırlı hareket serbestliğine sahip gemi modelleri ile gerçekleştirilen deneyler vasıtası ile elde edilen değerlerdir. Ancak bu, pahalı bir metot olup ayrıca uzun zaman alır. Aşağıda çeşitli deneysel ve ampirik/yarı-ampirik metotlar ayrı ayrı incelenecektir.

3.2 Hidrodinamik Türevlerin Sınırlandırılmış Model Deneyleri ile Elde Edilmesi

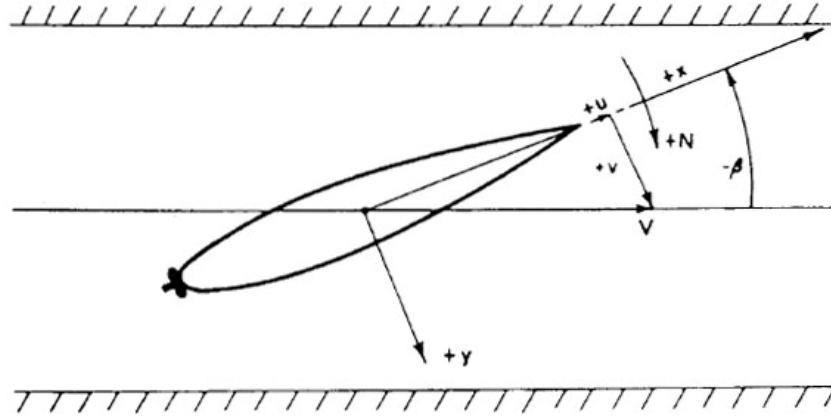
Deney havuzlarında gerçekleştirilen sınırlandırılmış model deneyleri, doğrusal çekme deneyleri, döner kol tekniği ile yapılan deneyler ve düzlemsel hareket mekanizması kullanılarak yapılan deneyler şeklinde sıralanabilir. Her bir yöntemde, gemi modeli, sürüklenme açısı, savrulma hızı, yan ötelenme ivmesi, savrulma ivmesi, pervane RPM'si ve dümen açısı gibi önemli değişkenlere ait uygun değişim aralıklarındaki değerler için test edilir. Sonuçlar, hareket denklemlerinde çözümünde kullanılacak hidrodinamik katsayıların bulunabilmesi için analiz edilir [12].

3.2.1 Doğrusal (Straight Line) Çekme Deneyi

Bu deneylerde model, temsil ettiği geminin su çekimi ve trimine geometrik olarak tamamen benzer koşullarda ve eşit Froude sayılarındaki hızlarda çekilir. $Y = Y_v \cdot v$ yanal kuvveti ile $N = N_v \cdot v$ momentinin elde edebilmesi için, model izlediği yörünge ile bir β sürüklenme açısı yapacak şekilde çekilir. Modelin deney havuzunda çekilme pozisyonu Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu şekilde çekilmekte olan modelin sancak bordası doğrultusunda meydana gelen hız, denklem 3.1 ile ifade edilmiştir [12].

$$v = -V \sin \beta \quad (3.1)$$

Gemi üzerindeki 0 başlangıç noktasında bulunan bir dinamometre ile çeşitli β sürüklenme açılarına karşılık gelen Y kuvvetleri ve N momentleri ölçülerek tayin edilir. Bu ölçüme ait değerler ait oldukları v hızları üzerine taşınmak suretiyle $Y = Y(v)$ ve $N = N(v)$ eğrileri elde edilir.



Şekil 3.1: Y ve N 'nin Tayininde Modelin Deney Tankındaki Yerleşimi [11]

Bu eğrilerin $v = 0$ noktasındaki teğet eğimlerinin ölçülmesi ile Y ve N türev değerleri bulunmuş olur. Bu değerler, modele ait L_m boyu, V_m hızı ve laboratuvar suyu yoğunluğu ρ_m ile boyutsuzlaştırılmak suretiyle 3.2 ve 3.3 denklemleri elde edilir [12, 13].

$$(Y'_v)_m = \left(\frac{Y_v}{\rho / 2L^2V} \right)_m \quad (3.2)$$

$$(N'_v)_m = \left(\frac{N_v}{\rho / 2L^3V} \right)_m \quad (3.3)$$

elde edilir. Boyutsuz model ve gemi değerlerinin birbirlerine eşit olduğu kabulü yapılarak,

$$(Y'_v)_{model} = (Y'_v)_{gemi}$$

$$(N'_v)_{model} = (N'_v)_{gemi}$$

yazılabilir. Buradan,

$$(Y_v)_{gemi} = (Y'_v)_{model} \rho / 2L_{gemi}^2 V_{gemi} \quad (3.4)$$

$$(N_v)_{gemi} = (N'_v)_{model} \rho / 2L_{gemi}^3 V_{gemi} \quad (3.5)$$

3.4 ve 3.5 ifadeleri ile gemi değerlerine geçiş yapılır. Sonuçlar kütle merkezinin konumuna bağlı olmadığından dinamometrenin, model kütle merkezi üzerinde alınmasına gerek yoktur. Dinamometre model orta noktası üzerinde sabitlenirse $x_G = 0$ olması nedeniyle elde edilen N_v değeri herhangi bir düzeltme yapılmasına gerek kalmaksızın kullanılabilir.

Genel olarak pervaneler hidrodinamik türevlerin önemli ölçüde değişmelerine neden olurlar. Dolayısı ile hidrodinamik türevlerin tayininde uygulanan model deneyleri, pervaneli modeller kullanılarak ve gemi sevk değerlerine benzer model sevk değerlerinde gerçekleştirilir. Benzer şekilde, dümen gemi kıçında orta noktada iken geminin doğrusal dengesine olumlu katkı sağladığından, model deneyleri de dümen orta durumda iken gerçekleştirilmelidir. Aynı tekniği kullanmak suretiyle kontrol kuvvet ve momentlerine ait Y_δ ve N_δ türevlerinin de elde edilmesi mümkündür. Bu durumda model, sürüklenme açısı $\beta = 0$ olacak şekilde çeşitli δ dümen açılarında çekilerek bu değerlere karşılık gelen Y kuvvetleri ile N momentleri dinamometre yardımı ile ölçülür. Ölçülen değerlerin, karşılık gelen δ dümen açıları üzerine taşınması ile elde edilen eğrilerin $\delta = 0$ civarındaki eğimleri hesaplanarak Y_δ ve N_δ değerleri tayin edilir. Ayrıca 3.6 ve 3.7 denklemlerinde $\beta_R = 0$ kabul edilerek, $Y_R = Y_\delta \cdot \delta$ ve $N = N_\delta \cdot \delta$ değerleri, izole dümene ait kaldırma ve direnç kuvvetleri kullanılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılabilir. Bu sayede, dümen-gemi sisteminin karşılıklı olarak birbirlerini etkileme dereceleri hakkında önemli bilgiler elde edilebilir [12].

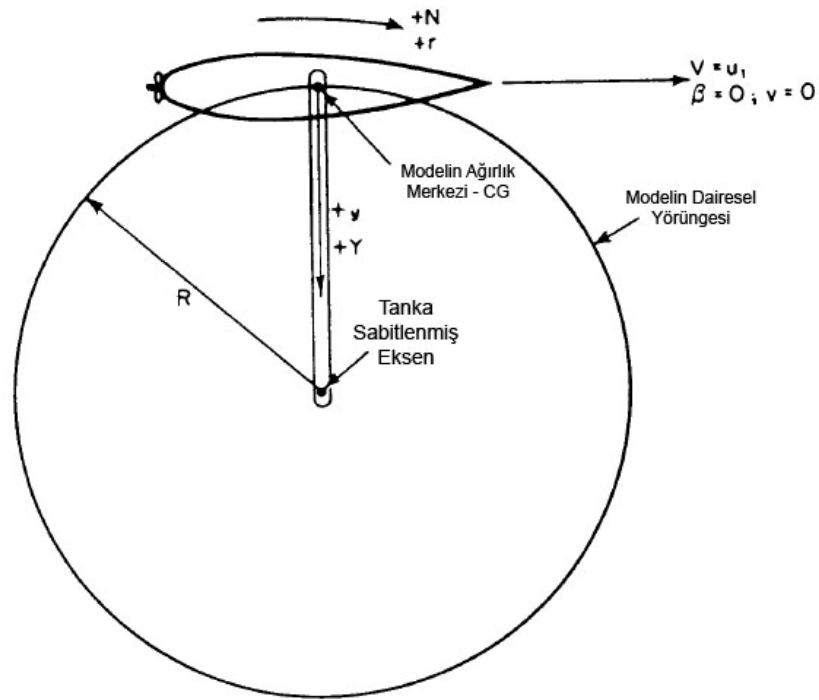
$$Y_R = Y_\delta \cdot \delta = \pm(L \cos \beta_R + D \sin \beta_R) \quad (3.6)$$

$$N_R = N_\delta \cdot \delta = Y_R \cdot x_R \quad (3.7)$$

Model çekme laboratuvarlarında gerçekleştirilen doğrusal çekme deneyleri vasıtası ile v yan hızının Y_δ ve N_δ üzerindeki, ve δ dümen açısının Y_v ve N_v üzerindeki çapraz birleşik etkileri de incelenebilir. Bu tarz çapraz büyüklükler, ancak lineer olmayan teoride gerekli olup lineer teoride kullanılmazlar.

3.2.2 Döner Kol Tekniği

Dönmedeki $Y_{\dot{\psi}}$ ve $N_{\dot{\psi}}$ türevlerinin deneysel yöntemlerle elde edilmesi için dairesel manevra laboratuvarları kullanılır. Deney havuzunun merkezinden geçen düşey bir eksen etrafında dönebilen bir kol yardımıyla, bu kolun ucuna sabitlenmiş gemi modeli, havuz içinde dairesel bir yörünge üzerinde döndürülür, Şekil 3.2. Model x-ekseni ve z-ekseni kola dik olacak şekilde tercihen model orta noktasından kola bağlanır. Bu şekilde döner kola tespit edilmiş olan model, sabit $\dot{\psi}$ açısal hızı ile döndürüldüğünde, bu hıza karşılık gelen lineer u_1 hızıyla suya karşı ilerlerken v yan öteleme hızı daima sıfır kalır. Ayrıca model döner kola dik olarak bağlanmış olduğundan hücum açısı $\beta = 0$ dır.



Şekil 3.2: Y ve N'nin Tayin Edilmesinde Modelin Döner-Kol Mekanizmasındaki Yerleşimi [11]

Deneylerde, model değişik R kol uzunluklarına karşılık gelen dönme yarıçaplarında, sabit bir u_1 lineer hızı ile döndürülür. Bu deneylerde modele etki eden yanıl kuvvetler ve momentler bir dinamometre yardımıyla ölçülür. Açısal hız, $\dot{\psi} = \frac{u_1}{R}$ şeklinde belirlendiğinden, farklı R yarıçapları için sabit u_1 lineer hızlarına karşılık gelen değişik $\dot{\psi}$ değerleri elde edilebilir. Model deneylerinden elde edilen Y ve N

değerleri yardımıyla $\dot{\psi} = 0$ noktasına karşılık gelen $Y_{\dot{\psi}}$ ve $N_{\dot{\psi}}$ türev değerleri bulunur. Gerçekleştirilen deneylerde gerektiğinde balast kullanılarak, modelin temsil ettiği gerçek gemi ile uygun trim ve su çekiminde yüzmesi sağlanır. Eğer model dönen kola boyuna kütle merkezinden bağlanmamış ise, $x_G \neq 0$ olduğundan dinamometrede $(N_{\dot{\psi}} - mx_G u_1)$ ve $(Y_{\dot{\psi}} - mu_1)$ değerleri ölçülür, ancak m , x_G ve u_1 değerleri bilindiğinden, bu kütle atalet etkileri sonuçlardan çıkarılmak suretiyle gerçek hidrodinamik $Y_{\dot{\psi}}$ ve $N_{\dot{\psi}}$ türevleri elde edilir [13].

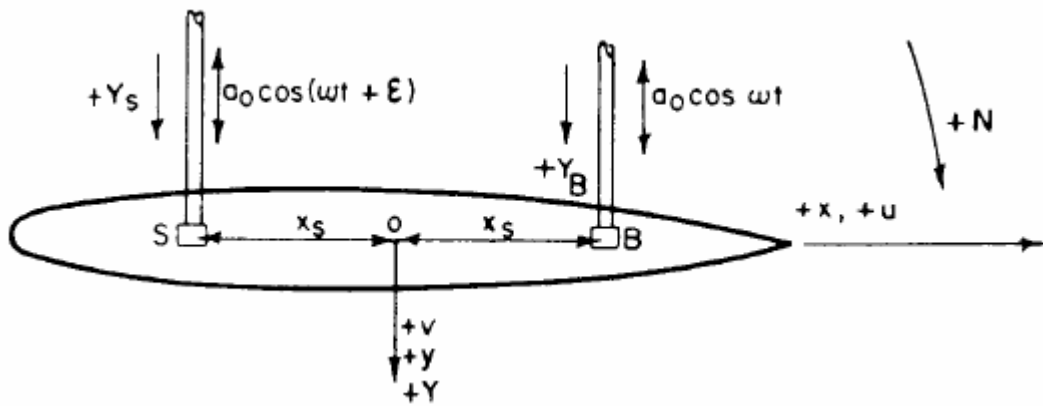
Model değerlerinden gemi değerlerine geçebilmek için bulunan hidrodinamik türevlerin boyutsuzlaştırılması gerekir. Bu yöntem kullanılarak yapılan deneylerde dümen, model kışına takılı ve orta durumda bulunmalı ayrıca modele ait pervaneler gemi sevk noktasında çalıştırılmalıdır. Döner kol tekniği kullanılarak Y_v ve N_v türevlerinin de elde edilebilmesi mümkündür. Bu maksatla model her bir $\dot{\psi}$ dönme hızına karşılık gelen değişik β değerlerinde döndürülür. Böylece, her $\dot{\psi}$ değerine karşılık gelen Y ve N değerleri bulunarak yanal hızı belirten $v = V \sin \beta = R \dot{\psi} \sin \beta$ apsis değerleri üzerine çizilir. Eğrinin $v = 0$ noktasına karşılık gelen eğim ölçülmek suretiyle deneyin yapılmış olduğu $\dot{\psi}$ değeri için Y_v ve N_v türev değerleri bulunur. Bu türev değerlerinin tekrar $\dot{\psi}$ üzerine çizilmesi suretiyle $\dot{\psi} = 0$ için Y_v ve N_v türev değerleri bulunmuş olur. Deneyin yapılmış olduğu $\dot{\psi}$ aralığı içinde, lineer teoriye göre bulunmuş olan Y_v ve N_v değerlerinin $\dot{\psi}$ 'ye göre değişiklik göstermemesi gerekir. $\dot{\psi}$ apsis eksenine çizilmiş olan Y_v ve N_v değerlerindeki değişimler, non-lineer etkilerin varlığından kaynaklanmaktadır. Döner-kol tekniği ile dümen kontrol kuvvetlerine ait Y_{δ} ve N_{δ} türevlerinin elde edilmesi de mümkündür. Bu değerler Y_v ve N_v türevlerinin elde edilmesinde uygulanan metotla elde edilir [12].

Döner-kol tekniği ile yapılacak her deney tek bir turda tamamlanmalıdır. Yani model dönme hızına kadar ivmelendirilmek suretiyle ölçmeler tek bir tur içerisinde tamamlanmalıdır. Aksi halde, model kendisinin harekete geçirmiş olduğu su akımının içine girmiş olacağından modelin suya göre gerçek hızında değişim olacaktır. Döner-kol tekniği ile $Y_{\dot{\psi}}$, $N_{\dot{\psi}}$, Y_v ve N_v değerlerinin $\dot{\psi} = 0$ noktasında elde edilebilmesi için $\dot{\psi}$ 'nün çok sayıdaki küçük değerlerine karşılık gelen Y ve N

değerlerinin ölçülmesi gereklidir. Bu R/L (dönme yarıçapı/model boyu) oranının büyük olmasını gerektirir. Bu halde, deneylerde kullanılan modellerin boyutları büyüdükçe R yarıçapının da aynı oranda büyümesi sonucu, çok büyük çaplı dairesel havuz ve döner kola sahip laboratuvarların kullanılması zorunlu hale gelir. Buna karşılık küçük modeller için küçük laboratuvarlar kullanılabilir. Ancak çok küçük modellerden gerçek gemi değerlerine geçişte ölçek etkisi çok artacağından yapılan tahminlerdeki doğruluk derecesi azalmış olur.

3.2.3 Düzlemsel Hareket Mekanizması (PMM) Tekniği

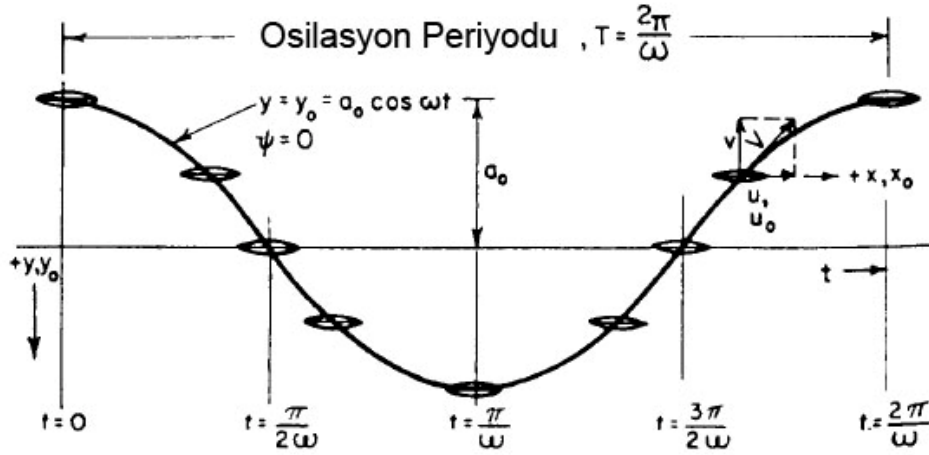
Döner-kol mekanizmalı dairesel havuzlu laboratuvarların yapımının çok pahalı olması nedeniyle direnç ve sevk laboratuvarlarında kullanılan model çekme arabasına monte edilebilen Düzlemsel Hareket Mekanizması ile yeni bir manevra laboratuvarına gerek kalmaksızın modele ait hidrodinamik türev değerlerinin elde edilmesi mümkündür. Esas itibariyle, düzlemsel hareket mekanizması yönteminde, deney havuzunda sabit hızla ilerleyen model çekme arabasına entegre edilmiş, gemi modeline başından ve kışından yanal doğrultuda ileri-geri salınım yaptırabilen iki osilatörden oluşan bir cihaz kullanılır. Bu salınım esnasında, model çekme arabasına bağlı gemi modelinin havuz boyunca sabit hızla ilerlemesi sağlanır. Modele ait hidrodinamik kuvvet ve momentler hassas ve oldukça karmaşık mekanik ve elektronik parçalardan oluşan dinamometreler kullanılarak ölçülür. Düzlemsel Hareket Mekanizması prensip olarak Şekil 3.3'de görüldüğü biçimde gemi modeline bağlanır.



Şekil 3.3: Düzlemsel Hareket Deneyinde Modelin Yerleşimi [11]

Düzlemsel hareket mekanizmasının baş osilatörü, gemi orta noktasından uzaklığı x_s olan gemi başına yakın bir B noktasına bağlanarak başın ω dairesel frekansında ve a_0 genliğinde yan olarak ileri-geri salınım yapması sağlanır. Aynı şekilde

mekanizmanın diğer osilatörü, gemi orta noktasından uzaklığı yine x_s olan kıça yakın bir S noktasına sabitlenerek kıçın da aynı ω frekansında ve a_0 genliğinde yan olarak salınım yapması sağlanır. Bu mekanizma yardımıyla, kıçın başa nazaran salınım hareketindeki faz farkının istenilen bir ε değerine ayarlanması daima mümkündür. Özellikle kıç ile baş arasındaki faz farkı $\varepsilon = 0$ yapılacak olursa, model, y-ekseni yönünde paralel kalarak ileri-geri tam bir salınım hareketi yapar. Bu halde Şekil 3.4'deki durum meydana gelir.



Şekil 3.4: Yan Ötelenme Hareketinde İzlenen Yörünge [11]

Böylece yanal salınım hareketi ve bu hareketteki yanal hız ve ivme değerleri 3.8 denklemleri ile ifade edilebilir [12, 13].

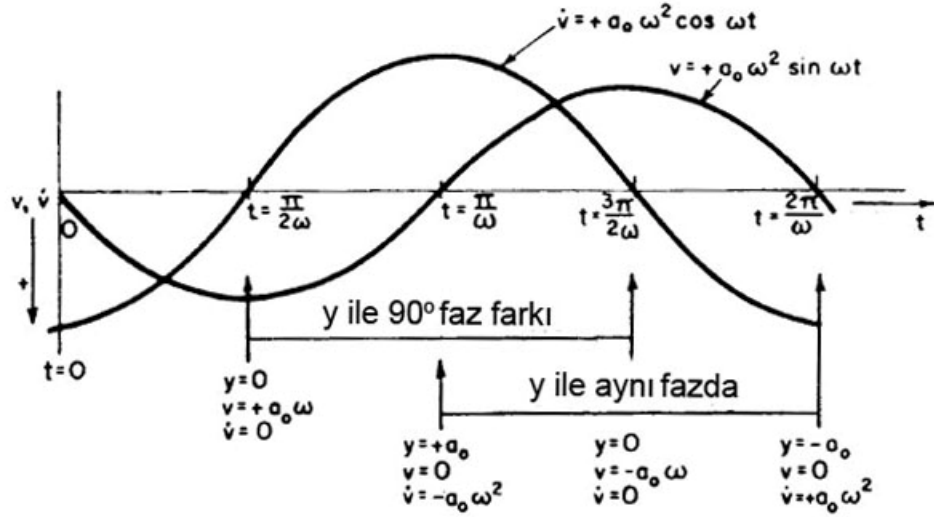
$$y = a_0 \cdot \cos \omega t$$

$$\frac{dy}{dt} = v = -a_0 \cdot \omega \sin \omega t$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \dot{v} = -a_0 \cdot \omega^2 \cos \omega t \quad (3.8)$$

Bu halde, model üzerindeki S ve B noktalarında bulunan iki dinamometre yardımıyla salınım hareketindeki yanal Y_S ve Y_B kuvvetleri ölçülerek $Y = Y_S + Y_B$ toplam yanal kuvveti bulunur. 3.8 denklemlerinden görüldüğü üzere yan salınım hareketi kosinüs fonksiyonuyla değiştiği halde, hız sinüs fonksiyonu ve ivme yine kosinüs fonksiyonuyla değişmektedir. Şekil 3.5'de görüleceği üzere, $\dot{v}$ ivmesinin sıfır olduğu anlarda v hızı maksimum değerini alır. Dolayısı ile bu anlarda ölçülmüş

olan Y kuvveti, yalnızca v hızının bir bağılısı olup, bu hız nedeniyle meydana gelmiştir. Yine v 'nin sıfır olduğu anlarda $\dot{v}$ maksimum değerine ulaştığından v 'nin sıfır olduğu anlarda ölçülmüş olan Y kuvveti yalnızca $\dot{v}$ ivmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.5: Modelin Yanal Doğrultudaki Doğrusal Hız ve İvmeleri [11]

Bu halde y ve $\dot{v}$ 'nin sıfır olduğu $t = \frac{\pi}{2\omega}$, $t = \frac{3\pi}{2\omega}$, ... anlarında ölçülen değerler (Y_S) ve (Y_B) olduğuna göre,

$$Y_v = \frac{\partial Y}{\partial u} = \frac{(Y)}{-a_0\omega} = \pm \frac{(Y_S) + (Y_B)}{-a_0\omega} \quad (3.9)$$

bulunur. Yani $Y-v$ diyagramında $v_{\max} = -a_0\omega$ apsis değerine, ordinat ekseninde $(Y_S) + (Y_B)$ değeri karşılık gelir. Dolayısı ile, $Y = Y_v$ eğrisinin $v = 0$ civarındaki eğimi, Y_v , 3.9 denklemi ile belirlenmiş olur.

Şekil 3.3'de verilmiş olan modelin gemi orta noktası etrafında dönmesi sonucu oluşan hidrodinamik moment $N = [(Y_B) - (Y_S)]x_S$ olduğundan ve $N-v$ diyagramında $v_{\max} = -a_0\omega$ apsis değerine $N = [(Y_B) - (Y_S)]x_S$ ordinatı karşılık geldiğinden $v = 0$ civarındaki N_v eğrisinin eğimi,

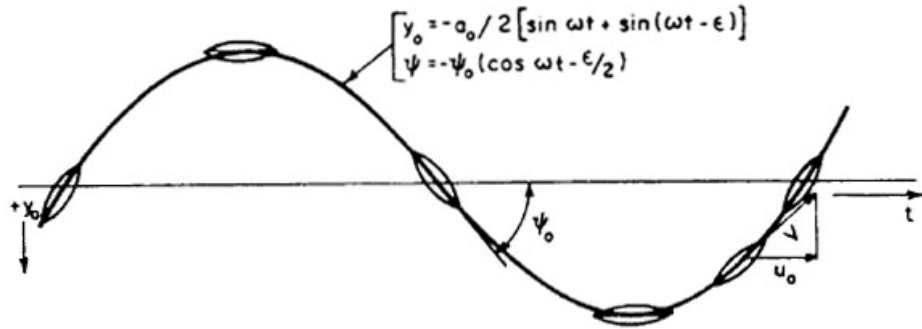
$$N_v = \pm \frac{[(Y_B) - (Y_S)]x_S}{-a_0\omega} \quad (3.10)$$

olur. Deneyler çeşitli ω değerlerinde tekrarlanmak suretiyle Y_v ve N_v 'nin ω frekansına ne şekilde bağlı olduğu hakkında da ayrıca bilgi edinilebilir. $\dot{v}$ yanal ivmesine göre hidrodinamik büyüklüklere ait türev değerlerinin bulunabilmesi için v 'nin sıfır ve $\dot{v}$ 'nün maksimum olduğu $t = \frac{\pi}{\omega}$, $t = \frac{2\pi}{\omega}$, ... anlarında ölçülmüş olan (Y_S) ve (Y_B) değerlerinden yararlanılır. 3.9, 3.10 formüllerine benzer şekilde [12],

$$Y_{\dot{v}} - m = \pm \frac{(Y_S) + (Y_B)}{-\omega^2 a_0}, \quad N_{\dot{v}} - m x_G = \pm \frac{(Y_B) - (Y_S)}{-\omega^2 a_0} x_S \quad (3.11)$$

elde edilir.

Düzlemsel hareket mekanizması vasıtası ile dönmedeki $Y_{\dot{\psi}}$ ve $N_{\dot{\psi}}$ türev değerlerinin bulunabilmesi için, ölçümlerin $v = \dot{v} = 0$ koşulunda ve $\dot{\psi}$ dönme hızlarının sıfır olduğu anlarda yapılması gereklidir. Bu maksatla, sabit hızla deney havuzu boyunca çekilen modelin boy simetri eksenini, izlemiş olduğu sinüzoidal yörüngeye her an teğet kalacak şekilde ayarlanır. Böylece modele bağlı eksen takımına göre yan öteleme hareketi olamayacağından $v = \dot{v} = 0$ olma şartı gerçekleşmiş olur. Deney havuzu boy eksenine göre model, $y_0 = -\frac{a_0}{2} [\sin \omega t + \sin(\omega t - \epsilon)]$ ile belirlenen bir yan harekete ek olarak boy eksenini doğrultusunda sabit u_0 hızı ile ilerlemek suretiyle sinüzoidal bir yörünge izleyerek, bu yörüngeye her noktada teğet olan dönme hareketleri yapar. Eğer baş ve kık osilatörler arasındaki faz farkı $\epsilon = 2 \arctg \frac{\omega x_S}{u_0}$ olacak şekilde ayarlanırsa, modelin boy simetri eksenini izlenen yörüngeye teğet kalacak biçimde hareket etmesi sağlanır.



Şekil 3.6: Rotadan Sapma Hareketinde Yörünge ve Modelin Yerleşimi [11]

Bu şekilde açıklanmış ve Şekil 3.6'da gösterilmiş olan dönme hareketi, dönme açısal hızı ve dönme açısal ivmesi aşağıdaki 3.12 bağıntıları ile ifade edilebilir [12, 13].

$$\begin{aligned}\psi &= -\psi_0 \cdot \cos(\omega t - \varepsilon / 2) \\ \dot{\psi} &= +\psi_0 \cdot \omega \sin(\omega t - \varepsilon / 2) \\ \ddot{\psi} &= +\psi_0 \cdot \omega^2 \cos(\omega t - \varepsilon / 2)\end{aligned}\tag{3.12}$$

Burada ψ_0 , dönmedeki genlik değeridir.

3.12 bağıntılarından görüldüğü üzere dönme ile dönmedeki ivme aynı fazdadır, yani her ikisi de kosinüs fonksiyonlarının bağılısıdır. Buna karşılık dönme hızı 90° lik faz farkına sahiptir, yani sinüs fonksiyonunun bağılısıdır. $\cos(\omega t - \varepsilon / 2) = 0$ olduğu anlarda, $|\dot{\psi}|$ en büyük değerine ulaşmış olacağından ölçülen (Y_S) ve (Y_B) değerleri yalnızca dönme hızlarından kaynaklanmaktadır. Buradan,

$$\begin{aligned}Y_{\dot{\psi}} - mu_1 &= \pm \frac{(Y_B) + (Y_S)}{-\psi_0 \omega} \\ N_{\dot{\psi}} - mx_G u_1 &= \pm \frac{[(Y_B) - (Y_S)]x_S}{-\psi_0 \omega}\end{aligned}\tag{3.13}$$

Elde edilir.

Eğer, $\sin(\omega t - \varepsilon / 2) = 0$ olduğu anlarda ölçülmüş olan (Y_S) ve (Y_B) kuvvetleri kullanılırsa, $\dot{\psi}$ değerleri sıfır olacağından (Y_S) ve (Y_B) kuvvetleri yalnızca dönme açısal ivmeleri nedeni ile meydana gelmiş olacaklarından,

$$\begin{aligned}Y_{\ddot{\psi}} - mx_G &= \frac{\pm [(Y_B) + (Y_S)]}{-\psi_0 \omega^2} \\ N_{\ddot{\psi}} - I_Z &= \frac{\pm [(Y_B) - (Y_S)]}{-\psi_0 \omega^2} x_S\end{aligned}\tag{3.14}$$

yazılabilir. Tüm bu deneyler, dümen ve pervaneler modele takılı olarak, dümen orta konumda ve pervaneler gemi sevk noktasında çalışırken yapılmalıdır.

3.3. Hidrodinamik Türevlerin Yarı-ampirik Yöntemlerle Hesaplanması

Günümüzde, ivme ve hız türevlerinin nümerik değerlerinin elde edilmesinde kullanılan en güvenilir yöntemler, düzlemsel hareket mekanizması veya dönen kol yöntemi ile gerçekleştirilen sınırlandırılmış model deneyleridir. Diğer yandan, bu yöntemler pahalı ve zaman alan yöntemler olduğundan türevlerin genel gemi geometrisi bilgileri kullanılarak hesaplanabilmesi büyük avantajlar sağlayabilir. Bu hesaplamalar gövde geometrisinde büyük oranda kanat ve kanatçıkların hakim olduğu hava taşıtları ve güdümlü füzelerde başarı ile gerçekleştirilmiştir. Gemi uygulamasında ise, düz ve geniş dengeleyici yüzeyler bulunmadığından ve tekne etrafındaki akım viskozitenin varlığı nedeni ile büyük oranda değişim gösterdiğinden, kullanılan narin gövde teorisi ve dilim metodu ile çok yaklaşık sonuçlar elde edilememiştir. Hidrodinamik türevlerin hesaplanmasında kullanılan temel yaklaşımlar, Jones ve Clarke tarafından uygulanan dilim teorisi, W.Smitty, Inoue ve Norrbinn tarafından uygulanan yarı ampirik metotlar ve Clarke tarafından gerçekleştirilen çoklu regresyon analizine dayanan yöntemler şeklinde özetlenebilir [2].

3.3.1 Dilim Teorisi

Türevlerin hesaplanması için gerçekleştirilen önceki denemeler sonucunda gemi teknesi için, düşük yan oranına sahip, yan döndürülmüş bir kanat kabulünün yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Jones'a ait düşük yan oranlı kanat teorisi kullanılarak, türevler için, geminin boy ve su çekimine ait fonksiyonlar olan ve belirli sabit faktörlerle çarpılmış, aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir [2].

$$\begin{aligned} Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2(1), & Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2(0) \\ N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2(0), & N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(\frac{1}{12}\right) \\ Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2(1), & Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(-\frac{1}{2}\right) \\ N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(\frac{1}{2}\right), & N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(\frac{1}{4}\right) \end{aligned} \quad (3.15)$$

burada, T gemi su çekimi ve L dikeyler arası boydur.

Tekne boyunca alınacak kesitler için C_H boyuna ek kütle katsayılarını kullanarak, Clarke narın gemi dilim metodunu geliştirerek, türevler için, gemi şekline, boyuna ek kütle dağılımı üzerinden bağlı olan ifadeler elde etmiştir. Bu ifadeler, 3.15 denklemlerinde olduğu gibi $-\pi(T/L)^2$ faktörüne aynı oranda bağlıdır, ancak sabit faktörler ek kütle dağılımının entegral fonksiyonları ile değiştirilmiştir [2].

$$\begin{aligned}
Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 \int_{bas}^{kic} C_H dX' \\
Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 \int_{bas}^{kic} C_H X' dX' \\
N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 \int_{bas}^{kic} C_H X' dX' \\
N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 \int_{bas}^{kic} C_H X'^2 dX' \\
Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 [C_H]_{kic} \\
Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 [C_H X']_{kic} \\
N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 [[C_H X']_{kic} + \int_{bas}^{kic} C_H dX'] \\
N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 [[C_H X'^2]_{kic} + \int_{bas}^{kic} C_H X' dX']
\end{aligned} \tag{3.15}$$

burada, C_H , gemi ortasından X/L boyutsuz uzaklığında bulunan X' istasyonundaki sıfır frekans ek kütle katsayısıdır.

Dikkat edilirse, tüm gemi kesitleri için $C_H = 1$ olduğunda 3.16 denklemleri, 3.15 denklemlerine indirgenmektedir.

3.15 denklemleri ile verilen türev ifadelerinin elde edilmesi için yapılan önceki denemeler, viskozitenin kıç bölgesinde baskın rol oynaması dolayısı ile başarılı olamamıştır. Schmitz, entegrasyonların kıça yakın bir noktaya kadar uygulanmasını, kalan bölgenin yaptığı katkısının ihmal edilmesini teklif etmiştir. Gemi gövdesini

etkin biçimde sonlandırılarak, küt dipli füze şekli ile kıyaslanabilecek duruma getirme esasına dayanan bu yaklaşımın olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir [2]. Clarke, bu yaklaşımı incelemiş ancak kesilme noktasının her bir türev değeri için farklı olması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

İvme ve hız türevlerinin narin gövde dilim metodu ile direkt olarak elde edilmesi pratik bir metot olmadığından, türevlerin dizayn amaçları ile elde edilmesinde yarı ampirik bir yaklaşımın kullanılması daha uygulanabilir bir yöntem teşkil etmektedir.

3.3.2 Yarı ampirik Metotlar

Hız ve ivme türevlerinin hesaplanmasındaki zorluklar göz önünde bulundurulduğunda, türevler için düzlemsel hareket ve döner kol deneyleri ile elde edilen verilere dayanan ampirik ifadelerin türetilmesi alternatif bir yaklaşım teşkil edebilir. Hız türevlerinin bu yaklaşımla elde edilebilmesi için birçok girişimde bulunulmuştur.

Düzlemsel hareket mekanizması yöntemi kullanılarak ölçülen hız türev değerlerini inceleyen Wagner Smitt, aşağıdaki ampirik formülleri önermiştir [2],

$$Y'_v = -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 (1,59)$$

$$Y'_r = -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 (-0,32)$$

$$N'_v = -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 (0,62)$$

$$N'_r = -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2 (0,21) \quad (3.16)$$

Burada, Wagner Smitt tarafından verilen sabit terimler 3.15 denklemleri ile benzer formda yeniden ifade edilmiştir. Yukarıdaki nihai sabit terimler, levha yaklaşımı ile elde edilen 3.15 denklemlerindeki sabit terimler ile karşılaştırıldığında, levha yaklaşımının Y'_v ve N'_v türevlerine düşük, Y'_r ve N'_r türevlerine ise yüksek olarak değer biçtiği görülmektedir.

Benzer bir çalışmada, Norrbın hız türevlerinin deneysel ölçümlerini analiz ederek aşağıdaki ifadeleri elde etmiştir [2],

$$\begin{aligned}
Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left[1,69 + 0,08\frac{C_B}{\pi}\frac{B}{T}\right] \\
Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left[-0,645 + 0,38\frac{C_B}{\pi}\frac{B}{T}\right] \\
N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left[0,64 - 0,04\frac{C_B}{\pi}\frac{B}{T}\right] \\
N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left[0,47 - 0,18\frac{C_B}{\pi}\frac{B}{T}\right]
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Inoue tarafından çeşitli yükleme koşulları için geniş bir tekne form aralığını kapsayan bir dizi döner kol testi gerçekleştirilmiş, ayrıca hız türevlerinin tekne form parametreleri ile korelasyonu ve trimin etkileri incelenmiştir. Inoue tarafından elde edilen ampirik formüller aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [2],

$$\begin{aligned}
Y'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left[1,0 + \frac{1,4}{\pi}\frac{B}{T}\right] \\
Y'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2(-1/2) \\
N'_v &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(\frac{2,0}{\pi}\right) \\
N'_r &= -\pi\left(\frac{T}{L}\right)^2\left(\frac{1,04}{\pi} - \frac{4,0}{\pi}\frac{T}{L}\right)
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Tüm bu ampirik formüller incelendiğinde, literatürde bu dört lineer hız türev değeri hakkında çok çeşitli kanılar olduğu görülmektedir. Bu çeşitliliğin, çalışmalarda farklı veri setlerinin kullanılmasının, farklı aralıktaki tekne geometrilerinin incelenmesinin, deneylerin gerçekleştirildiği deney havuzu ve model boyutlarının çeşitlilik göstermesinin ve kullanılan ölçüm sistemlerinin bir neticesi olduğu düşünülmektedir. Tutarsızlığın bir diğer nedeni ise hız türevlerinin tayin edilmesinde kullanılan verilerin analizinde uygulanan eğri uydurma teknikleridir.

3.3.3 Çoklu Regresyon Analizi

Çoklu lineer regresyon, ölçülmüş türevlere ait mevcut verilerin varyasyonunu açıklayabilecek ampirik formüllerin bulunabilmesi amacı ile Clarke tarafından

kullanılmıştır. Clarke, ilki döner kol deneylerinden elde edilen ve Y'_v , N'_v , Y'_r ve N'_r değişkenlerine ait 36 farklı ölçüm içeren, ikincisi, düzlemsel hareket deneyleri ile elde edilen 36 ölçümden meydana gelen ve Y'_v , N'_v , Y'_r , N'_r , $Y'_\dot{v}$, $N'_\dot{v}$, $Y'_\dot{r}$ ve $N'_\dot{r}$ değişkenlerini içeren iki farklı veri seti kullanmıştır. Ölçülen tüm ivme ve hız türevleri $-\pi(T/L)^2$ faktörü ile bölünerek normalize edilmiş değişkenlere dönüştürülmüştür.

Bir dizi temel tahmin değişkeni aşağıdaki şekilde seçilmiştir [2],

$$C_B, L/B, L/T, B/T, B/L, T/L, T/B.$$

Daha sonra bu terimlere temel değişkenlerin kareleri ve her temel veri çiftinin çarpımları eklenmiştir.

Kullanılan regresyon denklemi,

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots$$

Burada y bağımlı değişken, $x_1, x_2, \dots$ tahmin değişkenleri, b_0 levha durumu için y 'nin önceden tahsis edilen değeri ve $b_1, b_2, \dots$ regresyon katsayılarıdır.

Denklemin formu itibarı ile, sadece levha durumu için sıfıra yaklaşan tahmin değişkenlerinin denkleme dahil edilmeleri söz konusudur.

Bu nedenle nihai tahmin değişkenleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [2]:

$$B/T, B/L, T/L, (B/T)^2, (B/L)^2, (T/L)^2$$

$$C_BB/T, C_BB/L, C_BT/L, B^2/TL, BT/L^2$$

Bağımlı değişkenlerden her biri için, basit tahmin değişkenlerinin tercih edildiği keşif amaçlı bir yaklaşım kullanılmıştır.

Regresyon ilk olarak üç lineer değişkenden her biri için elde edilmiş, daha sonra diğer terimlerin denkleme eklenmesinin etkileri tahkik edilmiştir. Her aşamada, daha yüksek dereceli bir terimin dahil edilmesine, eklenecek yüksek dereceli terimi oluşturan lineer bileşenler (terimler) üzerindeki üstünlüğü değerlendirilerek karar verilmiştir. Regresyon denklemlerinde önceden tahsis edilmiş sabitler kullanıldığında

istatistiksel sorunlar ortaya çıktığından, uydurulmuş (fitted) sabitlerin kullanıldığı paralel analizler gerçekleştirilmiştir.

Y'_v , N'_v , Y'_r ve N'_r hız türevleri için regresyon analizi, döner kol tekniği ile 24 farklı ölçüm sonucunda elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu veriler aynı deney tesisatı kullanılarak elde edildiğinden, düşük artık değişkenlik sağlanmış, böylece bağıntıların saptanması kolaylaştırılmıştır.

Hız türevlerinin tayini için verilen aşağıdaki 4 denklem, veri havuzu, diğer denklemler ise düzlemsel hareket verileri kullanılarak elde edilmiştir [2].

$$\begin{aligned}
-N'_r / \pi(T/L)^2 &= 1/4 + 0,039B/T - 0,56B/L \\
-Y'_r / \pi(T/L)^2 &= 0,67B/L - 0,0033(B/T)^2 \\
-N'_v / \pi(T/L)^2 &= 1,1B/L - 0,041B/T \\
-N'_r / \pi(T/L)^2 &= 1/12 + 0,017C_B B/T - 0,33B/L \\
-Y'_v / \pi(T/L)^2 &= 1 + 0,40C_B B/T \\
-Y'_r / \pi(T/L)^2 &= -1/2 + 2,2B/D - 0,80B/T \\
-N'_v / \pi(T/L)^2 &= 1/2 + 2,4T/L
\end{aligned} \tag{3.19}$$

Y'_v ve N'_v denklemlerinin özel olarak incelenmesi gerekmektedir çünkü sadece bir tahmin değişkeni içermektedirler. N'_v için türevin ortalama değerinden belirgin ölçüde daha iyi bir denklem elde edilememiştir. Seçilen T/L değişkeni en düşük artık hatayı vermiştir.

Regresyon analizi, türevleri tekne parametreleri terimleri cinsinden ifade eden 3.19 denklemlerinin elde edilebilmesine olanak sağlar, ancak yine de elde edilen sonuçlar tatmin edici değildir. Bu tarz çalışmaların başarılı olabilmesi için çok daha fazla verinin kullanılmasının gerekliliği açıktır [2]. Regresyon analizi, mevcut türev verilerindeki tüm değişimi hesaba katmamakla birlikte tekne form parametrelerine bağlı olarak elde edilen ifadeler levha ve narin gövde teorilerini büyük ölçüde geliştirmiştir.

4. GEMİLERLE YAPILAN DÖNME MANEVRA DENEYLERİ VE DÖNME MANEVRALARINDA YÖRÜNGE KARAKTERİSTİKLERİ

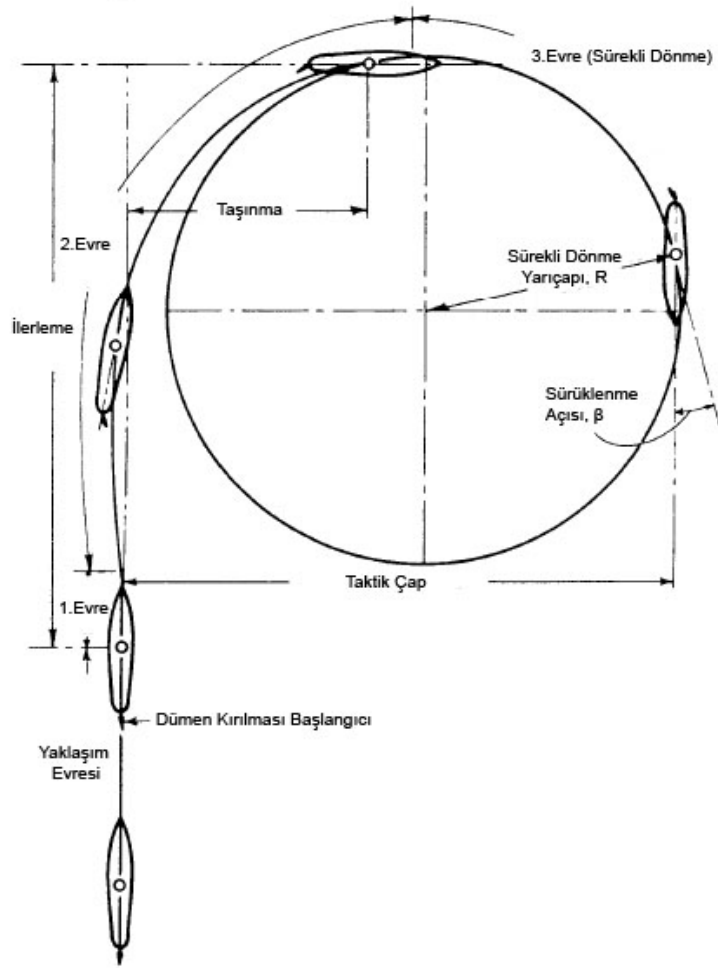
4.1 Giriş

Deniz taşıtları, tüm yükleme durumları için, yüksek ve orta yükseklikteki hızlarda ve sakin su veya rüzgarlı ve sert deniz koşullarında, rotalarını takip edebilme, liman ve sınırlandırılmış kanallarda güvenle manevra yapabilme ve kabul edilebilir mesafelerde durabilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Gemi manevra karakteristiklerinin tanımlanması için yaygın olarak kullanılan tam-ölçekli denemeler vasıtası ile gemiye ait hareket karakteristiklerinin ölçülmesi, doğrusal stabilite özelliklerinin elde edilmesi ve kontrol sistemlerinin tepki ve limitlerinin değerlendirilmesi mümkündür. Bu karakteristikler önceden belirlenmiş bir hızın korunduğu ve rotanın izlendiği veya sistematik şekilde değiştirildiği testler ile elde edilebilir. Tam ölçekli manevra deneyleri, gemi sahiplerine ve gemi inşaatı mühendislerine gemi işletim karakteristikleri ve geminin rota-tutma, rota değiştirme ve acil durum manevra karakteristikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Gemilerle yapılan belli başlı manevra deneyleri, Dieudonné-spiral manevra deneyi, Bech-spiral manevra deneyi, zig-zag manevra deneyi, durma manevra deneyi ve dönme manevra deneyi olarak sıralanabilir. Literatürde, tüm bu manevra deneylerinin özellikleri, gerçekleştirilme prosedürleri ve bu deneyler vasıtası ile elde edilen veriler hakkında detaylı bilgiler içeren çok sayıda kaynak mevcuttur.

Gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilmesi için yapılan denemeler, inşa edilmiş tam-ölçekli bir gemi ile açık deniz koşullarında gerçekleştirilmelerine rağmen, geminin davranışları matematiksel modeller kullanan simülasyon programları veya çok sayıda gemi tecrübesinin regresyon analizi sonuçlarına dayanan ampirik veya yarı-ampirik tahmin yöntemleri kullanılarak dizayn aşamasının erken safhalarında tayin edilebilir. İlerleme, taşınma ve hız kaybının tahmin edilmesi için kullanılan eşitlikler taktik çapa bağlı doğrusal fonksiyonlar olarak tanımlanabilir.

4.2 Dönme Manevra Deneyi

Dönme manevra deneyi, önemli oluşu ve pratikte sıklıkla uygulanma gerekliliği nedeni ile eskiden beri gemilere uygulanan ve gemi manevraları arasında en çok üzerinde durulan manevra türüdür. Dönme hareketinin son evresini oluşturan sürekli dönme hareketi, diğer manevra deneylerine oranla analitik olarak en fazla incelenmiş gemi manevra hareketidir. Şekil 4.1’de dümenin sancak yönünde delta açısı kadar kırılmış olduğu durum için dönme manevrası yörünge karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Dönme Manevrasında Yörünge Karakteristikleri [12]

4.2.1 Dönme Manevrasının Evreleri

Doğrusal bir yörünge üzerinde ilerleyen bir gemide eğer dümen alabandaya döndürülür ve bu durumda sabit olarak tutulursa bu işlem den önce ve sonra olmak üzere geminin hareketi aşağıdaki karakteristikleriyle birbirinden ayrılan dört farklı evrede incelenebilir.

Yaklaşım evresi $\dot{v} = 0, \ddot{\psi} = 0, v = 0, \dot{\psi} = 0$

Dönmenin birinci evresi $\dot{v} \neq 0, \ddot{\psi} \neq 0, v = 0, \dot{\psi} = 0$

Dönmenin ikinci evresi $\dot{v} \neq 0, \ddot{\psi} \neq 0, v \neq 0, \dot{\psi} \neq 0$

Dönmenin üçüncü evresi $\dot{v} = 0, \ddot{\psi} = 0, v \neq 0, \dot{\psi} \neq 0$

4.2.1.1 Yaklaşım Evresi

Yaklaşım evresi, gemi doğrusal yörüngesi üzerinde, sevk sisteminin T itme ve suyun R direnç kuvvetleriyle dengelenmiş halde u_1 hızı ile ilerlerken dümenin alabandaya kırılmaya başlaması anına kadar süren evredir, Şekil 4.1.

4.2.1.2 Dönmenin Birinci Evresi

Dönmenin birinci evresi, dümenin alabandaya kırılması anından itibaren başlayıp dümenin orta konumla maksimum açı yapacak şekilde alabandaya dönmesine kadar devam eder, Şekil 4.1. Bu evre içinde doğan $Y_R = Y_\delta \delta$ dümen kuvveti bileşeni ile $N_R = N_\delta \delta$ dümen momenti, gemide, geminin ve civar suyun ataletiyle karşılaşan $\dot{v}$ ve $\ddot{\psi}$ ivmelerini oluştururlar. Bu evre içinde gemi kendi etrafında dönmeye fırsat bulamadığından $\beta \cong \frac{v}{V}$ sürüklenme açısı veya (gelen akımla geminin yapmış olduğu hücum açısı) sıfırdır. Ayrıca $\dot{\psi}$ açısal hızı da ihmal edilebilecek düzeydedir. Dolayısı ile bu büyüklüklerin oluşturduğu yan su kuvvetleri sıfır kabul edilebilir. Böylece 4.3 denklemlerinde geçen bu kuvvetler sıfır alınmak sureti ile,

$$(m' - Y'_v)\dot{v}' - (Y'_\psi - m'x'_G)\ddot{\psi}' = Y'_\delta \delta$$

$$(I'_Z - N'_\psi)\ddot{\psi}' - (N'_v - m'x'_G)\dot{v}' = N'_\delta \delta \quad (4.1)$$

4.1 denklemleri ile verilen dönmenin birinci evresine ait lineerleştirilmiş hareket denklemleri elde edilir [12]. Yukarıdaki denklem sisteminden, dönmenin bu evresine ait $\dot{v}$ ve $\ddot{\psi}$ ivmeleri tayin edilir. Bu evrede oluşan $\dot{v}$ yan ivmesi geminin iskele tarafına yönelik ve pozitif olmasına rağmen geminin dönmesi sancak tarafa doğru olacaktır.

4.2.1.3 Dönmenin İkinci Evresi

Dönmenin ikinci evresinde, Şekil 4.1, örneğin sancak alabandaya kırılmış olan dümen, gemiye bağlı eksen takımında bileşenleri X_R ve Y_R olan P_R dümen kuvvetini doğurur. Bunun z-ekseni etrafındaki momenti $N_R = Y_R \cdot x_R$ olup gemiyi z-ekseni etrafında döndürür, burada x_R dümen kuvvet merkezinin gemi ortasından mesafesidir. $X_R = X_\delta \delta$ ile verilen dümen kuvveti bileşeni, gemiyi hareketi doğrultusunda zıt yönde etkilemesi dolayısı ile gemi direncini arttırıcı bir rol oynar ve geminin izlediği yörünge üzerinde hızının düşmesine sebep olur. u_1 hızıyla doğrusal rotası üzerinde seyreden gemide, önce $Y_R = Y_\delta \delta$ dümen kuvvetinin etkisi duyulduğundan, kütle merkezinin yörüngesi, uzatılmış S harfi biçiminde değişir ve gemi iskeleye doğru öteleme hareketi yaparak ilerler.

Bunun ardından, $Y_R = Y_\delta \delta$ dümen kuvveti ve $N_R = N_\delta \delta$ dümen momenti dolayısı ile gemide doğmuş ve izole halde bulunan $\dot{v}$ ve $\ddot{\psi}$ ivmelerinin etkisi altındaki geminin ataleti yenilerek gemi $\dot{\psi}$ hızıyla sancağa dönmeye başlar. Dönme nedeniyle, gelen akımla gemi boy eksenini arasında β_H sürüklenme açısı oluşur ve hissedilir şekilde büyümeye başlar. Bu halde geminin durumu β_H açısıyla suda ilerleyen bir profile çok benzer. Böylece $\vec{V}$ bileşke hızına dik ve doğrultusu eğrisel yörüngenin ani dönme merkezinden geçen bir kaldırma kuvveti doğar. Ayrıca $\vec{V}$ hız vektörünün doğrultusuna zıt yönde D_H direnç kuvveti oluşur. Bu iki kuvvetin bileşkesi R_H olduğundan bileşke kuvvetin y eksenini üzerindeki lineerleştirilmiş bileşeni $Y_H = Y_v v$ olur. β_H açısının sürekli artması, $Y_\delta \delta$ dümen kuvvetine nazaran sancağa yönelik $Y_v v$ kuvvetini çok daha fazla arttırdığından geminin iskelesi yönündeki $\dot{v}$ ivmelenmesi azalır ve sonunda bu ivme sıfır olur. Bu arada gemi kütle merkezi eğrisel bir yörünge üzerinde hareket ettiğinden, yörüngeden dışarıya doğru, yönelmiş merkezkaç bir kuvvet doğar. Bu kuvvet yörüngeden içeriye yönelmiş olan $Y_v v$ kuvvetiyle bu evrenin sonunda tam olarak dengelenir.

$\dot{\psi}$ açısal hızıyla dönen gemide bu dönmeye karşı zıt yönde oluşan su kuvvetlerinden kaynaklanan,

$$N = N_\psi \dot{\psi} = d_a (Y_\psi \dot{\psi})_{kic} + d_f (Y_\psi \dot{\psi})_{baş} \quad (4.2)$$

momentinin, denklem 4.2, etkisi altında geminin $\dot{\psi}$ açısal ivmesi azalarak diğer etkenlerin de yardımıyla bu evrenin sonunda $\dot{\psi}$ sıfır değerini alır. $\dot{\psi}$ ivmesinin azalması ve sonunda sıfır olması β_H sürüklenme açısının büyüyerek maksimum sabit değerine ulaşmasını sağlar [12].

β_H açısı nedeniyle doğmuş bulunan ve dönme hızını artırıcı yönde etkisi olan $N = N_v v$ momenti de β_H açısının maksimum sabit değerine ulaşmasıyla sıfır civarındaki kendi minimumuna gelir. Ayrıca eğrisel yörünge üzerinde seyreden gemide gerçek suyun dümene, dümenin maksimum alabanda durumunda olmasına rağmen oldukça küçük bir hücum açısında gelmesi nedeniyle dümen kuvvet ve momentleri de küçülürler. Tüm bu nedenlerle ikinci evre içinde görülmüş olan değişken karakterli ivme, hız, kuvvet ve moment değerleri evre sonunda ivmelerin sıfır olmalarıyla sabit hal aldığından, sabit yarıçaplı dönmeye ait denge şartlarına geçilmiş olur. Bu analiz dümenin sancağa kırılmış olmasına göre yapılmış olmakla birlikte iskeleye kırılmış dümen halinde de olay aynı şekilde, simetrik olarak cereyan eder. Bu evreye ait hareketin lineerleştirilmiş denklemleri 4.3 denklemleri ile ifade edilir [12].

$$\begin{aligned} -Y'_v v' + (m' - Y'_v) \dot{v}' - (Y'_r - m') r' - (Y'_f - m' x'_G) \dot{r}' - Y'_\delta \delta &= 0 \\ -N'_v v' - (N'_v - m' x'_G) \dot{v}' - (N'_r - m' x'_G) r' + (I'_Z - N'_f) \dot{r}' - N'_\delta \delta &= 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.2.1.4 Dönmenin Üçüncü Evresi

Dönmenin üçüncü evresi (veya sürekli dönme), ikinci evrede ivme ve hızlarda meydana gelen dalgalanmaların sona ermesi ile başlamış olur, Şekil 4.1. Bu evre genellikle, geminin karakterine bağlı olarak geminin esas rotasına göre 100° ile 120° dönmesinden sonra başlar. Bu evrede gemiyi etkileyen kuvvetler arasında yeni bir denge kurulmuş olduğundan gemi, hızı ve yarıçapı sabit kalan sürekli bir dairesel dönme hareketi yapar. Bu evrede v , $\dot{\psi}$ hızları sıfırdan farklı değerlerde olup $\dot{v}$ ve $\ddot{\psi}$ ivmeleri sıfırdır. $\dot{v} = \ddot{\psi} = 0$ kabulü yapılarak denklem 4.3 ile verilmiş olan lineerleştirilmiş hareket denklemlerinden,

$$\begin{aligned} -Y'_v v' - (Y'_v - m') \dot{\psi}' &= Y'_\delta \delta \\ -N'_v v' - (N'_v - m' x'_G) \dot{\psi}' &= N'_\delta \delta \end{aligned} \quad (4.4)$$

Sürekli dairesel dönüşe ait lineerleştirilmiş hareket denklemleri elde edilir [13].

4.4 denklem sisteminde geçmekte olan Y'_v , Y'_ψ , N'_v , Y'_ψ kısmi türevleri ile kontrol kuvvet ve momentlerine ait Y'_δ ve N'_δ terimlerinin bilinmesi halinde 4.4 sisteminden ψ' ve v' sabit değerleri çözülerek bulunur.

r yarıçaplı dairesel bir yörünge üzerinde $\dot{\psi}$ sabit açısal hızı ile dönen bir geminin yörüngesine teğet lineer V hızıyla olan bağıntısı $V = r\dot{\psi}$ şeklinde yazılabilir. Diğer taraftan $(\dot{\psi}' = \frac{\dot{\psi}L}{V})$ boyutsuz açısal hızı tanımladığına göre, burada geçen V , $V = r\dot{\psi}$ olarak yerine konursa $\dot{\psi}' = \frac{L}{r}$ veya $r = \frac{L}{\dot{\psi}'}$ bulunur. 4.4 denklemleri $\dot{\psi}'$ ve v' ye göre çözülürse,

$$\dot{\psi}' = -\delta \frac{Y'_\delta N'_\delta - N'_v Y'_\delta}{Y'_v(N'_\psi - m'x'_G) - N'_v(Y'_\psi - m')} \quad (4.5)$$

$$v' = \beta_H = \delta \frac{N'_\delta(Y'_\psi - m') - Y'_\delta(N'_\psi - m'g'_G)}{Y'_v(N'_\psi - m'x'_G) - N'_v(Y'_\psi - m')} \quad (4.6)$$

bulunur.

$r \frac{L}{\dot{\psi}'}$ olduğundan 4.5 denkleminde dairesel dönmeye ait r yarı çapı elde edilir [12, 13].

$$r = -\frac{L}{\delta} \left[\frac{Y'_v(N'_\psi - m'x'_G) - N'_v(Y'_\psi - m')}{Y'_v N'_\delta - N'_v Y'_\delta} \right] \quad (4.7)$$

Bu bağıntılarda β_H ve δ açıları radyan olarak alınmalıdır.

Lineer teoremin sonucu olarak yukarıda elde edilmiş dairesel dönmedeki r yarıçapı, L gemi boyu ile doğru orantılı, buna karşın δ dümen açısıyla ters orantılı olarak değişmektedir. β_H sürüklenme açısı ise, δ dümen açısıyla orantılı olarak değişmektedir.

4.6 ve 4.7 denklemlerine göre hesap edilmiş olan değerler, rota dengeli gemilerin sürekli dönme hareketindeki dönme yarı çapı ile β_H sürüklenme açılarını yaklaşık

olarak verirler. Lineer teori koşulları altında elde edilen bu sonuçlar, ancak dönme dairesi çapı dört gemi boyu veya daha büyük olduğu takdirde doğru olarak kabul edilebilir. Bu denklemler yardımıyla torpillerin dönme dairesi yarıçapları hesaplanabilmekte, ayrıca gemilerde dümen acısı, maksimum alabanda değerinin altında kalmak koşuluyla dönme dairesi yarıçapı tahmin edilebilmektedir. Ticaret gemilerinin büyük bir çoğunluğu dümenlerini alabandaya maksimum şekilde çevirmek suretiyle çapları üç ile dört gemi boyu içinde kalan dairesel yörüngeler üzerinde ve hatta bazı gemilerde dönme dairesi çapı iki gemi boyunu aşmayacak şekilde dönme manevralarını gerçekleştirebilmektedirler. Gemilerin dümenleri tam olarak alabandaya kırılmak suretiyle çapları küçük dairesel yörüngeler üzerinde dönmeleri sağlandığında, hareket denklemlerinde ihmal edilmiş olan lineer olmayan terimlerin etkisi arttırılmış olmaktadır. Dolayısı ile lineerleştirilmiş denklemlerden elde edilen sonuçlar bu durumda gerçeğe daha az yakınlık gösterdiğinden lineer olmayan terimlerin de hesaba katıldığı daha karmaşık teorilerin geliştirilmesi ve kullanılması gerekli hale gelir.

4.2.2 Dönme Manevrasında Yörünge Karakteristikleri

Herhangi bir çapta gerçekleştirilen dönme manevra deneyi Şekil 4.1 ile gösterilmiştir. Genellikle, bir geminin dönme manevrasında izlemiş olduğu yörünge, dört ayrı uzunluğun tanımlanması ile karakterize edilebilir. Bu karakteristikler, ilerleme, transfer, taktik çap ve sürekli dönme dairesi çapıdır.

a. İlerleme: Geminin dönme manevrasını yapmak için dümenini kırmaya başladığı andaki doğrusal rotası üzerindeki konumundan itibaren doksan derece dönmesine kadar almış olduğu yolun doğrusal rota üzerindeki izdüşümü olarak tanımlanır.

b. Transfer: Geminin başlangıç doğrusal rotasından 90° dönmesine kadar geçen hareketinde gemi orta noktasının veya G kütle merkezinin doğrusal rotadan olan uzaklığı olarak tanımlanır.

c. Taktik Çap: Geminin başlangıçtaki takip ettiği doğrusal rota ile geminin 180° dönmesinde meydana getirdiği yeni doğrultu arasında kalan uzaklık olarak tanımlanır.

d. Sürekli Dönme Dairesi Çapı: Geminin sürekli dönme durumuna girdiği andan itibaren sabitleşen dairesel yörüngenin çapı olarak tanımlanır.

Yukarda tanımlanmış olan değerler gemilerin açık denizdeki dönme manevralarına aittir. Bu değerleri sığ ve sınırlı sular için kullanmak doğru olmaz. Aksi halde yanlış sonuçlara varılmış olur. Özellikle sığ sularda yapılan dönme manevralarında dönme dairesi çapı çok büyür.

4.2.3 Dönmede Hız Azalması

Doğrusal yörüngesi üzerinde sabit u_1 hızıyla ilerleyen bir gemi, dümen kırmak suretiyle dönme hareketine geçtiğinde, dönmenin birinci ve ikinci evrelerinde hızı azalarak üçüncü evrenin başlamasıyla azalmış olan bu hız sabit bir değer alır. Dönmede hız azalmasının iki önemli nedeni, dümen kırmak suretiyle izlenen hareket yönüne zıt etki yapan dümen kuvveti bileşeninin doğması ve dönmede meydana gelen sürüklenme açısı dolayısıyla hareket doğrultusundaki direnç kuvvetinin çok büyümesi şeklinde özetlenebilir. Bunlara ek olarak, bazı durumlarda dönme dairesi çapının küçük tutulması amacı ile hız, gemiyi sevk ve idare edenlerce özellikle azaltılabilir.

4.3 Dönme Manevrası Yörünge Karakteristiklerinin Yarı-ampirik Yöntemler ile Tayin Edilmesi

Son yıllarda gemi manevraları üzerine yapılan çalışmalarda ve gözlemlenen hareketi açıklayan yöntemlerde büyük aşamalar kat edilmiştir. Özellikle model testlerinde, salınım test tekniği ve alakalı teorik çalışmaların gelişmesiyle birlikte önemli kazanımlar sağlanmıştır. Fakat bir geminin parametrelerini değiştirerek model testi yapmak şu an için hala çok pahalıdır. Su çekimi, trim ve dümen alanı gibi gemi parametrelerinin sistematik olarak değiştirilerek gerçekleştirildiği çalışmalar arasında en yararlı olanlarından biri Shiba tarafından gerçekleştirilmiştir [5].

Shiba, aynı boy ve genişlik oranına sahip modellerin blok katsayılarını, su çekimlerini, baş-kıç su çekimleri arasındaki farkları (trim), dümen alanlarını, dümen açılarını ve yaklaşım hızlarını birbiriyle orantılı bir şekilde sistematik olarak değiştirerek model deneyleri gerçekleştirmiştir. Shiba tarafından yapılan model deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sürekli dönme dairesinin büyüklüğüne, dümen alanı değişiminin etkisi çok büyüktür. Minimum sürekli dönme dairesi için optimum bir dümen alanı vardır.

- Blok katsayısının sürekli dönme dairesi üzerine güçlü bir ters etkisi vardır ve bu etki büyük dümen açıları için azalmaktadır.
- Baş ve kış su çekimleri arasındaki farka ait oranın sürekli dönme dairesi üzerine etkisi dümen açısı 10° ile 20° arasında olduğu durumlarda artmakta, 20° ve üzerindeki dümen açıları için ise neredeyse sabit kalmaktadır.

Davidson'a ait çalışmada, ilerleme, transfer ve taktik çap arasındaki basit ilişki ortaya konmaktadır. Davidson çalışmasında, taktik çapa göre karşılaştırmalar yapmayı tercih etmiş, sürekli dönme dairesiyle, taktik çap arasında oldukça basit bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmıştır. Taktik çap, geminin dönüş hareketi sırasındaki geçiş (transient) fazının bir ölçüsüdür. Davidson ayrıca, basit geometrik parametrelerin yanı sıra boyuna atalet momenti, dümen hareket oranı ve yaklaşım hızı gibi parametrelerin taktik çap üzerine, etkilenin de araştırılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir [5].

Profesyonel deneyim ve uygulamalar, genişlik/boy ve genişlik/su çekimi oranlarının her ikisinin de önemli ölçüde gemi manevra kabiliyetini etkilediğini göstermektedir. Bu oranların etkisini göstermek için Yumoro tarafından yapılmış ufak bir sistematik deneysel çalışma mevcuttur [5].

Lyster ve Knights yaptıkları çalışmada, tek ve çift pervaneli gemiler için sürekli dönme dairesi, taktik çap, ilerleme, transfer ve dönüşle bağlı hız düşümünü veren ampirik tahmin denklemlerini elde etmişlerdir. Ampirik denklemlerin elde edilmesinde, data olarak St. Albans'da bulunan gemi model deney tankında yapılmış deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılmıştır [5].

Lyster ve Knights tarafından yapılan çalışmalarda, gemi manevra özellikleri ile önemli ölçüde ilişkili, uzun hesaplamalar gerektirmeyen ve dizaynın başlangıç aşamasında belirlenebilen olabildiğince basit faktörler kullanılmıştır. Bu faktörler, boy, genişlik, su çekimi, deplasman, kış tipi, pervane adedi, pervane dönme yönü, dümen adedi, dümen tipi dümen açıklığı ve kirişi, dümen alanı, dümen kalınlığı ve baş profil alanı şeklinde sıralanabilir. Faktörlerden bazıları, veri yetersizliği nedeni ile hesaba katılamamıştır. Çalışmalarda kullanılan veriler gruplar halinde Tablo 4.1 ile gösterilmektedir.

Tablo 4.1:Lyster ve Knights'ın Çalışmalarında Kullanılan Veri Aralıkları

Parametre	Tek pervane		Çift pervane	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
L_{BP} [m]	54.86	329.18	76.20	225.55
C_B	0.56	0.87	0.42	0.62
δ	10.00	45.00	10.00	35.00
B/L	0.11	0.18	0.06	0.20
Trim/L	0.00	0.05	—0.01	0.03
SpCh/LT	0.01	0.04	0.01	0.02
A_B/LT	—0.11	0.04	0.10	0.00
$V_A / \sqrt{L}$	0.20	1.00	0.25	2.20
T_T/T_L	0.50	1.00	0.60	1.10

Hesaplamalarda, birçok geminin deneme seferi sırasındaki deplasmanı yerine mevcut dizayn deplasmanı kullanıldığından, blok katsayılarının tahmininde Moore ve O'Conner tarafından teklif edilen 4.8 bağıntısı kullanılmıştır.

$$\Delta_R = (T_R)(1,607 - 0,661C_{BD}) \quad (4.8)$$

burada, Δ_R dizayn deplasmanının balast deplasmanına oranı, T_R dizayn ve balast durumları için su çekimleri oranı ve C_{BD} dizayn blok katsayısıdır [5].

Çalışmalarda tek pervaneli gemiler için açık kıç (open-water stern) ve kapalı kıç (closed stern) olmak üzere iki farklı gemi kıç tipi ve çift pervaneli gemi için çift dümen ve tek dümen tipi olmak üzere iki farklı kıç tipi, toplamda 4 adet kıç tipi kullanılmıştır.

Lyster ve Knights tarafından elde edilen ampirik ilerleme ve transfer ifadelerinde, bu karakteristik büyüklüklerin taktik çapla aralarında basit bir ilişki olduğu kabul edilmiştir. Çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Sürekli dönme dairesinin tayin edilmesinde C_B/δ teriminin çok büyük bir öneme sahiptir.
- Dümen açısı ile sürekli dönme dairesi arasındaki ters etki $1/\delta$ terimiyle gösterilmiştir.
- B/L oranının, özellikle tek pervaneli gemilerin dönüşleri üzerinde önemli etkisi vardır ancak bu etki çift pervaneli gemilerde azalmaktadır.
- B/T ve L/T oranlarının geminin dönüşü üzerine önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

- Geminin su altı baş profil şeklinin yumru başlı veya yumru başsız olması geminin manevra performansını etkilemektedir.

Bu çalışmada, dönme manevrasına ait karakteristik değerlerin tayin edilmesinde Lyster ve Knights tarafından elde edilen yarı-ampirik tahmin denklemler kullanılmıştır [5].

Tek Pervaneli gemiler için sürekli dönme dairesi çapının tahmin edilmesinde kullanılan ampirik ifade denklem 4.9'da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{STD}{L} = & 4,19 - \frac{203 C_B}{\delta} + 47,4 \frac{Trim}{L} - \frac{13 B}{L} + \frac{194}{\delta} - 35,8 \frac{S_p Ch}{LT} (ST - 1) \\ & + 3,82 \frac{S_p Ch}{LT} (ST - 2) + 7,79 \frac{A_B}{LT} + 0,7 \left(\frac{T}{T_L} - 1 \right) \left(\frac{\delta}{|\delta|} \right) (ST - 1) \end{aligned} \quad (4.9)$$

Burada, $0,7 \left(\frac{T}{T_L} - 1 \right) \left(\frac{\delta}{|\delta|} \right) (ST - 1)$ terimi, tek pervaneli ikinci tip kıç formuna sahip

gemilerin iskeleye doğru daireleriyle sancağa doğru daireleri arasındaki farkı hesaba katmak için dahil edilmiştir. Birinci tip kıç formunda böyle bir fark yoktur. Bu farkın sadece pervane dönüş doğrultusuna bağlı olmadığı aynı zamanda fraksiyonel su çekimine (T/T_L) bağlı olduğu belirlenmiştir [5]. Yukarıdaki denklemlerde bulunan, SS tek pervane, TS çift pervane, ST kıç tipi (kapalı kıç için 1, açık kıç için 2), NR dümen adedi, L dikeyler arası boy [m], C_B blok katsayısı, δ dümen açısı, B genişlik [m], A_B batık baş profil oranı, T su çekimi (deney) [m], T_L su çekimi (dizayn) [m], V_A yaklaşım hızı [knot], V_T sürekli dönme hızı [knot], S_p dümen açıklığı [m], Ch dümen kirişi [m], STD sürekli dönme çapı [m], TD taktik çap [m], Ad ilerleme [m], Tr transfer [m] ve V_T/V_A sürekli dönmede hız azalmasıdır.

Tek Pervaneli gemiler için taktik çapının tahmin edilmesinde kullanılan ampirik ifade, denklem 4.10 ile gösterilmiştir.

$$\frac{TD}{L} = 0,910 \frac{STD}{L} + 0,424 \frac{V_A}{\sqrt{L}} + 0,675 \quad (4.10)$$

İlerleme, transfer ve hız kaybı, taktik çapın fonksiyonları olarak 4.11 denklemleri ile ifade edilmiştir [5].

$$\frac{Ad}{L} = 0.519 \frac{TD}{L} + 1.33, \frac{Tr}{L} = 0.497 \frac{TD}{L} - 0.065, \frac{V_T}{V_A} = 0.074 \frac{TD}{L} + 0.149 \quad (4.11)$$

Çift Pervaneli gemiler için sürekli dönme dairesi çapının tahmininde kullanılan ampirik ifade denklem 4.12’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{STD}{L} = & 0,727 - \frac{197 C_B}{|\delta|} + 4,65 \frac{B}{L} 41,0 \frac{Trim}{L} + 188 \frac{1}{|\delta|} - 218 \frac{S_p Ch}{LT} (NR - 1) \\ & + 3,20 \frac{V_A}{\sqrt{L}} + 25,56 \frac{A_B}{LT} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Çift Pervaneli gemiler için taktik çapının tahmininde kullanılan ampirik ifade, denklem 4.13 ile verilmektedir.

$$\frac{TD}{L} = 0.140 + \frac{STD}{L} \quad (4.13)$$

Tek pervaneli gemilerde olduğu gibi çift pervaneli gemilerde de ilerleme, transfer ve hız kaybı taktik çapın birer fonksiyonu olarak 4.14 denklemleri ile ifade edilmiştir [5].

$$\frac{Ad}{L} = 1 + 0.519 \frac{TD}{L}, \frac{Tr}{L} = -0.357 + 0.531 \frac{TD}{L}, \frac{V_T}{V_A} = 0.543 + 0.028 \frac{TD}{L} \quad (4.14)$$

5. MANEVRA SİMÜLASYONLARI İLE YARI-AMPİRİK TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 Giriş

Gemi manevra simülasyon sistemleri, gemi tepkilerinin tayin edilebilmesi için hidrodinamik matematiksel modellere ihtiyaç duymaktadır. Simülasyon programları, standart gemi manevralarının hesaplanması için kullanılmalarının yanında, yüksek tonajlı gemilerin geçiş yapacağı sınırlandırılmış su kanallarının ana boyutlarının belirlenmesi gibi daha karmaşık problemlerin çözümü için de kullanılmaktadır. Dolayısı ile, hem standart hem de ekstrem durumlar için gemi tepkilerini gerçeğe en uygun şekilde temsil edebilecek matematiksel modellere duyulan gereksinim artmakta ve bu modellerin kullanım alanları genişlemektedir. Bu nedenle, manevra simülasyonları ve tam-ölçekli denemeler vasıtası ile elde edilen sonuçların karşılaştırılarak, gerekli hidrodinamik katsayıların belirlenmesinde uygulanan yöntemlerin ve elde edilen verilerin geçerliliğinin onaylanması gerekli olmaktadır.

Simülasyon programlarında kullanılan hidrodinamik verilerin hemen hemen hepsi model deney yöntemleri ile elde edilmektedir. Bazı durumlarda belirli bir tekne ve belirli deniz koşulları için model deneyleri gerçekleştirilmekte, bazı durumlarda ise hidrodinamik katsayılar mevcut sistematik ve spesifik model verileri ve destekleyici teoriler temel alınarak tayin edilmektedir. Model deneyleri ile elde edilen hidrodinamik verilere dayanan simülasyonlar ve tam-ölçekli denemeler arasında standart gemi manevraları (dönme, zig-zag, spiral ve durma) için birçok karşılaştırma yapılmıştır. Genellikle simülasyon ve tam-ölçekli manevra sonuçları arasında iyi bir korelasyon kurulabilmektedir [13, 16].

Sınırlandırılmış model deney sonuçlarını temel alan manevra simülasyon programları, gemi manevra performansının belirlenmesinde tam-ölçekli deneylerden sonra en uygun yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, çok uzun zaman almakta ve pahalıya mal olmaktadır. Başlangıç dizayn aşamasında zaman ve gider limitleri nedeni ile manevra performansının tayin edilmesinde model deney verilerine

başvurulamadığından, yaklaşık formüller ve mevcut veritabanı kullanılarak elde edilen temel parametreler, başlangıç dizayn aşamasında gemi manevra performansının tahmin edilmesi için bir ölçü teşkil edebilir. Bu yaklaşık formüller, model deneyleri ve sayısal hesaplamalar (regresyon vs.) vasıtası ile yarı-ampirik olarak elde edilmiştir [5].

Bu noktada, gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik manevra tahmin yöntemlerinin mukayese edilmesi, elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tahmin yöntemlerinin hangi mertebede başarılı olduğunun belirlenmesi ve model deneylerine, simülasyon programlarına ve tam ölçekli deneylere baş vurulmaksızın temel gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi zorunlu hale gelmektedir.

Gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik yöntemlerin mukayese edilmesinde kullanılan programın seçilmesindeki amaç geniş veri tabanları kullanılarak, uzun araştırmalar sonucunda, çok sayıda gemi için gerçekleştirilen tam-ölçekli deneme sonuçları ile karşılaştırılarak hazırlanmış olmasıdır [3, 13, 14, 18]. Program, geminin ana boyutlarını, temel karakteristik değerlerini ve manevra türevlerini içeren bir veri dosyası kullanarak istenilen hız ve dümen açılarında gemi dönme manevrası simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Program kullanılarak dönme manevra karakteristikleri ve geminin izlediği yörünge -zamana bağlı olarak- elde edilebilir. Fortran 77 derleyicisi kullanılarak yazılmış olan programa ait akış diyagramı, örnek veri ve çıktı dosyaları Ek-E’de verilmiştir. Simülasyonda kullanılan matematik modele Bölüm 2’de detaylı olarak yer verilmiştir.

Bu bölümde, “Esso Osaka” tankeri ve MARAD serisine ait gemiler için, model deneylerinden elde edilen hidrodinamik verilere dayanan ve Bölüm 2’de ayrıntıları ile tanımlanan dönme manevrası simülasyon programı kullanılarak elde edilen sonuçları ile gemilere ait dönme karakteristiklerini veren ve Bölüm 4’de açıklanan, yarı-ampirik tahmin yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [17, 18].

5.2 Karşılaştırmada Kullanılan Gemilerin Temel Karakteristik Özellikleri

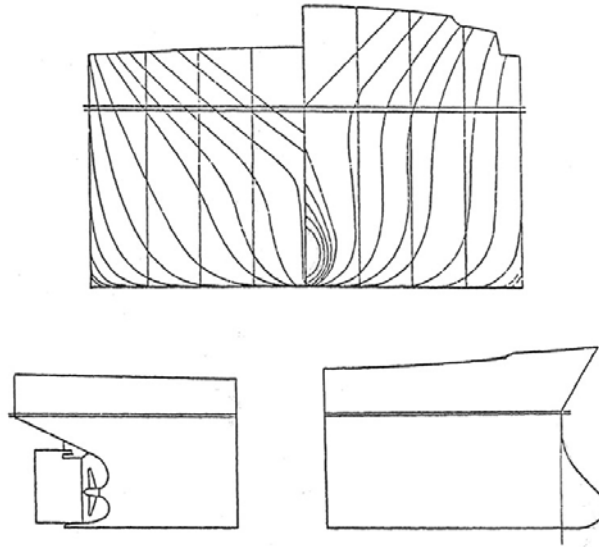
Karşılaştırmalarda kullanılan Esso Osaka gemisinin ana boyutları ve temel geometrik karakteristikleri Tablo 5.1’de, en kesitleri ve baş-kıç profili de Şekil 5.1’de

gösterilmiştir. Manevra simülasyonunda kullanılan hidrodinamik türev değerleri ise Tractor Hydronautics Inc. tarafından geminin 1/45 ölçekli modeli kullanılarak yapılan deneyler ile düzlemsel hareket mekanizması yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [18].

Tablo 5.1: Esso Osaka Tankeri Geometrik Karakteristikleri

Boy, L_{WL} [m]	343,0	C_M	0,998
Boy, L_{BP} [m]	325,0	C_P	0,830
Genişlik [m]	53,0	Dümen Sayısı	1
Su Çekimi [m]	21,8	Dümen Alanı [m^2]	119,817
Deplasman [ton]	320000	Pervane Sayısı	1
C_B	0,83	Pervane Çapı [m]	9,10

Esso Osaka tankeri ve MARAD serisi gemiler için gerçekleştirilen tam ölçekli dönme manevrası (trial) ölçümleri ve simülasyon programı kullanılarak yapılan hesaplamalarda çok yakın sonuçlar elde edilmiştir [18]. Deneme ve simülasyonda elde edilen yörüngelerinin karşılaştırılmasına Ek-F’de yer verilmiştir.



Şekil 5.1: Esso Osaka Tankeri En Kesit ve Profil Görünüşleri [16]

Karşılaştırmalarda ayrıca, büyük ve dolgun formlu gemilerin geliştirilmesinde gerçekleştirilen fizibilite ve dizayn çalışmalarında ihtiyaç duyulan hidrodinamik verilerin elde edilebilmesi amacı ile MARAD serisine ait 16 farklı gemi modeli üzerinde uygulanan deney sonuçları ve analizlerinden yararlanılmıştır [17].

Tablo 5.2: MARAD Serisi Gemilerin Temel Geometrik Karakteristikleri

Gemi	$L_{BP}[m]$	$B[m]$	$T[m]$	$\Delta[ton]$	$S[m^2]$	C_B	L/B	L/T
A	330.153	60.027	20.010	355616.450	30264.094	0.875	5.500	3.000
B	349.868	58.311	19.437	355616.450	31111.370	0.875	6.000	3.000
C	369.037	56.775	18.925	355616.450	31906.620	0.875	6.500	3.000
D	291.614	64.804	21.601	355616.450	28382.808	0.850	4.500	3.000
E	312.828	62.566	20.854	355616.450	29355.503	0.850	5.000	3.000
F	333.354	60.609	20.202	355616.450	30249.230	0.850	5.500	3.000
G	319.187	63.837	21.278	355616.450	29335.993	0.800	5.000	3.000
H	372.594	57.321	19.108	355616.450	31876.891	0.850	6.500	3.000
I	380.512	63.420	16.913	355616.450	33110.643	0.850	6.000	3.750
J	404.351	67.391	14.975	355616.450	35270.639	0.850	6.000	4.500
K	336.959	67.391	17.971	355616.450	31267.447	0.850	5.000	3.750
L	358.073	71.616	15.914	355616.450	33302.024	0.850	5.000	4.500
M	397.508	61.155	16.307	355616.450	33983.932	0.875	6.500	3.750
N	343.839	68.769	18.340	355616.450	31256.299	0.800	5.000	3.750
O	355.613	64.657	17.243	355616.450	32252.219	0.875	5.500	3.750
P	365.382	73.076	16.240	355616.450	33324.320	0.800	5.000	4.500

Tablo 5.3: MARAD Serisi Gemilerde Dümen ve Pervanelerin Geometrik Karakteristikleri

Gemi	Toplam dümen alanı[m ²]	Hareketli dümen alanı[m ²]	Sabit dümen alanı[m ²]	Dümen açıklığı (span)[m]	Dümen kirişi (chord)[m]	Pervane �apı[m]
A	199.742	174.565	25.177	16.770	11.881	10.342
B	188.500	164.717	23.783	16.292	11.543	10.046
C	178.653	156.170	22.483	15.862	11.238	9.781
D	232.815	203.458	29.357	18.105	12.826	11.165
E	217.022	189.615	27.406	17.480	12.384	10.781
F	203.643	178.002	25.641	16.932	11.997	10.442
G	225.847	197.419	28.428	17.834	12.634	11.000
H	182.183	159.236	22.947	16.014	11.345	9.876
I	182.183	158.214	23.969	14.512	12.552	9.580
J	148.738	130.993	17.744	12.768	11.649	8.891
K	205.687	178.653	27.035	15.420	13.320	10.180
L	167.969	147.902	20.067	13.570	12.378	9.449
M	169.362	147.066	22.297	13.993	12.104	9.238
N	214.234	186.085	28.150	15.432	13.612	10.388
O	189.336	164.438	24.898	14.795	12.799	9.766
P	174.936	154.033	20.903	13.847	12.631	9.641

Düzlemsel hareket mekanizması kullanılarak gerçekleştirilen sınırlandırılmış model deneyleri ile bilgisayar simülasyon çalışmalarında gerekli bütün hidrodinamik katsayılar ve detaylı manevra karakteristikleri elde edilen MARAD serisine ait gemilerin ana boyutları ve temel karakteristik  zellikleri, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 ile gösterilmiştir. 355,000 ton sabit deplasmanda, temel geometrik oranların ve karakteristiklerin sistematik şekilde de i tirilmesiyle elde edilen MARAD Serisine ait 16 farklı geminin en kesiti ve ba -kı  profili, temel geometrik oranları, manevra simülasyonlarında kullanılan tüm hidrodinamik türev değerleri ve serideki gemilere ait gerekli tüm detaylı bilgiler için referans [17] incelenebilir.

5.3 Dönme Manevra Simülasyonları ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemleri Kullanılarak Edilen Dönme Manevrası Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

Bölüm 4 ile tanımlanan manevra karakteristiklerinin tayin edilmesi için gerçekleştirilen dönme manevra simülasyonları ve regresyon analizine dayanan yarı-ampirik formüller kullanılarak, Esso Osaka tankerinin ve MARAD serisine ait gemilerin 8 knot yaklaşım hızı ve çeşitli dümen açısı değerlerinde gerçekleştirdiği dönme manevraları için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

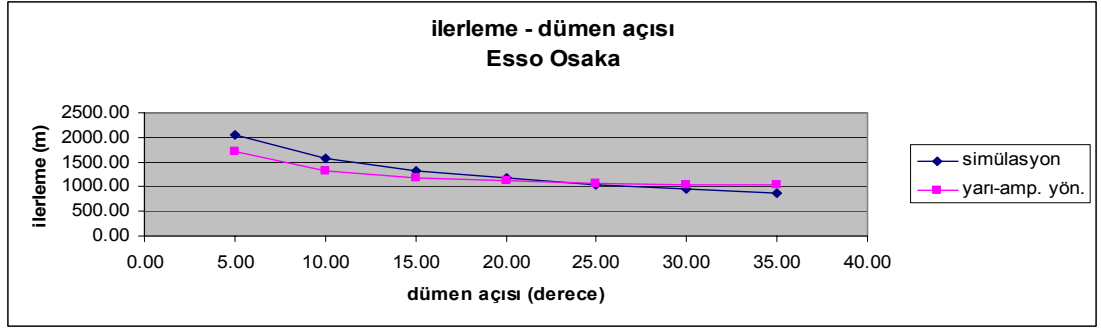
Tablo 5.4: Esso Osaka Tankeri Dönme Manevrası Simülasyon Sonuçları

Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	Hız Kaybı (%)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	23.75	2055.75	1176.74	2562.12	2590.53
10.00	5.50	31.25	1583.38	897.73	2022.62	2059.63
15.00	5.10	36.25	1332.95	740.85	1707.86	1737.30
20.00	4.80	40.00	1169.33	635.42	1490.29	1508.64
25.00	4.50	43.75	1050.62	557.78	1325.85	1332.28
30.00	4.20	47.50	958.81	497.28	1194.48	1188.99
35.00	3.90	51.25	884.71	448.30	1085.51	1068.45

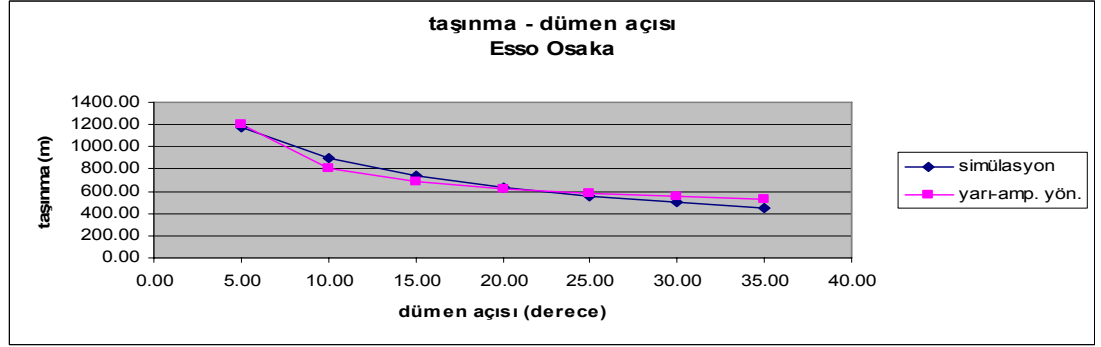
Esso Osaka tankeri için elde edilen sonuçlar Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 ile gösterilmiştir. Sonuçlar arasında kabul edilebilir ölçüde farklar mevcuttur. Dönme manevra karakteristiklerinin farklı dümen açılarına göre değişimleri Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6 ile verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Tablo 5.5: Esso Osaka Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

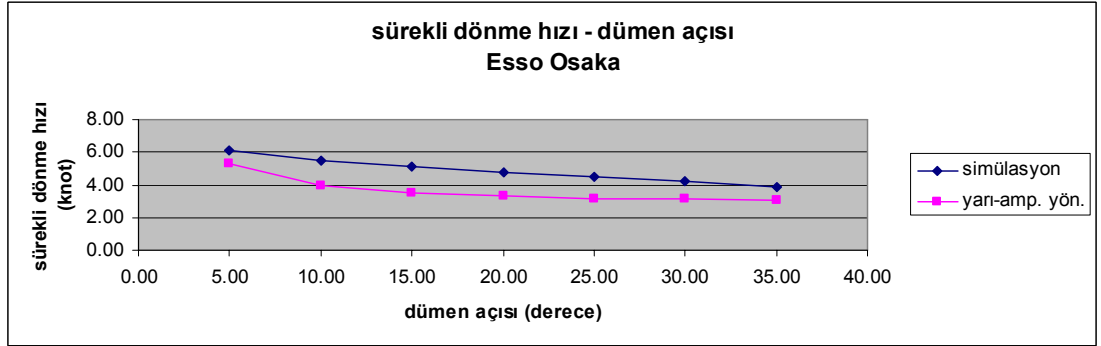
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	Hız Kaybı (%)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	5.31	33.63	1722.63	1199.46	2457.39	2414.67
10.00	3.99	50.13	1317.48	811.49	1676.75	1556.83
15.00	3.55	55.63	1182.43	682.16	1416.54	1270.89
20.00	3.33	58.38	1114.91	617.50	1286.44	1127.91
25.00	3.19	60.13	1074.39	578.71	1208.38	1042.13
30.00	3.11	61.13	1047.38	552.84	1156.33	984.94
35.00	3.04	62.00	1028.09	534.37	1119.16	944.09



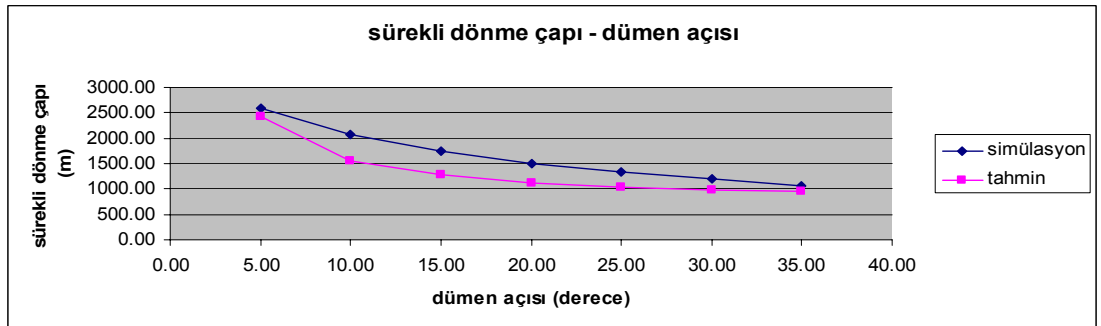
Şekil 5.2: İlerleme-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları



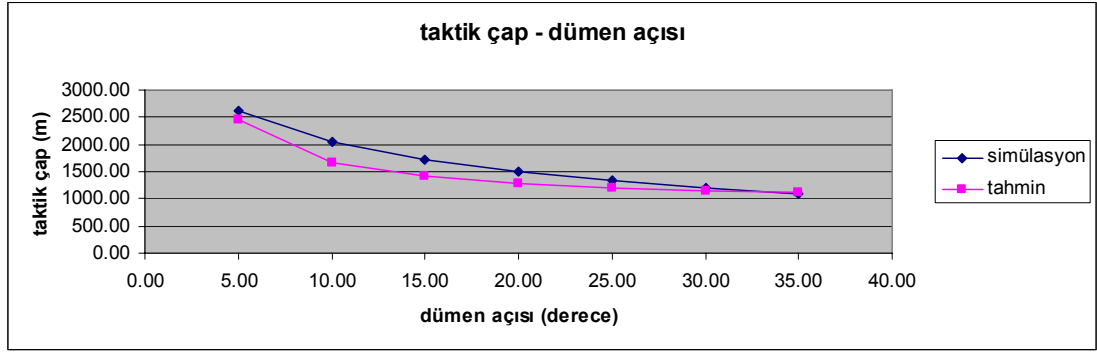
Şekil 5.3: Taşınma-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları



Şekil 5.4: Sürekli Dönme Hızı-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Tahmin Yöntemi Sonuçları



Şekil 5.5: Sürekli Dönme Çapı-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları



Şekil 5.6: Taktik Çap-Dümen Açısı Değişiminin Sim. ve Tahmin Yöntemi Sonuçları

MARAD serisine ait 16 farklı geminin dönme manevra karakteristiklerinin simülasyon ve yarı-ampirik yöntemler kullanılarak hesaplanması ile elde edilen sonuçları ve karşılaştırmaları içeren tablolara ve grafiklere Ek A’da yer verilmiştir.

5.4 Deneyler ve Yarı-ampirik Yöntemlerle Elde Edilen Hidrodinamik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerine Yaptığı Etkilerin Karşılaştırılması

Manevra hesapları yapılmak istenen gemiye ait hız ve ivme türevleri yarı-ampirik formüller kullanılarak kolaylıkla hesap edilebilir, ancak hesaplamalarla elde edilen değerlerin deneylerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı ve muhtemel farkların manevra hesaplarındaki sonuçlara yapacağı etkiler incelenmelidir. Esso Osaka tankerine ait düzlemsel hareket mekanizması deneyleri ile elde edilen ve yarı-ampirik formüller kullanılarak hesap edilen türev değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5.6 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Esso Osaka Tankerinin Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01268310	-	-	-	-0.01523489	-0.01967940
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00106562	-0.00042285
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00089126	-0.00059199
	N'_r	-0.00105692	-	-	-	-0.00084538	-0.00092794
hız türevleri	Y'_v	-0.01268310	-0.02016612	-0.02208642	-0.02409282	-0.02292444	-0.00480148
	Y'_r	0.00634155	0.00405859	0.00508367	0.00634155	0.00449734	0.00458000
	N'_v	-0.00634155	-0.00786352	-0.00779119	-0.00807431	-0.00827563	-0.00954262
	N'_r	-0.00317077	-0.00266345	-0.00449409	-0.00317258	-0.00327622	-0.00387759

Hız ve ivme türev değerleri, Jones, W. Smitt, Norrbín, Inoue ve Clarke'a ait yarı-ampirik yöntemler kullanılarak hesap edilmiş ve deneylerden elde edilen türev değerleriyle karşılaştırılmıştır. W.Smitt, Norrbín ve Inoue'ya ait yöntemlerle ivme türevleri elde edilemediğinden hesaplamalarda Clarke çoklu regresyon yöntemi ile elde edilen ivme türev değerleri kullanılmıştır. Tablo dikkatle incelendiğinde, yarı-ampirik formüllerle hesaplanan türev değerlerinin, deneysel yöntemlerle elde edilen türev değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. MARAD serisine ait gemiler için yarı-ampirik yollarla hesaplanan ve deneylerden elde edilen hidrodinamik türev değerlerinin karşılaştırılmasına ait tablo ve grafiklere Ek-B'de yer verilmiştir.

Türev değerleri arasındaki mevcut farkın gemi manevra simülasyon programları ile yapılan hesaplar vasıtasıyla elde edilen sonuçlara yapacağı etkilerin incelenebilmesi amacı ile, aynı hız ve ivme türevleri için elde edilen altı farklı değer kullanılarak, her bir gemi için altı ayrı dönme manevra simülasyonu gerçekleştirilmiştir. 35 derece dümen açısı ve 8 knot yaklaşım hızı için gerçekleştirilen dönme manevrası simülasyonu sonucunda farklı türev değerleri için elde edilen dönme dairesi karakteristik değerleri Tablo 5.7 ile verilmiş, toplu karşılaştırmaları ise Şekil 5.7 ile gösterilmiştir.

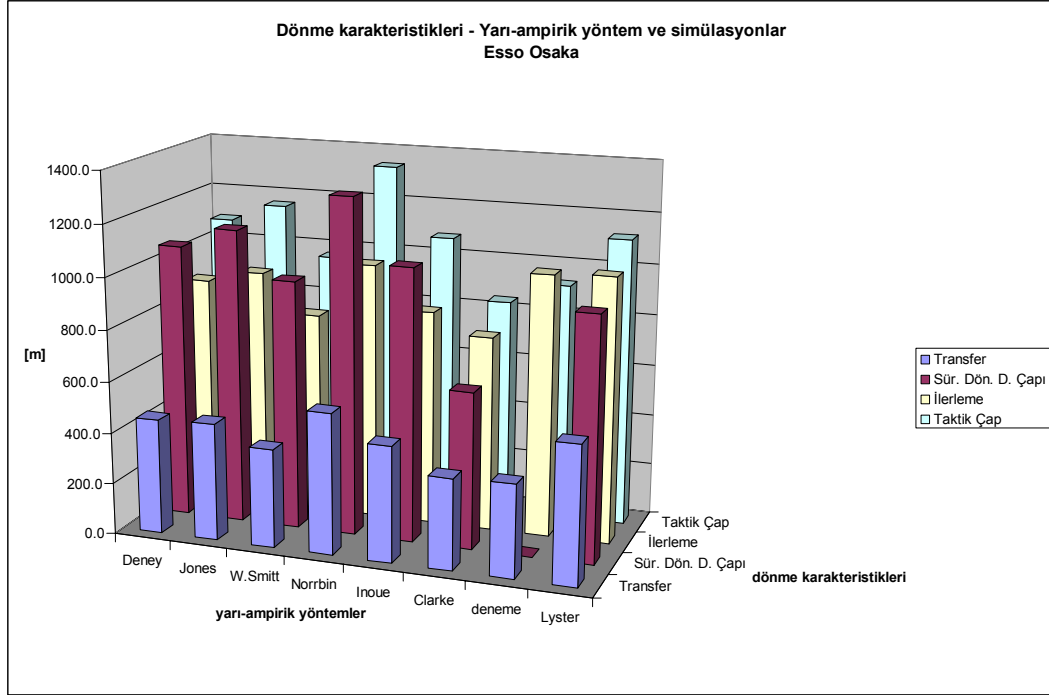
Tablo 5.7: Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbín	Inoue	Clarke	deneme	Lyster
Sürekli D. Hızı	3.9	3.9	3.8	4.2	4.1	2.4	-	3.04
İlerleme	884.5	932.1	783.6	998.7	835.2	757.7	1017	1028.09
Transfer	448.3	456.8	382.7	548.7	450.0	353.3	361	534.37
Taktik Çap	1085.5	1155.8	963.0	1338.3	1074.1	840.0	924	1119.16
Sürekli D. D. Çapı	1068.4	1147.8	969.2	1305.4	1058.2	608.7	-	944.09

Elde edilen sonuçlar, gerçekleştirilen simülasyonlarda kullanılan Y'_v , Y'_r , N'_v , N'_r , Y'_v , Y'_r , N'_v , N'_r hız ve ivme türev değerlerinin yarı-ampirik yöntemlerle elde edilen değerleri arasındaki farkların manevra simülasyon sonuçlarına etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 5.7 ve Şekil 5.7 incelendiğinde, W. Smitt, Inoue ve Clarke'a ait yöntemler ile elde edilen hidrodinamik türevler kullanılarak gerçekleştirilen dönme manevrası simülasyonları ile elde edilen ilerleme, taşınma, taktik çap ve sürekli dönme dairesine ait değerlerin, deney türev değerleri ile gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilen sonuçlarından daha küçük tayin edildiği görülmektedir (underestimate).

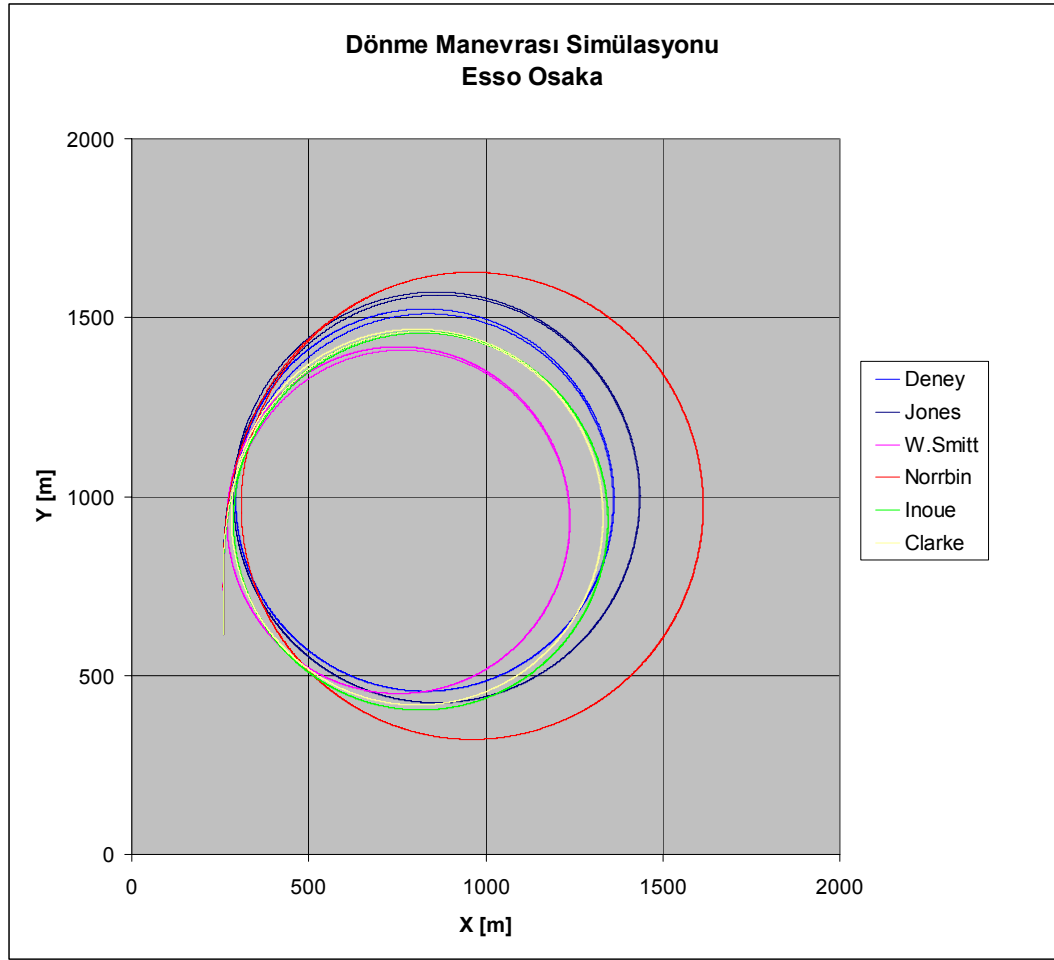
Diğer yandan Jones ve Norrbın yöntemlerine göre hesaplanan türev değerleri ile yapılan simülasyonlarda elde edilen sonuçlar deney türev değerleri ile gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilen sonuçlardan daha büyük tayin edilmiştir (overestimate). Dolayısı ile geminin izlediği yörüngelerde farklılıklar gözlenmesi kaçınılmazdır.



Şekil 5.7: Deneyssel ve Yarı-ampirik Türev Değerlerinin Toplu Karşılaştırılması

Deney türevleri ile gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilen dönme karakteristiklerine ve yörüngelerine en yakın sonuçlar Jones, Norrbın ve Clarke yöntemleri ile elde edilen türevlerin kullanıldığı simülasyonlardır. Elde edilen sonuçlar, yarı ampirik formüller kullanılarak elde edilen türev değerlerinin simülasyonlarda kullanılması durumunda elde edilecek karakteristik değerlerin, deneylerden elde edilen türevlerin kullanıldığı durumda bulunacak sonuçlardan ve elde edilecek yörüngelerden belirli oranlarda sapmasının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir, Şekil 5.8.

MARAD serisine ait gemiler için deney ve yarı-ampirik formüllerle elde edilen türev değerleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarının ve deneyssel ve yarı-ampirik türevlerin dönme yörünge karakteristiklerine etkileri karşılaştırıldığı tablo ve grafiklere Ek-B ve Ek C’de yer verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda elde edilen tüm sonuçlar Bölüm 6’da incelenmiş ve yorumlanmıştır.



Şekil 5.8: Deneysel ve Yarı-ampirik Türevlerin Dönme Yörünge Karakteristiklerine Etkileri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Giriş

Bu çalışmada, gemilere sıklıkla uygulanan ve gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilmesinde kullanılan en yaygın tanımlayıcı manevra kabul edilen dönme manevrası için, gemi manevra simülasyonları ile yarı-ampirik manevra tahmin yöntemleri Esso Osaka tankeri ve MARAD serisi gemiler için mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tahmin yöntemlerinin hangi mertebede başarılı olduğu belirlenmiş ve model deneylerine, simülasyon programlarına ve tam ölçekli deneylere baş vurulmaksızın temel gemi manevra karakteristiklerinin tayin edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Ayrıca manevra simülasyonlarında kullanılan gemilere ait hidrodinamik türev değerlerinin teorik ve ampirik yöntemler kullanılarak hesaplanan değerleri ile deneysel yöntemlerle elde edilen değerleri karşılaştırılmış, aradaki farkların dönme manevra karakteristiklerine yaptığı etkiler incelenmiştir [17, 18].

Dönme manevra karakteristiklerinin yarı-ampirik tahmin yöntemleri kullanılarak belirlenmesinde Lyster ve Knights tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen, tek ve çift pervaneli gemiler için sürekli dönme dairesi, taktik çap, ilerleme, transfer ve dönüşü bağli hız düşümünü veren ampirik tahmin denklemleri kullanılmıştır [5].

Gemi dönme manevralarının simülasyonunda ise Vladimir Ankudinov tarafından geliştirilen, temel gövde elemanlarının birbiri ile ve bir bütün halinde içinde bulunduğu akışkanla etkileşiminin ayrı ayrı incelenebildiği modüler manevra simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programın seçilmesindeki amaç geniş veri tabanları kullanarak, uzun araştırmalar sonucunda, çok sayıda gemi için gerçekleştirilen tam-ölçekli deneme sonuçları ile karşılaştırılarak hazırlanmış olmasıdır [3, 13, 14].

Manevra simülasyonlarında kullanılan hidrodinamik türev değerleri ya da diğer adıyla katsayılar, Tractor Hydronautics laboratuvarlarında gerçekleştirilen

sınırlandırılmış model deneyleri ile elde edilen değerlerdir [17, 18]. Türev değerlerinin ampirik ve teorik yollarla elde edilmesinde ise Jones, W. Smitt, Norrbın, Inoue ve Clarke’a ait yöntemler kullanılmıştır.

Dönme manevra karakteristiklerinin belirlenmesinde uygulanan simülasyonlar ve ampirik-formüller kullanılarak yapılan hesaplamalar, 8 knot yaklaşım hızında ve 5 derece ile 35 derece arasında değişen açılarda, 0,8-0,875 blok katsayısı aralığındaki gemiler için gerçekleştirilmiştir.

Teorik-yarı ampirik ve deneysel yöntemlerle elde edilen hidrodinamik türevler arasındaki farkların manevra karakteristiklerine ve dönme manevra yörüngelerine etkilerinin incelendiği uygulamalarda ise aynı gemi ve aynı manevra koşulları için Jones, W. Smitt, Norrbın, Inoue ve Clarke’a ait yöntemler ile elden Y'_v, Y'_r, N'_v, N'_r , Y'_v, Y'_r, N'_v, N'_r hız ve ivme türev değerleri deneysel yöntemlerle elde edilen “gerçek” türev değerleriyle değiştirilerek 6 farklı simülasyon yapılmıştır [2].

Elde edilen sonuçlar Esso Osaka tankeri ile yapılan tam ölçekli manevra deney sonuçları ve MARAD serisi gemilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır [17,18].

6.2 Sonuçlar

Esso Osaka tankeri için farklı dümen açılarında yapılan dönme manevra simülasyonu ve yarı-ampirik hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar bölüm 5’de incelenmiştir. Tablo 5.4 ve 5.5 ve 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6 şekilleri incelendiğinde ilerleme ve taşınma değerleri için her iki yöntem ile benzer sonuçlar elde edildiği, sürekli dönme dairesi çapı ve taktik çap değerleri için özellikle 5 derece ve 35 derece dümen açılarında oldukça yakın sonuçlar elde edildiği diğer açılarda dikkate değer bir fark olduğu görülmektedir. Diğer yandan, sürekli dönme hızlarının belirlenmesinde ise yarı-ampirik yöntem her dümen açısı için yaklaşık 1 knot düşük hız tayin etmektedir (underestimate).

Esso Osaka tankerinin farklı yarı-ampirik, teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen türev değerleri, bahsedilen türev değerleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarla ve Lyster ve Knights’a ait tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen dönme manevra karakteristikleri Tablo 5.6 ve 5.7 ile, türev değerlerindeki değişimin manevra yörüngelerine yaptığı etkiler ise Şekil 5.8 ile gösterilmiştir.

Manevra türev değerlerinin hesaplanmasında kullanılan ampirik yöntemler arasında genel anlamda deney değerlerine en yakın sonuçlar Clarke'a ait çoklu regresyon yöntemi kullanılarak elde edilen türev değerleridir [2]. Ampirik yollarla elde edilen türev değerlerinin simülasyonlarda kullanılması ile elde edilen yörüngeler incelendiğinde ise, Clarke, Inoue ve Jones'a ait yöntemlerle hesaplanan türevlerin kullanıldığı simülasyonlarla elde edilen yörüngelerin ve dönme manevrası karakteristiklerinin gerçek sonuçlara en yakın değerleri aldığı görülmektedir. Norrbın ve W. Smitt'e göre yapılan hesaplamalarda elde edilen türevlerin kullanıldığı simülasyonlarda ise sırası ile gerçek değerlerden büyük (overestimate) ve gerçek değerlerden küçük (underestimate) sonuçlar belirlenmiştir.

MARAD serisine ait 16 farklı gemi ile uygulanan analiz sonuçları Ek-A, Ek-B Ek-C ve Ek-D ile verilmiştir. Eklerde sırası ile, dönme manevrası simülasyonu ve yarı ampirik tahmin yöntemi ile elde edilen değerlerin farklı dümen açıları için karşılaştırıldığı tablo ve şekiller, deneyler ve yarı-ampirik formüllerle elde edilen türev değerleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, simülasyon yörüngeleri ve deney ve yarı-ampirik formüllerle elde edilen hız ve ivme türev değerlerinin karşılaştırıldığı tablolar mevcuttur.

MARAD serisi gemilerin farklı yarı-ampirik, teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen türev değerleri, bahsedilen türev değerleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarla ve Lyster ve Knights'a ait tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen dönme manevra karakteristikleri incelendiğinde, tüm gemiler için Lyster ve Knights'a göre hesaplanan sürekli dönme hız değerlerinin simülasyonlarla elde edilenlerden 2 knot'a yakın sabit bir fark ile daha küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara dayanılarak yarı ampirik yöntemin sürekli dönme hızının elde edilmesinde yetersiz olduğu söylenebilir. İlerleme, transfer, taktik çap ve sürekli dönme dairesi çapları için yapılan karşılaştırmalarda ise genel olarak yarı-ampirik yöntem kullanılarak elde edilen sonuçların küçük dümen açılarında %30'lara varan oranlarda daha küçük olduğu, büyük dümen açılarında, özellikle 35 derece dümen açısında tüm karakteristik değerlerde simülasyon sonuçlarına çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Tüm MARAD serisi gemilerde sonuçların dümen açılarına göre değişimleri yaklaşık aynı karaktere sahip olmakla birlikte simülasyon ve tahmin yöntemi arasındaki en yaklaşık sonuçlar Gemi G, en farklı sonuçlar ise Gemi N için

elde edilmiştir. Simülasyonlar ile elde edilen karakteristiklerin dümen açılarına göre değişimleri nispeten lineer bir karakterdedir.

Büyük dümen açılarında, bilhassa 35 derece için yarı ampirik yöntemle elde edilen sonuçların simülasyon sonuçlarına çok yakın değerler olmasının sebebi Lyster ve Knights tarafından formüllerin elde edilmesinde kullanılan deney sonuçları arasında en çok büyük açılarda yapılan manevra deney sonuçlarının bulunması olarak açıklanabilir. Genel olarak yarı ampirik yöntemin, 0,8 ve 0,875 blok katsayı değeri aralığındaki dolgun gemilerde özellikle 35 derece civarındaki açılarda başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

MARAD serisine ait gemiler için deneyler ve yarı-ampirik formüllerle elde edilen hız ve ivme türev değerlerinin karşılaştırıldığı Ek-D'deki tablolar incelendiğinde, farklı gemilerde farklı yarı-ampirik yöntemin daha yaklaşık sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak genelleme yapmak gerekirse, Clarke'a ait ifadelerle hesaplanan türev değerlerinde deney değerlerine oldukça yaklaşık sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Deneysel ve farklı yarı-ampirik yöntemlerle elde edilen türev değerleri kullanılarak 35 derece dümen açısında yapılan dönme manevrası simülasyonlarında elde edilen manevra karakteristikleri Ek-B'de karşılaştırılmıştır. Tüm gemiler ve tüm dönme manevra karakteristik değerleri için özellikle Clarke ait yöntem kullanılarak elde edilen hidrodinamik türev değerlerinin kullanıldığı simülasyonlarda, deney türevleri ile bulunan değerlere en yakın sonuçlar elde edilmiş ayrıca Lyster ve Knights'a ait yarı ampirik formül ile yapılan hesaplamalar sonucu bulunan değerlerin de deney türevleri ile elde edilen değerler ile küçük hata oranları ile örtüştüğü görülmektedir.

Deneysel ve farklı yarı-ampirik yöntemlerle elde edilen türev değerleri kullanılarak 35 derece dümen açısında yapılan dönme manevrası simülasyonlarında elde edilen ve Ek-C'de verilen yörüngeler incelendiğinde elde edilen sonuçlarının birbirlerinden dikkate değer oranda saptığı görülmektedir. Türev değerlerindeki küçük farklar manevra karakteristiklerine büyük etkiler yapmamakla birlikte izlenen yörüngeleri önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle B, I, J ve M gemileri için Clarke ait yöntem kullanılarak elde edilen hidrodinamik türev değerlerinin kullanıldığı simülasyonlarda deney türevleri ile bulunan yörüngelere yaklaşık yörüngeler elde edilirken, O, N ve K gemilerinde Norrbın'e ait yöntem vasıtası ile hesaplanan türev değerleri

kullanılarak elde edilen yörüngelerin deney türevleri ile bulunan yörüngelere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarla, Lyster ve Knights'a ait yarı ampirik yöntemin özellikle dolgun gemilerin dönme manevra karakteristiklerinin hesaplanmasında sadece büyük dümen açıları için yeterli olduğu, küçük dümen açıları içinse sonuçların büyük oranda sapması nedeni ile ön dizayn hesaplamaları için dahi kullanılmaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Jones, Norrbom, W. Smitt, Inoue ve Clark'a ait yarı-ampirik ve teorik yöntemlerle elde edilen hidrodynamic hız ve ivme türevleri, deneysel yöntemlerle elde edilen "gerçek" türev değerlerine görünürde oldukça yakın olmakla birlikte bu değerlerin dönme manevrası simülasyonlarında kullanılması ile elde edilen sonuçlar önemli farklılıklar göstermekte, ancak Clarke'a ait yöntemle bulunan hidrodynamic türevler ve bu türevler kullanılarak elde edilen dönme manevra karakteristikleri ise kabul edilebilir sınırlar içinde doğru sonuçlar vermektedir. Yarı ampirik ve teorik yöntemler hidrodynamic türev değerlerinin tayin edilmesinde ve manevra yörüngelerinin kesin olarak hesaplanmasında yetersiz kalmakta ve simülasyonlarda kullanılmaları hatalı sonuçların elde edilmesine neden olmaktadır. Bu noktada sınırlandırılmış model deneylerinin türev değerlerinin belirlenmesinde en güvenilir yöntemler olduğu bir kez daha kanıtlanmıştır.

6.3 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Günümüzde bilimin birçok alanında olduğu gibi gemi hidrodinamiği alanında da sayısal simülasyonlar oldukça ileri seviyelere ulaşmıştır. Deney tanklarında gerçekleştirilen model deneyleri dahi bilgisayar ortamında gerçeğe son derece yakın ve son derece detaylı biçimde modellenebilmekte ve istenilen parametreler kolaylıkla değiştirilerek etkileri hızla analiz edilebilmektedir. Gemi manevralarının modellenmesinde ve analizinde kullanılan CFD (computational fluid dynamics) yöntemlerin gelişimine paralel olarak elde edilen sonuçların doğruluk oranının artmasıyla birlikte, farklı parametrelerin geniş aralıklar içerisinde değiştirildiği çok sayıda manevra deneyi gerçekleştirilebilecek, bu sayede, deney sonuçların analizi ile elde edilen yarı ampirik yöntemlerin gemi manevra karakteristiklerini tayin etmedeki başarı oranı yükselecek ve kapsamı genişleyecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ankudinov, V.**, 1987. Controllability Assessment Using Prediction Techniques. *Design Workbook on Ship Maneuverability*, SNAME, New Jersey.
- [2] **Clarke, D., Gedling, P. and Hine, G.**, 1982. The Application of Maneuvering Criteria in Hull Design Using Linear Theory. *Meeting of The Royal Institution of Naval Architects*, London, England, April 21.
- [3] **Ankudinov, V., Kaplan, P. and Jacobsen, B.K.**, 1993. Assessment and Principal Structure of the Modular Mathematical Model for Ship Maneuverability Prediction and Real Time Maneuvering Simulations, MARSIM-93.
- [4] **Lopez, E., Velasco, F.J., Moyano, E. and Rueda, T.M.**, 2004. Full Scale Manoeuvring Trials. *Journal of Maritime Research*, **1**, 37-50.
- [5] **Lyster, C.A. and Knights, H.L.**, 1979. Prediction Equations for Ships' Turning Circles. *Trans. NECIES*, **95**, 217-232.
- [6] **Asinovsky, V. and Huang, K.N.**, 1991. Ship Maneuverability Analysis Using Steady-State Techniques. *Marine Technology*, **28**, 163-180.
- [7] **Lee, H.Y. and Shin, S.S.**, 1998. The Prediction of Ship's Maneuvering Performance in Initial Design Stage. *Practical Design of Ships and Mobile Units*, M.W.C. Oosterveld and S.G. Tan, Ulsan, Korea.
- [8] **Daidola, J.C., Graham, D.A. and Tolefson, D.C.**, 1986. A Simulation Program for Vessel's Maneuvering at Slow Speeds. *Spring Meeting/STAR Symposium*, Portland, Oregon, USA, May 20-23.
- [9] **Norrbin, N.H.**, 1989. Ship Turning Circles and Maneuvering Criteria. *Spring Meeting/STAR Symposium*, New Orleans, Louisiana, USA, April 12-15.
- [10] **Denny, S.B. and Hubble, E.N.**, 1991. Prediction of Craft Turning Characteristics. *Marine Technology*, **28**, 1-13.
- [11] **Lewis, E.V.**, 1989. Principles of Naval Architecture Volume III Motions in Waves and Controllability Assessment Using Prediction Techniques, SNAME, New Jersey.
- [12] **Sabuncu, T.**, 1985. Gemi Manevraları ve Kontrolü, İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [13] **Ankudinov, V. and Jacobsen, B.**, 1987. Mathematical and Computer Models for Predicting and Assessing Handling Characteristics of U.S.C.G. Vessels. United States Coast Guard Department of Transportation Technical Report, October 16.

- [14] **Ankudinov, V.**, 1985. Ship Maneuvering Simulation Model Including Regimes of Slow Speeds and Large Drift Angles. *Report for the First Maritime Simulation International Symposium*, Munich, Germany, June 1985.
- [15] **Oltmann, P. and Sharma, S.**, 1984. Simulation of Combined Engine and Rudder Maneuvers Using an Improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions. *15th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Hamburg, Germany.
- [16] **Ankudinov, V. K., Miller, E.R., Alman, P.R., Jakobsen, B.K., and Conrad, R.E.**, 1987. Ship Maneuverability Assessment in Ship Design – Simulation Concept. *Ship Maneuverability Conference*, London, England.
- [17] **Roseman, D.P.**, 1987. The MARAD Systematic Series of Full Form Ship Models. SNAME, Jersey City, New Jersey, USA.
- [18] **Ankudinov, V.**, 1985. Model Test and Simulation Correlation Study Based on the Full Scale “Esso Osaka” Maneuvering Data. U.S. Department of Commerce Maritime Administration Office, Washington D.C., USA.

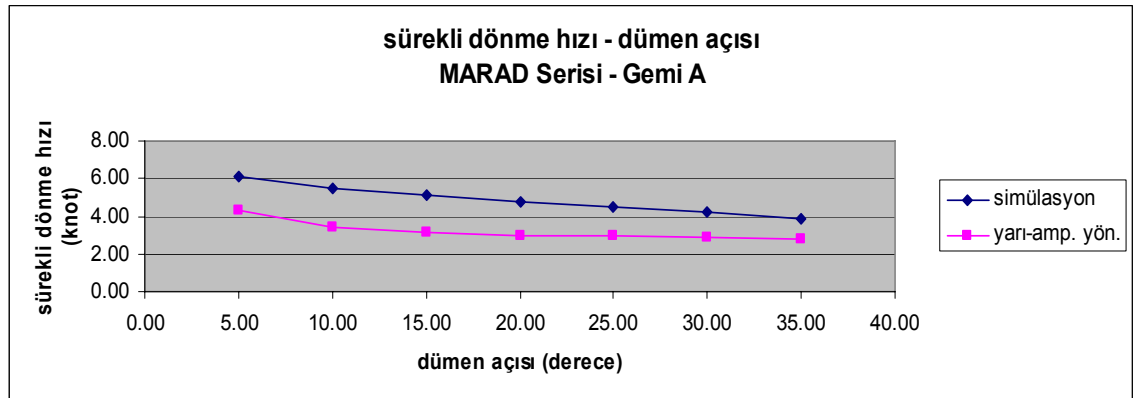
EK-A

Tablo A-1: MARAD Serisi Gemi A - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

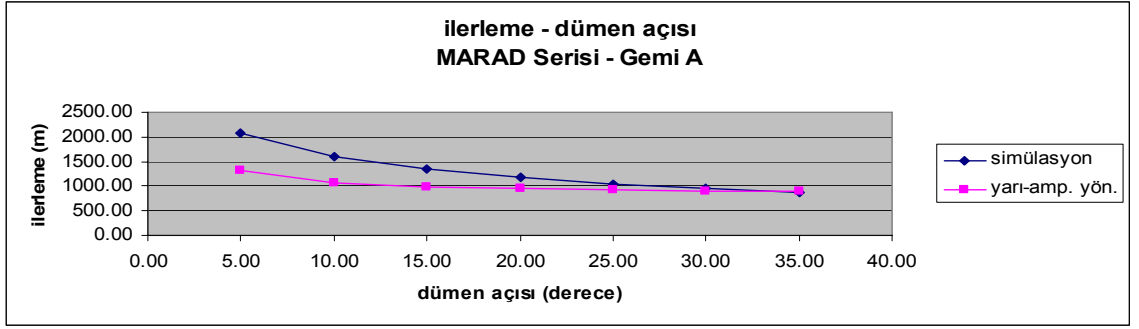
Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2070.93	1125.05	2559.80	2615.15
10.00	5.50	1604.71	856.95	2012.53	2023.54
15.00	5.10	1346.76	695.74	1668.08	1630.13
20.00	4.80	1173.30	582.75	1416.41	1330.39
25.00	4.50	1044.55	496.88	1216.30	1082.65
30.00	4.20	943.08	428.27	1048.21	865.11
35.00	3.90	859.78	371.61	901.60	668.15

Tablo A-2: MARAD Serisi Gemi A - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

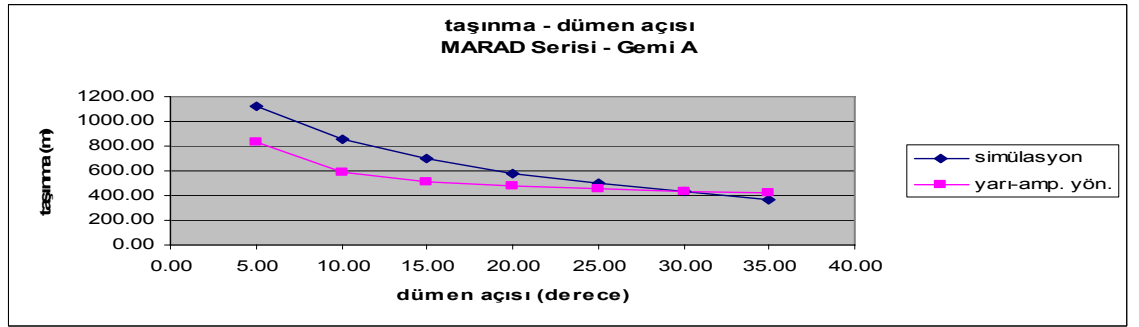
Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.34	1323.12	833.75	1719.90	1612.88
10.00	3.46	1072.79	594.03	1237.57	1082.85
15.00	3.16	989.35	514.13	1076.80	906.18
20.00	3.01	947.63	474.18	996.41	817.84
25.00	2.93	922.60	450.21	948.18	764.84
30.00	2.87	905.91	434.22	916.02	729.50
35.00	2.83	893.99	422.81	893.06	704.26



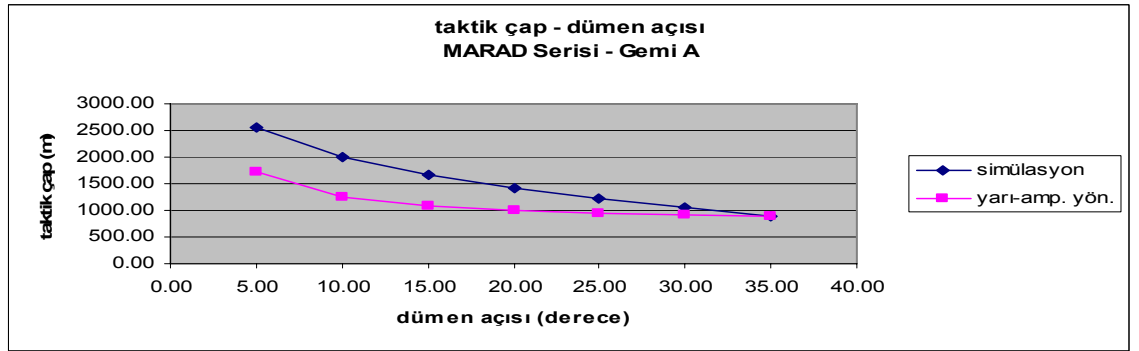
Şekil A-1: MARAD Serisi Gemi A – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması



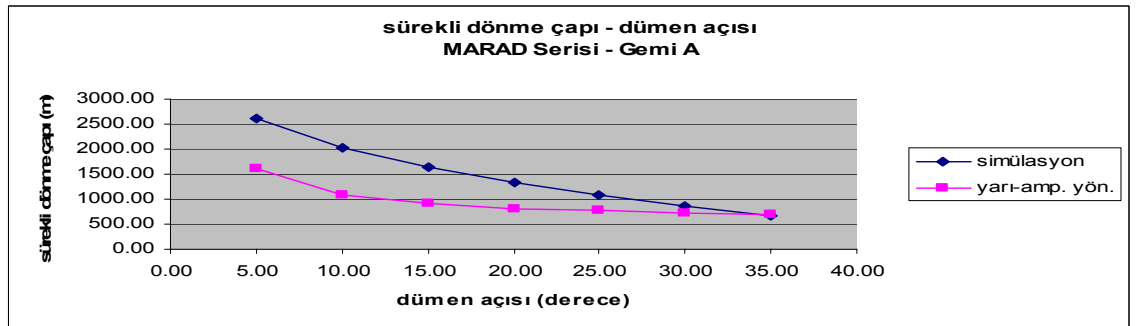
Şekil A-2: MARAD Serisi Gemi A – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-3: MARAD Serisi Gemi A – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-4: MARAD Serisi Gemi A – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



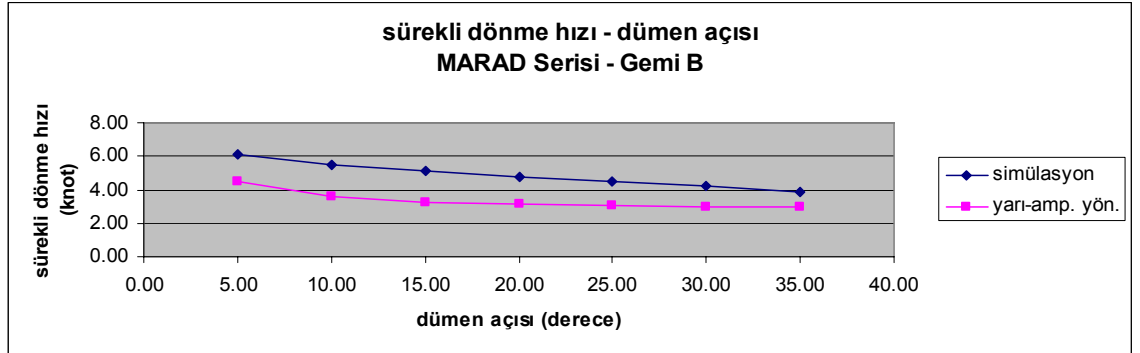
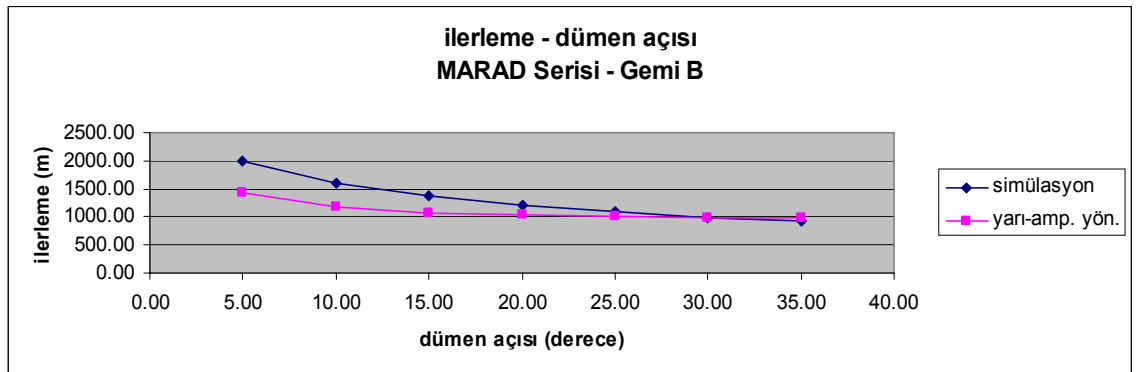
Şekil A-5: MARAD Serisi Gemi A – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

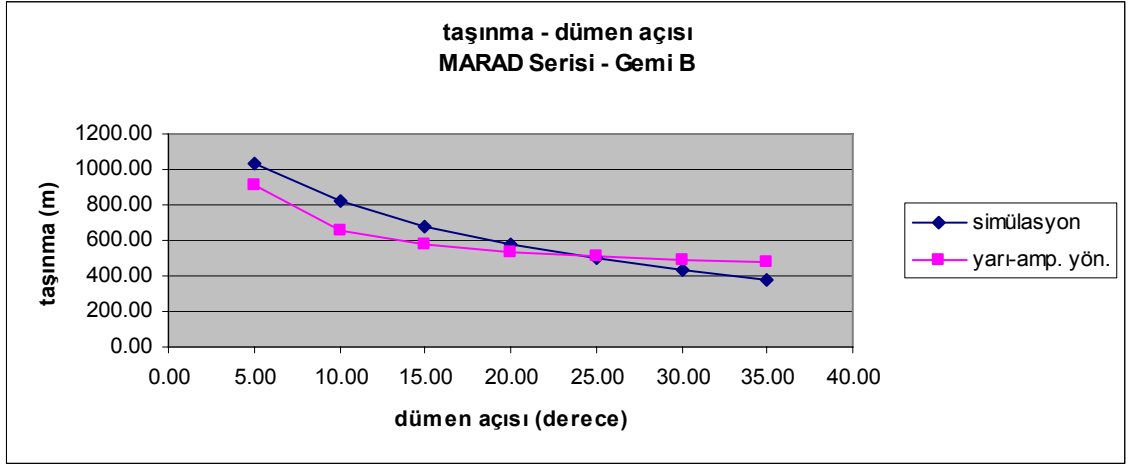
Tablo A-3: MARAD Serisi Gemi B - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	1999.18	1029.34	2442.73	2530.97
10.00	5.50	1595.35	816.86	2020.49	2056.46
15.00	5.10	1365.72	680.59	1738.55	1721.85
20.00	4.80	1208.14	580.55	1524.61	1457.61
25.00	4.50	1089.02	501.43	1349.20	1231.57
30.00	4.20	993.43	435.77	1197.19	1024.83
35.00	3.90	913.39	379.48	1059.45	822.56

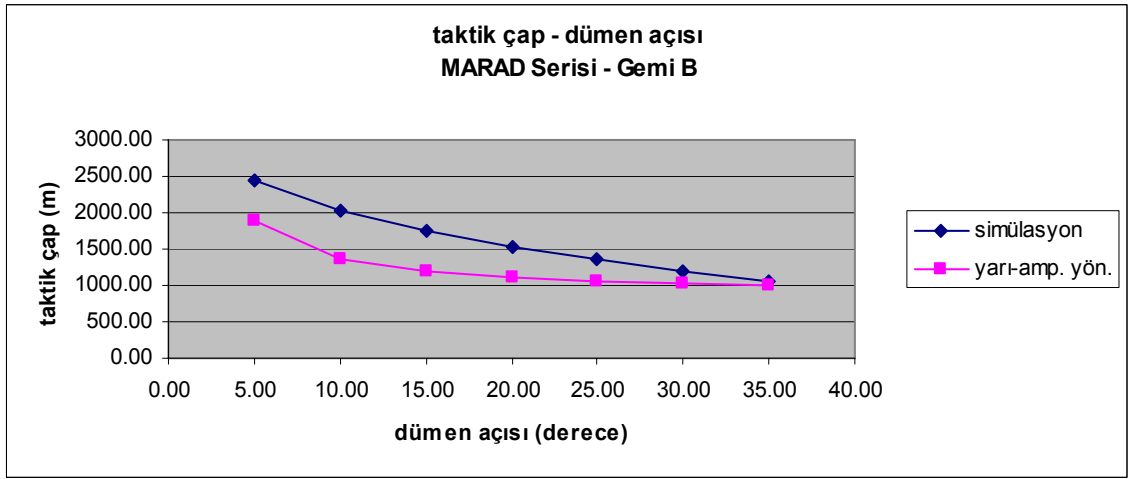
Tablo A-4: MARAD Serisi Gemi B - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.45	1434.97	914.99	1885.88	1779.86
10.00	3.56	1169.70	660.96	1374.76	1218.18
15.00	3.27	1081.28	576.28	1204.39	1030.96
20.00	3.12	1037.06	533.95	1119.20	937.35
25.00	3.04	1010.54	508.54	1068.09	881.18
30.00	2.98	992.85	491.61	1034.01	843.73
35.00	2.93	980.22	479.51	1009.67	816.99

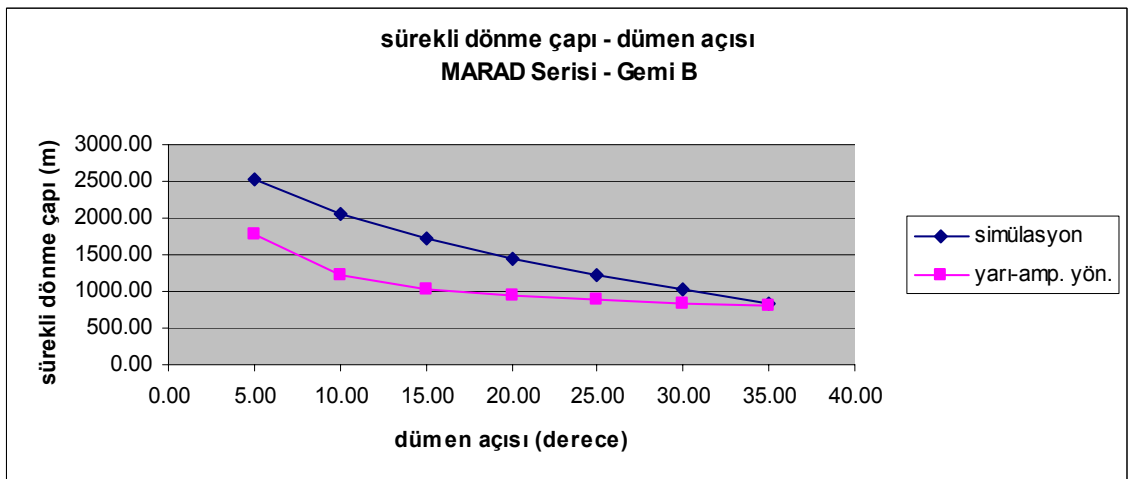
**Şekil A-6: MARAD Serisi Gemi B – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-7: MARAD Serisi Gemi B – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-8: MARAD Serisi Gemi B – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-9: MARAD Serisi Gemi B – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



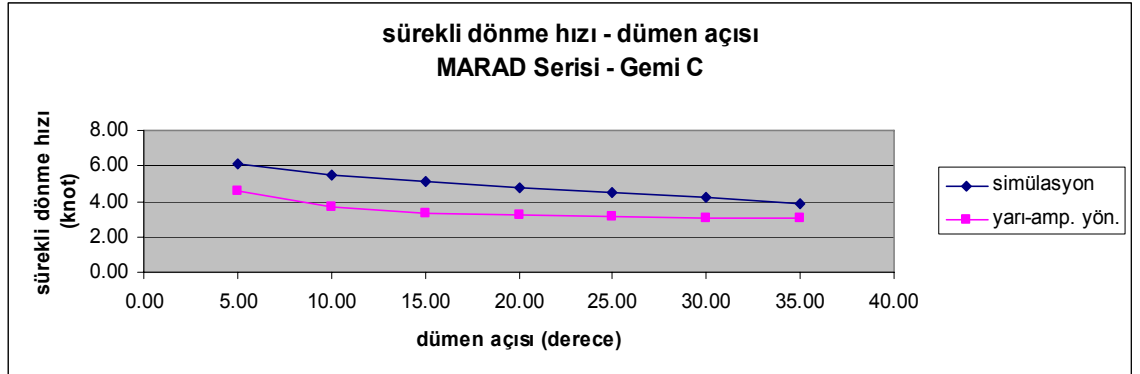
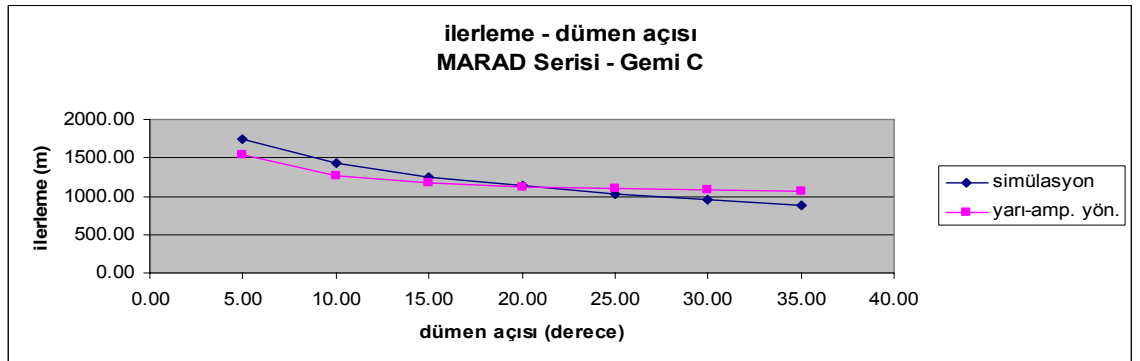
Şekil A-10: MARAD Serisi Gemi B – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

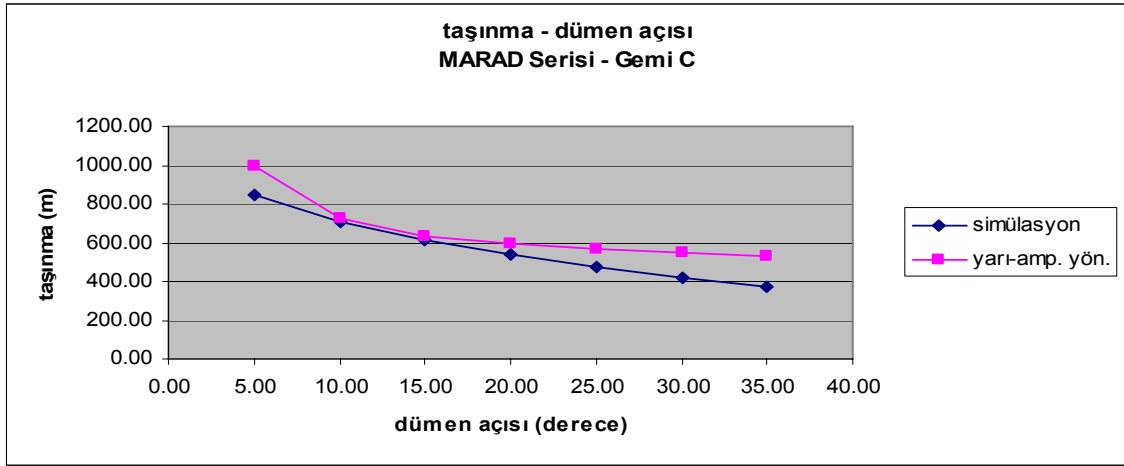
Tablo A-5: MARAD Serisi Gemi C - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	1743.58	844.48	2068.19	2174.78
10.00	5.50	1436.55	707.08	1806.43	1859.40
15.00	5.10	1256.02	611.28	1617.70	1618.82
20.00	4.80	1128.86	536.69	1467.37	1418.36
25.00	4.50	1030.62	474.85	1339.75	1238.95
30.00	4.20	950.15	421.26	1226.00	1067.41
35.00	3.90	881.45	373.38	1120.20	890.14

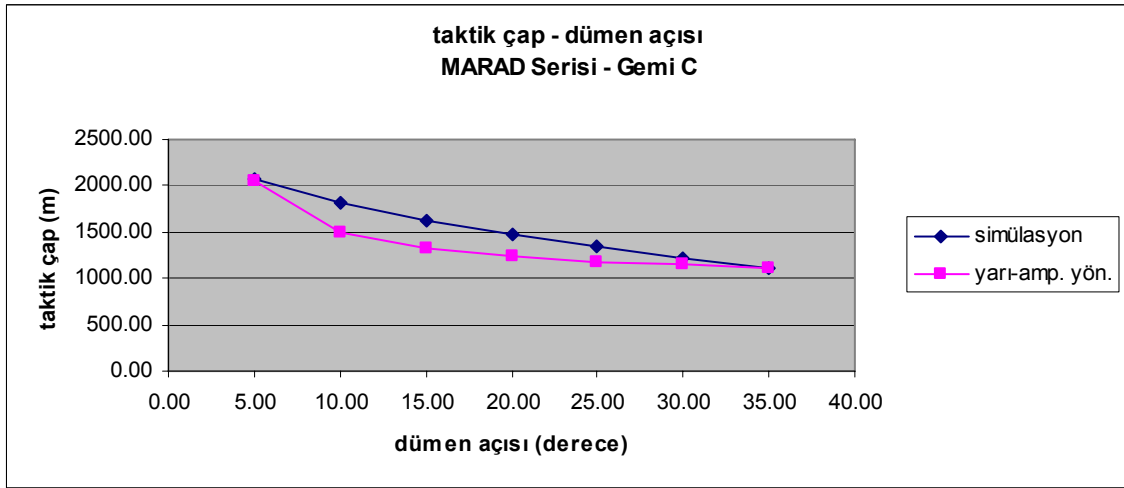
Tablo A-6: MARAD Serisi Gemi C - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.54	1542.83	993.11	2045.53	1940.33
10.00	3.66	1263.02	725.17	1506.41	1347.88
15.00	3.36	1169.75	635.85	1326.70	1150.40
20.00	3.22	1123.12	591.19	1236.84	1051.65
25.00	3.13	1095.13	564.40	1182.93	992.41
30.00	3.07	1076.48	546.54	1146.99	952.91
35.00	3.03	1063.16	533.78	1121.31	924.70

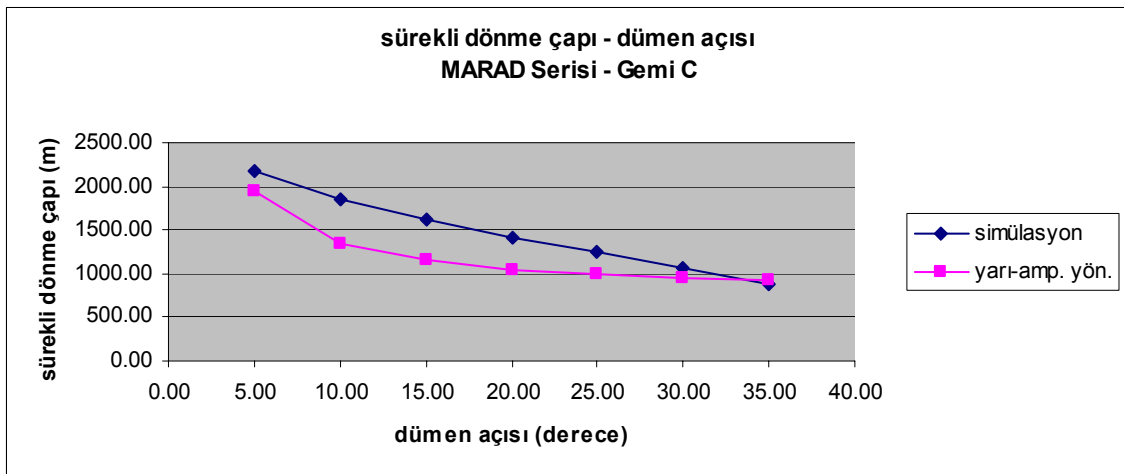
**Şekil A-11: MARAD Serisi Gemi C – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-12: MARAD Serisi Gemi C – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-13: MARAD Serisi Gemi C – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-14: MARAD Serisi Gemi C – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



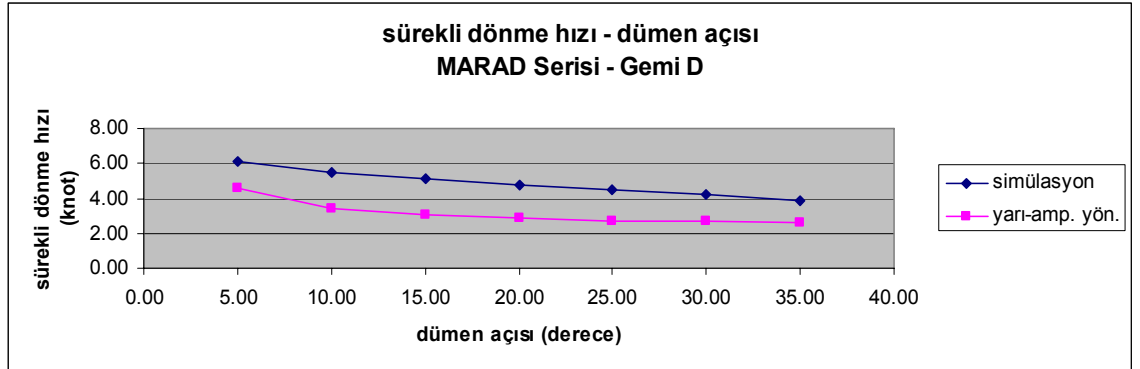
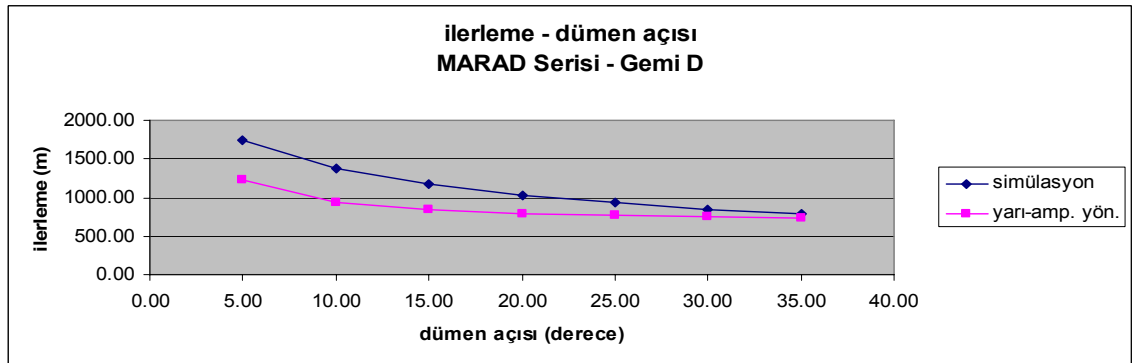
Şekil A-15: MARAD Serisi Gemi C – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

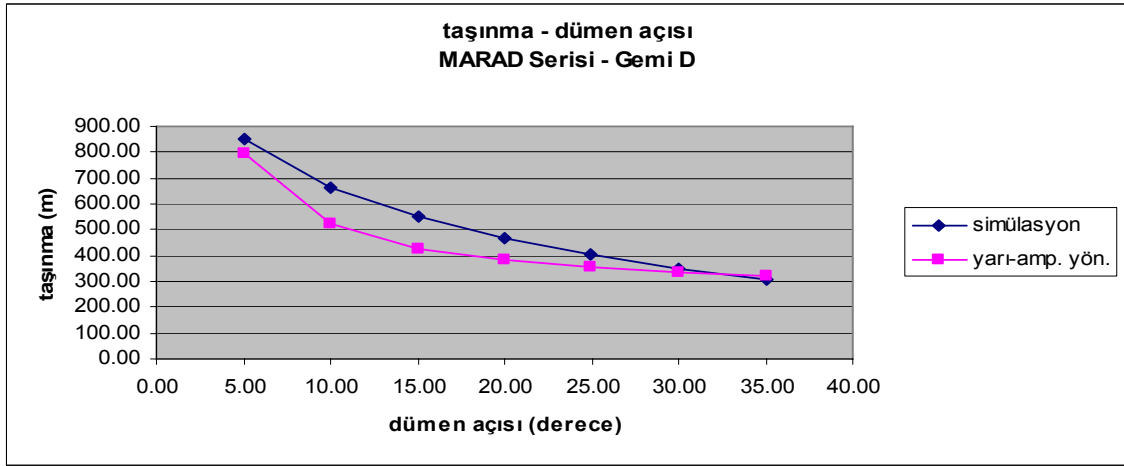
Tablo A-7: MARAD Serisi Gemi D - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	1743.55	850.61	1978.88	2013.39
10.00	5.50	1374.71	664.40	1625.07	1618.31
15.00	5.10	1169.79	549.19	1395.98	1343.50
20.00	4.80	1031.60	466.92	1226.61	1132.30
25.00	4.50	928.82	403.52	1091.49	956.37
30.00	4.20	847.65	352.32	977.83	799.95
35.00	3.90	780.90	309.55	878.37	651.69

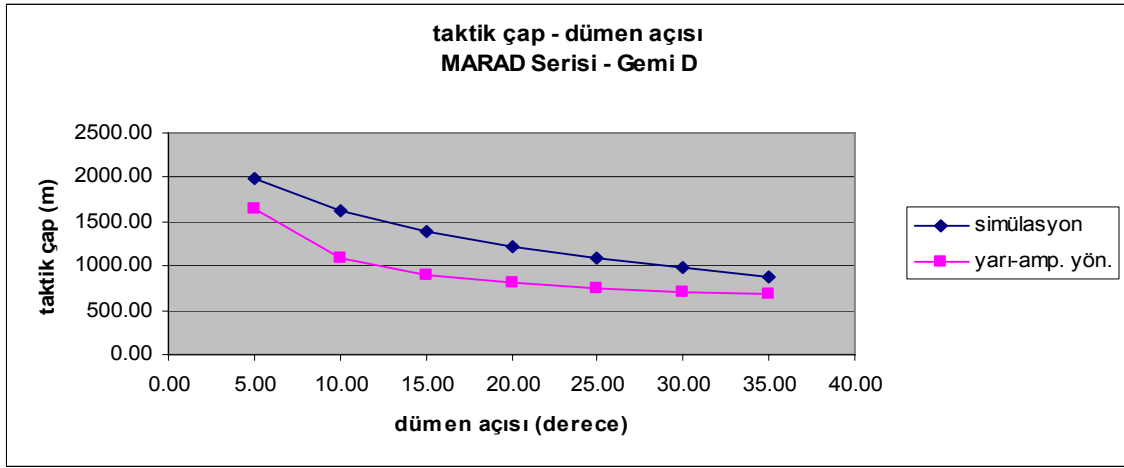
Tablo A-8: MARAD Serisi Gemi D - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.59	1232.21	797.27	1641.57	1557.06
10.00	3.44	942.58	519.92	1083.51	943.81
15.00	3.05	846.04	427.47	897.49	739.39
20.00	2.86	797.77	381.24	804.48	637.18
25.00	2.74	768.81	353.51	748.68	575.86
30.00	2.67	749.50	335.02	711.47	534.98
35.00	2.61	735.70	321.81	684.90	505.77

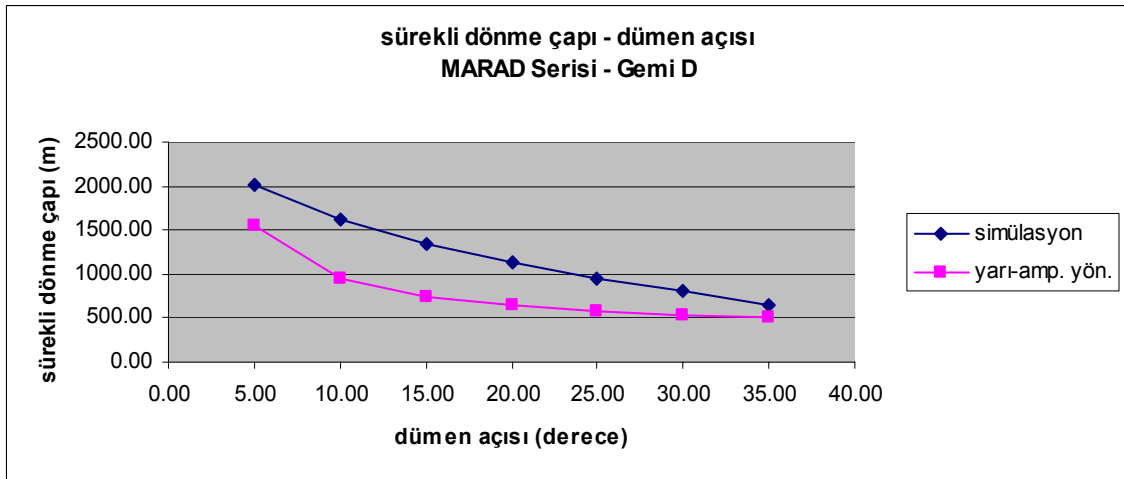
**Şekil A-16: MARAD Serisi Gemi D – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-17: MARAD Serisi Gemi D – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-18: MARAD Serisi Gemi D – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-19: MARAD Serisi Gemi D – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



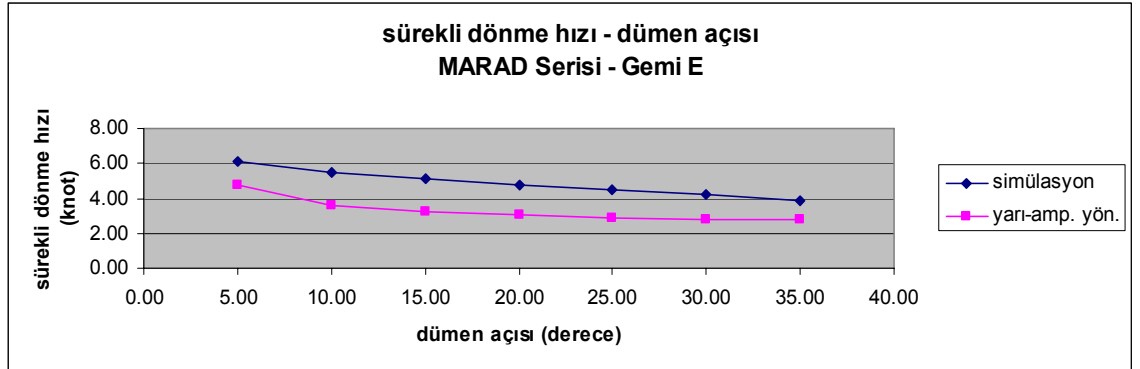
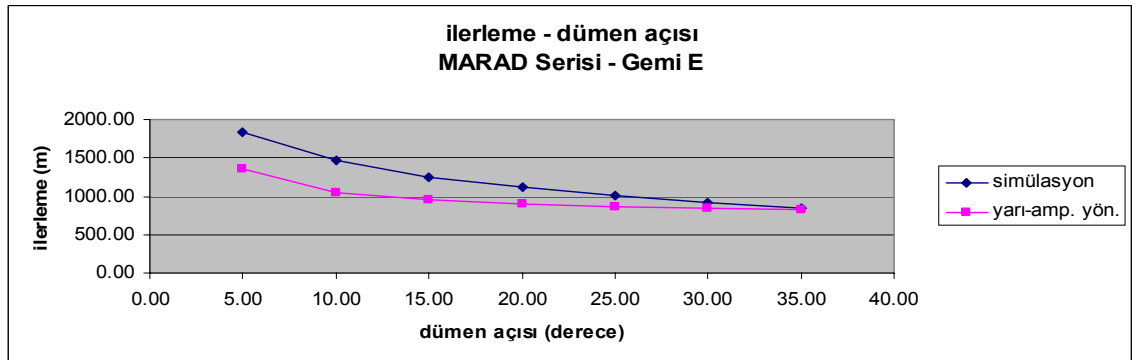
Şekil A-20: MARAD Serisi Gemi D – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

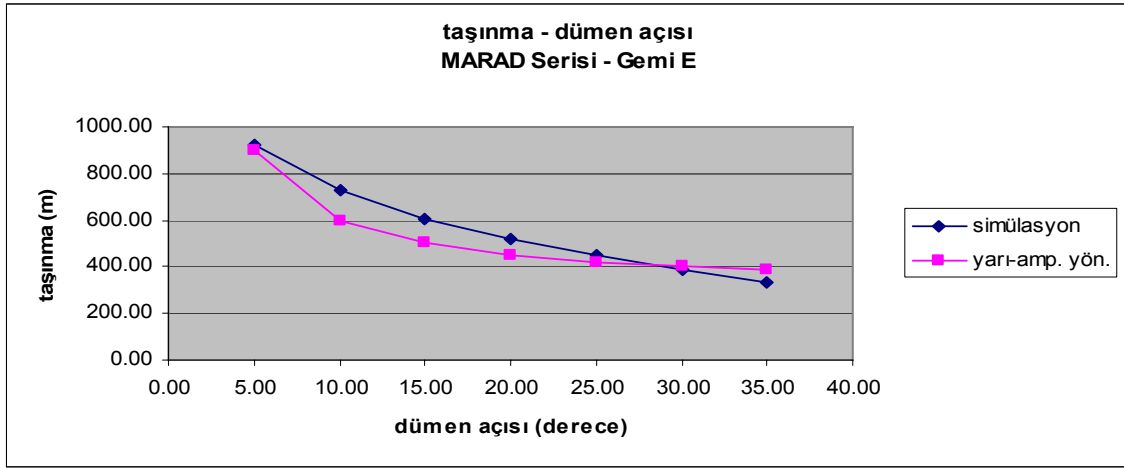
Tablo A-9: MARAD Serisi Gemi E - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	1838.71	922.11	2193.28	2249.85
10.00	5.50	1466.64	730.94	1817.74	1826.88
15.00	5.10	1255.32	607.89	1566.37	1528.39
20.00	4.80	1110.45	517.46	1375.87	1294.12
25.00	4.50	1001.12	445.86	1220.27	1095.51
30.00	4.20	913.46	386.46	1086.31	915.86
35.00	3.90	840.21	335.55	965.85	741.09

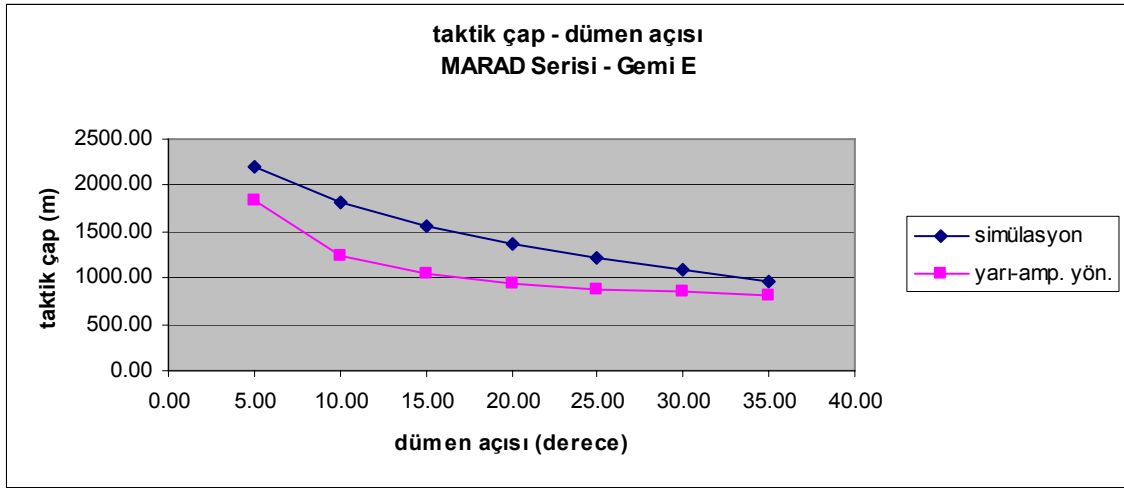
Tablo A-10: MARAD Serisi Gemi E - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.75	1365.19	896.78	1844.51	1763.41
10.00	3.60	1054.50	599.27	1245.88	1105.57
15.00	3.21	950.93	500.90	1046.33	886.29
20.00	3.02	899.15	450.51	946.56	776.66
25.00	2.90	868.08	420.76	886.70	710.87
30.00	2.83	847.37	400.92	846.79	667.02
35.00	2.77	832.58	386.75	818.28	635.69

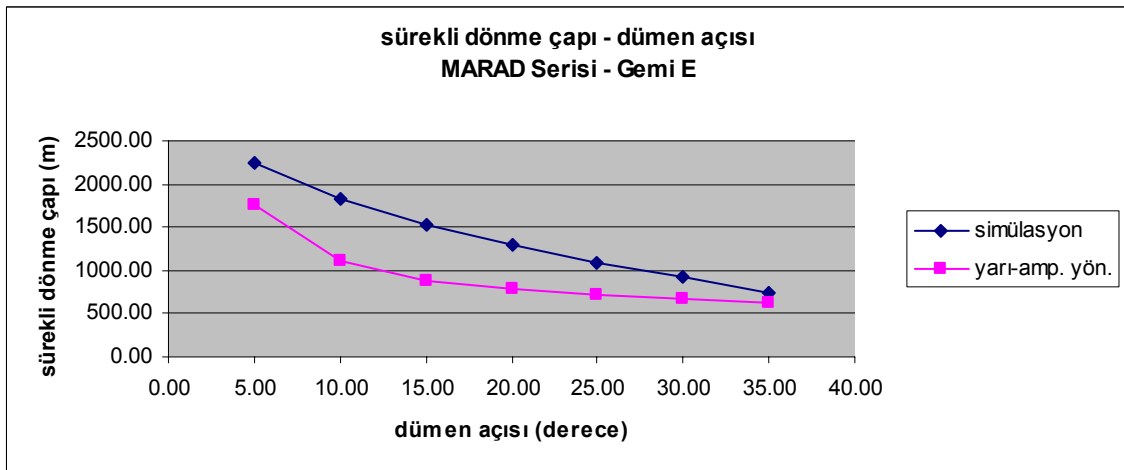
**Şekil A-21: MARAD Serisi Gemi E – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-22: MARAD Serisi Gemi E – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-23: MARAD Serisi Gemi E – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-24: MARAD Serisi Gemi E – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



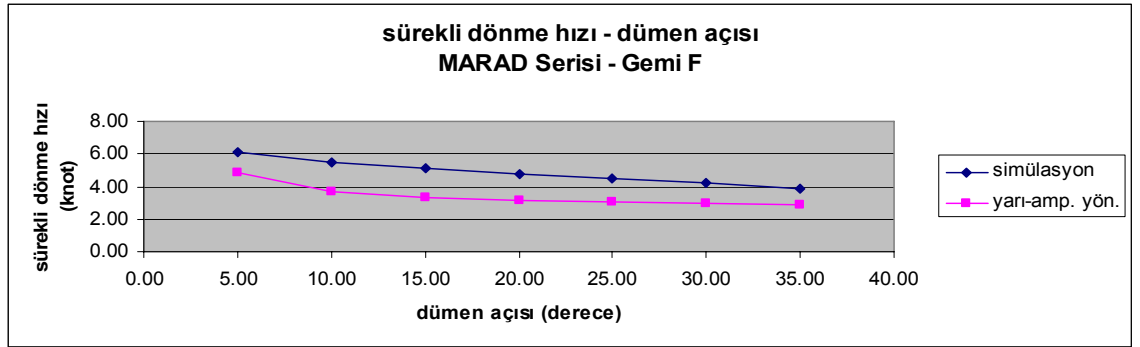
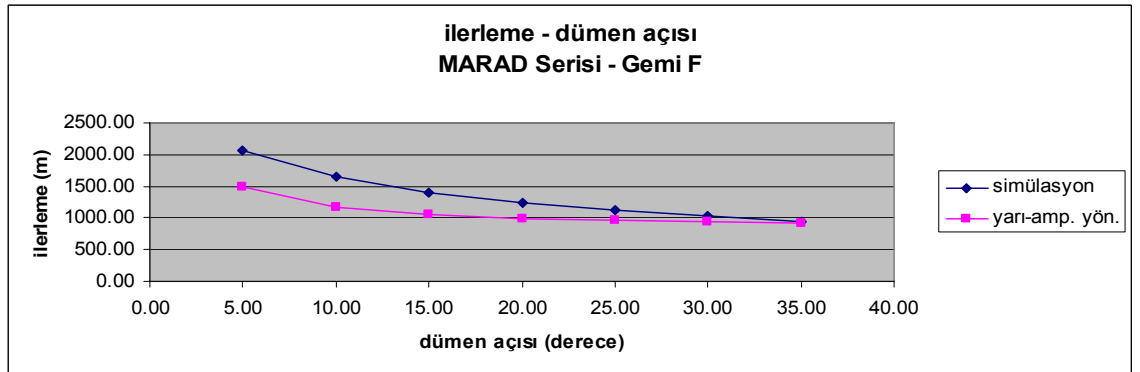
Şekil A-25: MARAD Serisi Gemi E – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

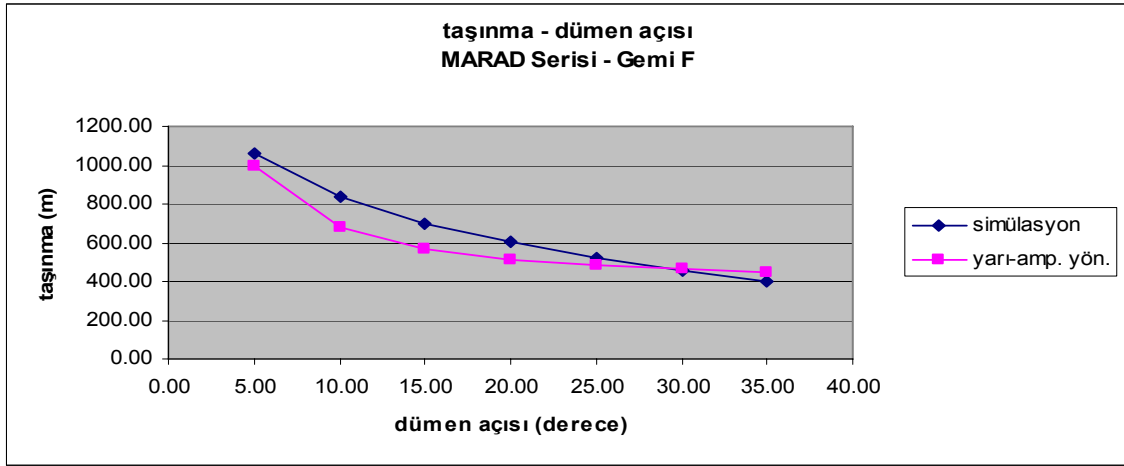
Tablo A-11: MARAD Serisi Gemi F - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2063.40	1059.97	2484.70	2564.47
10.00	5.50	1643.05	840.88	2055.05	2088.76
15.00	5.10	1406.38	701.95	1771.71	1759.00
20.00	4.80	1245.17	600.88	1559.33	1503.88
25.00	4.50	1124.16	521.57	1387.66	1291.59
30.00	4.20	1027.72	456.19	1241.36	1104.50
35.00	3.90	947.53	400.54	1111.48	930.95

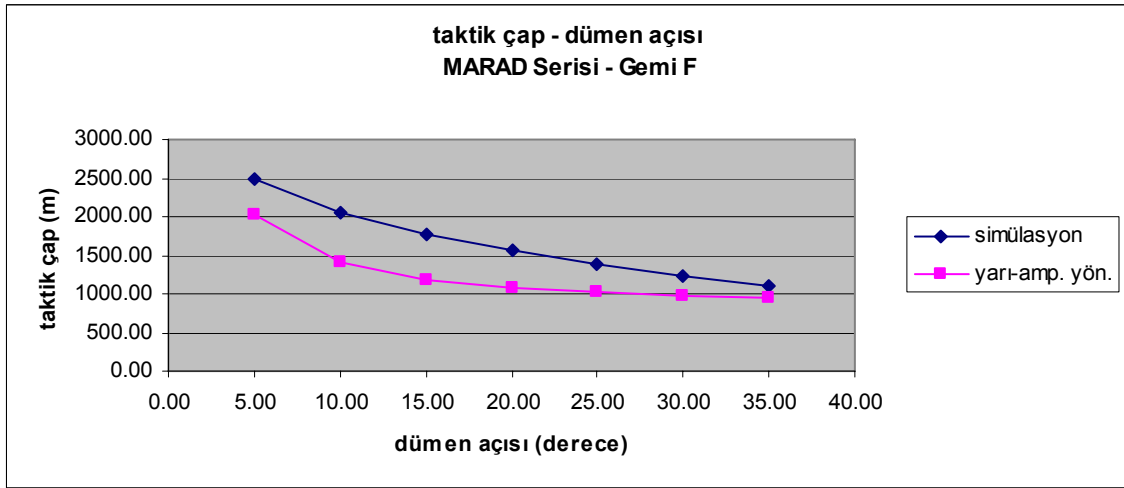
Tablo A-12: MARAD Serisi Gemi F - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.88	1492.53	991.78	2038.27	1960.23
10.00	3.73	1161.44	674.72	1400.34	1259.21
15.00	3.34	1051.08	569.04	1187.69	1025.53
20.00	3.15	995.90	516.20	1081.37	908.70
25.00	3.04	962.79	484.49	1017.58	838.59
30.00	2.96	940.72	463.36	975.05	791.86
35.00	2.90	924.95	448.26	944.67	758.48

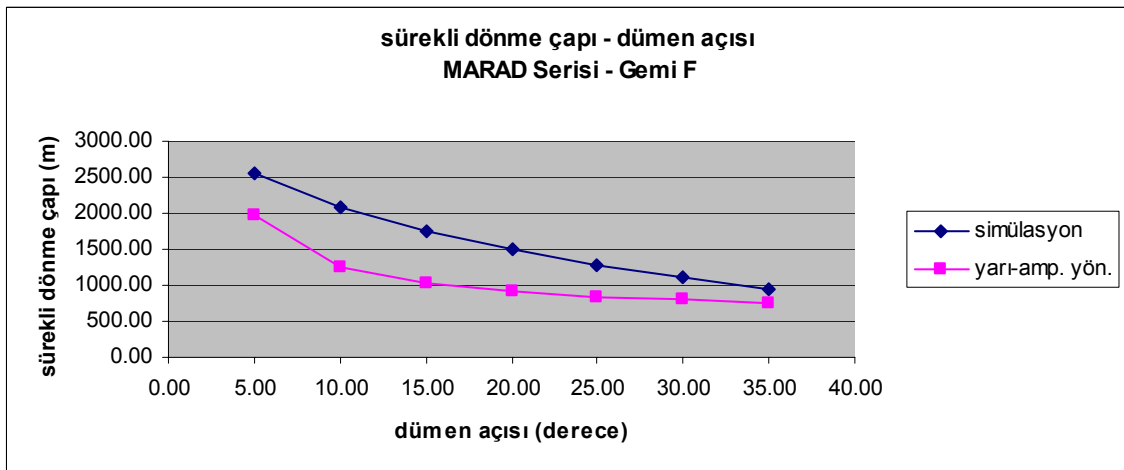
**Şekil A-26: MARAD Serisi Gemi F – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-27: MARAD Serisi Gemi F – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-28: MARAD Serisi Gemi F – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-29: MARAD Serisi Gemi F – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



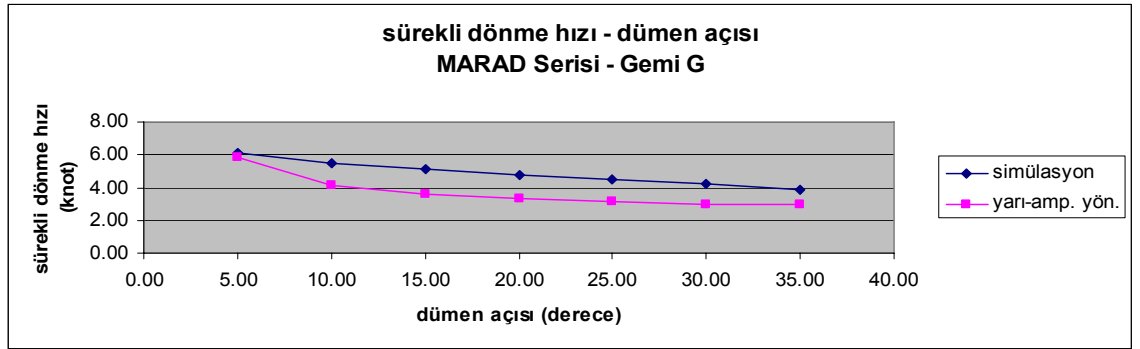
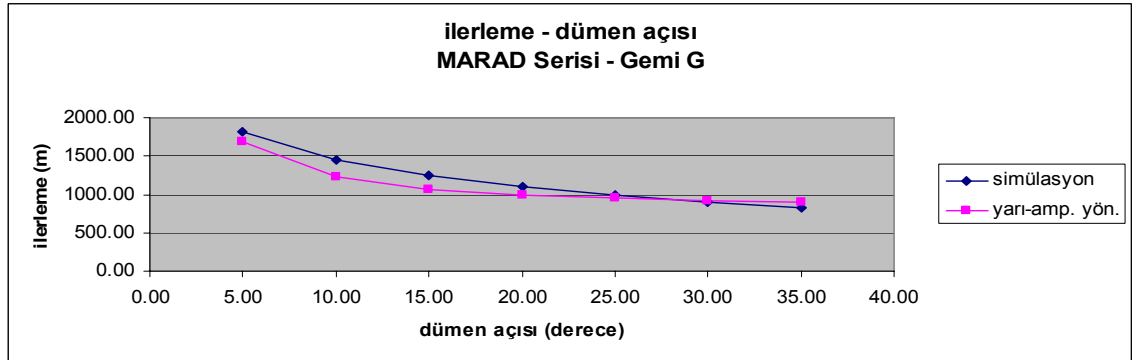
Şekil A-30: MARAD Serisi Gemi F – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

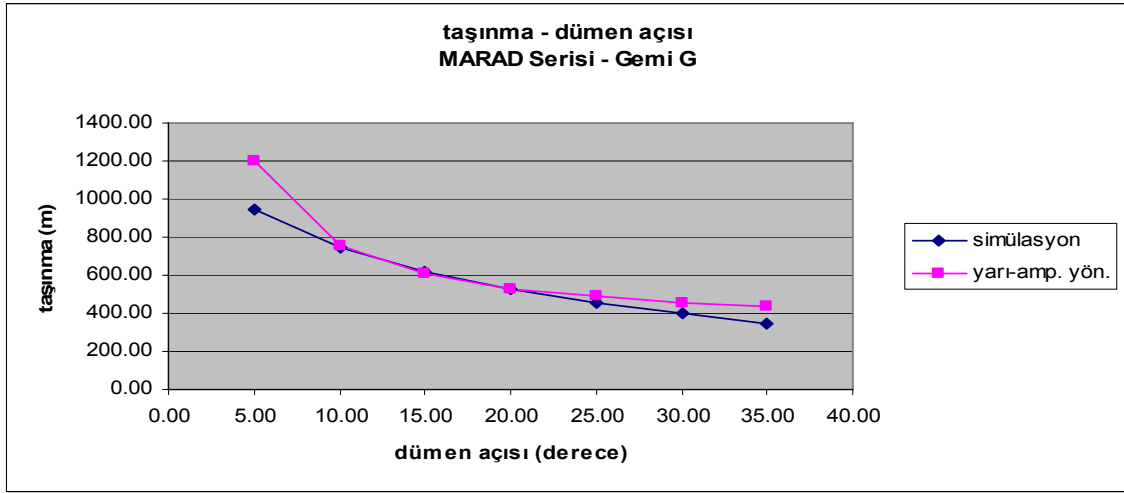
Tablo A-13: MARAD Serisi Gemi G - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	1822.12	941.56	2248.63	2291.39
10.00	5.50	1453.19	747.40	1860.50	1864.16
15.00	5.10	1243.22	622.19	1600.69	1563.29
20.00	4.80	1099.05	530.14	1403.97	1359.19
25.00	4.50	990.14	457.32	1246.66	1202.86
30.00	4.20	902.82	396.97	1114.62	1045.92
35.00	3.90	829.85	345.52	995.90	878.92

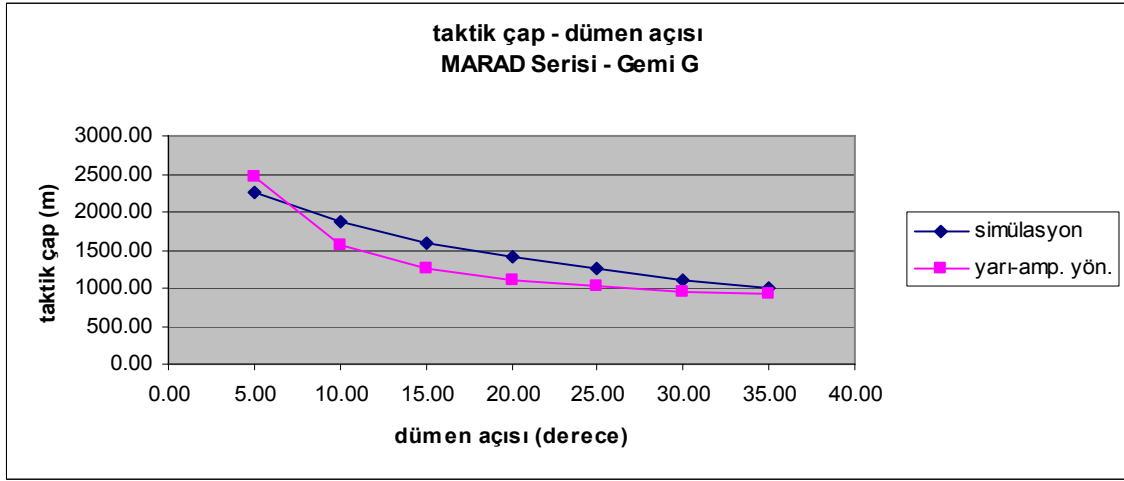
Tablo A-14: MARAD Serisi Gemi G - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	5.85	1693.04	1202.38	2460.21	2435.01
10.00	4.14	1226.02	755.16	1560.36	1446.16
15.00	3.58	1070.34	606.08	1260.40	1116.54
20.00	3.29	992.51	531.54	1110.43	951.73
25.00	3.12	945.80	486.82	1020.44	852.84
30.00	3.01	914.67	457.00	960.45	786.92
35.00	2.93	892.43	435.71	917.60	739.83

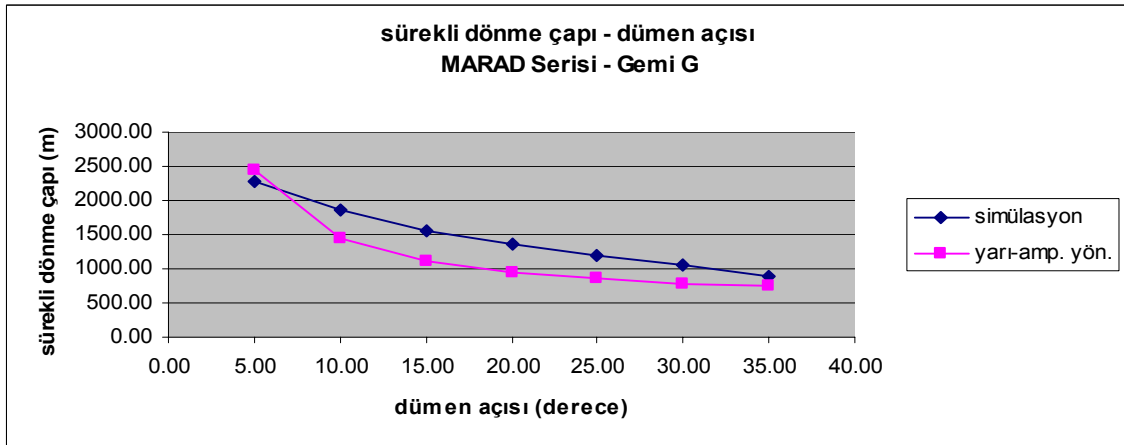
**Şekil A-31: MARAD Serisi Gemi G – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-32: MARAD Serisi Gemi G – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-33: MARAD Serisi Gemi G – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-34: MARAD Serisi Gemi G – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



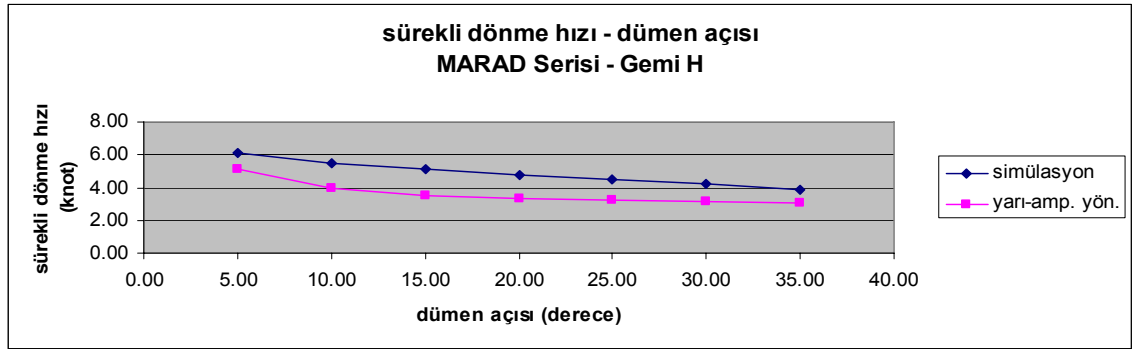
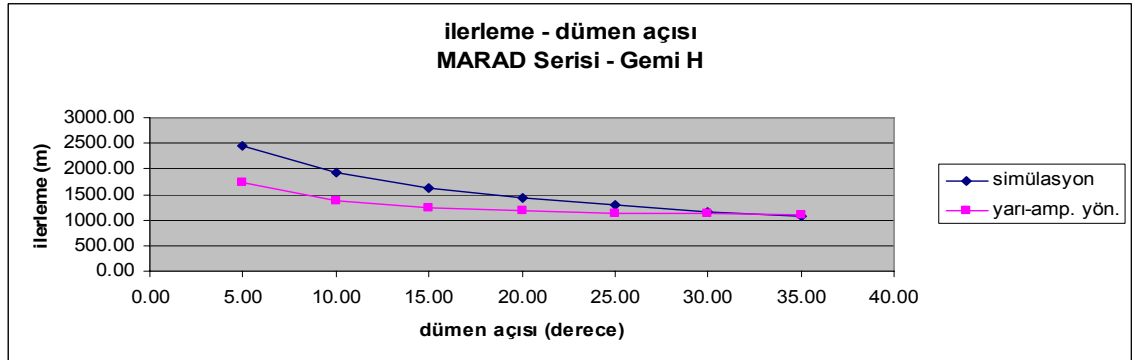
Şekil A-35: MARAD Serisi Gemi G – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

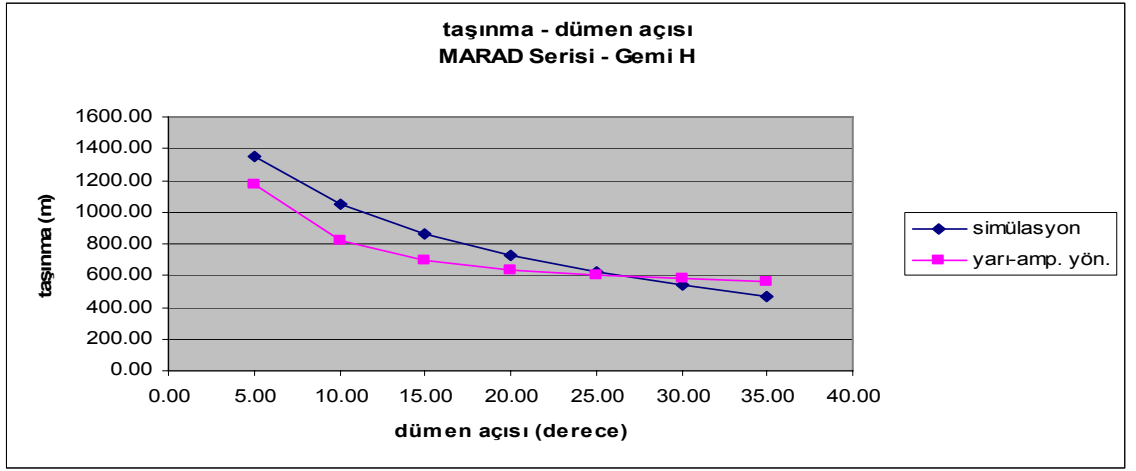
Tablo A-15: MARAD Serisi Gemi H - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2443.49	1355.54	3137.70	3189.95
10.00	5.50	1922.80	1046.50	2500.37	2476.74
15.00	5.10	1631.41	858.87	2101.20	2008.48
20.00	4.80	1433.78	725.61	1808.81	1657.26
25.00	4.50	1285.83	622.61	1574.75	1361.21
30.00	4.20	1168.02	538.64	1375.78	1097.92
35.00	3.90	1070.15	467.65	1198.60	849.69

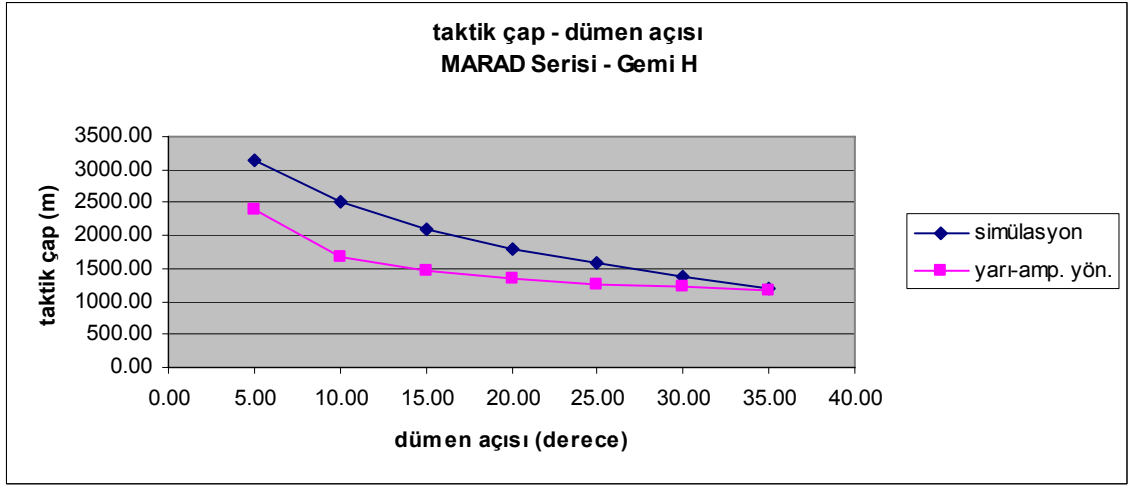
Tablo A-16: MARAD Serisi Gemi H - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	5.09	1732.70	1170.28	2402.45	2329.78
10.00	3.93	1362.64	815.91	1689.44	1546.25
15.00	3.54	1239.29	697.79	1451.77	1285.07
20.00	3.35	1177.62	638.73	1332.93	1154.48
25.00	3.24	1140.61	603.29	1261.63	1076.13
30.00	3.16	1115.94	579.66	1214.10	1023.89
35.00	3.10	1098.32	562.79	1180.15	986.58

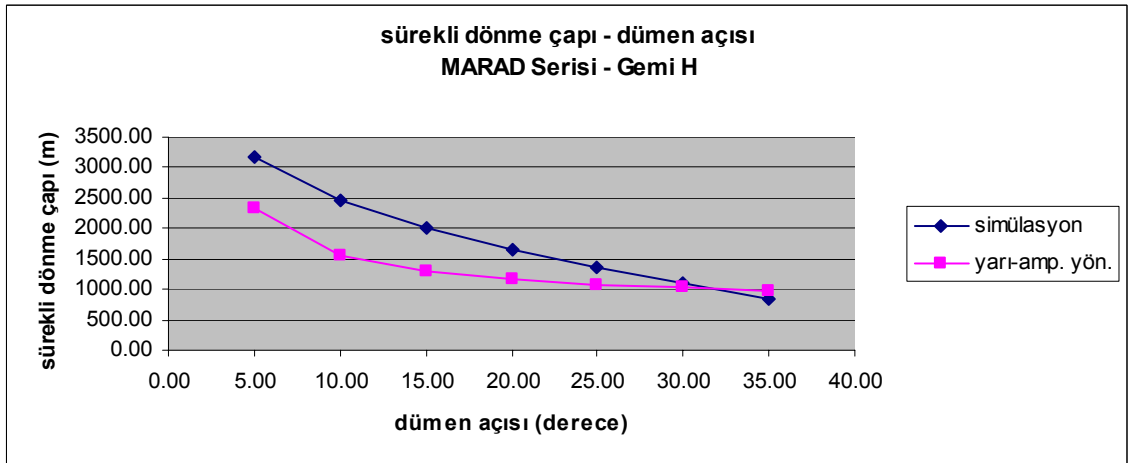
**Şekil A-36: MARAD Serisi Gemi H – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-37: MARAD Serisi Gemi H – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-38: MARAD Serisi Gemi H – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-39: MARAD Serisi Gemi H – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



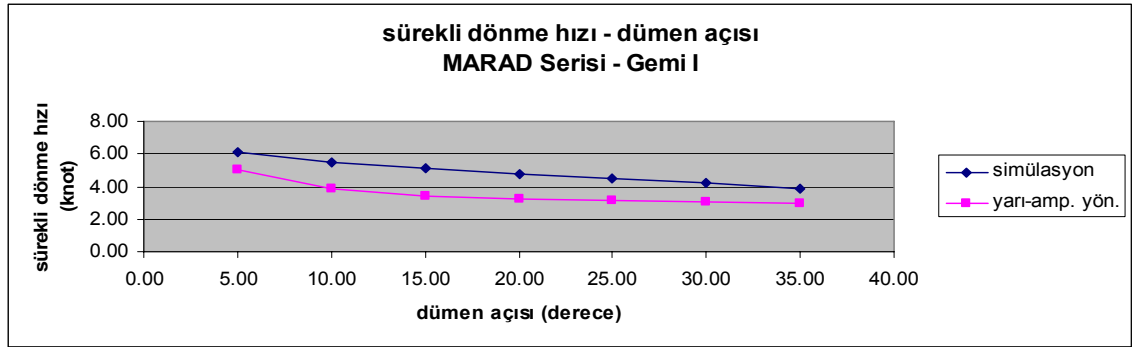
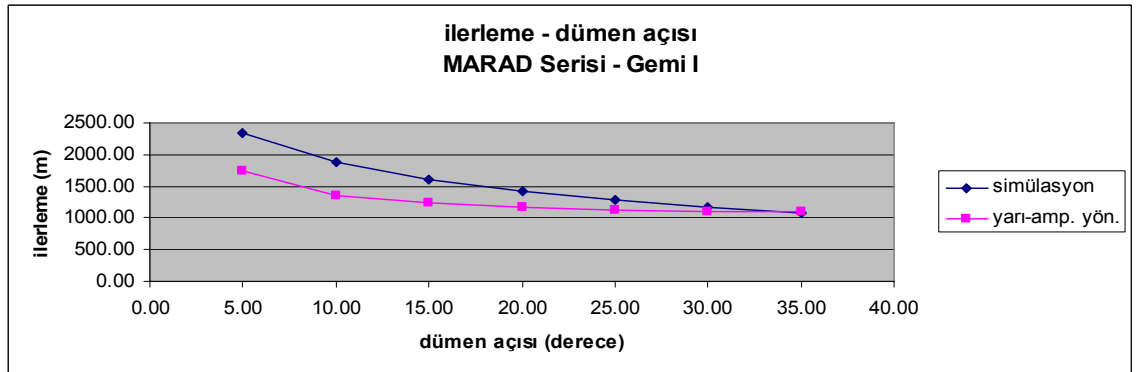
Şekil A-40: MARAD Serisi Gemi H – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

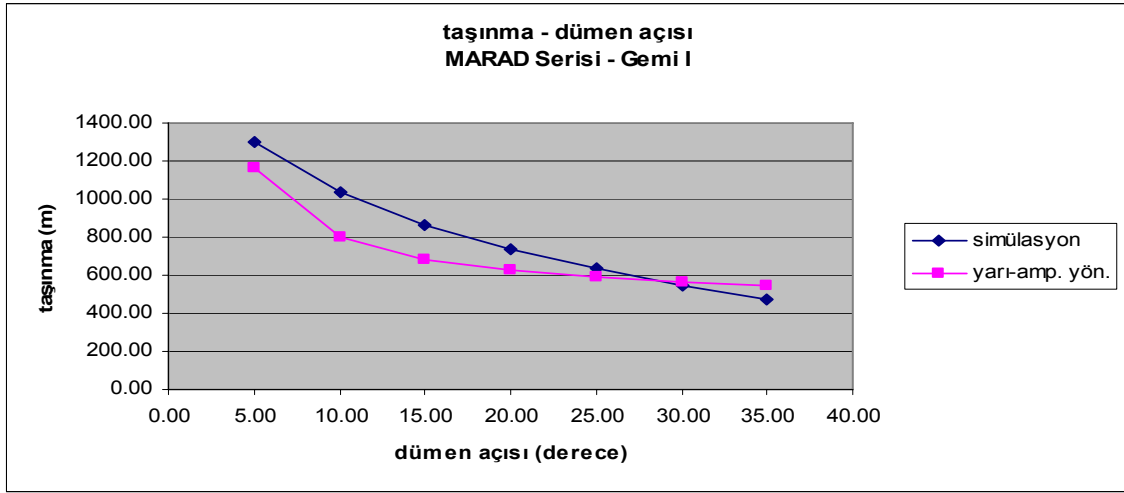
Tablo A-17: MARAD Serisi Gemi I - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2328.18	1297.63	3145.75	3199.21
10.00	5.50	1874.79	1033.42	2603.97	2602.17
15.00	5.10	1611.14	862.04	2240.58	2179.02
20.00	4.80	1427.59	735.06	1962.33	1847.51
25.00	4.50	1287.11	633.47	1731.32	1564.39
30.00	4.20	1172.78	547.91	1528.63	1303.26
35.00	3.90	1075.52	473.23	1342.16	1042.93

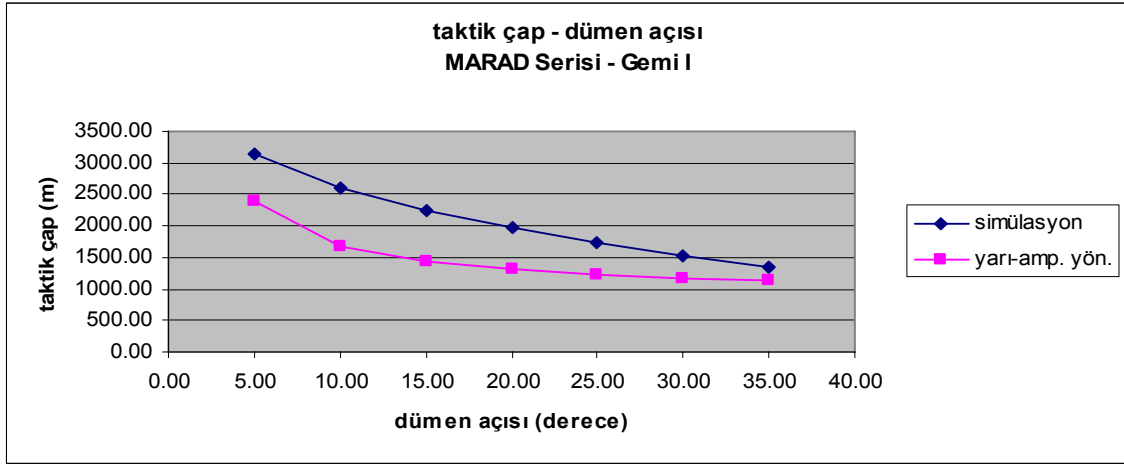
Tablo A-18: MARAD Serisi Gemi I - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.99	1738.68	1165.61	2394.07	2314.39
10.00	3.84	1360.76	803.70	1665.90	1514.19
15.00	3.45	1234.78	683.07	1423.17	1247.46
20.00	3.26	1171.80	622.75	1301.81	1114.10
25.00	3.14	1134.00	586.56	1228.99	1034.08
30.00	3.07	1108.81	562.43	1180.44	980.73
35.00	3.01	1090.81	545.20	1145.77	942.63

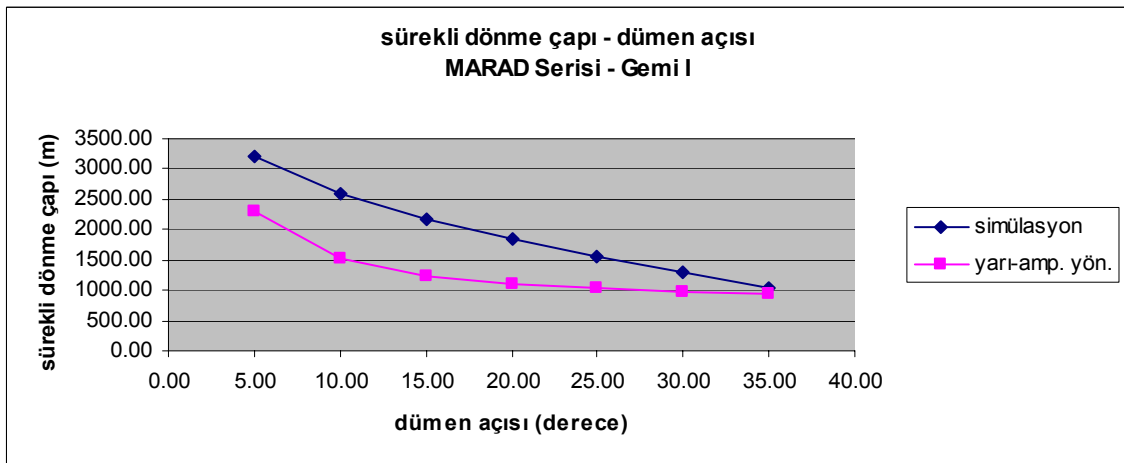
**Şekil A-41: MARAD Serisi Gemi I – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-42: MARAD Serisi Gemi I – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-43: MARAD Serisi Gemi I – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-44: MARAD Serisi Gemi I – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



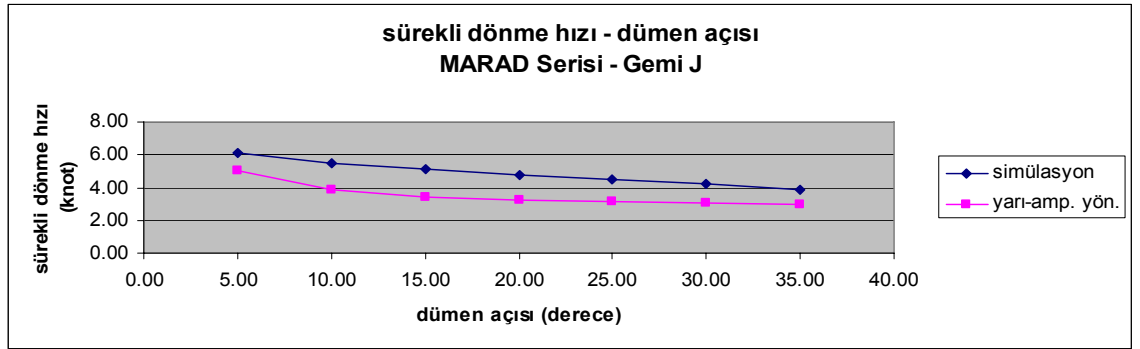
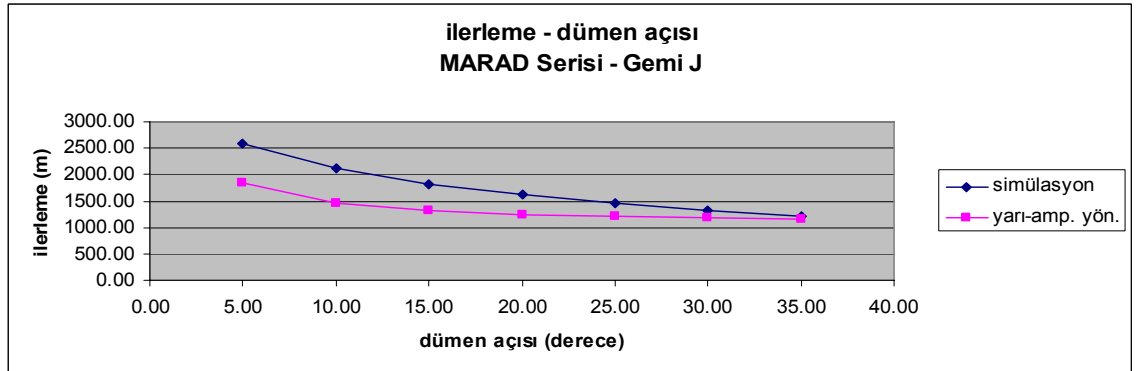
Şekil A-45: MARAD Serisi Gemi I – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

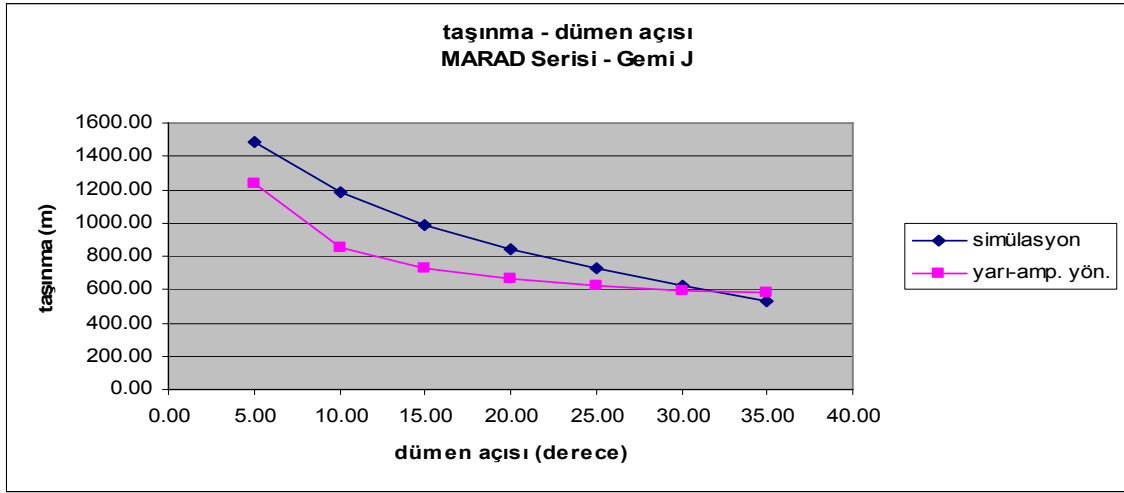
Tablo A-19: MARAD Serisi Gemi J - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2600.80	1488.00	3617.58	3627.18
10.00	5.50	2106.35	1184.18	2994.08	2957.93
15.00	5.10	1814.84	986.73	2574.68	2485.43
20.00	4.80	1610.29	840.03	2251.68	2108.76
25.00	4.50	1452.65	722.22	1981.08	1786.95
30.00	4.20	1323.47	622.46	1741.05	1484.25
35.00	3.90	1212.59	534.92	1516.99	1172.05

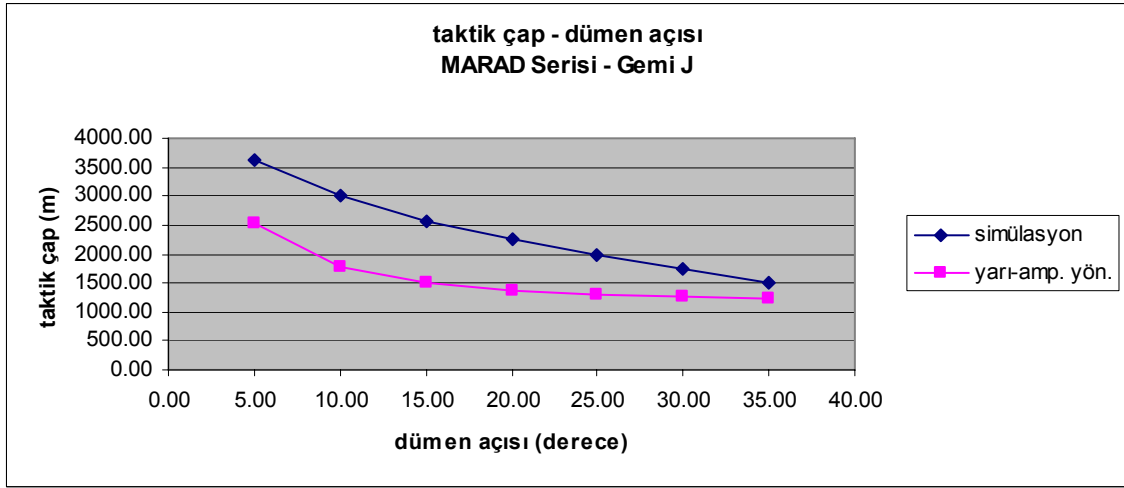
Tablo A-20: MARAD Serisi Gemi J - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.99	1847.02	1238.07	2542.92	2459.40
10.00	3.83	1445.42	853.49	1769.13	1609.08
15.00	3.45	1311.55	725.30	1511.20	1325.63
20.00	3.26	1244.62	661.20	1382.23	1183.91
25.00	3.14	1204.46	622.74	1304.85	1098.88
30.00	3.06	1177.69	597.11	1253.27	1042.19
35.00	3.01	1158.56	578.79	1216.42	1001.70

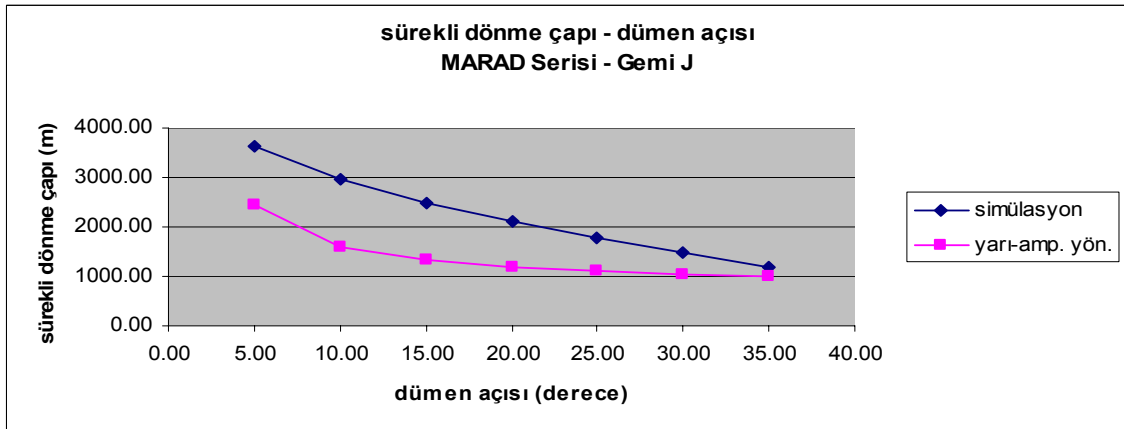
**Şekil A-46: MARAD Serisi Gemi J – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-47: MARAD Serisi Gemi J – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-48: MARAD Serisi Gemi J – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-49: MARAD Serisi Gemi J – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



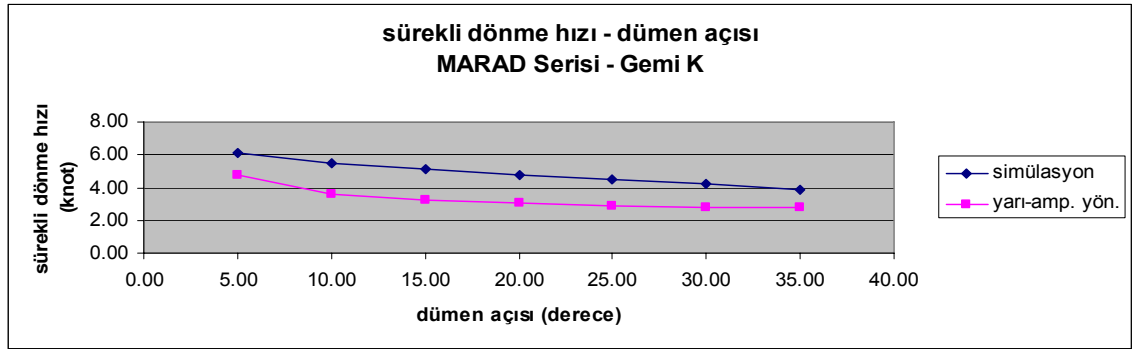
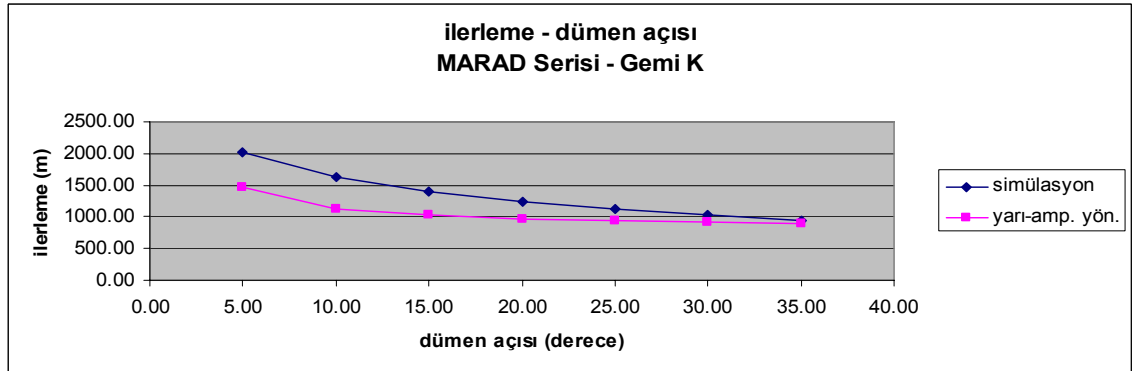
Şekil A-50: MARAD Serisi Gemi J – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

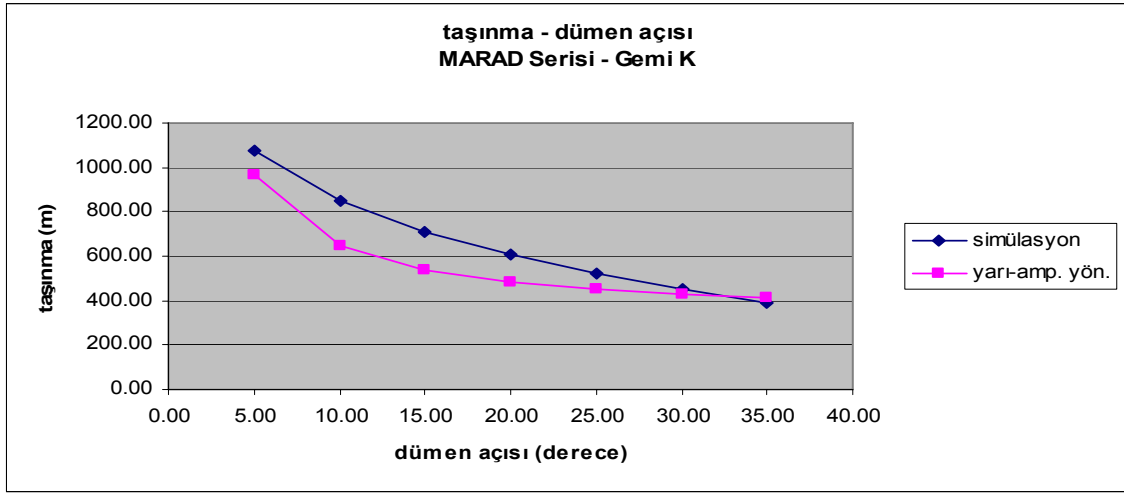
Tablo A-21: MARAD Serisi Gemi K - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2023.08	1072.41	2648.38	2683.95
10.00	5.50	1630.62	853.01	2203.19	2197.15
15.00	5.10	1403.97	710.73	1905.18	1855.47
20.00	4.80	1247.12	605.73	1679.33	1584.84
25.00	4.50	1127.88	522.24	1494.74	1354.74
30.00	4.20	1031.63	452.57	1335.57	1146.99
35.00	3.90	950.49	392.25	1192.47	947.44

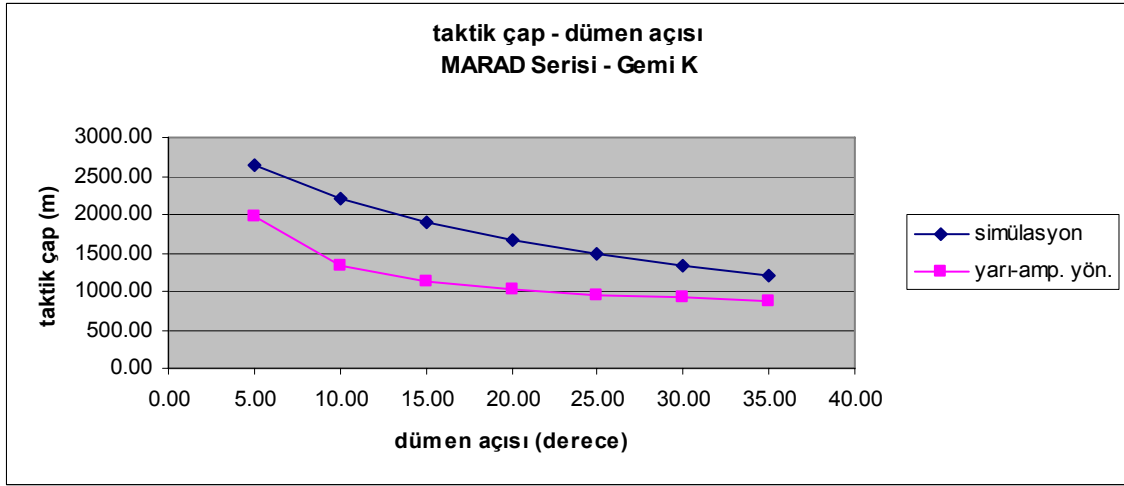
Tablo A-22: MARAD Serisi Gemi K - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.75	1469.89	965.37	1985.60	1899.53
10.00	3.59	1135.23	644.89	1340.77	1190.93
15.00	3.21	1023.67	538.06	1125.83	954.73
20.00	3.02	967.89	484.65	1018.36	836.63
25.00	2.90	934.43	452.60	953.88	765.77
30.00	2.82	912.12	431.24	910.89	718.53
35.00	2.77	896.18	415.98	880.18	684.79

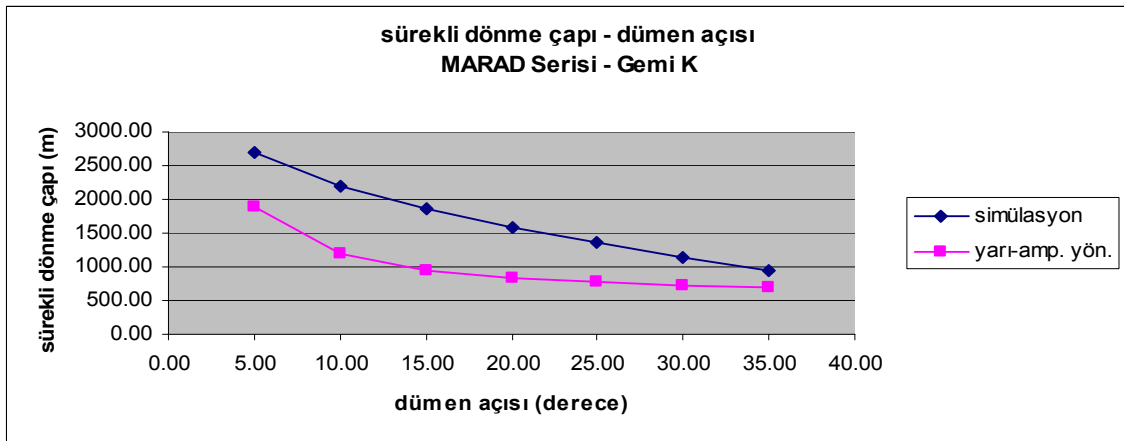
**Şekil A-51: MARAD Serisi Gemi K – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-52: MARAD Serisi Gemi K – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-53: MARAD Serisi Gemi K – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-54: MARAD Serisi Gemi K – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



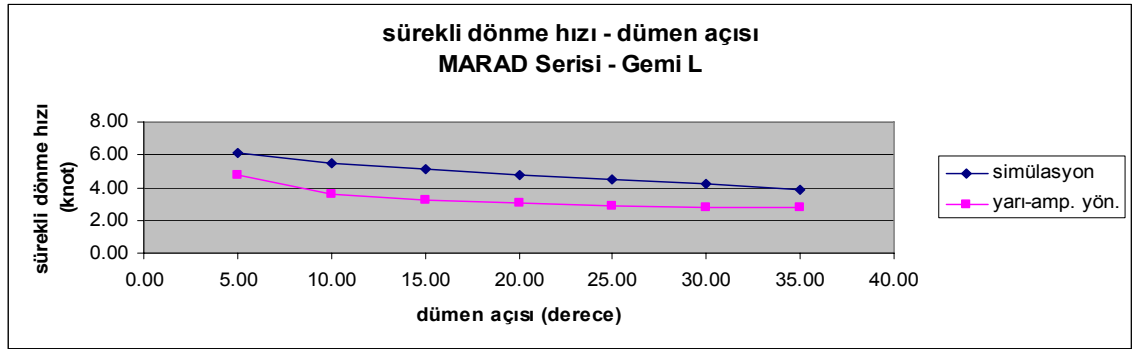
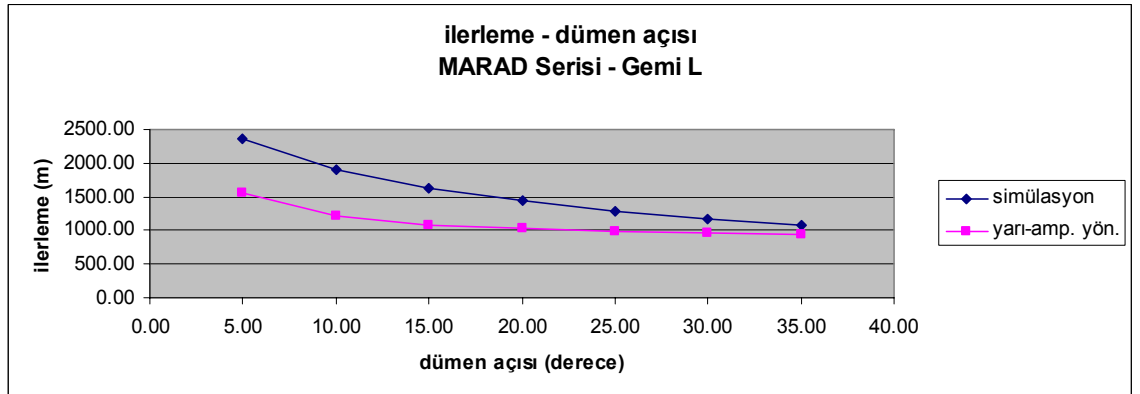
Şekil A-55: MARAD Serisi Gemi K – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

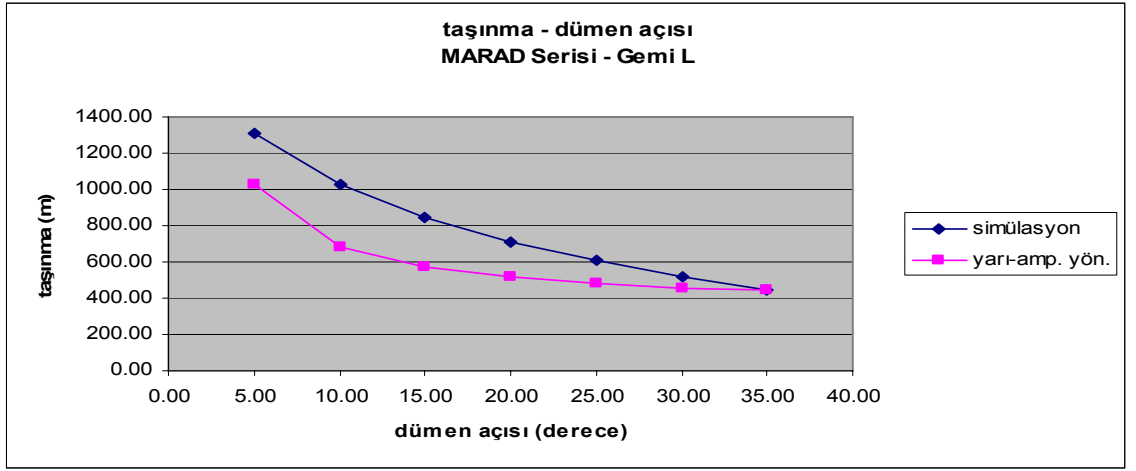
Tablo A-23: MARAD Serisi Gemi L - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2364.82	1307.38	3221.43	3229.17
10.00	5.50	1901.92	1027.15	2637.86	2602.99
15.00	5.10	1629.13	846.28	2247.32	2164.48
20.00	4.80	1438.32	713.29	1949.84	1815.36
25.00	4.50	1292.02	607.86	1704.41	1514.98
30.00	4.20	1172.93	519.99	1490.01	1237.12
35.00	3.90	1071.65	444.12	1294.09	956.04

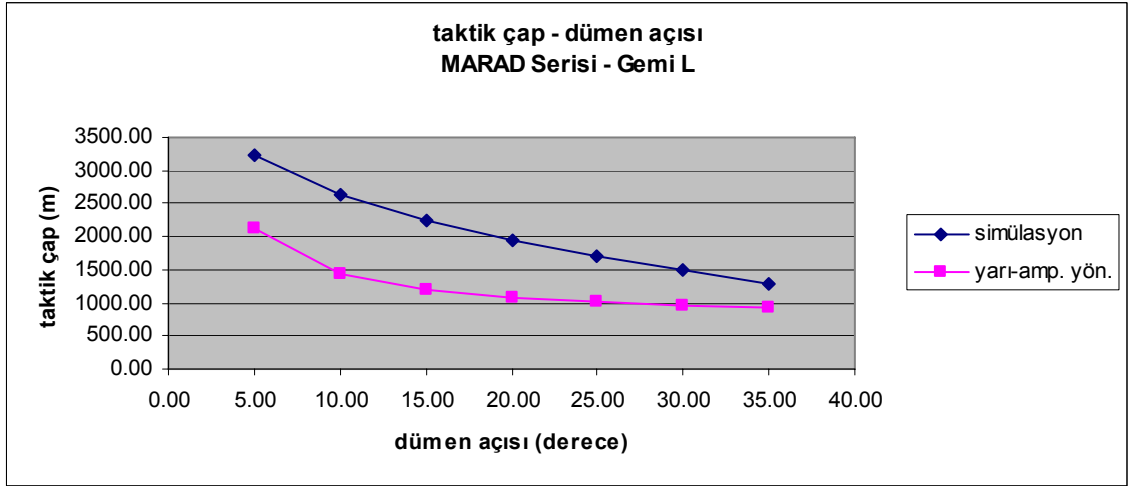
Tablo A-24: MARAD Serisi Gemi L - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.75	1561.47	1025.35	2108.99	2018.61
10.00	3.59	1205.83	684.78	1423.74	1265.59
15.00	3.21	1087.28	571.26	1195.32	1014.58
20.00	3.02	1028.01	514.49	1081.11	889.08
25.00	2.90	992.44	480.44	1012.59	813.78
30.00	2.82	968.73	457.73	966.91	763.58
35.00	2.77	951.80	441.52	934.28	727.72

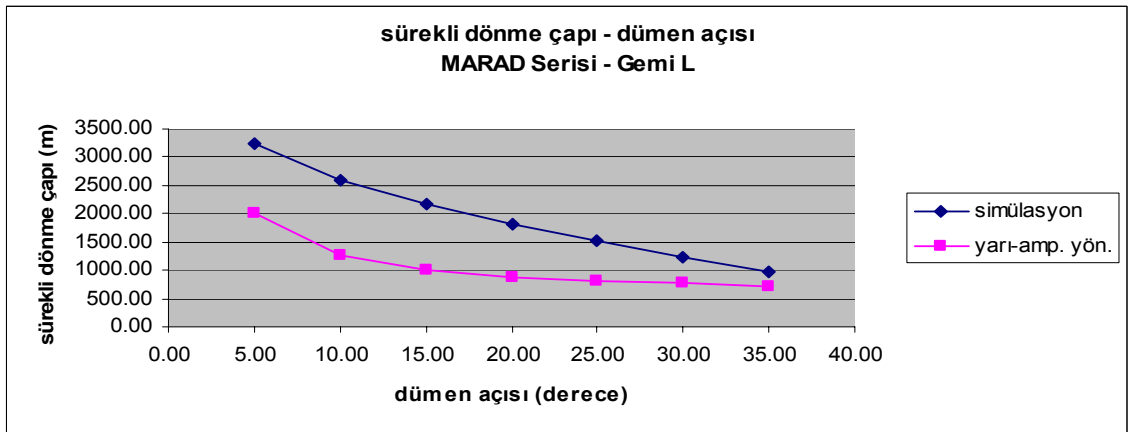
**Şekil A-56: MARAD Serisi Gemi L – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-57: MARAD Serisi Gemi L – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-58: MARAD Serisi Gemi L – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-59: MARAD Serisi Gemi L – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



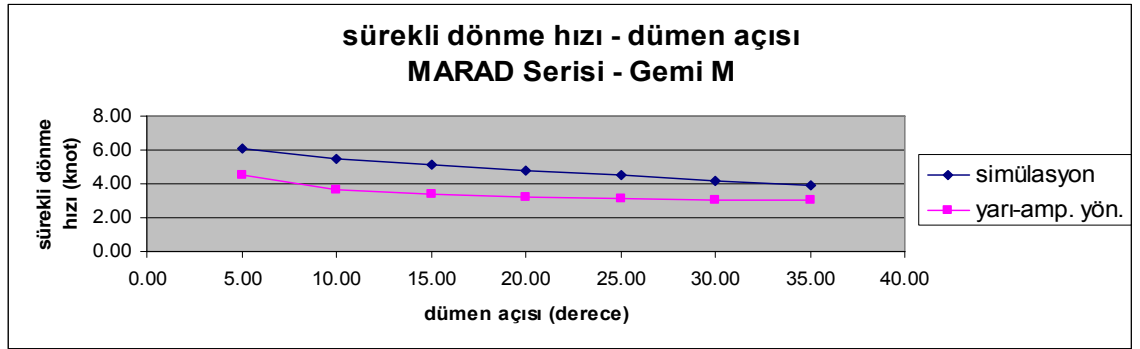
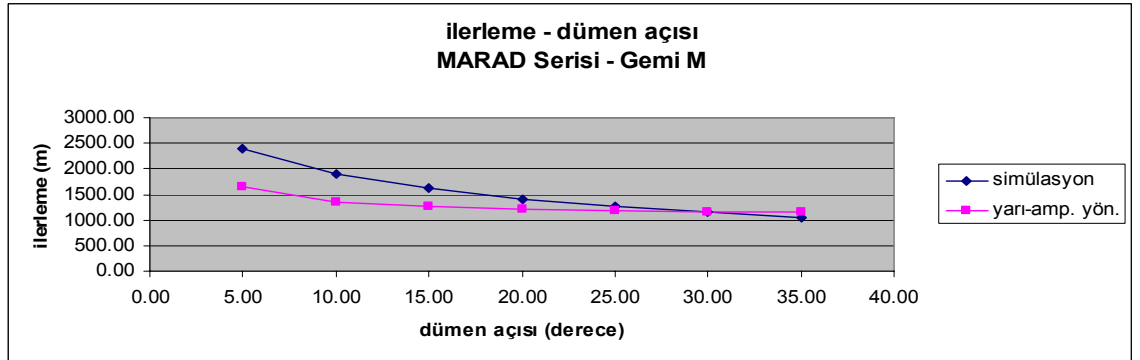
Şekil A-60: MARAD Serisi Gemi H – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

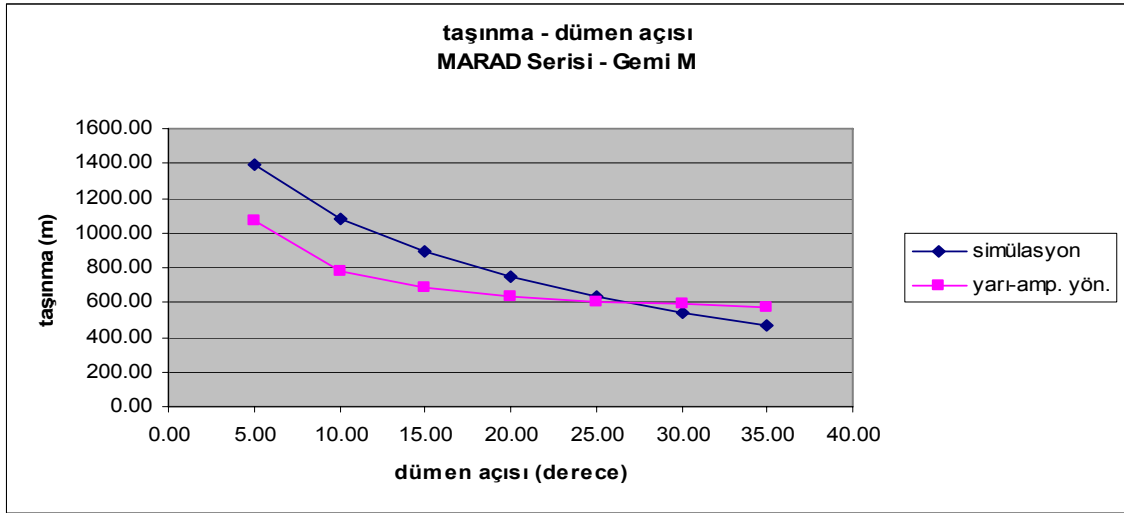
Tablo A-25: MARAD Serisi Gemi M - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2388.02	1392.17	3334.54	3384.16
10.00	5.50	1894.51	1085.55	2702.60	2703.18
15.00	5.10	1611.20	892.21	2290.15	2233.70
20.00	4.80	1415.03	751.00	1977.57	1861.38
25.00	4.50	1265.07	638.83	1718.07	1541.50
30.00	4.20	1142.88	544.68	1488.58	1240.66
35.00	3.90	1038.48	462.75	1274.49	929.76

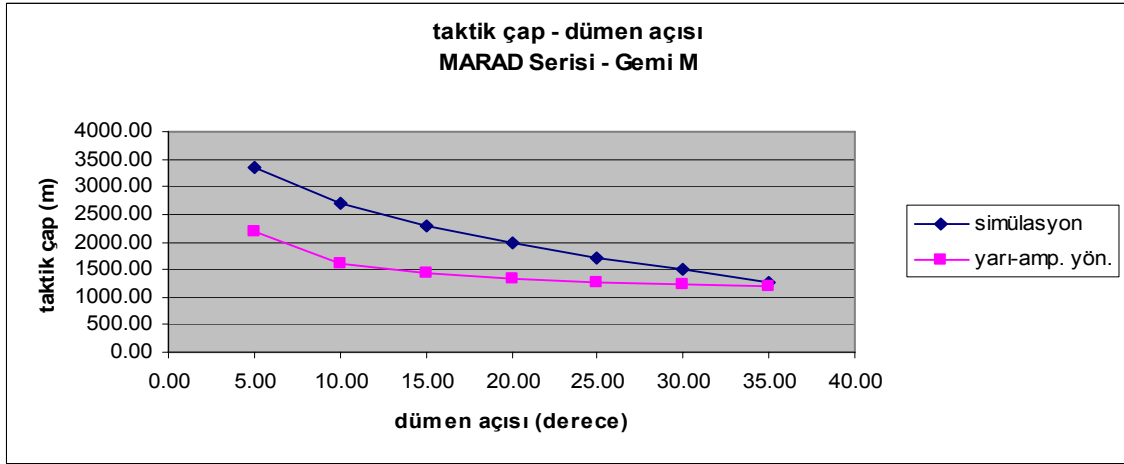
Tablo A-26: MARAD Serisi Gemi M - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.54	1661.09	1069.01	2201.89	2089.97
10.00	3.65	1359.70	780.40	1621.18	1451.83
15.00	3.36	1259.24	684.19	1427.61	1239.11
20.00	3.21	1209.01	636.09	1330.83	1132.75
25.00	3.13	1178.87	607.23	1272.76	1068.94
30.00	3.07	1158.78	587.99	1234.04	1026.40
35.00	3.02	1144.42	574.24	1206.39	996.01

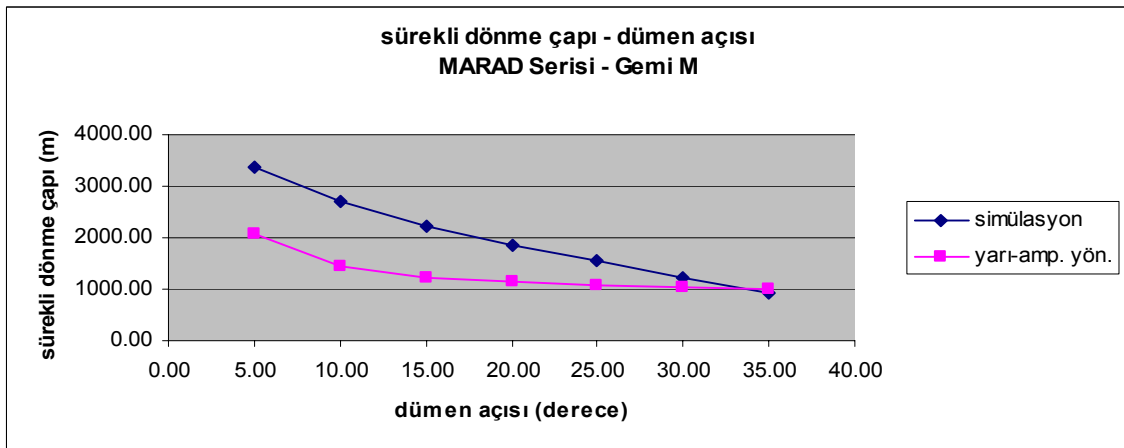
**Şekil A-61: MARAD Serisi Gemi M – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-62: MARAD Serisi Gemi M – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-63: MARAD Serisi Gemi M – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-64: MARAD Serisi Gemi M – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



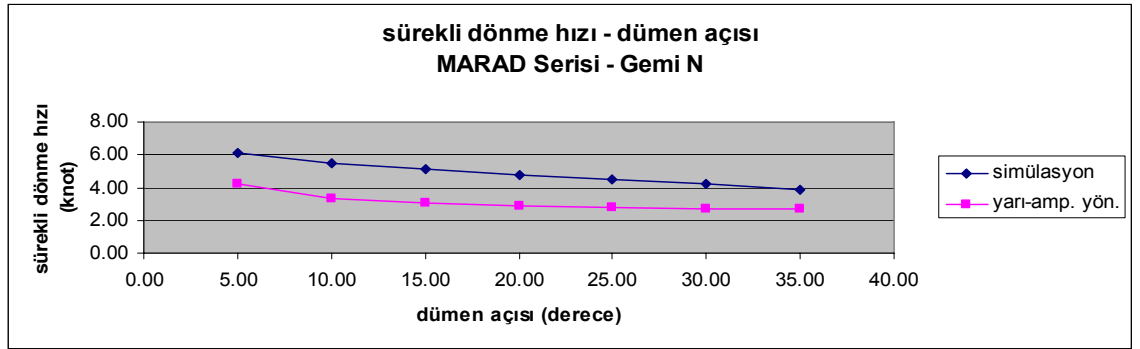
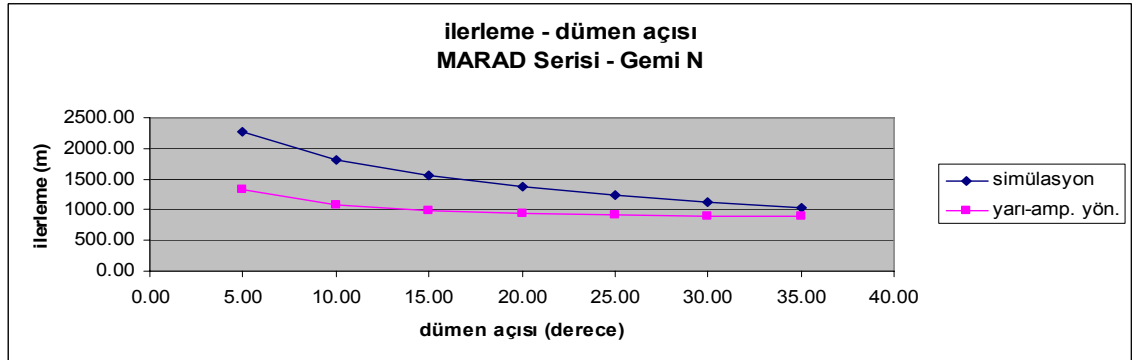
Şekil A-65: MARAD Serisi Gemi M – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

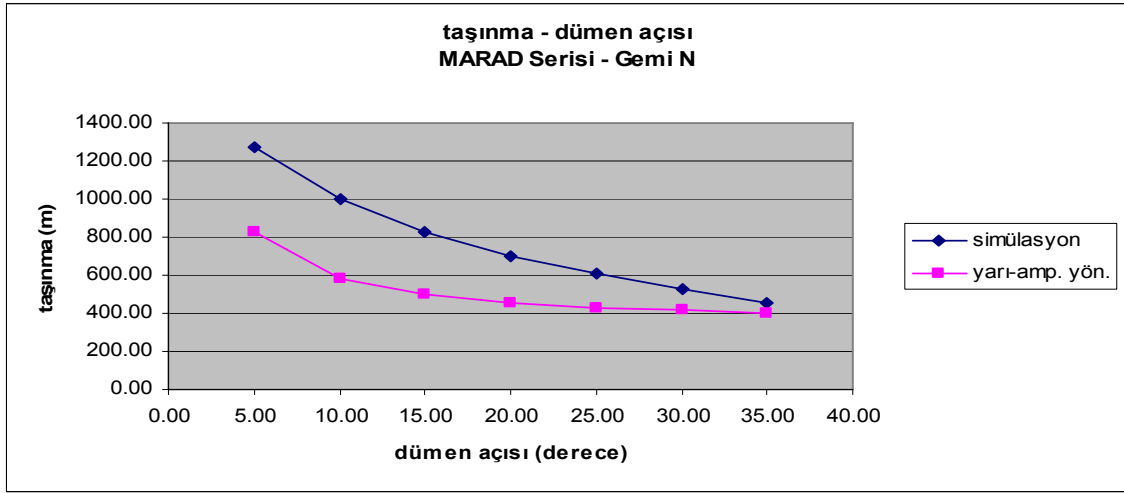
Tablo A-27: MARAD Serisi Gemi N - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2267.71	1275.28	3026.82	2970.15
10.00	5.50	1812.25	1002.00	2470.34	2349.58
15.00	5.10	1551.49	829.42	2106.26	1917.89
20.00	4.80	1371.90	703.87	1832.55	1589.50
25.00	4.50	1235.81	605.06	1609.40	1311.49
30.00	4.20	1126.11	523.13	1417.32	1059.06
35.00	3.90	1033.76	452.66	1244.89	813.82

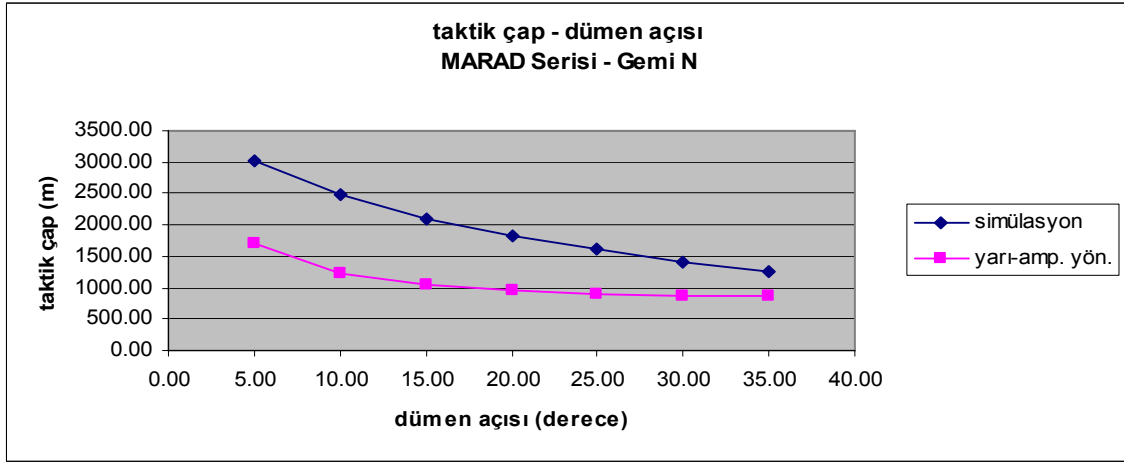
Tablo A-28: MARAD Serisi Gemi N - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.20	1338.13	830.16	1714.43	1596.16
10.00	3.32	1077.43	580.51	1212.12	1044.17
15.00	3.03	990.53	497.29	1044.68	860.17
20.00	2.88	947.08	455.68	960.96	768.17
25.00	2.79	921.01	430.72	910.73	712.97
30.00	2.73	903.63	414.08	877.24	676.17
35.00	2.69	891.21	402.19	853.32	649.88

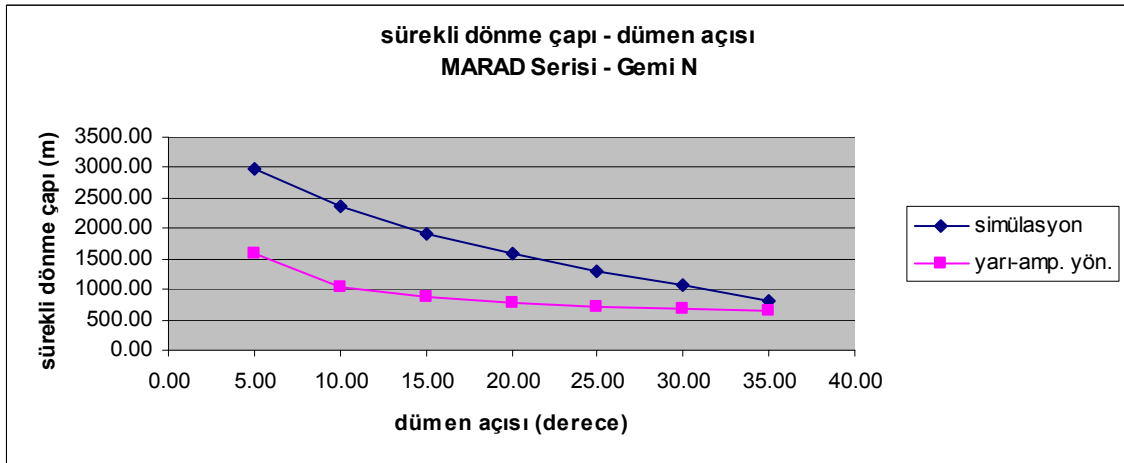
**Şekil A-66: MARAD Serisi Gemi N – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-67: MARAD Serisi Gemi N – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-68: MARAD Serisi Gemi N – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-69: MARAD Serisi Gemi N – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



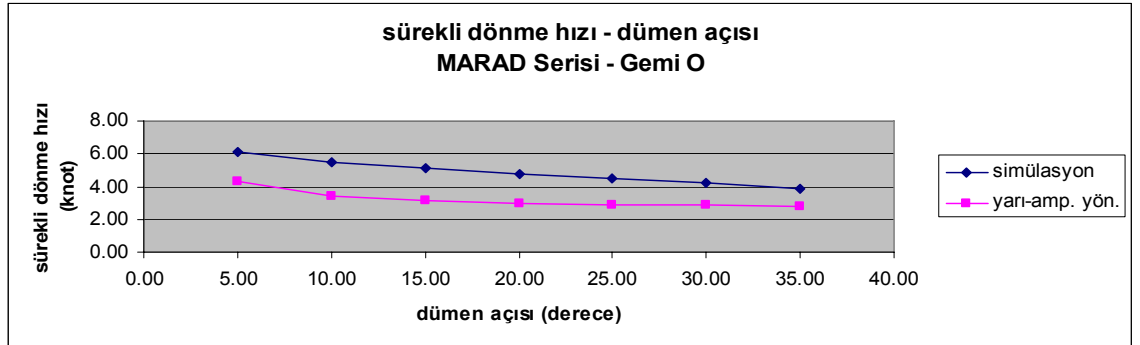
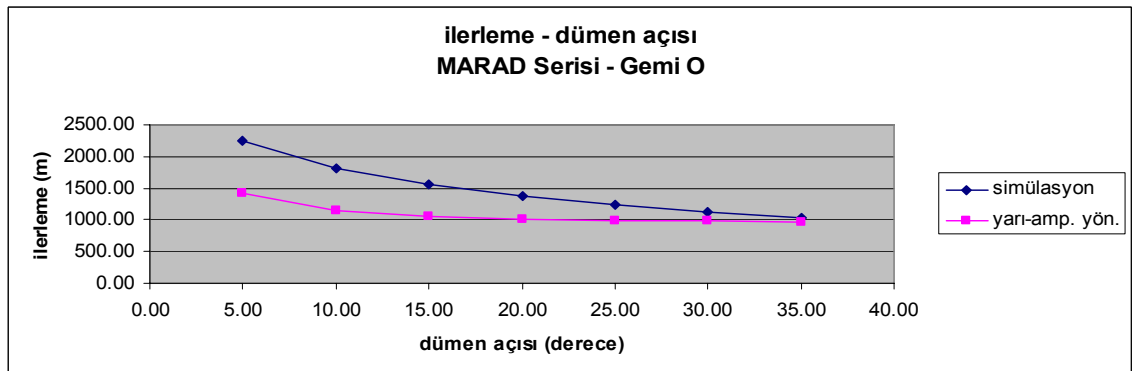
Şekil A-70: MARAD Serisi Gemi N – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

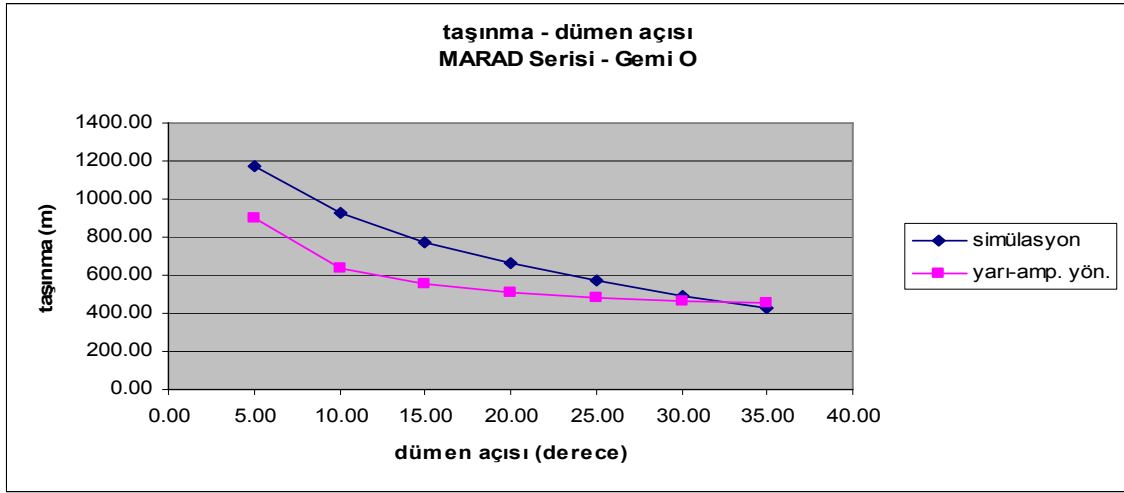
Tablo A-29: MARAD Serisi Gemi O - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2244.58	1170.61	2865.46	2914.22
10.00	5.50	1804.54	930.95	2372.17	2385.64
15.00	5.10	1548.99	775.20	2038.62	2012.17
20.00	4.80	1371.78	660.50	1784.33	1717.15
25.00	4.50	1237.00	569.82	1575.72	1470.84
30.00	4.20	1128.40	494.72	1395.92	1250.41
35.00	3.90	1037.17	430.44	1234.68	1042.29

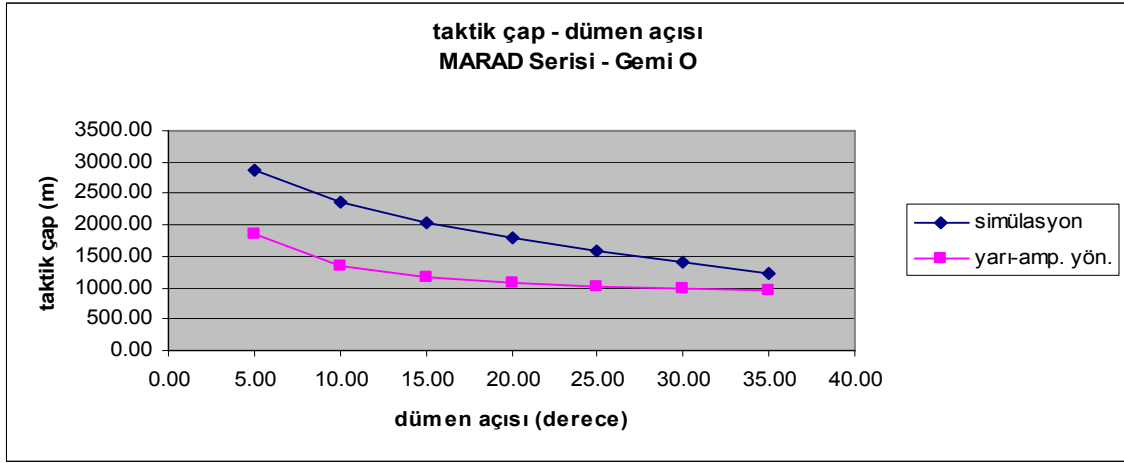
Tablo A-30: MARAD Serisi Gemi O - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	4.34	1424.46	897.38	1851.20	1737.25
10.00	3.45	1154.83	639.18	1331.68	1166.35
15.00	3.16	1064.96	553.12	1158.50	976.05
20.00	3.01	1020.02	510.08	1071.92	880.90
25.00	2.92	993.05	484.26	1019.97	823.81
30.00	2.87	975.08	467.05	985.33	785.75
35.00	2.82	962.24	454.75	960.59	758.56

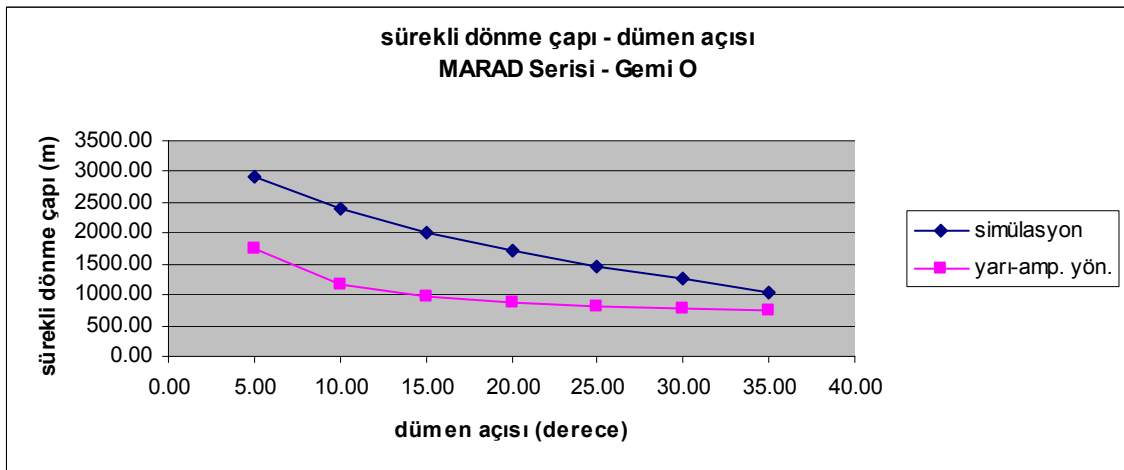
**Şekil A-71: MARAD Serisi Gemi O – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-72: MARAD Serisi Gemi O – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-73: MARAD Serisi Gemi O – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-74: MARAD Serisi Gemi O – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması



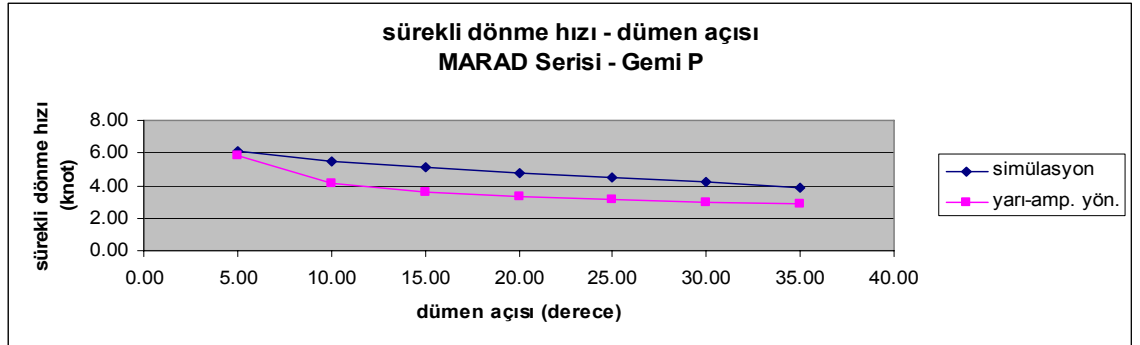
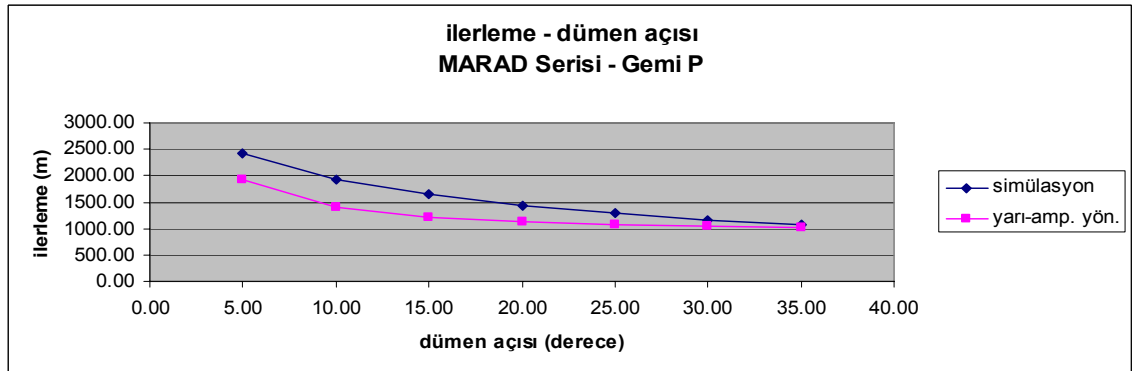
Şekil A-75: MARAD Serisi Gemi O – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

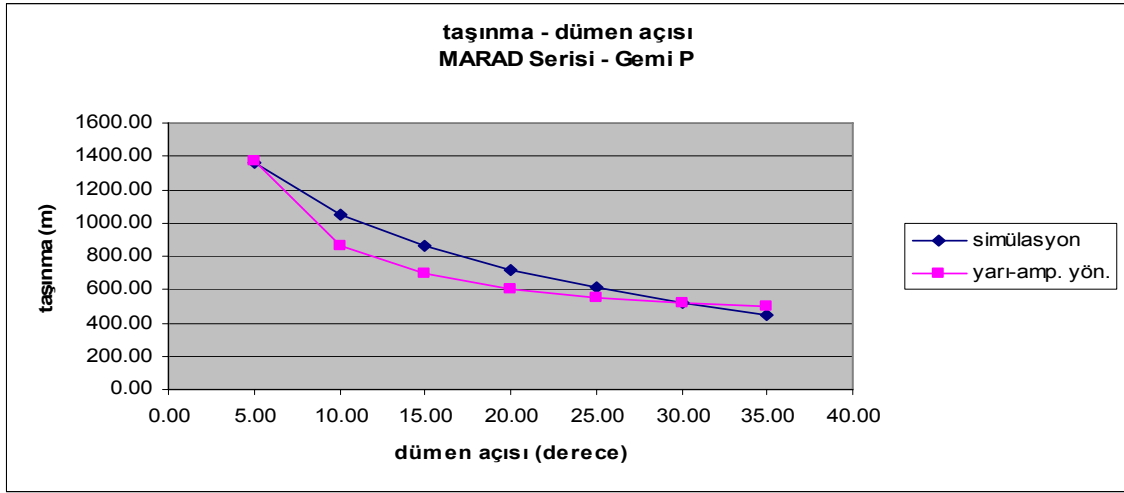
Tablo A-31: MARAD Serisi Gemi P - Dönme Manevrası Simülasyonu Sonuçları

Simülasyon					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	6.10	2424.93	1363.40	3321.10	3320.25
10.00	5.50	1924.63	1051.07	2682.03	2645.97
15.00	5.10	1638.21	857.22	2271.13	2191.39
20.00	4.80	1440.85	717.74	1965.02	1840.38
25.00	4.50	1290.89	608.72	1716.05	1550.94
30.00	4.20	1169.52	518.77	1501.48	1285.37
35.00	3.90	1066.68	441.87	1307.26	1017.82

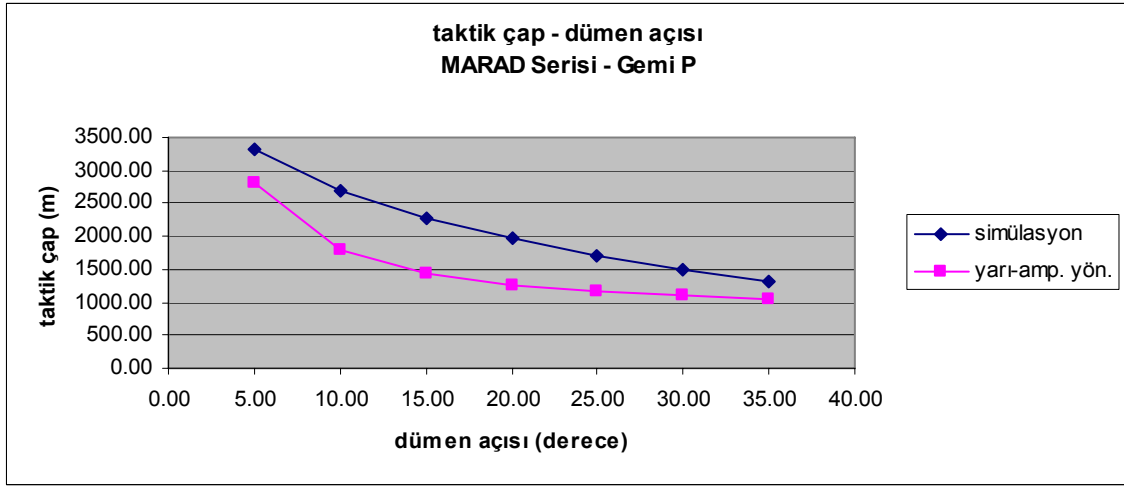
Tablo A-32: MARAD Serisi Gemi P - Dönme Manevrası Yarı-ampirik Tahmin Yöntemi Sonuçları

Yarı-ampirik tahmin yöntemi					
Dümen Açısı (derece)	Sürekli Dönme Hızı (knot)	İlerleme (m)	Taşınma (m)	Taktik Çap, TD (m)	Sürekli Dönme Çapı, D (m)
5.00	5.84	1936.57	1374.97	2813.38	2786.97
10.00	4.14	1401.96	863.01	1783.29	1655.00
15.00	3.57	1223.75	692.36	1439.93	1277.68
20.00	3.29	1134.65	607.03	1268.24	1089.02
25.00	3.12	1081.19	555.84	1165.24	975.82
30.00	3.00	1045.55	521.71	1096.56	900.35
35.00	2.92	1020.09	497.33	1047.51	846.45

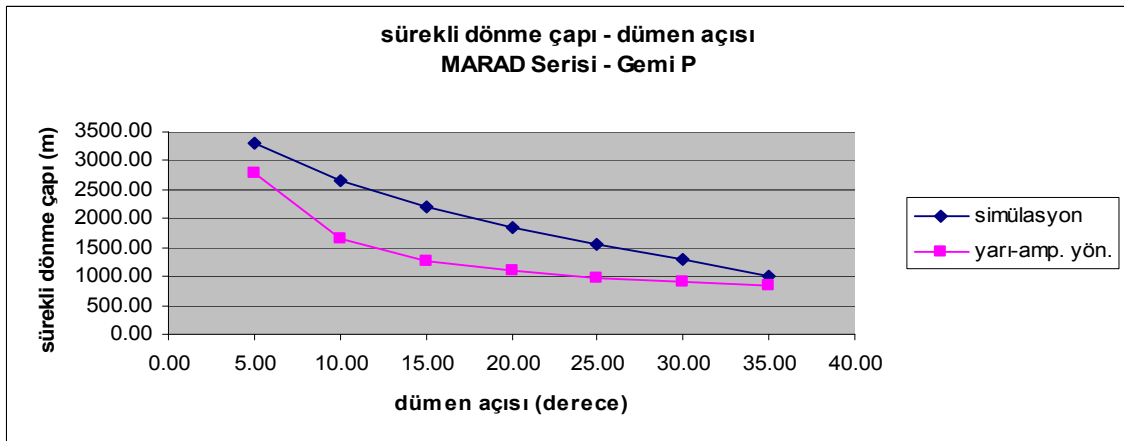
**Şekil A-76: MARAD Serisi Gemi P – Sürekli Dönme Hızlarının Karşılaştırılması****Şekil A-77: MARAD Serisi Gemi P – İlerleme Değerlerinin Karşılaştırılması**



Şekil A-78: MARAD Serisi Gemi P – Taşınma Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil A-79: MARAD Serisi Gemi P – Taktik Çap Değerlerinin Karşılaştırılması

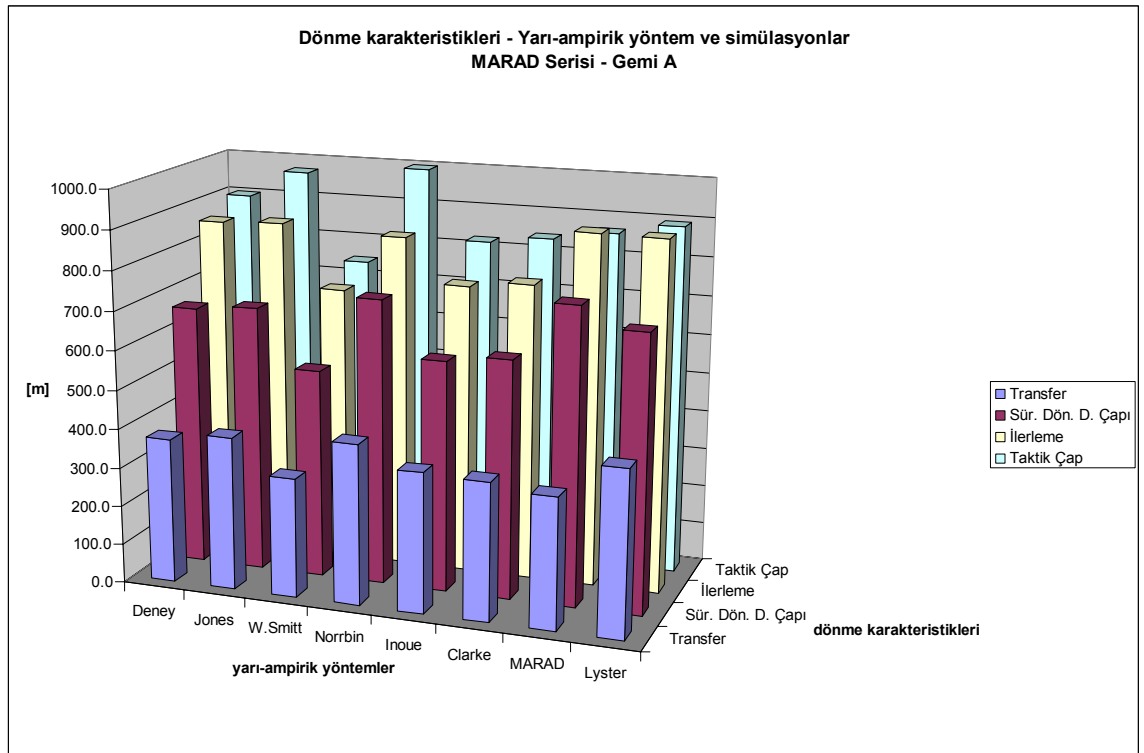


Şekil A-80: MARAD Serisi Gemi P – Sürekli Dönme Dairesi Çaplarının Karşılaştırılması

EK-B

Tablo B-1: MARAD Serisi Gemi A - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

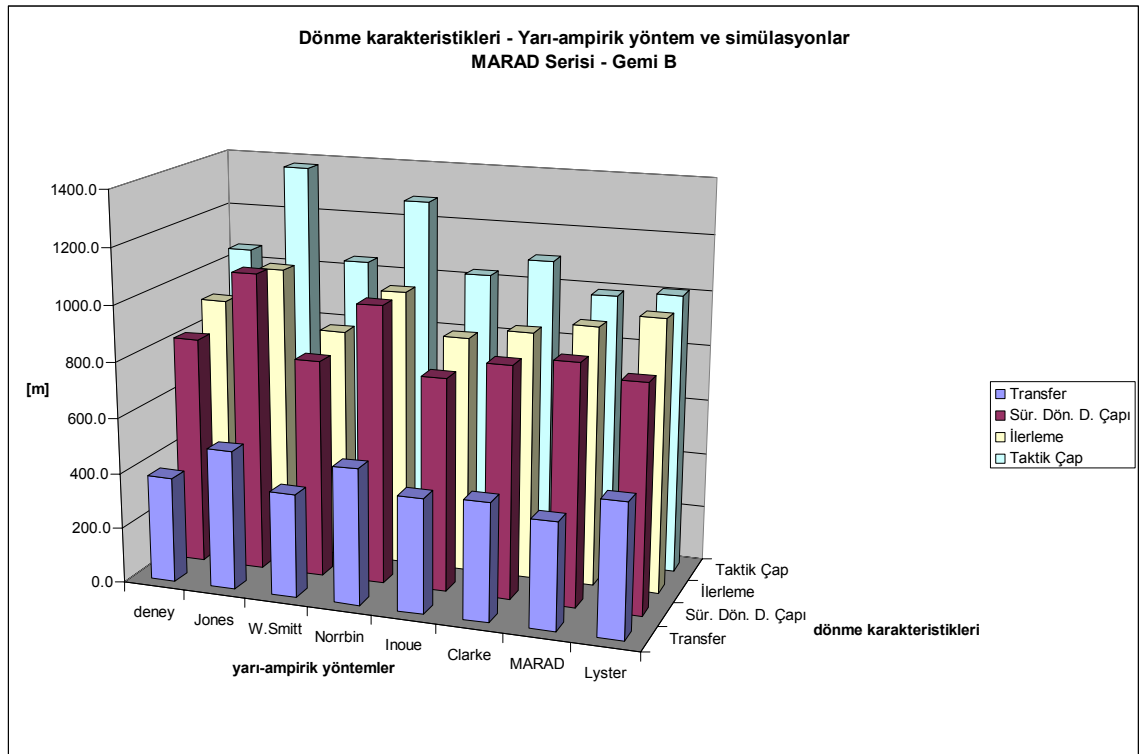
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.38	2.83
İlerleme	859.8	867.5	705.9	852.3	740.9	757.7	896.3772	893.99
Transfer	371.6	392.3	304.9	411.1	358.0	353.3	334.9661	422.81
Taktik Çap	901.6	972.3	746.3	998.7	821.8	840.0	865.3181	893.06
Sürekli D. D. Çapı	668.2	681.7	535.7	729.9	590.4	608.7	755.8949	704.26



Şekil B-1: MARAD Serisi Gemi A – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-2: MARAD Serisi Gemi B - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

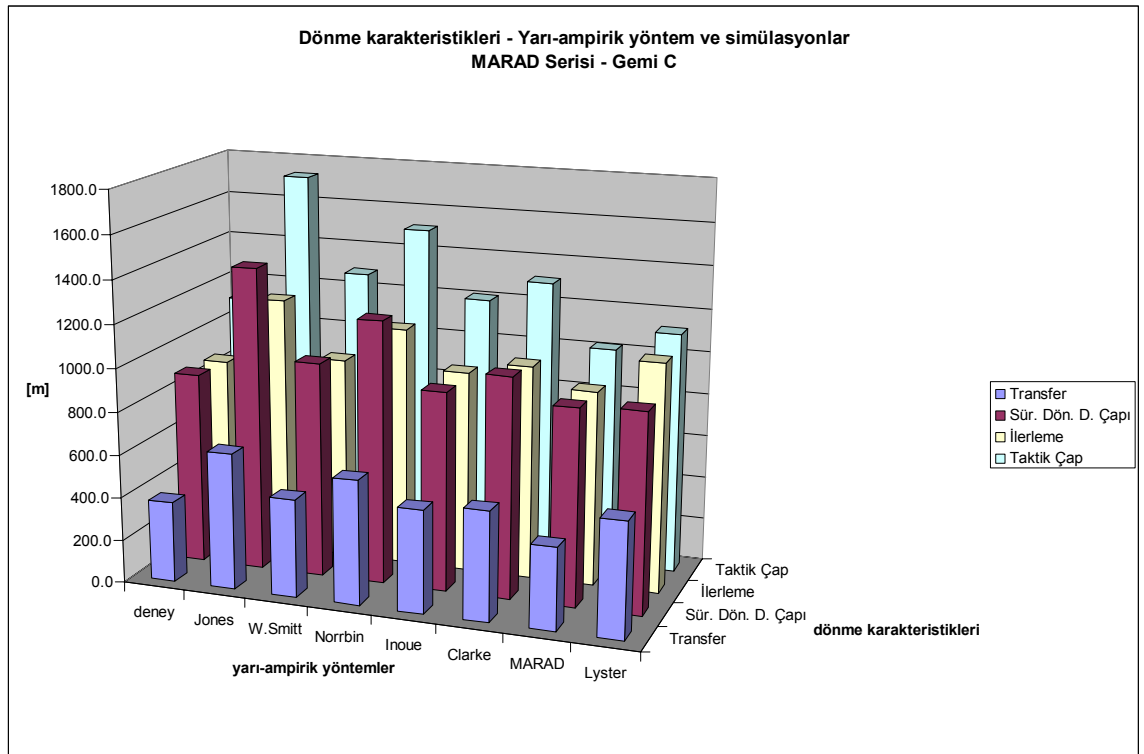
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.49	2.93
İlerleme	913.4	1046.1	836.9	998.9	852.6	891.1	931.8132	980.22
Transfer	379.5	501.7	371.4	490.3	411.4	425.4	384.493	479.51
Taktik Çap	1059.5	1378.0	1044.4	1280.7	1029.4	1097.8	990.1458	1009.67
Sürekli D. D. Çapı	822.6	1077.5	785.1	1001.8	767.8	834.3	864.4829	816.99



Şekil B-2: MARAD Serisi Gemi B – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-3: MARAD Serisi Gemi C - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

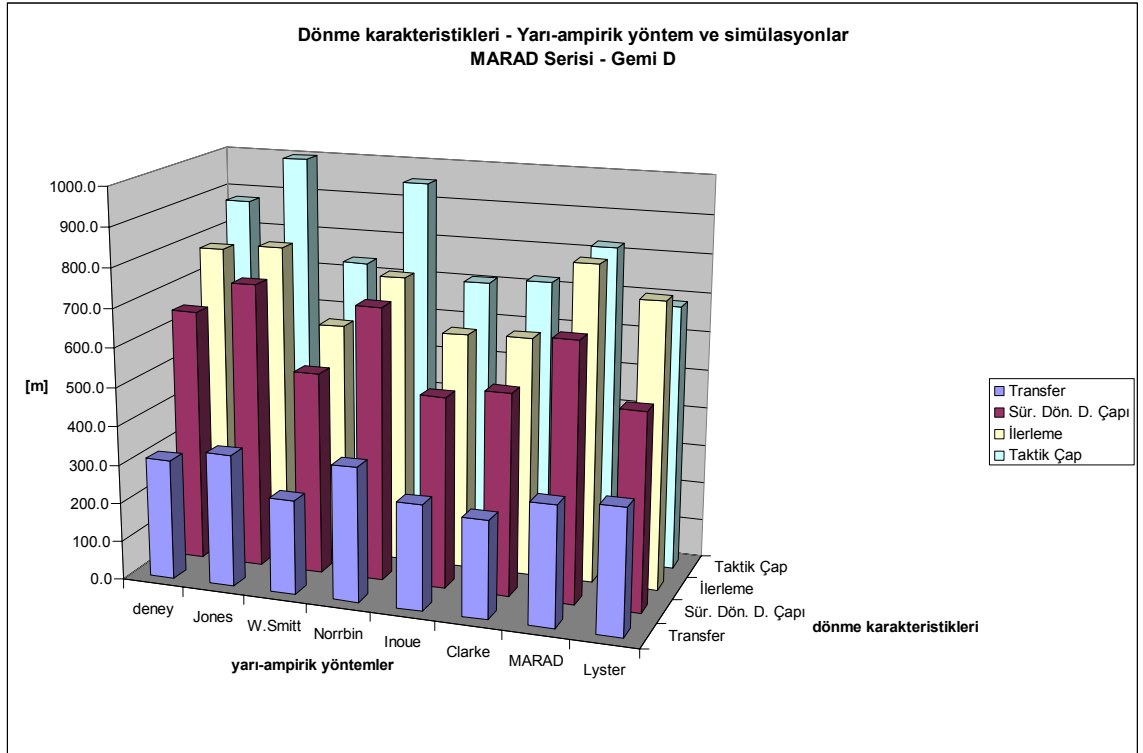
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.41	3.03
İlerleme	881.5	1199.6	940.2	1111.9	936.8	992.7	903.607	1063.16
Transfer	373.4	632.5	454.3	577.4	475.7	506.5	380.997	533.78
Taktik Çap	1120.2	1728.6	1285.2	1513.6	1206.5	1309.0	1022.808	1121.31
Sürekli D. D. Çapı	890.1	1411.2	998.5	1219.2	924.2	1021.7	910.2791	924.70



Şekil B-3: MARAD Serisi Gemi C – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-4: MARAD Serisi Gemi D - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

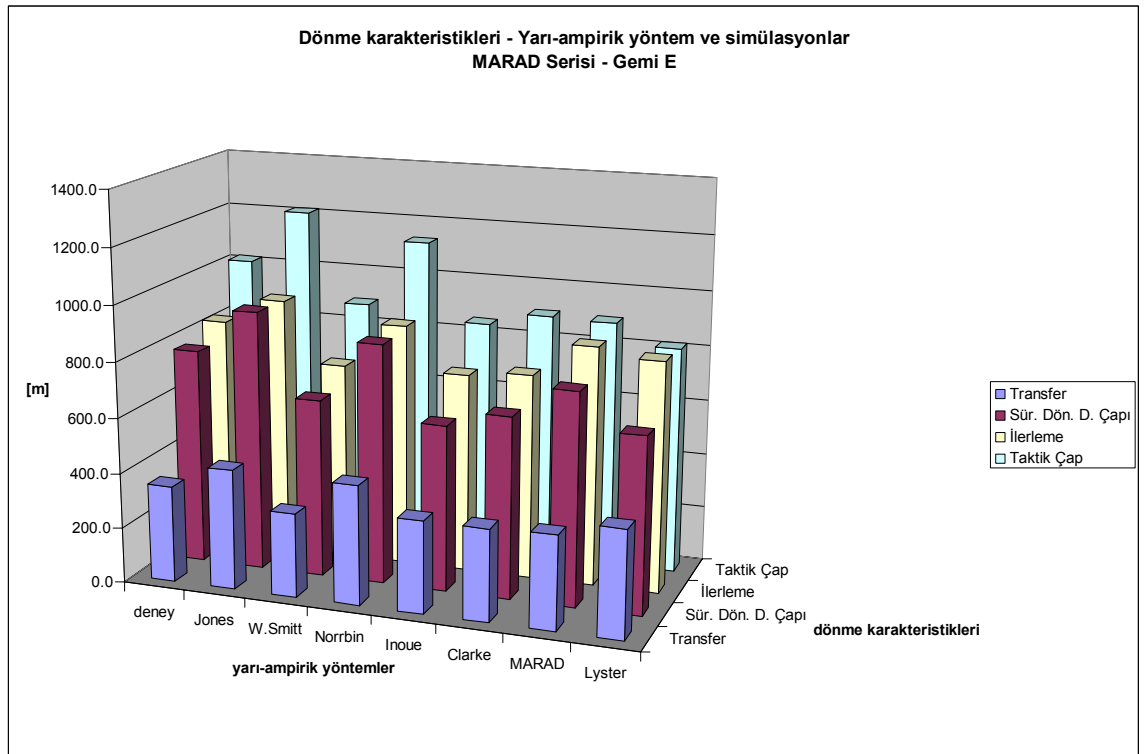
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.21	2.61
İlerleme	780.9	797.1	604.8	743.0	610.2	614.9	814.0629	735.70
Transfer	309.6	340.9	242.0	346.2	270.1	251.8	308.2961	321.81
Taktik Çap	878.4	999.1	735.5	954.3	707.9	721.8	823.1063	684.90
Sürekli D. D. Çapı	651.7	734.9	520.7	703.9	492.5	518.1	664.4975	505.77



Şekil B-4: MARAD Serisi Gemi D – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-5: MARAD Serisi Gemi E - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

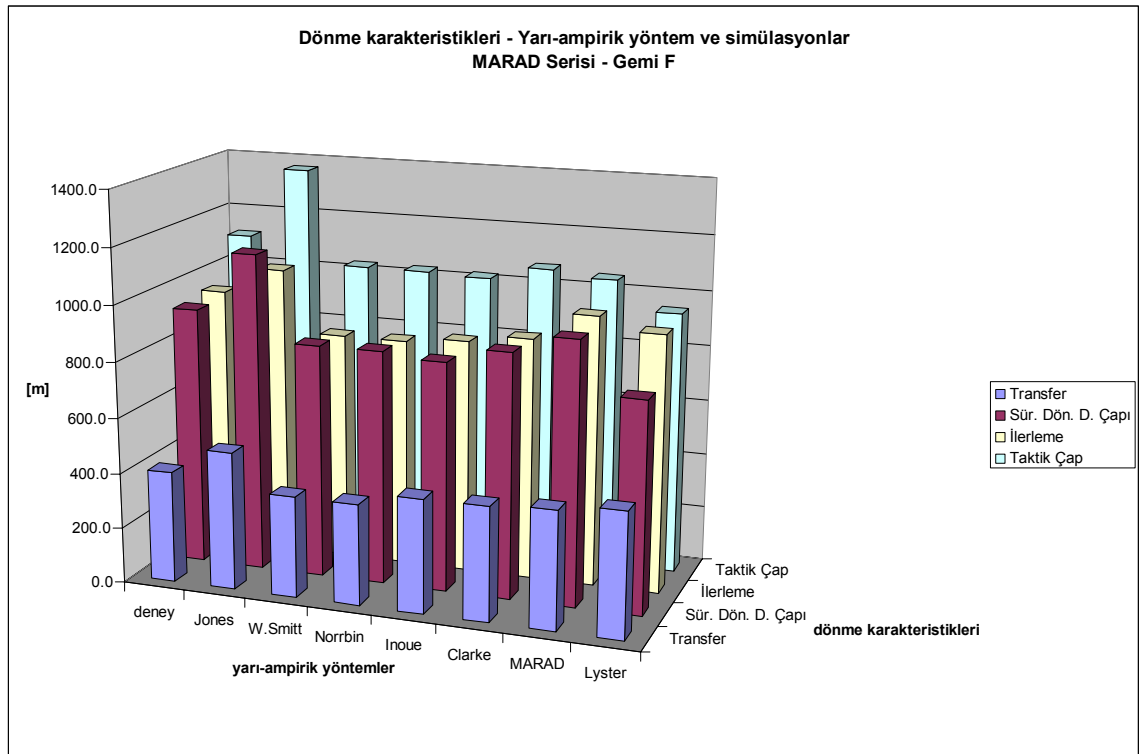
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.52	2.77
İlerleme	835.5	931.0	711.0	876.8	718.7	740.5	863.0168	832.58
Transfer	349.3	433.8	302.5	431.4	333.7	331.6	339.1997	386.75
Taktik Çap	1016.1	1212.6	886.9	1132.5	850.6	898.6	893.1036	818.28
Sürekli D. D. Çapı	779.7	941.2	643.9	865.8	599.1	655.2	765.8161	635.69



Şekil B-5: MARAD Serisi Gemi E – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-6: MARAD Serisi Gemi F - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

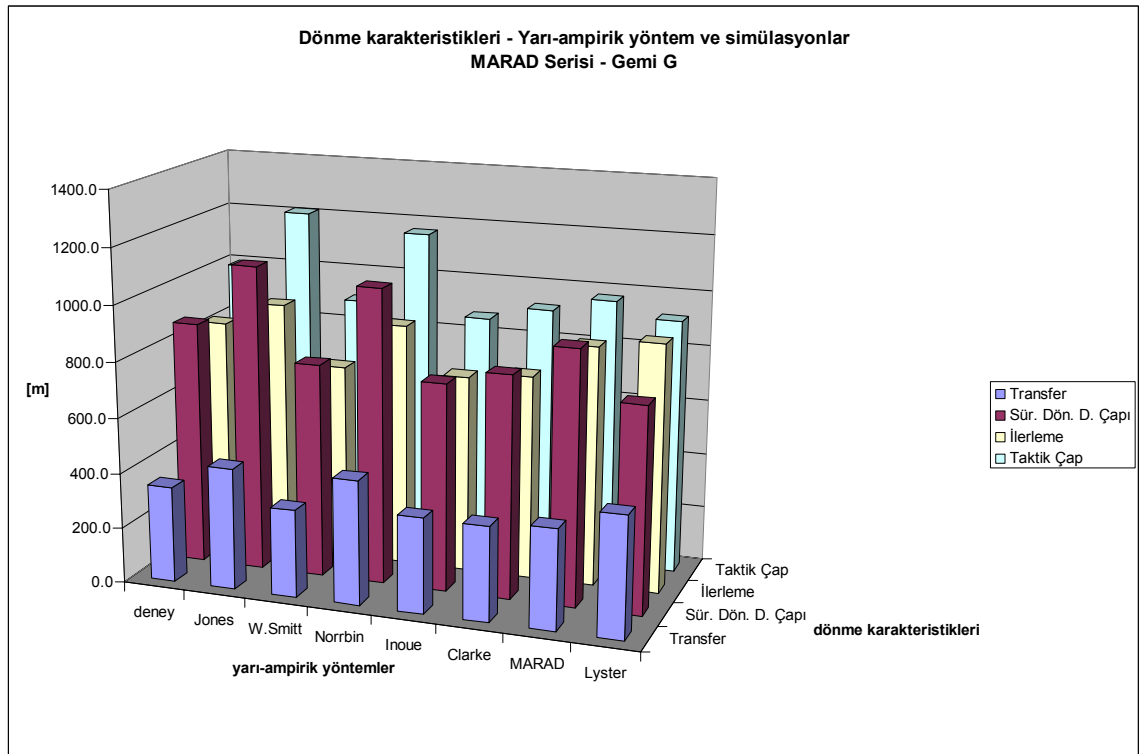
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.72	2.90
İlerleme	947.5	1044.5	821.8	821.8	841.1	868.9	969.6724	924.95
Transfer	400.5	497.3	364.0	364.0	408.9	410.7	423.7025	448.26
Taktik Çap	1111.5	1368.4	1026.0	1026.0	1018.4	1067.8	1047.369	944.67
Sürekli D. D. Çapı	931.0	1146.3	840.8	840.8	822.9	877.5	942.7799	758.48



Şekil B-6: MARAD Serisi Gemi F – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-7: MARAD Serisi Gemi G - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

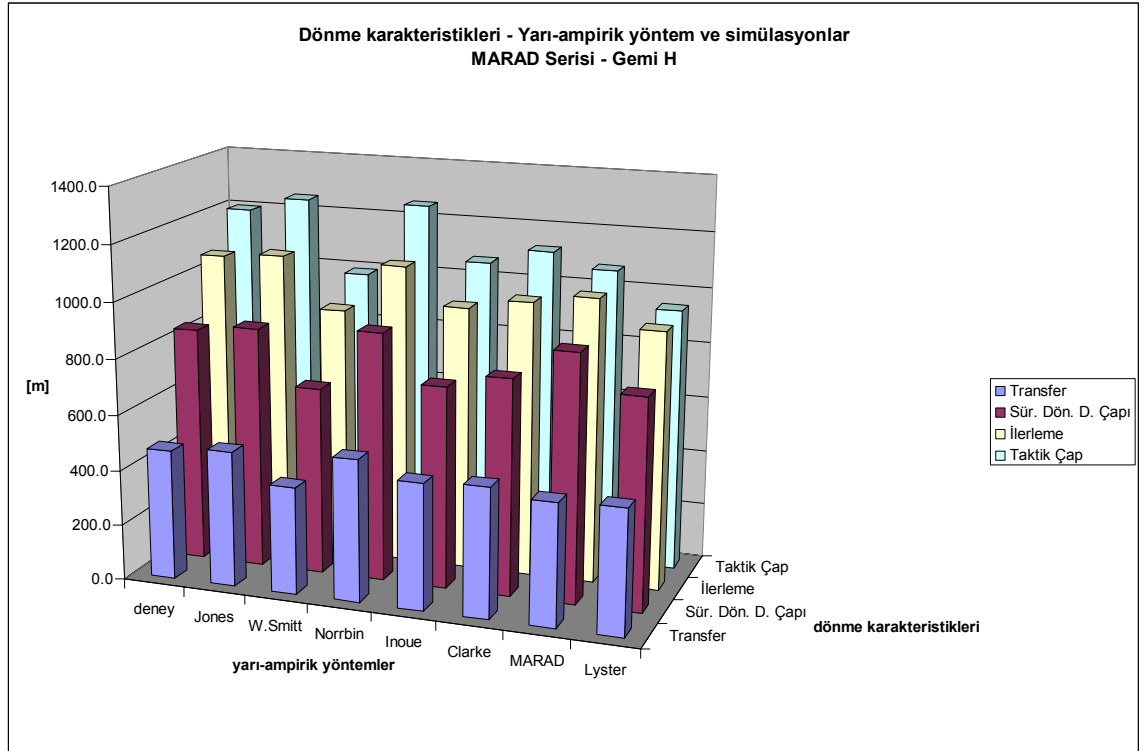
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	3.52	2.93
İlerleme	829.8	915.1	705.9	876.7	712.4	735.7	861.5477	892.43
Transfer	345.5	439.2	315.6	448.2	342.4	342.1	360.7704	435.71
Taktik Çap	995.9	1210.3	898.6	1163.0	871.5	919.6	971.4647	917.60
Sürekli D. D. Çapı	878.9	1103.3	772.3	1061.6	748.5	800.7	912.9613	739.83



Şekil B-7: MARAD Serisi Gemi G – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-8: MARAD Serisi Gemi H - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

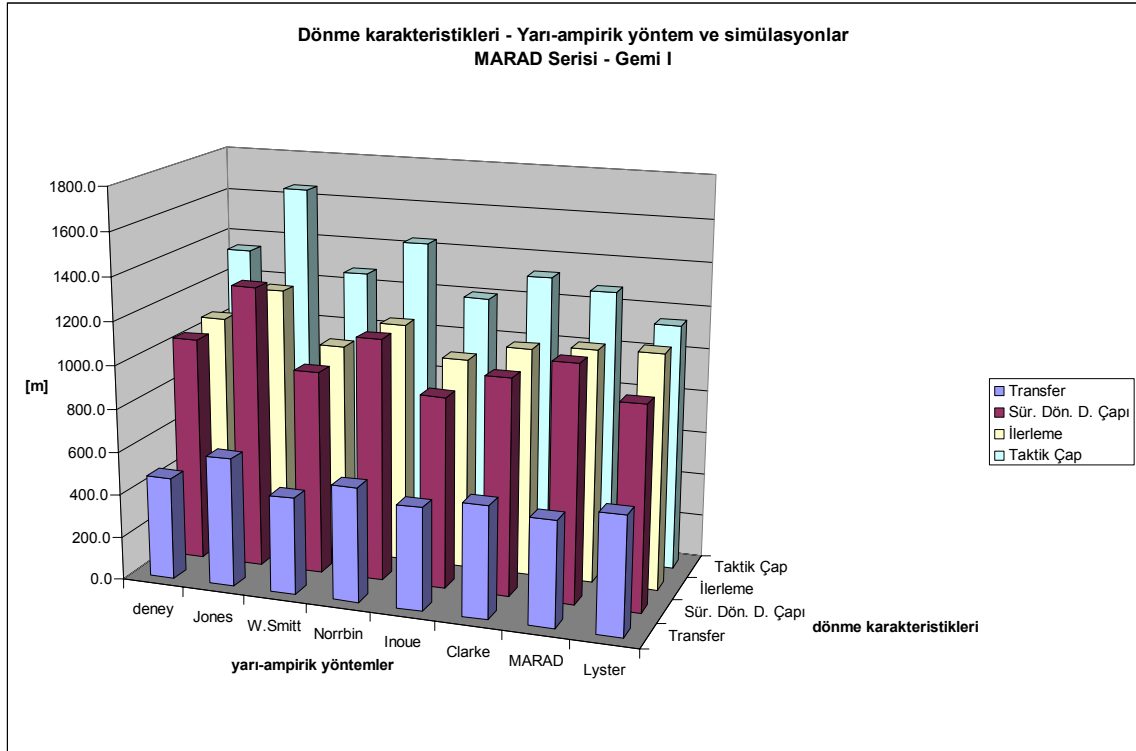
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.62	2.90
İlerleme	1068.7	1085.5	903.2	1080.7	949.8	988.6	1021.269	924.95
Transfer	468.2	488.8	385.9	511.9	453.9	466.8	439.3113	448.26
Taktik Çap	1196.8	1250.7	988.4	1255.2	1064.5	1120.8	1069.083	944.67
Sürekli D. D. Çapı	847.0	870.8	674.8	895.4	726.4	776.3	888.6444	758.48



Şekil B-8: MARAD Serisi Gemi H – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-9: MARAD Serisi Gemi I - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

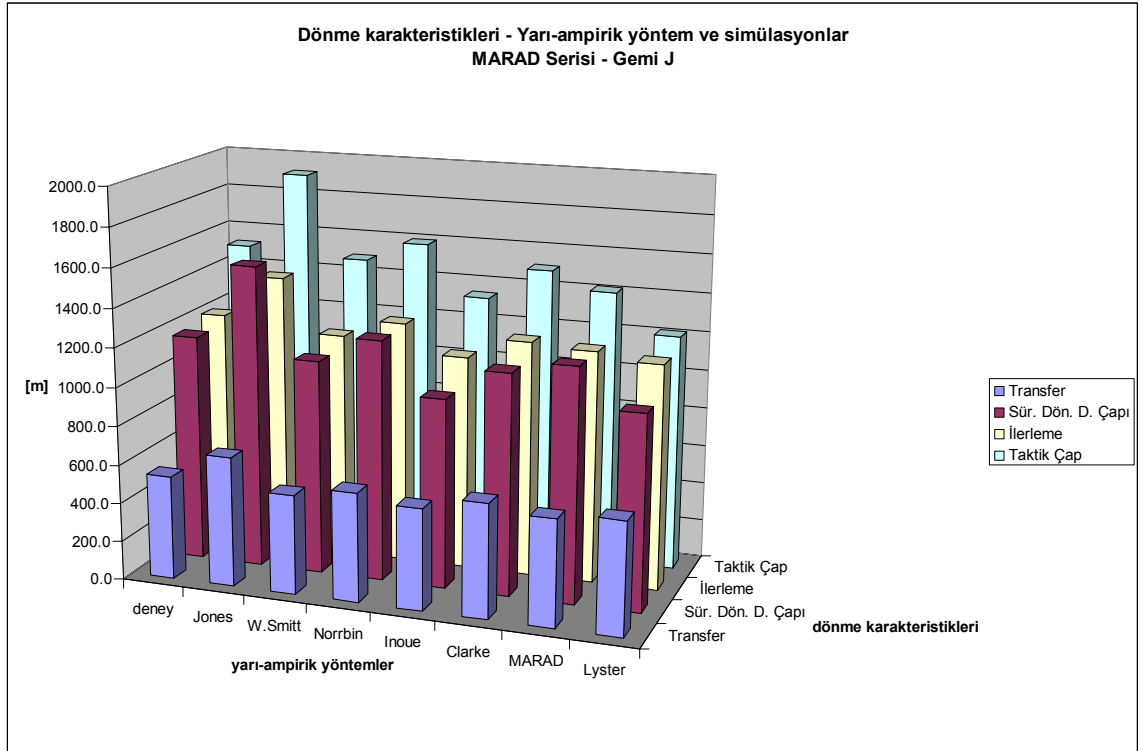
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.66	3.01
İlerleme	1075.5	1231.6	992.2	1118.3	982.1	1057.1	1081.854	1090.81
Transfer	473.2	597.2	448.5	530.3	474.8	517.9	486.9302	545.20
Taktik Çap	1342.2	1654.0	1272.6	1436.4	1198.9	1321.8	1276.198	1145.77
Sürekli D. D. Çapı	1042.9	1311.0	946.1	1121.8	886.7	1001.5	1094.141	942.63



Şekil B-9: MARAD Serisi Gemi I – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-10: MARAD Serisi Gemi J - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

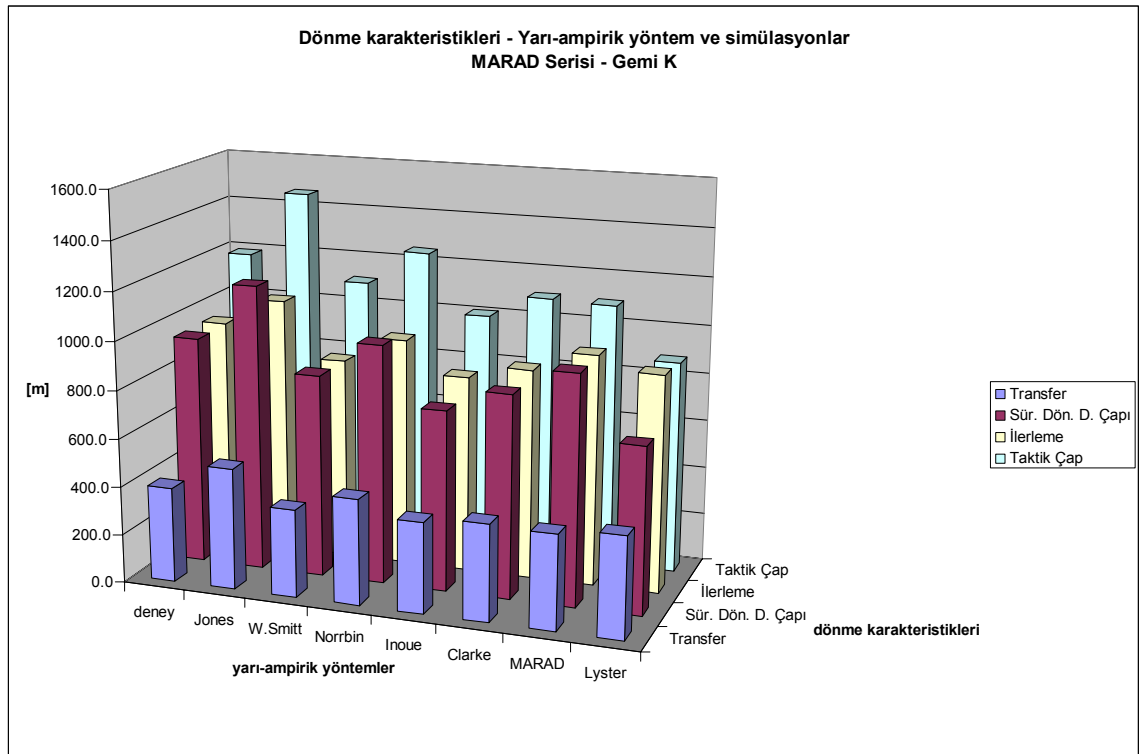
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.79	3.01
İlerleme	1212.6	1433.9	1158.1	1249.6	1104.9	1212.1	1191.835	1158.56
Transfer	534.9	669.1	513.6	563.3	523.5	587.2	548.1005	578.79
Taktik Çap	1517.0	1916.6	1487.9	1593.7	1337.4	1503.2	1415.951	1216.42
Sürekli D. D. Çapı	1172.0	1560.5	1104.1	1240.7	975.1	1137.6	1199.781	1001.70



Şekil B-10: MARAD Serisi Gemi J – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-11: MARAD Serisi Gemi K - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

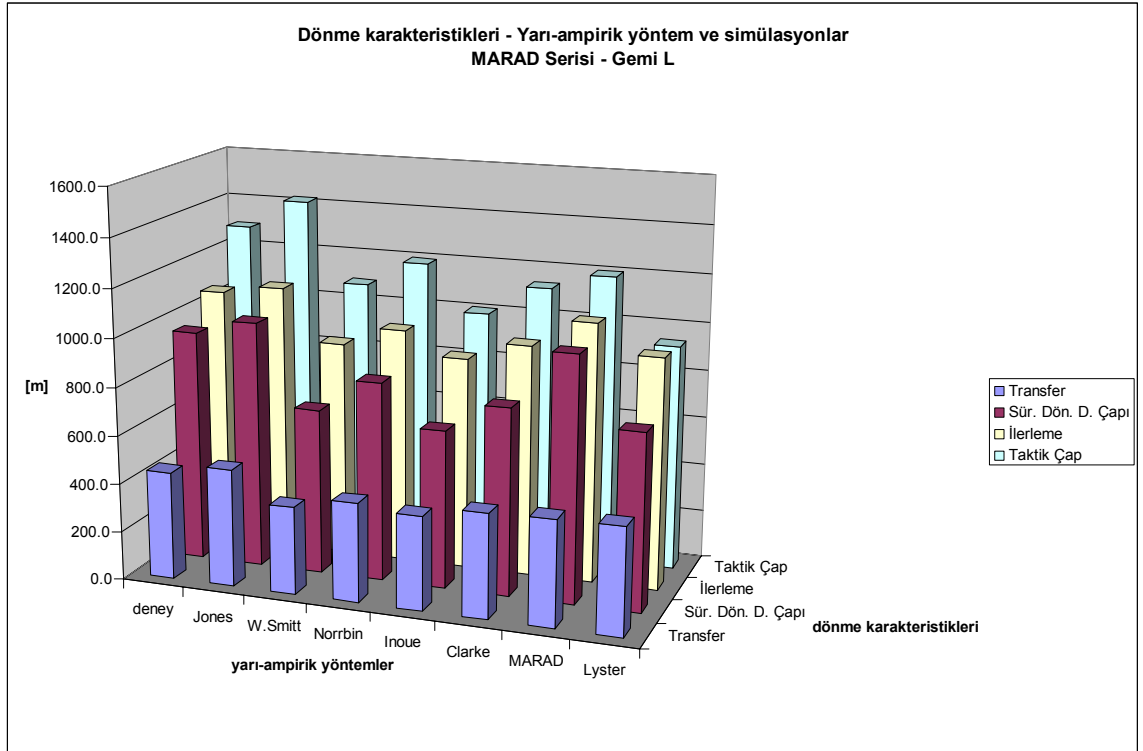
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.74	2.77
İlerleme	949.2	1063.1	834.5	943.5	813.3	867.1	952.7225	896.18
Transfer	392.0	501.2	361.7	436.5	374.3	400.0	390.6683	415.98
Taktik Çap	1190.5	1462.9	1106.3	1249.9	1006.0	1098.9	1090.919	880.18
Sürekli D. D. Çapı	945.1	1182.2	838.8	986.0	746.4	837.8	946.6174	684.79



Şekil B-11: MARAD Serisi Gemi K – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-12: MARAD Serisi Gemi L - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

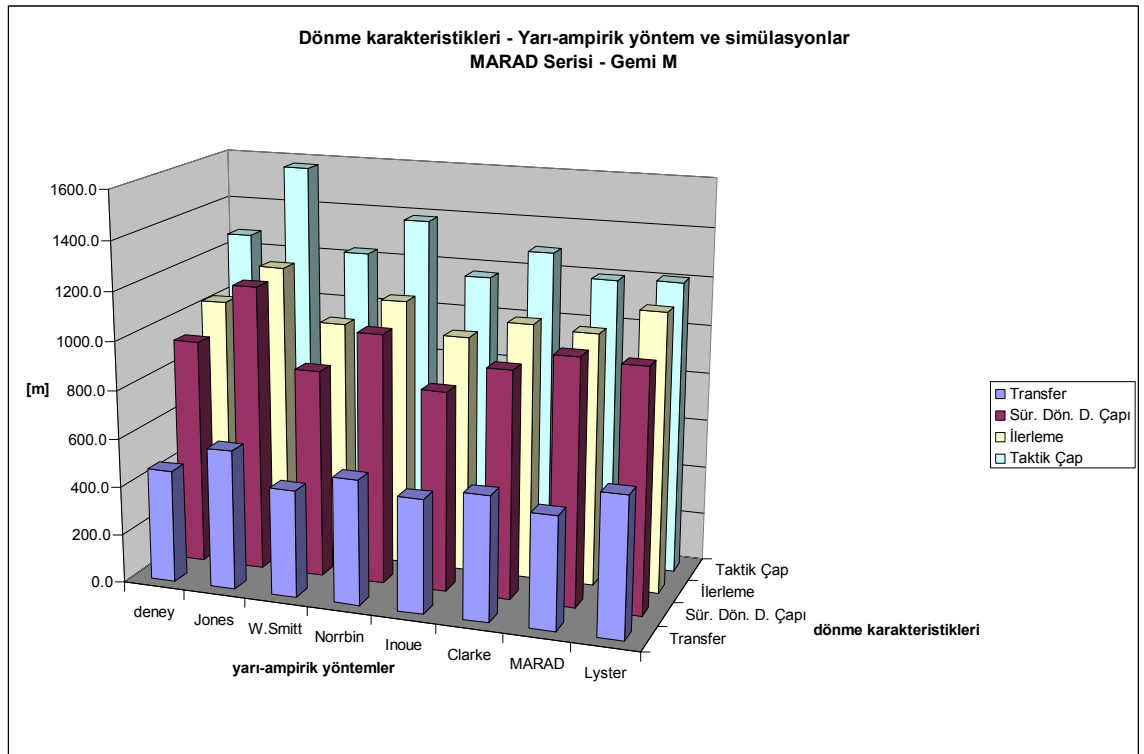
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.74	2.77
İlerleme	1068.4	1104.8	892.3	971.3	876.2	952.7	1068.007	951.80
Transfer	444.0	484.7	360.9	408.7	386.5	429.2	437.5617	441.52
Taktik Çap	1295.4	1419.1	1086.0	1194.0	1003.7	1129.7	1197.928	934.28
Sürekli D. D. Çapı	956.0	1018.2	682.8	821.8	651.2	770.9	1008.836	727.72



Şekil B-12: MARAD Serisi Gemi L – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-13: MARAD Serisi Gemi M - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

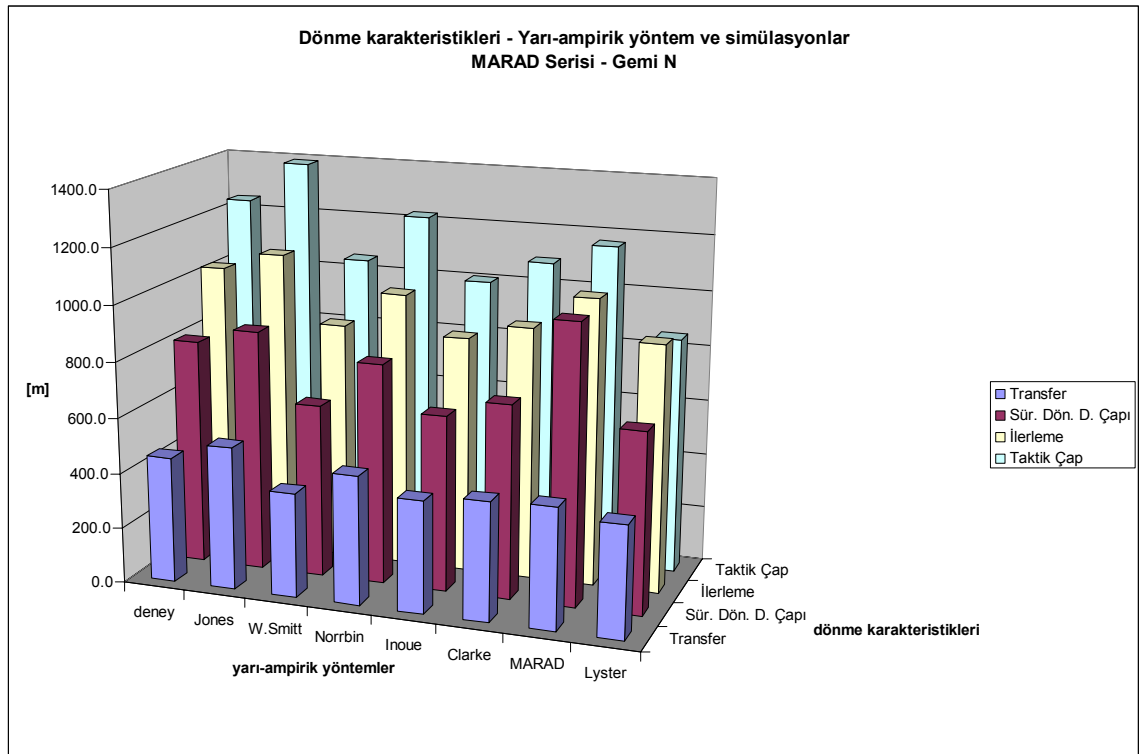
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.54	3.02
İlerleme	1038.5	1202.7	987.5	1104.4	977.6	1053.7	1036.911	1144.42
Transfer	462.7	575.2	441.7	514.2	466.7	511.7	463.7136	574.24
Taktik Çap	1274.5	1574.7	1230.9	1383.5	1166.9	1289.5	1195.584	1206.39
Sürekli D. D. Çapı	929.8	1179.0	855.0	1029.6	822.1	932.8	1009.589	996.01



Şekil B-13: MARAD Serisi Gemi M – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-14: MARAD Serisi Gemi N - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

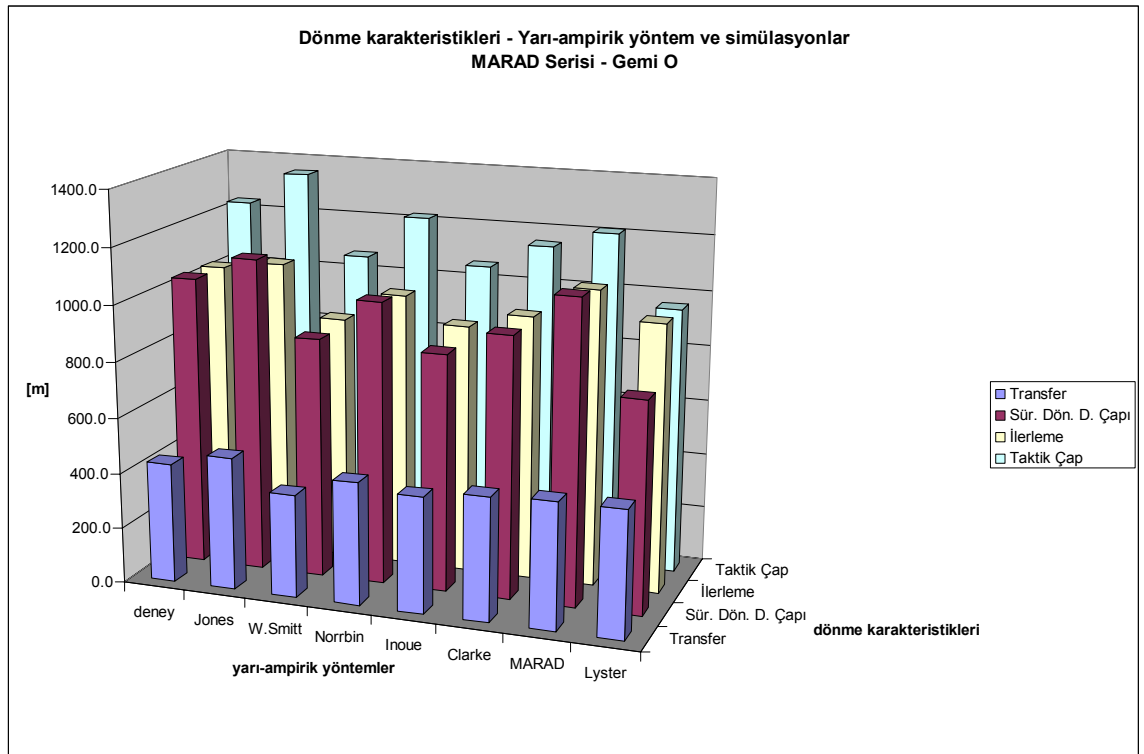
	Deney	Jones	W.Smıtt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.7	2.69
İlerleme	1033.8	1098.8	858.9	989.4	851.8	907.9	1030.474	891.21
Transfer	452.7	514.7	375.6	463.8	402.1	426.3	434.1023	402.19
Taktik Çap	1244.9	1391.3	1051.7	1224.3	1004.2	1089.8	1165.717	853.32
Sürekli D. D. Çapı	813.8	870.5	623.6	795.5	633.8	697.0	1004.191	649.88



Şekil B-14: MARAD Serisi Gemi N – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

Tablo B-15: MARAD Serisi Gemi O - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

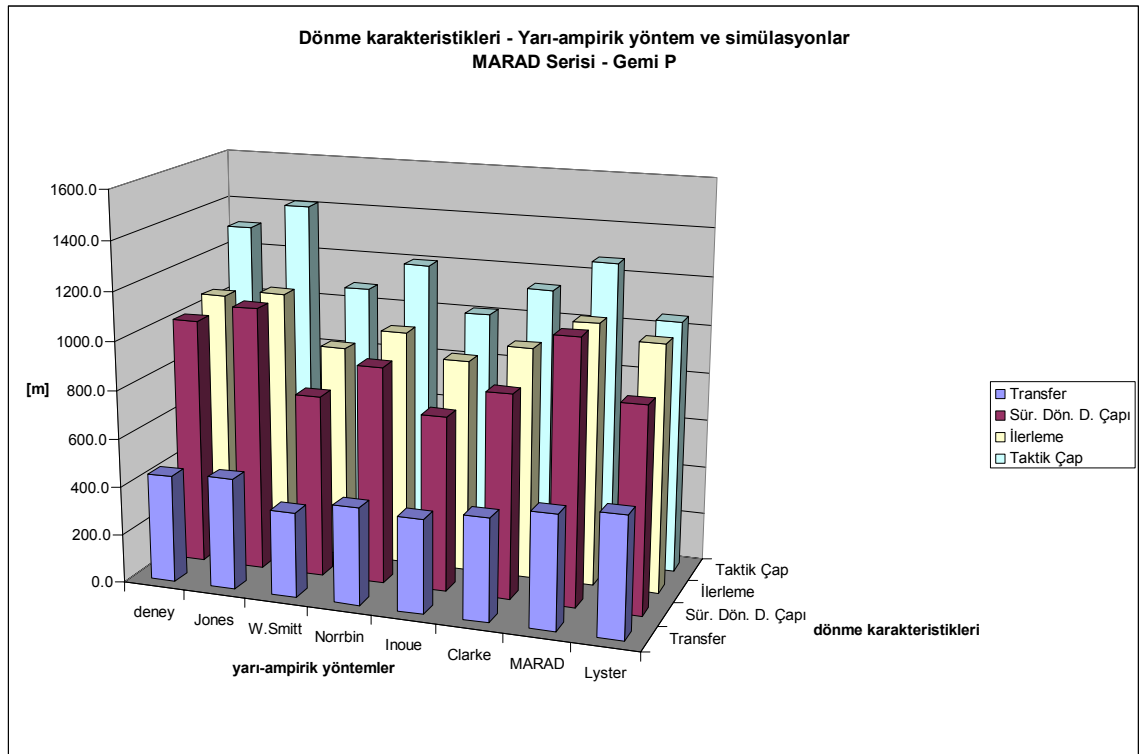
	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	3.08	2.82
İlerleme	1037.2	1065.6	881.3	986.8	893.7	948.3	1061.685	962.24
Transfer	430.4	476.7	370.8	440.8	416.3	442.8	453.832	454.75
Taktik Çap	1234.7	1353.4	1064.8	1221.1	1060.2	1149.9	1211.501	960.59
Sürekli D. D. Çapı	1042.3	1128.0	863.8	1013.3	851.6	936.3	1086.966	758.56



Şekil B-15: MARAD Serisi Gemi O – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

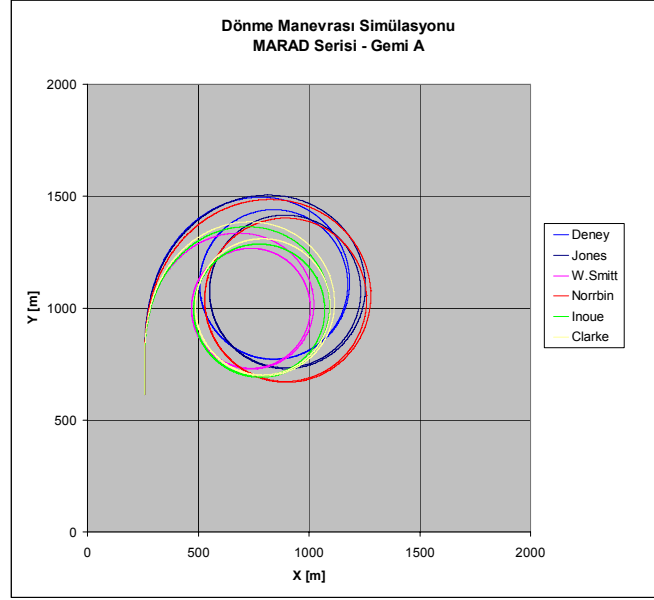
Tablo B-16: MARAD Serisi Gemi P - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

	Deney	Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	MARAD	Lyster
Sürekli D. Hızı	2.3	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	2.99	2.92
İlerleme	1066.7	1093.8	886.9	975.5	879.9	955.4	1079.781	1020.09
Transfer	441.9	459.0	350.6	401.2	386.3	424.2	470.9404	497.33
Taktik Çap	1307.3	1412.6	1078.9	1198.3	1013.1	1135.3	1264.548	1047.51
Sürekli D. D. Çapı	1017.8	1091.4	752.7	897.2	721.8	838.1	1088.285	846.45

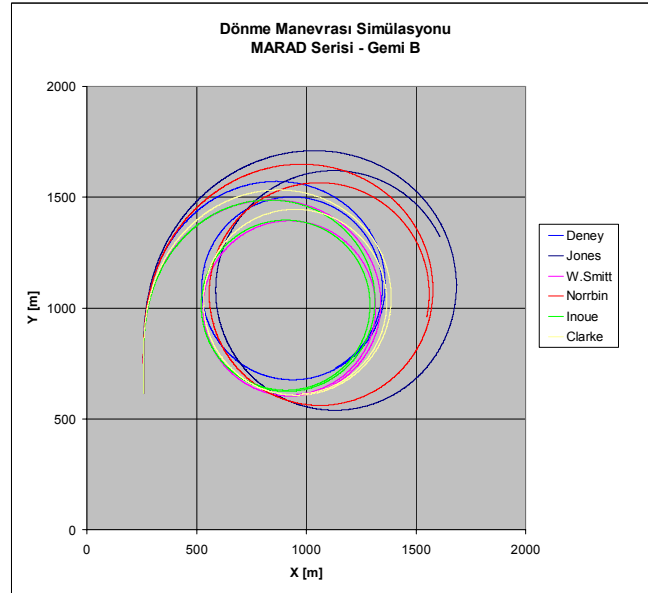


Şekil B-16: MARAD Serisi Gemi P – Deneysel, Yarı-ampirik Türev Değerlerinin ve Manevra Karakteristiklerinin Toplu Karşılaştırılması

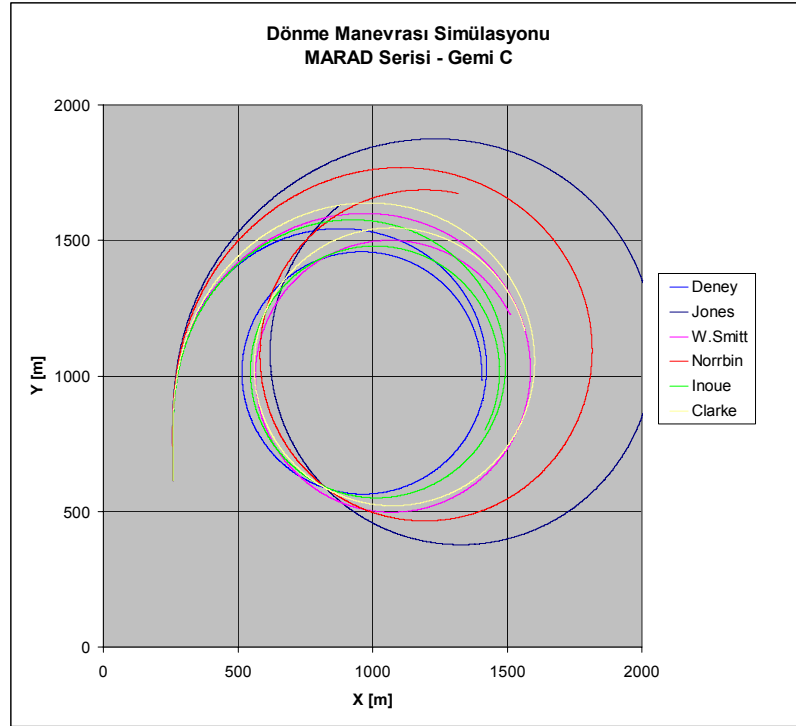
EK-C



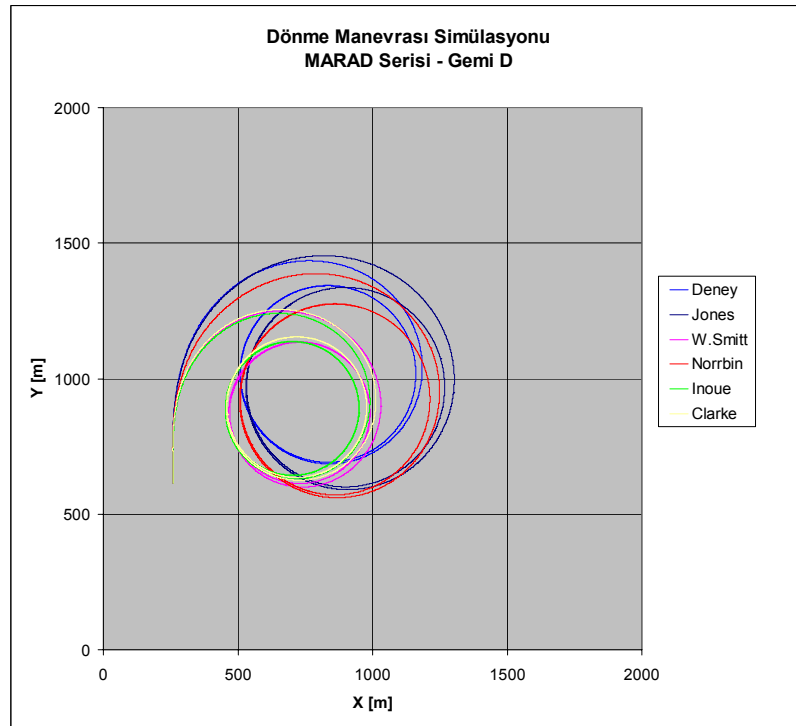
Şekil C-1: MARAD Serisi Gemi A - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



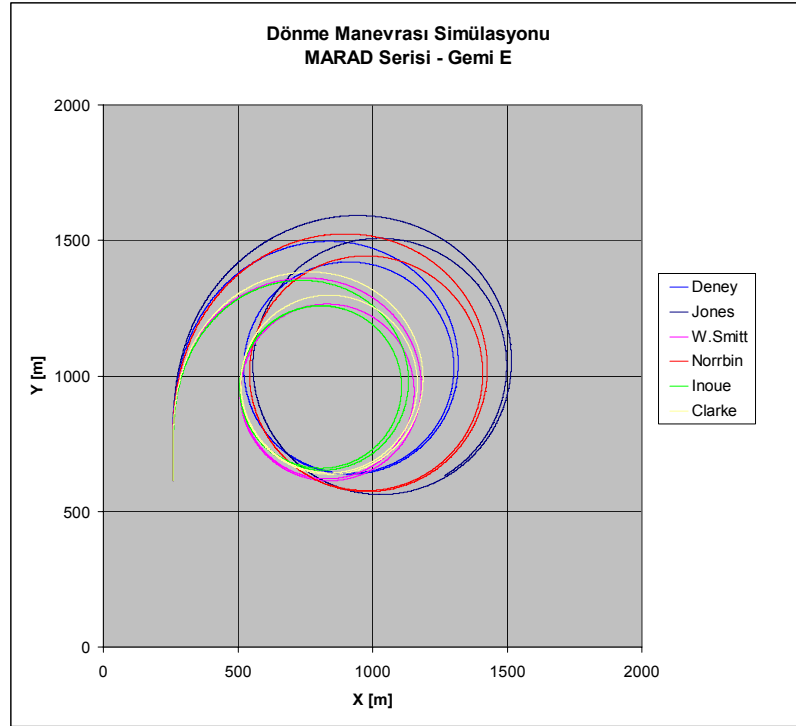
Şekil C-2: MARAD Serisi Gemi B - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



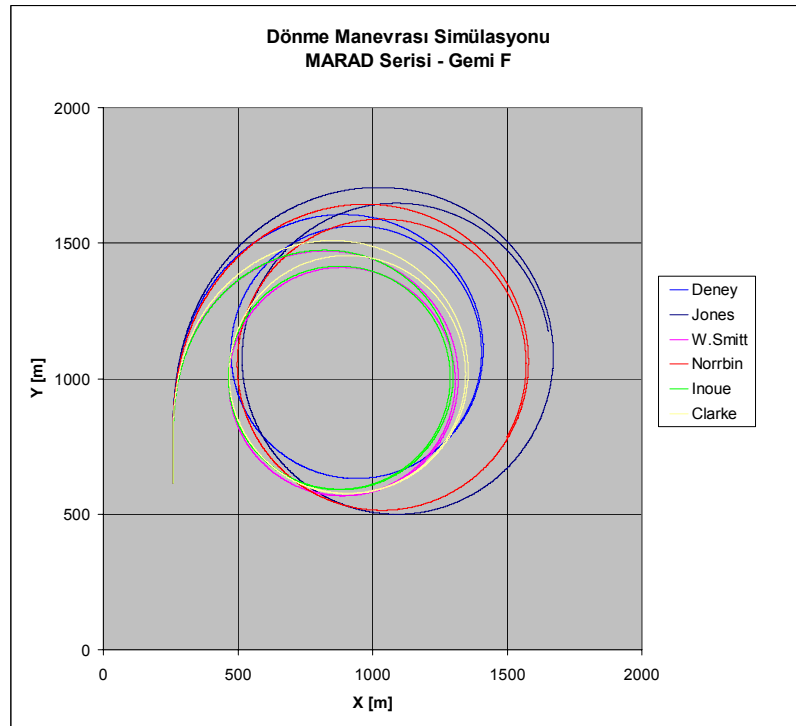
Şekil C-3: MARAD Serisi Gemi C - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri
Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



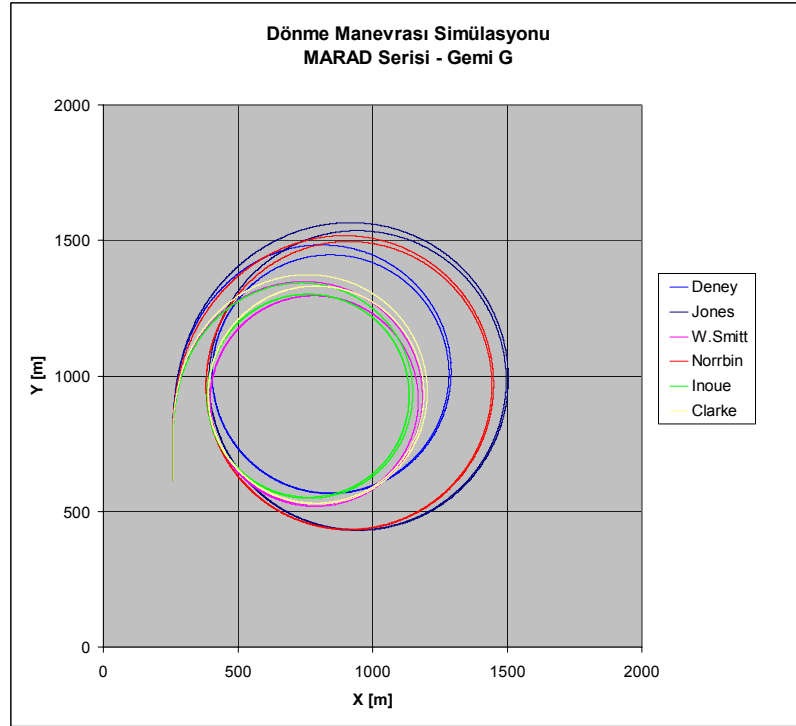
Şekil C-4: MARAD Serisi Gemi D - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri
Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



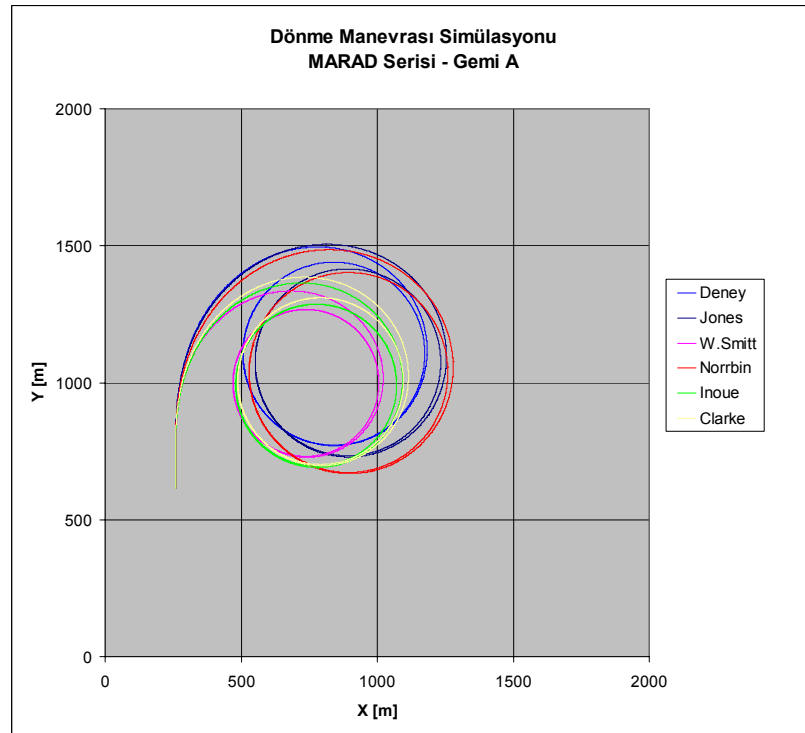
Şekil C-5: MARAD Serisi Gemi E - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri
Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



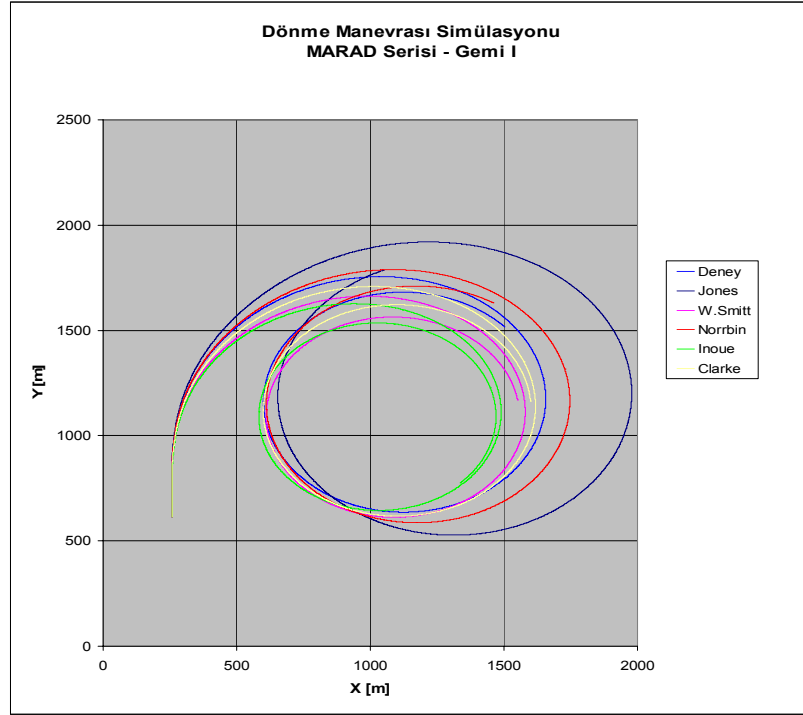
Şekil C-6: MARAD Serisi Gemi F - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri
Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



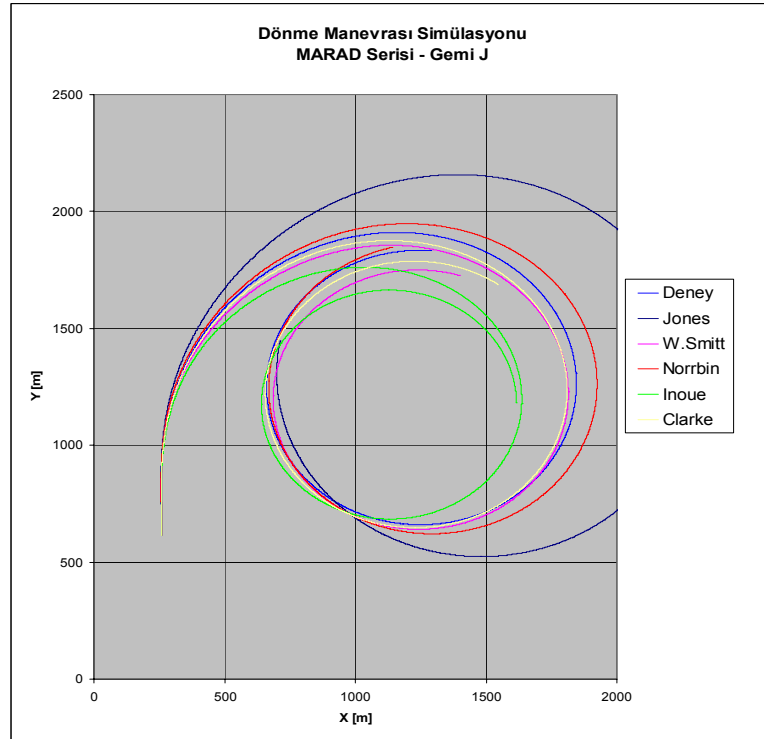
Şekil C-7: MARAD Serisi Gemi G - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



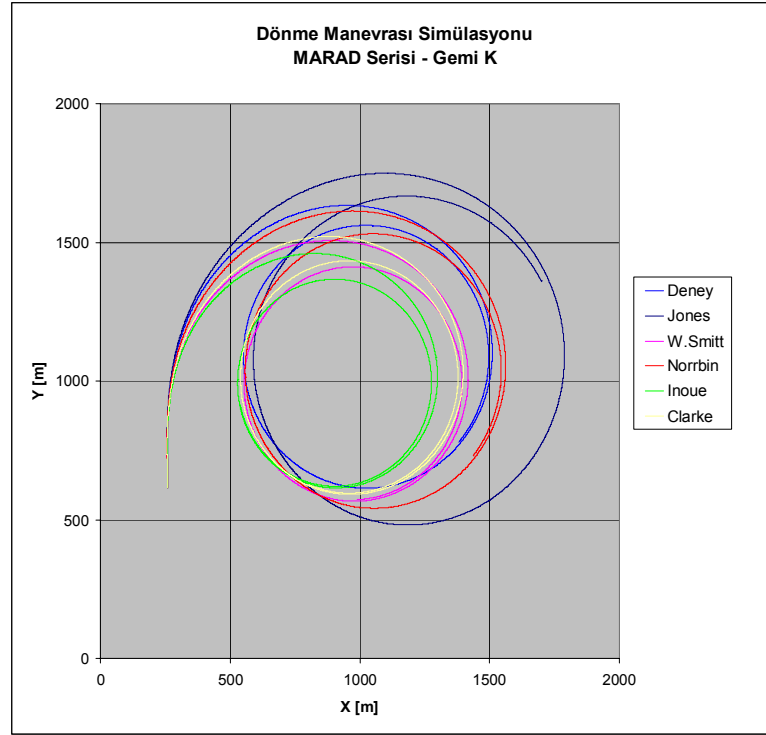
Şekil C-8: MARAD Serisi Gemi H - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



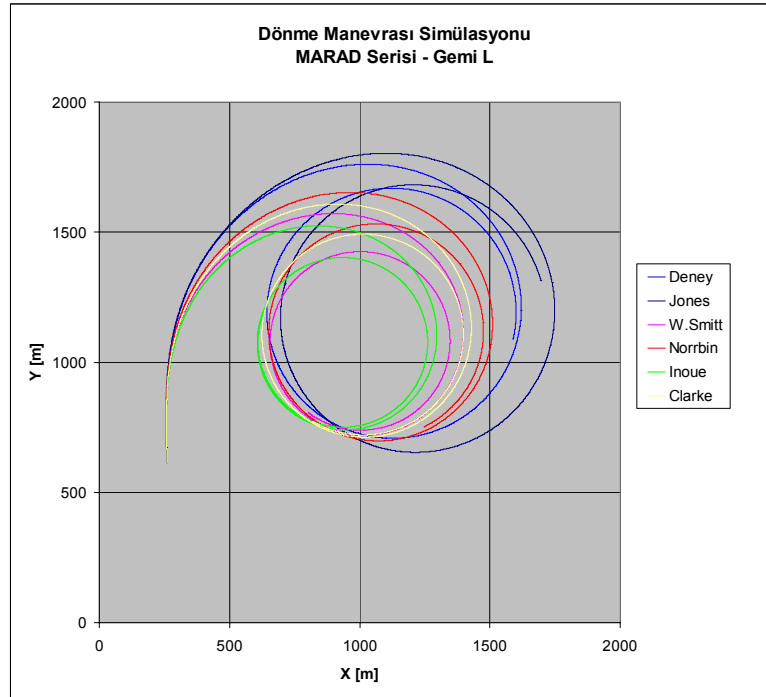
Şekil C-9: MARAD Serisi Gemi I - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



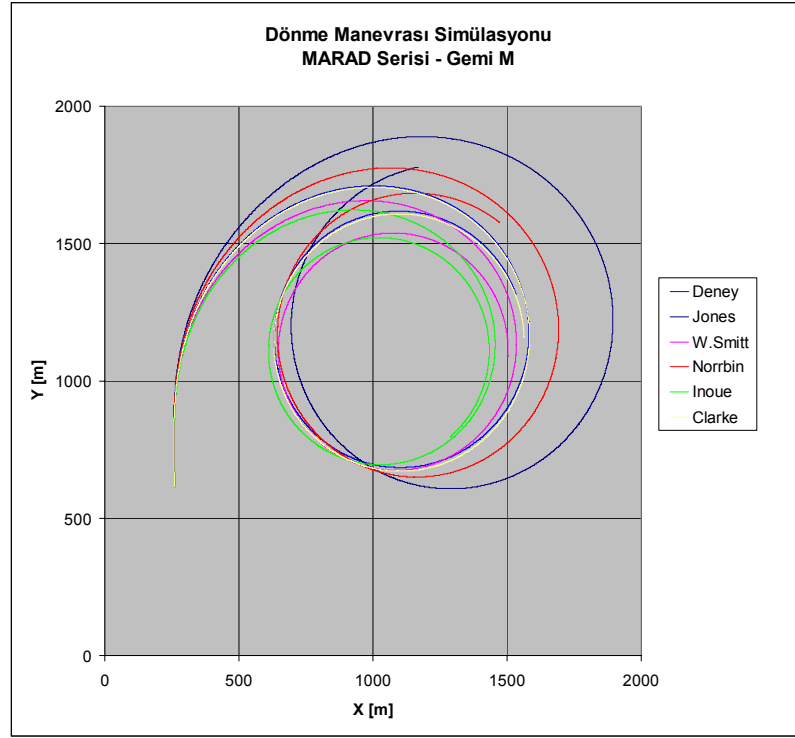
Şekil C-10: MARAD Serisi Gemi J - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



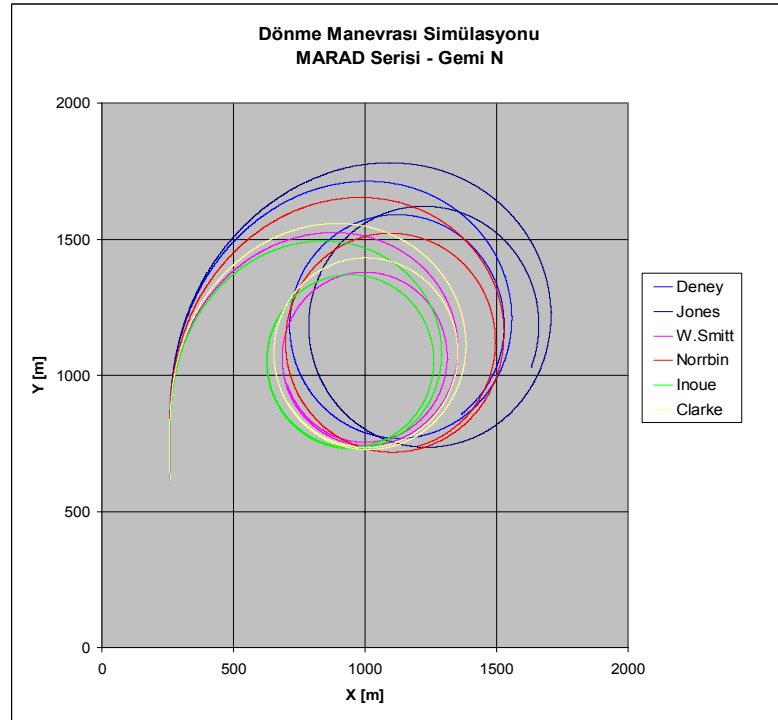
Şekil C-11: MARAD Serisi Gemi K - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



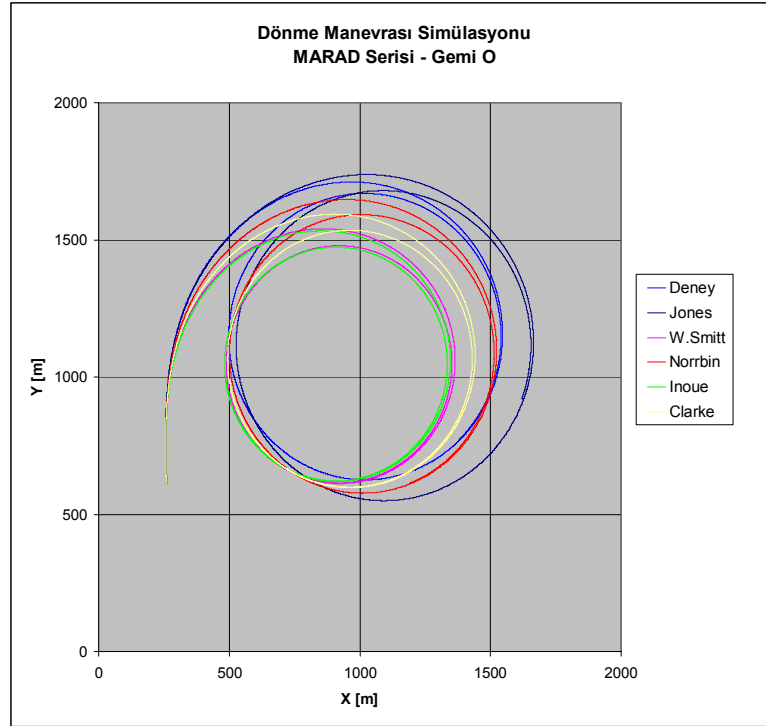
Şekil C-12: MARAD Serisi Gemi L - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



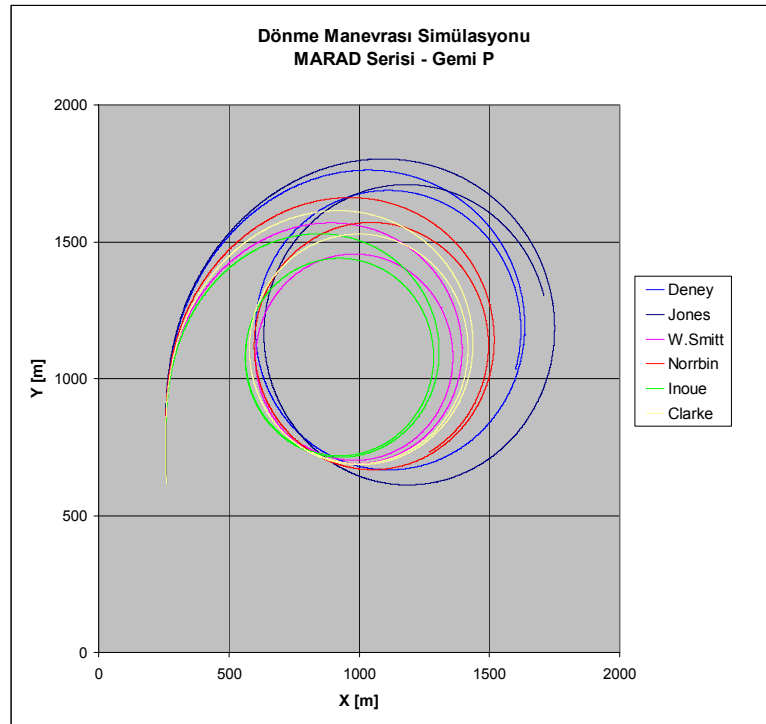
Şekil C-13: MARAD Serisi Gemi M - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



Şekil C-14: MARAD Serisi Gemi N - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



Şekil C-15: MARAD Serisi Gemi O - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri



Şekil C-16: MARAD Serisi Gemi P - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Türev Değerleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Simülasyon Yörüngeleri

EK-D

Tablo D.1: MARAD Serisi Gemi A - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01154033	-	-	-	-0.01444141	-0.01726000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00106310	-0.00025000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00088866	-0.00003000
	N'_r	-0.00096169	-	-	-	-0.00078424	-0.00116700
hız türevleri	Y'_v	-0.01154033	-0.01834912	-0.02027453	-0.02503938	-0.02365705	-0.01365000
	Y'_r	0.00577016	0.00369290	0.00377948	0.00577016	0.00392361	0.00458000
	N'_v	-0.00577016	-0.00715500	-0.00700012	-0.00734680	-0.00744883	-0.00824000
	N'_r	-0.00288508	-0.00242347	-0.00368836	-0.00292978	-0.00306023	-0.00365000

Tablo D.2: MARAD Serisi Gemi B - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00969627	-	-	-	-0.01239507	-0.01460000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00079477	-0.00025000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00058501	-0.00005000
	N'_r	-0.00080802	-	-	-	-0.00070742	-0.00096400
hız türevleri	Y'_v	-0.00969627	-0.01541708	-0.01703485	-0.02103887	-0.01987736	-0.01100000
	Y'_r	0.00484814	0.00310281	0.00317539	0.00484814	0.00361994	0.00394000
	N'_v	-0.00484814	-0.00601169	-0.00588154	-0.00617284	-0.00614097	-0.00796000
	N'_r	-0.00242407	-0.00203622	-0.00309892	-0.00252401	-0.00265355	-0.00294000

Tablo D.3: MARAD Serisi Gemi C - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme
Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00826198	-	-	-	-0.01073470	-0.01254000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00060624	-0.00025000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00038196	-0.00005000
	N'_r	-0.00068850	-	-	-	-0.00063773	-0.00081000
hız türevleri	Y'_v	-0.00826198	-0.01313655	-0.01451502	-0.01792676	-0.01693706	-0.00959000
	Y'_r	0.00413099	0.00264383	0.00270568	0.00413099	0.00331749	0.00335000
	N'_v	-0.00413099	-0.00512243	-0.00501153	-0.00525974	-0.00514785	-0.00993000
	N'_r	-0.00206550	-0.00173502	-0.00264052	-0.00219560	-0.00232034	-0.00250000

Tablo D.4: MARAD Serisi Gemi D - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme
Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01723800	-	-	-	-0.01992964	-0.02473000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00205459	-0.00035000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00209348	-0.00010000
	N'_r	-0.00143650	-	-	-	-0.00091964	-0.00168500
hız türevleri	Y'_v	-0.01723800	-0.02740842	-0.03025157	-0.03682668	-0.03482076	-0.01674000
	Y'_r	0.00861900	0.00551616	0.00580158	0.00861900	0.00432861	0.00788000
	N'_v	-0.00861900	-0.01068756	-0.01047264	-0.01097405	-0.01168355	-0.01314000
	N'_r	-0.00430950	-0.00361998	-0.00558332	-0.00408071	-0.00418116	-0.00582000

Tablo D.5: MARAD S. Gemi E - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme
Türevleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01396155	-	-	-	-0.01680992	-0.02017000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00145617	-0.00035000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00135422	-0.00002000
	N'_r	-0.00116346	-	-	-	-0.00084725	-0.00136000
hız türevleri	Y'_v	-0.01396155	-0.02219886	-0.02450165	-0.02982775	-0.02820302	-0.01512000
	Y'_r	0.00698077	0.00446769	0.00469866	0.00698077	0.00418857	0.00557700
	N'_v	-0.00698077	-0.00865616	-0.00848207	-0.00888820	-0.00921453	-0.01095000
	N'_r	-0.00349039	-0.00293192	-0.00452199	-0.00343682	-0.00356026	-0.00462000

Tablo D.6: MARAD Serisi Gemi F - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01153810	-	-	-	-0.01430063	-0.01677000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00106283	-0.00035000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00088835	-0.00002000
	N'_r	-0.00096151	-	-	-	-0.00076943	-0.00109900
hız türevleri	Y'_v	-0.01153810	-0.01834558	-0.02024866	-0.02465027	-0.02330756	-0.01295000
	Y'_r	0.00576905	0.00369219	0.00388306	0.00576905	0.00392311	0.00473000
	N'_v	-0.00576905	-0.00715362	-0.00700975	-0.00734538	-0.00744723	-0.00876000
	N'_r	-0.00288453	-0.00242300	-0.00373706	-0.00292930	-0.00305977	-0.00351000

Tablo D.7: MARAD Serisi Gemi G - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.01394532	-	-	-	-0.01645899	-0.01899000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00145339	-0.00051000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00135086	-0.00004000
	N'_r	-0.00116211	-	-	-	-0.00081124	-0.00119600
hız türevleri	Y'_v	-0.01394532	-0.02217305	-0.02441990	-0.02886084	-0.02733346	-0.01161000
	Y'_r	0.00697266	0.00446250	0.00494623	0.00697266	0.00418727	0.00583000
	N'_v	-0.00697266	-0.00864610	-0.00849884	-0.00887786	-0.00920252	-0.01117000
	N'_r	-0.00348633	-0.00292852	-0.00463659	-0.00343351	-0.00355703	-0.00428000

Tablo D.8: MARAD S. Gemi H - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türevleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00826239	-	-	-	-0.01063596	-0.01218000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00060627	-0.00035000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00038200	-0.00004000
	N'_r	-0.00068853	-	-	-	-0.00062722	-0.00076100
hız türevleri	Y'_v	-0.00826239	-0.01313719	-0.01449992	-0.01765099	-0.01668957	-0.00924000
	Y'_r	0.00413119	0.00264396	0.00278091	0.00413119	0.00331763	0.00583000
	N'_v	-0.00413119	-0.00512268	-0.00501968	-0.00526000	-0.00514813	-0.00515000
	N'_r	-0.00206560	-0.00173510	-0.00267622	-0.00219570	-0.00232043	-0.00240000

Tablo D.9: MARAD Serisi Gemi I - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00620686	-	-	-	-0.00849276	-0.00951000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00040512	-0.00024000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00018372	-0.00020000
	N'_r	-0.00051724	-	-	-	-0.00051216	-0.00057600
hız türevleri	Y'_v	-0.00620686	-0.00986890	-0.01099335	-0.01502270	-0.01411994	-0.00736000
	Y'_r	0.00310343	0.00198619	0.00161055	0.00310343	0.00268945	0.00259000
	N'_v	-0.00310343	-0.00384825	-0.00372051	-0.00395141	-0.00376556	-0.00506000
	N'_r	-0.00155171	-0.00130344	-0.00178376	-0.00170346	-0.00188008	-0.00212000

Tablo D.10: MARAD Serisi Gemi J - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00430881	-	-	-	-0.00633557	-0.00691000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00019317	-0.00011000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	0.00000509	-0.00020000
	N'_r	-0.00035907	-	-	-	-0.00040228	-0.00039100
hız türevleri	Y'_v	-0.00430881	-0.00685100	-0.00770160	-0.01165388	-0.01090172	-0.00594000
	Y'_r	0.00215440	0.00137882	0.00078552	0.00215440	0.00212579	0.00209000
	N'_v	-0.00215440	-0.00267146	-0.00254778	-0.00274307	-0.00253738	-0.00359000
	N'_r	-0.00107720	-0.00090485	-0.00108077	-0.00122322	-0.00143130	-0.00165000

Tablo D.11: MARAD S. Gemi K - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türevleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00893592	-	-	-	-0.01167035	-0.01349000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00078272	-0.00024000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00059199	-0.00016000
	N'_r	-0.00074466	-	-	-	-0.00063911	-0.00085700
hız türevleri	Y'_v	-0.00893592	-0.01420812	-0.01582703	-0.02162903	-0.02032923	-0.01031000
	Y'_r	0.00446796	0.00285950	0.00231840	0.00446796	0.00321697	0.00342000
	N'_v	-0.00446796	-0.00554027	-0.00535633	-0.00568879	-0.00561175	-0.00728000
	N'_r	-0.00223398	-0.00187654	-0.00256791	-0.00235137	-0.00254005	-0.00314000

Tablo D.12: MARAD Serisi Gemi L - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00620503	-	-	-	-0.00873689	-0.00981000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00041678	-0.00011000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00022023	-0.00016000
	N'_r	-0.00051709	-	-	-	-0.00051106	-0.00058600
hız türevleri	Y'_v	-0.00620503	-0.00986600	-0.01109093	-0.01678250	-0.01569934	-0.00751000
	Y'_r	0.00310252	0.00198561	0.00113122	0.00310252	0.00260621	0.00251000
	N'_v	-0.00310252	-0.00384712	-0.00366901	-0.00395025	-0.00376436	-0.00475000
	N'_r	-0.00155126	-0.00130306	-0.00155641	-0.00170301	-0.00194534	-0.00250000

Tablo D.13: MARAD Serisi Gemi M - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00528683	-	-	-	-0.00742446	-0.00841000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00029957	-0.00012000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00008178	-0.00020000
	N'_r	-0.00044057	-	-	-	-0.00046709	-0.00051200
hız türevleri	Y'_v	-0.00528683	-0.00840607	-0.00937653	-0.01301801	-0.01222632	-0.00662000
	Y'_r	0.00264342	0.00169179	0.00131155	0.00264342	0.00244020	0.00255000
	N'_v	-0.00264342	-0.00327784	-0.00316268	-0.00336570	-0.00316393	-0.00432000
	N'_r	-0.00132171	-0.00111024	-0.00149080	-0.00147403	-0.00163948	-0.00178000

Tablo D.14: MARAD S. Gemi N - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türevleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smirt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00893779	-	-	-	-0.01140422	-0.01262000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00078298	-0.00040000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00059227	-0.00014000
	N'_r	-0.00074482	-	-	-	-0.00061070	-0.00075600
hız türevleri	Y'_v	-0.00893779	-0.01421108	-0.01578761	-0.02088581	-0.01966230	-0.01013000
	Y'_r	0.00446889	0.00286009	0.00252184	0.00446889	0.00321733	0.00367000
	N'_v	-0.00446889	-0.00554143	-0.00537881	-0.00568997	-0.00561304	-0.00638000
	N'_r	-0.00223445	-0.00187694	-0.00266459	-0.00235180	-0.00254045	-0.00303000

Tablo D.15: MARAD Serisi Gemi O - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00738578	-	-	-	-0.01001796	-0.01157000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00055700	-0.00012000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00034164	-0.00019000
	N'_r	-0.00061548	-	-	-	-0.00058431	-0.00073500
hız türevleri	Y'_v	-0.00738578	-0.01174339	-0.01309908	-0.01818515	-0.01707927	-0.00781000
	Y'_r	0.00369289	0.00236345	0.00183257	0.00369289	0.00295422	0.00273000
	N'_v	-0.00369289	-0.00457918	-0.00441835	-0.00470193	-0.00455236	-0.00575000
	N'_r	-0.00184645	-0.00155101	-0.00208283	-0.00198904	-0.00217457	-0.00272000

Tablo D.16: MARAD Serisi Gemi P - Deney ve Yarı-ampirik Formüllerle Elde Edilen Hız ve İvme Türev Değerleri

		Gemi Teorisi	Yarı-ampirik			Çoklu Regresyon	deney
		Jones	W.Smitt	Norrbin	Inoue	Clarke	
ivme türevleri	Y'_v	-0.00620603	-	-	-	-0.00851454	-0.00923000
	Y'_r	0.00000000	-	-	-	-0.00041692	-0.00029000
	N'_v	0.00000000	-	-	-	-0.00022035	-0.00014000
	N'_r	-0.00051717	-	-	-	-0.00048737	-0.00051800
hız türevleri	Y'_v	-0.00620603	-0.00986759	-0.01105709	-0.01616183	-0.01514234	-0.00800000
	Y'_r	0.00310301	0.00198593	0.00130060	0.00310301	0.00260646	0.00282000
	N'_v	-0.00310301	-0.00384774	-0.00368741	-0.00395088	-0.00376501	-0.00431000
	N'_r	-0.00155151	-0.00130327	-0.00163680	-0.00170326	-0.00194555	-0.00235000

EKE

Tablo E.1: Turn Programında Kullanılan Örnek Veri Dosyası

ESSO OSAKA		- .204739E-01	G(4)	.144295E-03	YSTAR(2)
75	SHIPNO	.000000E+00	AU(1)	- .144295E-03	YSTAR(3)
.215439E+08	XMASS	.000000E+00	AU(2)	- .144295E-03	YSTAR(4)
.153096E+13	XINER	.000000E+00	AU(3)	.577181E-02	YDRN(1)
.106630E+04	XL	.000000E+00	AU(4)	.577181E-02	YDRN(2)
.173900E+03	BE	.000000E+00	BU(1)	- .192394E-02	YDRN(3)
.715000E+02	DPT	.000000E+00	BU(2)	- .192394E-02	YDRN(4)
.000000E+00	XCG	.000000E+00	BU(3)	.000000E+00	YDR(1)
8.0	U(1)	.000000E+00	BU(4)	.000000E+00	YDR(2)
35.	D(1)	.200000E+00	CU(1)	.000000E+00	YDR(3)
.250000E+01	RFACT	- .850000E+00	CU(2)	.000000E+00	YDR(4)
.402800E+02	CRPM	- .200000E+00	CU(3)	.715696E-02	YRAV(1)
.298600E+02	DP	.850000E+00	CU(4)	.715696E-02	YRAV(2)
40.28	RPM(1)	- .144217E-02	XUDOT(1)	.190000E-04	YDRNV(1)
40.28	RPM(2)	- .144217E-02	XUDOT(2)	.000000E+00	YDRNV(2)
.000000E+00	YCSP(1)	.148955E-01	XVR(1)	.190000E-04	YDRNV(3)
.000000E+00	YCSP(2)	.148955E-01	XVR(2)	.000000E+00	YDRNV(4)
.309688E+01	URPMC(1)	.264574E-02	XVV(1)	- .927942E-03	ENRDOT(1)
.412917E+01	URPMC(2)	.220478E-02	XVV(2)	- .927942E-03	ENRDOT(2)
.100000E+01	PP1(1)	- .115436E-02	XDRDR(1)	- .135020E-02	ENRAR(1)
.100000E+01	PP1(2)	- .115436E-02	XDRDR(2)	- .135020E-02	ENRAR(2)
.000000E+00	PP2(1)	.384788E-03	XDRDR(3)	- .591993E-03	ENVDOT(1)
.000000E+00	PP2(2)	.384788E-03	XDRDR(4)	- .591993E-03	ENVDOT(2)
- .100000E+01	PP3(1)	.000000E+00	XDDNN(1)	- .387759E-02	ENR(1)
- .100000E+01	PP3(2)	.000000E+00	XDDNN(2)	.290819E-02	ENR(2)
- .636390E-03	AP(1,1)	.000000E+00	XDDNN(3)	- .461443E-02	ENAVR(1)
- .153405E-02	BP(1,1)	.000000E+00	XDDNN(4)	- .346082E-02	ENAVR(2)
.217044E-02	CP(1,1)	.210000E-02	XVVN(1)	- .112793E-02	ENRN(1)
.397744E-03	AP(2,1)	.210000E-02	XVVN(2)	.112793E-02	ENRN(2)
.238042E-02	BP(2,1)	.000000E+00	XVVN(3)	- .954262E-02	ENV(1)
- .277817E-02	CP(2,1)	.000000E+00	XVVN(4)	- .143139E-01	ENV(2)
- .723170E-03	AP(1,2)	.220478E-03	XRR(1)	- .954262E-02	ENV(3)
- .723792E-03	BP(1,2)	.220478E-03	XRR(2)	- .143139E-01	ENV(4)
.144696E-02	CP(1,2)	- .422852E-03	YRDOT(1)	.715696E-02	ENVAV(1)
.795487E-03	AP(2,2)	- .422852E-03	YRDOT(2)	.000000E+00	ENVAV(2)
.105662E-02	BP(2,2)	.178924E-02	YARDR(1)	.715696E-02	ENVAV(3)
- .185211E-02	CP(2,2)	.178924E-02	YARDR(2)	.000000E+00	ENVAV(4)
- .723170E-03	AP(1,3)	- .196794E-01	YVDOT(1)	.173527E-02	ENVN(1)
.781360E-03	BP(1,3)	- .196794E-01	YVDOT(2)	.173527E-02	ENVN(2)
- .781360E-03	CP(1,3)	.480148E-02	YR(1)	- .173527E-02	ENVN(3)
.795487E-03	AP(2,3)	- .240074E-02	YR(2)	- .173527E-02	ENVN(4)
- .385857E-02	BP(2,3)	- .375055E-01	YVAR(1)	.000000E+00	ENVAVN(1)
.192928E-02	CP(2,3)	- .375055E-01	YVAR(2)	.000000E+00	ENVAVN(2)
- .723170E-03	AP(1,4)	.225585E-02	YRN(1)	.000000E+00	ENVAVN(3)
.000000E+00	BP(1,4)	- .225585E-02	YRN(2)	.000000E+00	ENVAVN(4)
- .156272E-02	CP(1,4)	- .205738E-01	YV(1)	- .721477E-04	ENSTAR(1)
.795487E-03	AP(2,4)	.000000E+00	YV(2)	- .721477E-04	ENSTAR(2)
.000000E+00	BP(2,4)	.205738E-01	YV(3)	.721477E-04	ENSTAR(3)
.385857E-02	CP(2,4)	.205738E-01	YV(4)	.721477E-04	ENSTAR(4)
- .350000E+02	CDR	- .318761E-01	YVAV(1)	- .288591E-02	ENDRN(1)
.230000E+01	DFACT	- .675099E-01	YVAV(2)	- .288591E-02	ENDRN(2)
.350000E+00	E(1)	- .318761E-01	YVAV(3)	.961969E-03	ENDRN(3)
.350000E+00	E(2)	- .675099E-01	YVAV(4)	.961969E-03	ENDRN(4)
.800000E+00	E(3)	- .347054E-02	YVN(1)	.000000E+00	ENDR(1)
.800000E+00	E(4)	- .347054E-02	YVN(2)	.000000E+00	ENDR(2)
.184725E+00	F(1)	.347054E-02	YVN(3)	.000000E+00	ENDR(3)
.000000E+00	F(2)	.347054E-02	YVN(4)	.000000E+00	ENDR(4)
.000000E+00	F(3)	.000000E+00	YVAVN(1)	.000000E+00	ZRAV(1)
.000000E+00	F(4)	.000000E+00	YVAVN(2)	.000000E+00	ZRAV(2)
.477724E-01	G(1)	.000000E+00	YVAVN(3)	- .930000E-05	ENDRNV(1)
.682463E-02	G(2)	.000000E+00	YVAVN(4)	.000000E+00	ENDRNV(2)
- .143317E+00	G(3)	.144295E-03	YSTAR(1)	- .930000E-05	ENDRNV(3)
				.000000E+00	ENDRNV(4)

Tablo E.2: Turn Programında Kullanılan Örnek Çıkış Dosyası

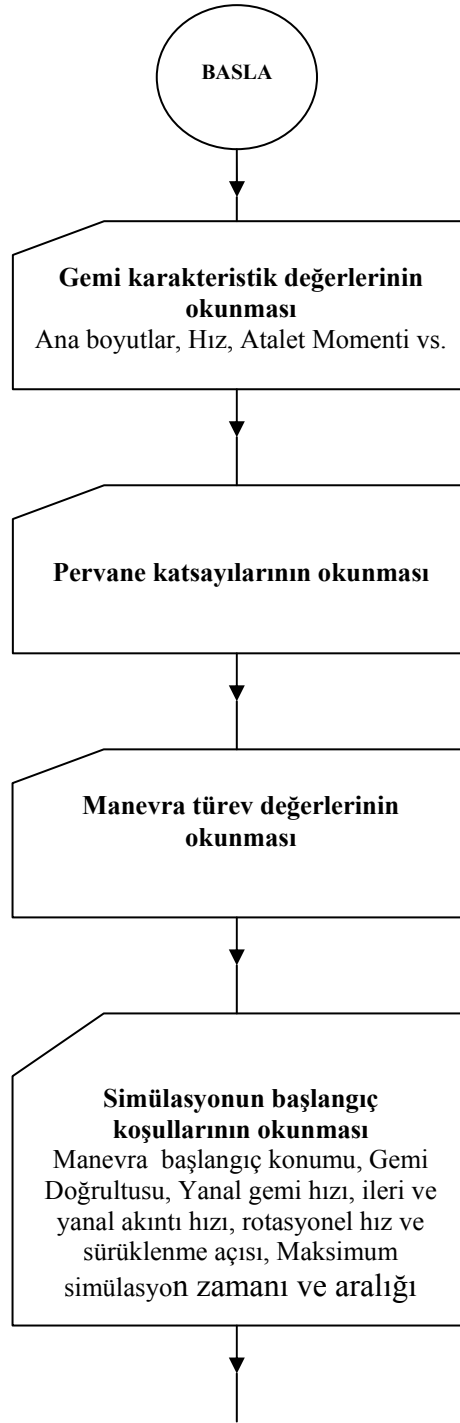
```
-----
SHIP NAME           = ESSO OSAKA
SHIP NUMBER         = 75.

INITIAL CONDITIONS
-----
X POSITION            (FEET) = 1000.
Y POSITION            (FEET) = 7000.
APPROACH SPEED      (KNOTS) = 8.00
RPM PORT             = 40.28
RPM STARBOARD       = 40.28
RUDDER ANGLE        (DEGREES) = 35.00
SHIP HEADING        (DEGREES) = .00

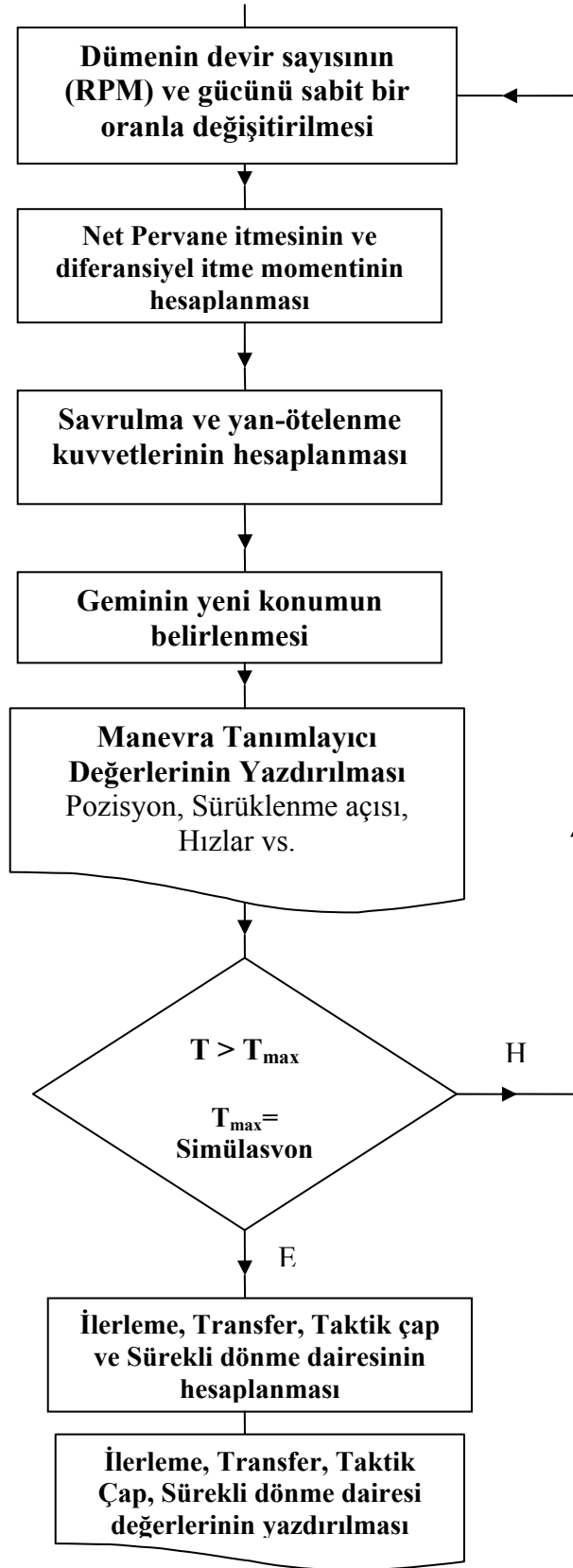
MAX SIMULATION TIME (SEC) = 3600.
SIMULATION TIME STEP (SEC) = 10.

TIME    POSITION      RPM    SPEED(DOPPLER)  HEADING  DRIFT  RATE  RUD-
        FEET        PORT STBD  KNOTS  OF SHIP  ANGLE  DEG/  DER
        X          Y          FULL  BOW  STERN  DEG  DEG  SEC  DEG
10.    1135. 7001. 40.28 40.28 7.98 -.26 .42 -.61 .00 .00 35.00
20.    1269. 7003. 40.28 40.28 7.96 -.44 .80 -1.74 -.57 .00 35.00
30.    1403. 7004. 40.28 40.28 7.94 -.56 1.15 -3.29 -1.30 .00 35.00
40.    1537. 7003. 40.28 40.28 7.91 -.64 1.48 -5.21 -2.14 .00 35.00
50.    1670. 7000. 40.28 40.28 7.88 -.69 1.78 -7.46 -3.04 .00 35.00
60.    1802. 6995. 40.28 40.28 7.83 -.72 2.06 -9.98 -3.99 .00 35.00
70.    1933. 6985. 40.28 40.28 7.78 -.73 2.32 -12.74 -4.93 .00 35.00
80.    2063. 6972. 40.28 40.28 7.71 -.73 2.54 -15.71 -5.86 -.01 35.00
90.    2190. 6953. 40.28 40.28 7.63 -.72 2.74 -18.84 -6.76 -.01 35.00
100.   2316. 6930. 40.28 40.28 7.54 -.70 2.91 -22.12 -7.61 -.01 35.00
.
3510.  3772. 6013. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -796.09 -13.25 .00 35.00
3520.  3802. 5954. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -798.25 -13.25 .00 35.00
3530.  3830. 5895. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -800.41 -13.25 .00 35.00
3540.  3856. 5834. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -802.57 -13.25 .00 35.00
3550.  3879. 5772. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -804.73 -13.25 .00 35.00
3560.  3900. 5709. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -806.89 -13.25 .00 35.00
3570.  3919. 5646. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -809.05 -13.25 .00 35.00
3580.  3935. 5582. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -811.21 -13.25 .00 35.00
3590.  3949. 5517. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -813.37 -13.25 .00 35.00
3600.  3960. 5452. 40.28 40.28 3.91 -.29 2.09 -815.53 -13.25 .00 35.00

-----
TURNING CIRCLE MANOEUVRE
-----
TIME TO CHANGE HEADING 90 DEG (SECS) = 299.9
TIME TO CHANGE HEADING 180 DEG (SECS) = 660.0
SPEED REMAINING IN STEADY TURN (KNOTS) = 3.9
ADVANCE (FEET) = 2889.0
TRANSFER (FEET) = 1329.5
TACTICAL DIAMETER (FEET) = 3480.5
STEADY TURNING DIAMETER (FEET) = 3505.4
```



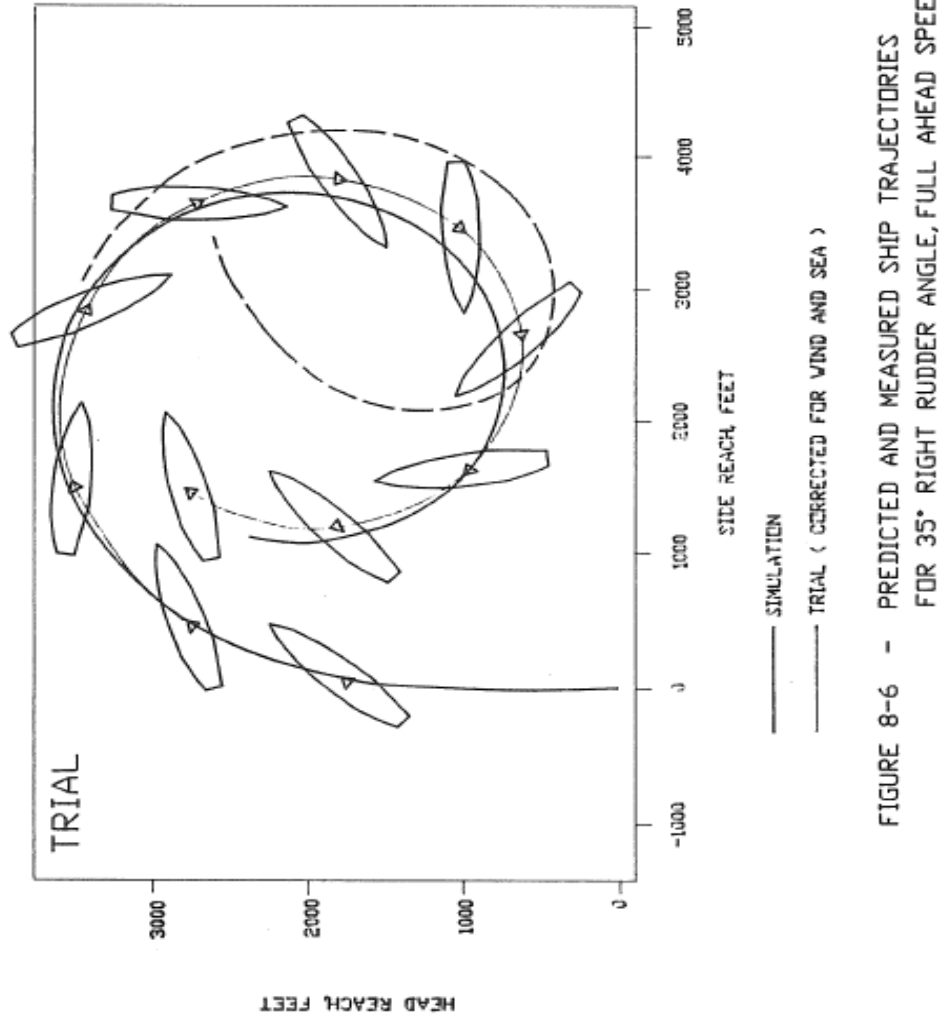
Şekil E.1: Turn Programı Akış şeması



Şekil E.2: Turn Programı Akış Şeması - Devam

EK-F

8-17



Şekil F-1: Tipik MARAD Serisi Bir Geminin 35 Derece Dümen Açısında Gerçekleştirilen Tam Ölçekli Deneme ve Simülasyon ile Elde Edilen Dönme Manevra Yörüngelerinin Karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

Deniz UŞAR, 1980 yılında İstanbul’da doğdu. 1999 yılında Haydarpaşa Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Bölümü’nü kazandı. 2004 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Yüksek Lisans Programı’na kabul edildi. Halen, 2005 yılında Gemi İnşaatı Bölümü, Gemi Hidromekaniği Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak başladığı görevine devam etmektedir.