T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR YATTA GENEL YERLEŞİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN OLASILIKLI YARALI STABİLİTEYE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Arda Can AKBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği
Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN

MART, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR YATTA GENEL YERLEŞİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN OLASILIKLI YARALI STABİLİTEYE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Arda Can AKBAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 11.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Fahri ÇELİK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Metin TAYLAN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bir Yatta Genel Yerleşim Değişikliklerinin Olasılıklı Yaralı Stabiliteye Olan Etkisinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Arda Can AKBAŞ

Aileme

ve

dostlarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca bana desteklerini eksik etmeyip her an yanımda olan sevgili aileme; tez sürecim boyunca her zaman yanımda olan ve bana yol gösteren danışman hocam Sn. Yasemin ARIKAN ÖZDEN'e; tasarım ve bilgi birikimleriyle tezimin hazırlanmasında beni destekleyen Turquoise Yat San. A.Ş.'ye ve son olarak, geçerleme analizi için kullanılan modeli sağlayan Tersan Tersanecilik San. Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Arda Can AKBAŞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiv

ÖZET xv

ABSTRACT xvii

1 GİRİŞ 1

2 DETERMİNİSTİK HASARLI STABİLİTE 4

2.1 Deterministik Hasarlı Stabilite Metodu 5

3 OLASILIKLI HASARLI STABİLİTE 6

3.1 Indeks-R 7

3.2 İndeks-A 9

3.3 Pi-Faktörün Hesaplanması 10

3.4 (x1, x2) Hesaplanması 11

3.5 Bölmelerin Tanımlanması 14

3.6 R_i-Faktörün Hesaplanması 17

3.7 S_i-Faktörün Hesaplanması 19

3.8 V_i-Faktörün Hesaplanması 22

4 GEÇERLEME ANALİZİ 24

4.1 Modelin Hazırlanması 25

4.2 Olasılıklı Yaralı Stabilite Modelinin Hazırlanması 27

5 YÖNTEM **31**

5.1 Yat Tasarımı 32

5.2 Sevk Sistemi Kaynaklı GA Değişikliklerinin İndeks-A'ya olan Etkisi 34

5.2.1 Konvensiyonel Dizel Makinalı Sistem - Genel Yerleşim A 34

5.2.2 Dizel-Elektrik Pod Sistemi - Genel Yerleşim B 39

5.2.3 Hesap Sonuçları 44

5.3 Perde Yerleşiminin İndeks-A'ya Olan Etkisinin İncelenmesi 45

5.3.1 Yükleme Koşulları ve GM Değerlerinin Belirlenmesi 45

5.3.2 Üst Yapı 45

5.3.3 Perde Yerleşiminin Belirlenmesi 46

5.3.4 Enine Perdelerin Yerleşimi 48

5.3.5 Tank Yüksekliklerinin Yerleşimi 49

5.3.6 Kavanca Valfleri (Cross-Flooding Valve) 50

5.3.7 Sınırlamalar 51

5.3.7.1 Geminin Karakteristikleri 52

5.3.7.2 Genel Yerleşim 53

5.3.8 Maxsurf - Olasılıklı Hasarlı Stabilite Modülü 53

5.3.9 Hesap Sonuçları 57

5.3.10 Yatın Yerleşim Gösterimi 59

5.3.11 Asimetrik Yaralanma Örnekleri 60

5.3.12 Kavanca Valf Sistemli Yaralanma Örnekleri 64

5.3.13 Ulaşılan Toplam İndeks-A Değeri 68

5.3.14 Asimetrik Tank Yerleşimli Yaralanma Sonuçları 69

5.3.15 Kavanca Valf Sistemli Tank Yerleşimi Yaralanma Sonuçları 74

5.3.16 Asimetrik Tank Yaralanması ve Kavanca Valf Sistemli Tank Yaralanması Karşılaştırması 78

6 SONUÇ **80**

KAYNAKÇA **83**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **85**

SİMGE LİSTESİ

Ro	100 metreden büyük yük gemileri için hesaplanan R değeri
MS	Artık Stabilite
l	Boyutsuz hasar konumu
J	Boyutsuz yaralanma uzunluğu
L_s	Bölmeleme boyu
N_1	Can filikaları sağlanan kişi sayısı
GZ	Doğrultucu moment kolu
D_l	En düşük servis su hattı
k	Enine yaralanma derinliğine karşı bariyer olan perde sayısı
B	Geminin en büyük kalıp genişliği
x_2	Geminin kıç ucundan bölgenin baş ucuna olan mesafe
x_1	Geminin kıç ucundan bölgenin kıç ucuna olan mesafe
θ_e	Hasar sonrası denge açısı (meyil)
r	Hasarın enine nüfuz faktörü
Si	Hayatta kalma olasılığı
A	Hesaplanan/Ulaşılan indeks-A
D	Kabuk derinliği
b	Kabuktan boyuna perdeye olan ortalama enine mesafe
L_{pp}	Kaimeler arası mesafe
Kg	Kilogram
J_k	Kırılma noktası
θ_{max}	Maksimum meyil açısı
m	Metre
mm	Milimetre
M	Momentum
N_2	N1 değerine ek olarak taşımasına izin verilen kişi sayısı
Z	Projeksiyon alınmış rüzgar alanının merkezinden T/2'ye olan mesafe
A	Rüzgâr projeksiyon alanı

cm	Santimetre
R	Sağlanması gereken indeks
T	Su çekimi
L_{OA}	Tam boy
Pi	Yaralanma olasıluğı
D_p	Yarı yüklü su hattı
v_i	Yatay bölmelerin üzerindeki bölmelerin sağlam kalma olasılığı
D_s	Yüklü su hattı

KISALTMA LİSTESİ

BH	Bulkhead
CB	Block Coefficient
CL	Centerline
DDS	Deterministic Damages Stability
FWD	Forward
HARDER	Harmonization of rules and design rationale
IMO	International Maritime Organization
KMT	Transverse Metacentric Height
LBH	Longitudinal bulkhead
LCB	Longitudinal Center of Buoyancy
LCF	Longitudinal Center of Flotation
LPP	Length between perpendiculars
MCT	Moment to Change Trim by 1 cm
PDF	Probabilistic Density Function
PDS	Probabilistic damage stability
PS	Port side
Reg.	Regulation
RM	Righting Moment
SOLAS	Safety of Life at Sea
SS	Starboard side
TPC	Tonnes per Centimeter Immersion

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yaralı stbilite regülasyon isterleri grafiği **5**

Şekil 3.1 Bölmeleme Boyu (Ls) gösterimi **8**

Şekil 3.2 Boyutsuz hasar boyu dağılımı **12**

Şekil 3.3 Boyuna bölmelendirme gösterimi **14**

Şekil 3.4 Bölmelendirme olasılık üçgeni **15**

Şekil 3.5 Terminal-bölmelendirme ilişkisi **16**

Şekil 3.6 Terminal-bölmelendirme ilişkisi **17**

Şekil 3.7 Terminal-bölmelendirme ilişkisi **17**

Şekil 3.8 Boyutsuz hasar nüfuz grafiği **18**

Şekil 3.9 Boyutsuz hasar nüfuzu dağılımı grafiği **18**

Şekil3.10 Hm tanımı **23**

Şekil 4.1 4789A-101 Nolu geminin profil gösterimi **25**

Şekil 4.2 Ikinci güverte üstü plan görünüm 4789A-101 Vessel-I **25**

Şekil 4.3 Tank plan 4789A-101 Vessel-I **25**

Şekil 4.4 PDS 5 bitişik yaralanma için bölmelendirme şeması, Gemi I **29**

Şekil 5.1 Kesit Modeli **32**

Şekil 5.2 Yatın kesit planı **33**

Şekil 5.3 Caterpillar 3516E (sol) A , Volvo Penta D16MG HE (sağ) jeneratör **35**

Şekil 5.4 Genel yerleşim-a makina dairesi plan görünümü genel yerleşim gösterimi **36**

Şekil 5.5 Genel yerleşim-a makina dairesi boyuna kesit gösterimi **37**

Şekil 5.6 Genel yerleşim-a **38**

Şekil 5.7 Genel yerleşim-b makina dairesi plan görünümü genel yerleşim gösterimi **40**

Şekil 5.8 Genel yerleşim-b makina dairesi boyuna kesit gösterimi **41**

Şekil 5.9 Hibrit sevk sistemi şematik gösterimi **41**

Şekil5.10 Genel yerleşim-b **43**

Şekil 5.11 Genel yerleşim-a profil görünümü **44**

Şekil 5.12 Genelyerleşim-b profil görünümü **44**

Şekil 5.13 Üsty apıya aitrüzgâr projeksiyon alanının profil görüntüsü **46**
Şekil 5.14 Tipik plan görünüm..... **46**
Şekil 5.15 Kıç bölgesinden tipik plan görünüm..... **47**
Şekil 5.16 Plan görünüm tank/kompartman isimlendirme detayı..... **48**
Şekil 5.17 Tanklar için tipik Hm gösterimi..... **49**
Şekil 5.18 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=3.0m **50**
Şekil 5.19 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=3.5m **50**
Şekil 5.20 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=4.1m **50**
Şekil 5.21 Kavanca valf sistemi, yaralanma sonrası gösterimi..... **51**
Şekil 5.22 Maxsurf olasılıklı yaralı stabilite hesabı modunun seçimi **54**
Şekil 5.23 Maxsurf meyil açıları seçim ekranı..... **54**
Şekil 5.24 Maxsurf olasılıklı yaralı stabilite regülasyon seçimi ekranı **55**
Şekil 5.25 Maxsurf boyuna bölmelendirme gösterimi..... **55**
Şekil 5.26 Maxsurf sıvı analizi seçim ekranı **56**
Şekil 5.27 Boyuna perdelerin kademeli değişimi **57**
Şekil 5.28 Ardışık 4 bitişik bölme yaralanması durumumda yatın olasılık üçgeni **58**
Şekil 5.29 Tank yüksekliklerinin enine kesit gösterimi..... **58**
Şekil 5.30 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **59**
Şekil 5.31 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum **60**
Şekil 5.32 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **60**
Şekil 5.33 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **61**
Şekil 5.34 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum **61**
Şekil 5.35 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **62**
Şekil 5.36 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **62**
Şekil 5.37 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum **63**
Şekil 5.38 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **63**
Şekil 5.39 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **64**
Şekil 5.40 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum..... **64**
Şekil 5.41 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **65**

Şekil 5.42 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **65**

Şekil 5.43 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum **66**

Şekil 5.44 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **66**

Şekil 5.45 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **67**

Şekil 5.46 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum **67**

Şekil 5.47 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum **68**

Şekil 5.48 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum **68**

Şekil 5.49 Toplam ulaşılan indeks-A ve b yarı mesafeleri grafiği **69**

Şekil 5.50 Toplam ulaşılan indeks-A_s - b yarı mesafeleri grafiği **70**

Şekil 5.51 Toplam ulaşılan indeks-A_p - b yarı mesafeleri grafiği **70**

Şekil 5.52 Toplam ulaşılan indeks-A_l - b yarı mesafeleri grafiği **71**

Şekil 5.53 Boyuna perdenin enine lokasyonu [m] – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi [m³] **71**

Şekil 5.54 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi . **72**

Şekil 5.55 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi . **73**

Şekil 5.56 A4SS tankının hacim [m³] – orta simetri hattına olan uzaklığı [m] grafiği **73**

Şekil 5.57 Toplam ulaşılan indeks-A ve b yarı mesafeleri grafiği **74**

Şekil 5.58 Toplam ulaşılan indeks-A_s - b yarı mesafeleri grafiği **74**

Şekil 5.59 Toplam ulaşılan indeks-A_p - b yarı mesafeleri grafiği **75**

Şekil 5.60 Toplam ulaşılan indeks-A_l - b yarı mesafeleri grafiği **75**

Şekil 5.61 Boyuna perdelerin enine lokasyonu [m] – A4SS-A4PS kodlu tankların yaralanma hacmi [m³] **76**

Şekil 5.62 Toplam ulaşılan indeks-A_l – A4SS-A4PS kodlu tankların yaralanma hacmi [m³] **76**

Şekil 5.63 A4SS-A4PS tankının hacim [m³] – orta simetri hattına olan uzaklığı [m] grafiği **77**

Şekil 5.64 Toplam ulaşılan indeks-A_l – A4SS-A4PS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³] **77**

Şekil 5.65 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi . **78**

Şekil 5.66 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³] **78**

Şekil 5.67 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³] **79**

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Açık deniz destek gemisine ait hidrostatik değerler **25**

Tablo 4.2 Doğrulama hesabı ve Djupvik karşılaştırmalı tablo..... **26**

Tablo 4.3 Açık deniz destek gemisine ait belirtilen yükleme koşullarına ait hidrostatik değerler **26**

Tablo 4.4 Bölmelendirme tablosu **27**

Tablo 4.5 Pi değerleri **27**

Tablo 4.6 Boyuna perdelerin enine uzaklıkları **28**

Tablo 4.7 Yatay sınırlayıcı perde yükseklikleri **28**

Tablo 4.8 Hesaplanan İndeks-A Karşılaştırması..... **29**

Tablo 4.9 Djupvik ve mevcut analiz arasında indeks-A bazındaki yüzdesel farklar **30**

Tablo 5.1 Ana boyutlar ve bilgiler tablosu..... **32**

Tablo 5.2 Yatın hidrostatik tablosu **32**

Tablo 5.3 Yükleme koşullarına ait hidrostatik veriler..... **34**

Table 5.4 Seyir çapı tablo gösterimi **35**

Tablo 5.5 Pi değerleri karşılaştırması..... **44**

Tablo 5.6 Genel yerleşim a'nın draft değerleri ve bölme kombinasyonlarına göre indeks-a **44**

Tablo 5.7 Genel yerleşim b'nin draft değerleri ve bölme kombinasyonlarına göre indeks-a **44**

ÖZET

Bir Yatta Genel Yerleşim Değişikliklerinin Olasılıklı Yaralı Stabiliteye Olan Etkisinin İncelenmesi

Arda Can AKBAŞ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN

Ön dizayn aşamalarında verilen tasarım kararları genel anlamda geçmiş tecrübeler ışığında yürütülmektedir. Yat tasarımında bu kararlar, teslim süreleri, tasarımın tekne sahiplerinin ihtiyaçları ışığında özel olarak düzenlenmesi gibi konular nedeniyle oldukça büyük önem arz etmektedir. Yatların tasarım süreçleri çoğu zaman, su altı geometrileri benzer olsa dahi, müşterilerin özel talepleri nedeniyle birbirinden farklı genel yerleşimlere sahip alternatiflerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu alternatiflerin, mühendislik yeterliliğine sahip olmaları açısından, birçok öncül mühendislik bilgisine başvurulmaktadır. Genel yerleşimin etkilediği başlıca konulardan birisi de stabilite hesaplarıdır.

Olasılıklı stabilite hesapları oldukça zaman alan hesaplar olmalarının yanı sıra deterministik stabilite hesaplamaları gibi bu hesaplamalar da tasarımın ileri süreçlerinde yürütülmektedir. Stabilite kriterlerinin yeterliliğini anlamak adına su geçirmez perde yerleşiminin ayrıntılı bir şekilde hazırlanmış olması gerekmektedir.

Tasarımın ilk aşamalarında, yerleşimde yapılacak değişikliklerin bu hesapların sonucuna olan etkilerini tahmin edebilmek adına, gemi mühendisleri öncül çalışmalara ihtiyaç duyabilmektedir. Diğer yandan daha verimli ve çevre dostu gemi tasarımları konusundaki arayış nedeniyle dizel-elektrik hibrit gemilerin tasarımı ve üretimi giderek yaygınlaşmakta ve bu durum genel yerleşimde özellikle makina dairesi yerleşimlerinde farklılıklara sebep olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, genel yerleşimde makina dairesi ve boyuna ile enine perdelerin konumunda yapılacak değişikliklerin karşılaştırmalı olarak elde edilen indeks-A'ya olan etkilerini gözlemlemektir. Böylece, ön tasarım aşamalarında boyuna ve enine perdelerin, tank yüksekliklerinin etkisi ile alakalı öncül bir tasarım bilgisine ulaşılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Genel yerleşim, olasılıklı hasarlı stabilite, yat stabilitesi, dizel-elektrik hibrit yat

ABSTRACT

Investigation of General Arrangement Changes on the Probabilistic Damage Stability of a Yacht

Arda Can AKBAŞ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Yasemin ARIKAN ÖZDEN

Design decisions made during the preliminary design phases are generally guided by past experiences. In yacht design, these decisions hold significant importance due to factors such as delivery deadlines and the need to tailor the design to the specific requirements of yacht owners. The design process often results in alternative layouts that differ from each other, even when the underwater geometries remain similar, due to clients' unique demands. To ensure the engineering adequacy of these alternatives, various preliminary engineering principles are applied. One of the key aspects influenced by the general arrangement is stability calculations.

Probabilistic stability calculations are not only time-consuming but similar to deterministic stability calculations, they are also conducted in the later stages of design. To assess the adequacy of stability criteria, the watertight bulkhead arrangement must be meticulously prepared. In the early stages of design, naval architects may require preliminary studies to estimate the effects of layout changes

on the outcomes of these calculations. On the other hand, the increasing focus on more efficient and environmentally friendly ship designs has led to the growing adoption of diesel-electric hybrid vessels, which in turn results in variations in general arrangements, particularly in machinery room layouts.

The objective of this study is to comparatively examine the effects of changes in the location of the engine room and longitudinal and transverse bulkheads on Index-A. Through this, preliminary design knowledge will be gained regarding the influence of longitudinal and transverse bulkheads and tank heights in the early design stages.

Keywords: General arrangement, probabilistic damage stability, yacht stability, diesel-electric hybrid yacht

1
GİRİŞ

Yat tasarımında işlevsellik ve konfor standartları açısından en önemli unsurlardan biri genel yerleşimdir. Konfor odaklı genel yerleşimlerde, enine perdeler arasındaki mesafeler artar, geniş ve bordadan bordaya kesintisiz uzanan yaşam alanları, birçok kompartmana boyuna perde yerleştirilmesini imkânsız hale getirir. Konfor ihtiyaçları ve tasarıma bağlı talepler, yüksek hacimli kompartmanların tanımlanmasına yol açar. Büyük cam açıklıkları, borda kapakları, desteklenmeyen açıklıklar ve benzeri talepler, çeşitli disiplinler arası analizler ve optimizasyonlar yapılmasını gerektirir. Bu yerleşimlerin nasıl düzenlenmesi gerektiğini belirleyen en önemli disiplinlerden biri de kuşkusuz ki gemi stabilitesidir. İstenilen büyük kompartmanların yanı sıra, yerleşim taleplerine dayalı olarak makina dairelerinin düzeninde de değişiklikler yapılmaktadır.

Makina dairesi yerleşimi ve boyutlandırılması, makina boyutlarının seneler içinde geçirdiği değişim ve dizel-elektrik sevk sistemlerinin yaygınlaşması nedeniyle genel yerleşim içinde daha küçük makina dairelerinin tasarlanmasıyla sonuçlanmıştır. Konvansiyonel tipte yatlarda, makina dairesinin konumu, şaft düzenlemesi ve açılı makina yerleşimi, ara güverte yerleştirilmesine izin vermeyebilir. Ara güverte olmadan uzanan bir kompartman, hasarlı stabilite açısından sorun teşkil edebilir. Hibrit sistemlerde, şaft hizalaması gibi bir ihtiyaç olmadığı için, açılı olarak yerleştirilen makinalara ihtiyaç duyulmaz. Bir geminin mevcut tahrik sistemine hibrit bir sistemin entegre edilmesi, mevcut performansını arttırabilir ve deniz taşımacılığını daha verimli hale getirebilir, bu da daha uygun maliyetli bir tahrik çözümü sunabilir [1]. Diğer yandan, dizel-elektrikli bir yatın makina dairesi, genel yerleşimde esneklik sağlar, güç üretim sistemlerinin

yerleşiminde geniş bir esneklik sunar, manevra ve stabilite kabiliyeti gibi geminin denizcilik özelliklerini iyileştirir [2]. Bununla birlikte, tahrik sistemi, gemi üzerindeki hizmetler ve otel yükleri gibi enerji gereksinimlerinin karşılanması gerektiğinden, yolcu gemileri için tahrik birimlerini tasarlamak, yük gemilerine göre daha zor olabilir [3]. Bu tezde konvansiyonel itki sistemine sahip bir yatın, dizel elektrikli bir yata dönüştürülmesiyle elde edilen indeks-A değerinin değişimi incelenmiş ve bu tip bir dönüşümün geminin olasılıklı stabilite hesabı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Yolcu gemilerinin, 1970'lerin başlarından itibaren IMO A.265(VIII) kararı yürürlüğe girdikten sonra, olasılıklı hasarlı stabilite gerekliliklerini karşılaması gerekiyordu. Bu konsept, daha sonra tekrar ele alındı ve IMO, 1992'den sonra inşa edilen tüm kuru yük gemileri için yeni olasılıklı stabilite düzenlemelerini uygulanabilir hale getirdi. Daha sonra 2003 yılında, tüm gemi türleri için hasarlı stabilite düzenlemelerini uyumlu hale getirmeyi amaçlayan HARDER adı verilen bir uyumlaştırma süreci başlatıldı. Büyük yolcu gemileri için yapılan düzenlemelerin uygulanmasındaki zorluklar sebebiyle yaşanan bazı gecikmelerin ardından, IMO, 1 Ocak 2009'dan sonra inşa edilen tüm kuru yük ve yolcu gemilerinin SOLAS Bölüm II-1, Bölüm B-1'de listelenen olasılıklı hasarlı stabilite kriterlerine uyması gerektiği sonucuna vardı [4].

Olasılıklı hasarlı stabilite hesaplamaları, bir geminin gereklilikleri karşılayıp karşılamadığını hesaplamak için detaylı bir genel yerleşim planı gerektirir. Gemi tasarımında, tasarımcılar baştan aşağıya bir tasarım yaklaşımı izlerler; yani tasarıma ana boyutlarla başlanıp, bölmeler ve ekipmanlar tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarında dahil edildikçe detaylandırılır. Hasarlı stabilite hesaplamaları tasarım sürecinin geç bir aşamasında yapılır ve ancak o zaman tasarımcı geminin hasarlı stabilite düzenlemelerini karşılayacak yeterli stabiliteye sahip olup olmadığını doğrulayabilir. Neredeyse her açık deniz gemisinin yerleşimi farklıdır ve yerleşimde yapılan küçük değişiklikler elde edilen indeksi etkileyebilir. Tasarımcılar, tasarım üzerinde yapılan genel yerleşim değişikliklerinin elde edilen indeks-A'ya olan etkileri hakkında öncül bir veri havuzuna sahip olurlarsa, tasarımda yapılacak değişiklikler için her seferinde analiz yapmadan, öncül bir

tasarım fikrine sahip olabilirler. Bu tezin amacı da perde yerleşimlerini sistematik olarak değiştirerek indeks-A'ya olan etkisini göstermektir.

Bu çalışmada, öncelikle deterministik hasarlı stabilite metodunun üzerinden geçilmiştir. Daha sonrasında olasılıklı hasarlı stabilite metodunun SOLAS notasyonuna göre hesaplama yöntemi incelenmiştir. Bu bağlamda, metodun ilk önce işleyişine değinilmiş, metodun gelişimine katkıda bulunan çalışmalar incelenmiş, açıklanmıştır. Olasılıklı hasarlı stabilite metodunda kullanılan p_i (hasar boyu faktörü), r_i (hasar ilerleme faktörü-enine penetrasyon), s_i (hayatta kalma olasılığı faktörü) ve v_i (hasar ilerleme faktörü-yatay bölme) faktörlerinin hesabı için izlenen yöntemler açıklanmıştır. Bu faktörler belirlenirken yapılan kabullere ve bölmelendirme yerleşimini belirleme metotlarına değinilmiştir. 4. bölümde, kullanılan metodun doğruluğunu kanıtlamak amacıyla, açık kaynak olarak paylaşılmış olan bir yüksek lisans tezi ile geçerleme analizi yapılmıştır [5]. [5]'da paylaşılmış olan hesap sonuçlarıyla, mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonrasında tezde yapılacak analizlerin yürütülmesi adına benzer platformdaki yatlara uygun boyutlarda baltabaş bir motor yat modellenmiştir. Birinci aşamadaki analizler için gemi boyutları, benzer platformdaki yatların genel yerleşimlerinden yola çıkılarak belirlenmiştir. Tank hacimleri bu aşamada seyir çapı dikkate alınarak hesaplanmış ve benzer yerleşime sahip yatlar baz alınarak boyutlandırılmıştır. Bölüm 5.2'de aynı yatın iki farklı sevk sistemine sahip olması durumunda, elde edilen indeks-A değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu iki sistem: konvansiyonel tipte dizel makinaya sahip bir yat ve dizel-elektrikli pod sistemine sahip bir yattır. Bölüm 5.3'te bir önceki bölümde modellenmiş yat kullanılmıştır. Üst güvertedeki yerleşim sabit tutulsa da güverte altındaki perde yerleşimi değiştirilmiştir. Boyuna perdelerin yeri kademeli olarak değiştirilerek, bu mesafelerin elde edilen indeks-A'ya olan etkisi gösterilmiştir. Bu değişimler üç farklı yükseklikteki tank sınırlayıcılarına göre hesaplanarak, yatay perdelerin etkisi gösterilmiştir. Bölüm 5.3.10'da ve bölüm 5.3.11'de ise kavanca sistemi kullanılan tank sistemlerinde bu iki değişkenin elde edilen indeks-A'yı nasıl etkilediği gösterilmiştir.

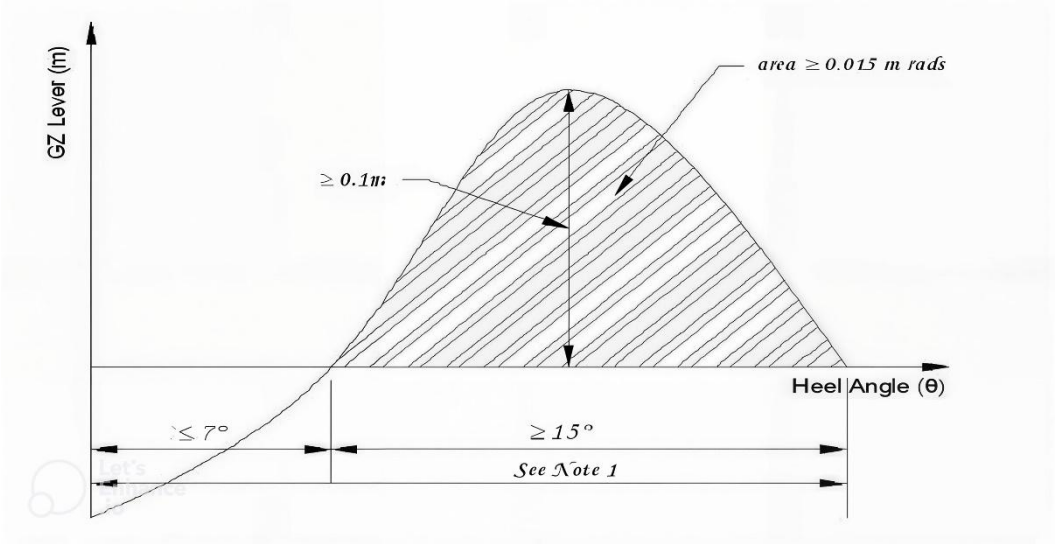
2
DETERMİNİSTİK HASARLI STABİLİTE

Olasılıklı hasarlı stabiliteyi (PDS) anlamak için, bu metodun nasıl evrildiğini bilmek önemlidir. Bu bölümde, hasarlı stabilite hesaplamaları için eskiden baskın olan yöntem olan deterministik hasarlı stabilite (DDS) hesaplama yöntemleri açıklanacaktır. Genel olarak, gemi stabilitesi, geminin bir iç veya dış kuvvet uygulandıktan sonra başlangıçtaki dik konumuna geri dönme yeteneği olarak tanımlanır. Bir geminin devrilip devrilmeyeceğini bilmek için iki temel faktör vardır: gemiyi devirmeye çalışan moment ve gemiyi doğrultmaya çalışan moment. Doğrultma momenti, gövde şekli ve üst yapı geometrisinden gelen pozitif bir moment olarak tanımlanırken, devrilme momenti ise rüzgar, deniz koşulları ve gemi açıklıklarındaki su girişlerinden kaynaklanabilir .

Hasarlı stabilite hesaplamalarında, geminin stabilitesini etkileyen baskın faktör, suyun içeri sızmasıdır. Hasarlı stabilite hesaplama prensipleri, etki eden yerçekimi kuvveti ve değişen kaldırma kuvvetleri temel alınarak yapılır. Tanımlı olan daimi güverte altındaki tüm kompartmanlar, geminin kaldırma kuvvetine katkıda bulunur. Herhangi bir kompartman su alırsa, bu hacim sephiye kaybına neden olmuş olur. Sephiye kaybı sonrası, denge gerçekleşene kadar gemi suya batar ve battıkça su altında kalan hacim artar, kaldırma kuvveti de buna bağlı olarak artar, ta ki yerçekimi kuvveti ile dengelenene kadar. Hasarlı stabiliteye ilişkin düzenlemeler, geminin batma riskini sınırlamak ve gemideki insanların güvenliğini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir [6].

2.1 Deterministik Hasarlı Stabilite Metodu

Yaralı stabilite hesapları geminin yeteri kadar güvenli olup olmadığını ölçmek için yapılır. Çeşitli gemi tip ve boylarına göre SOLAS tarafından belirlenmiş birçok kriter bulunmaktadır. Bu kurallar, bayrak ve klas kuruluşları tarafından gemi tipi ve parametrelerine göre seçilir. Tezin konusu gereği, yatlarda çoğunlukla seçilen ve burada da belirlenmiş olan kurallar REG Yacht Code Part-A Chapter 11.3'te belirtilmiş olan hasarlı stabilite kurallarıdır. Aşağıda Şekil 2.1'de regülasyonun isterleri okunabilir.



Şekil 2.1 Yaralı stabilite regülasyon isterleri grafiği [7]

-Denge durumundaki su hattı, daimi güverte sınırından minimum 75cm aşağıda olmalıdır.

-Denge durumundaki meyil, maksimum 7° olmalıdır.

-Doğrultucu moment eğrisi, herhangi bir denge durumunun 15° ötesine gitmelidir ve bu aralıkta GZ minimum 0.1m olmalıdır.

-Eğri altındaki alan minimum 0.015 rad.m olmalıdır.

Ayrıca bu kuralda 85m üzerindeki uzunluklarda SOLAS yolcu gemisi bölmelendirme kuralı uygulandığı belirtilmektedir [8].

3
OLASILIKLI HASARLI STABİLİTE

Stabilite açısından en önemli hedeflerden biri, kompartmanlara su basmasını tetikleyen bir senaryo sonrasında geminin yüzer durumda kalabilmesidir. Gemi gövdesine zarar veren hasarın nihai sonuçlarını etkileyen birçok faktör rastlantısaldır ve aynı zamanda farklı gemiler için etkileri değişiklik gösterir. Bu nedenle, çarpışma olasılığı hasarlı durumda bir geminin güvenliğinin bir ölçüsü olarak ele alınır. Mevcut hasar olasılığı hesaplama yöntemleri, her kompartman için tek bir olasılık değeri ile sonuçlanır ve her bir kompartmanın yalnızca bir hasar durumuyla etkilendiği varsayılır [9]. Öte yandan yaralanmanın geminin herhangi bir bölgesinde gerçekleşebileceği istatistiksel veriler incelenerek görülebilir [10].

“Olasılıklı Hasarlı Stabilite (PDS)” konseptini ele almak, nispeten zorlu bir prosedürdür. Bu prosedür, ilk olarak 1960 yılında Wendel tarafından sunulmuştur, güvenlik değerlendirilmesinde bu yenilikçi yaklaşım başlatılmıştır. Bu fikir, daha sonra Comstock ve Robertson (1962), Volkov (1963), Wendel (1964) ve Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda yolcu gemileri için eşdeğer düzenlemelerin oluşturulması ve benimsenmesi sağlanmıştır (bu referans, IMO'nun A265 (VIII) ve A266 (VIII) kararlarını içerir).

1980'lerde ve 1990'larda IMO, kuru yük gemileri için yeni düzenlemeler getiren bir çalışmayı tamamlamış ve 1 Şubat 1992'den sonra inşa edilen kuru yük gemileri için bu düzenlemeler geçerli olmuştur. Bu iki düzenleme, çarpışma olasılığını, geminin hasarlı durumdaki güvenliğinin bir ölçüsü olarak ele aldığı için olasılıklı bir konsepte dayanmaktadır. Yeni düzenlemelerde, bu olasılığa "elde edilen/hesaplanan/ulaşılan bölme indeksi A" adı verilir. Gemi, elde edilen indeksin

A > R (burada R, düzenlemelerde belirtilen gerekli indeks) olması halinde, geminin yeterli güvenliğe sahip olduğu belirtilir.

Olasılıklı hasarlı stabilite hesaplamaları zaman alıcıdır ve tasarım sürecinin ileri aşamalarında gerçekleştirilir. Bir geminin isterleri karşılayıp karşılamadığını hesaplamak için detaylı bir genel yerleşime ihtiyaç duyulur. Tasarım sürecindeki yinelemeleri en aza indirmek için, gemi inşa mühendislerinin elde edilen indeksin su geçirmez düzenlemeden nasıl etkilendiğini bilmeleri gerekmektedir.

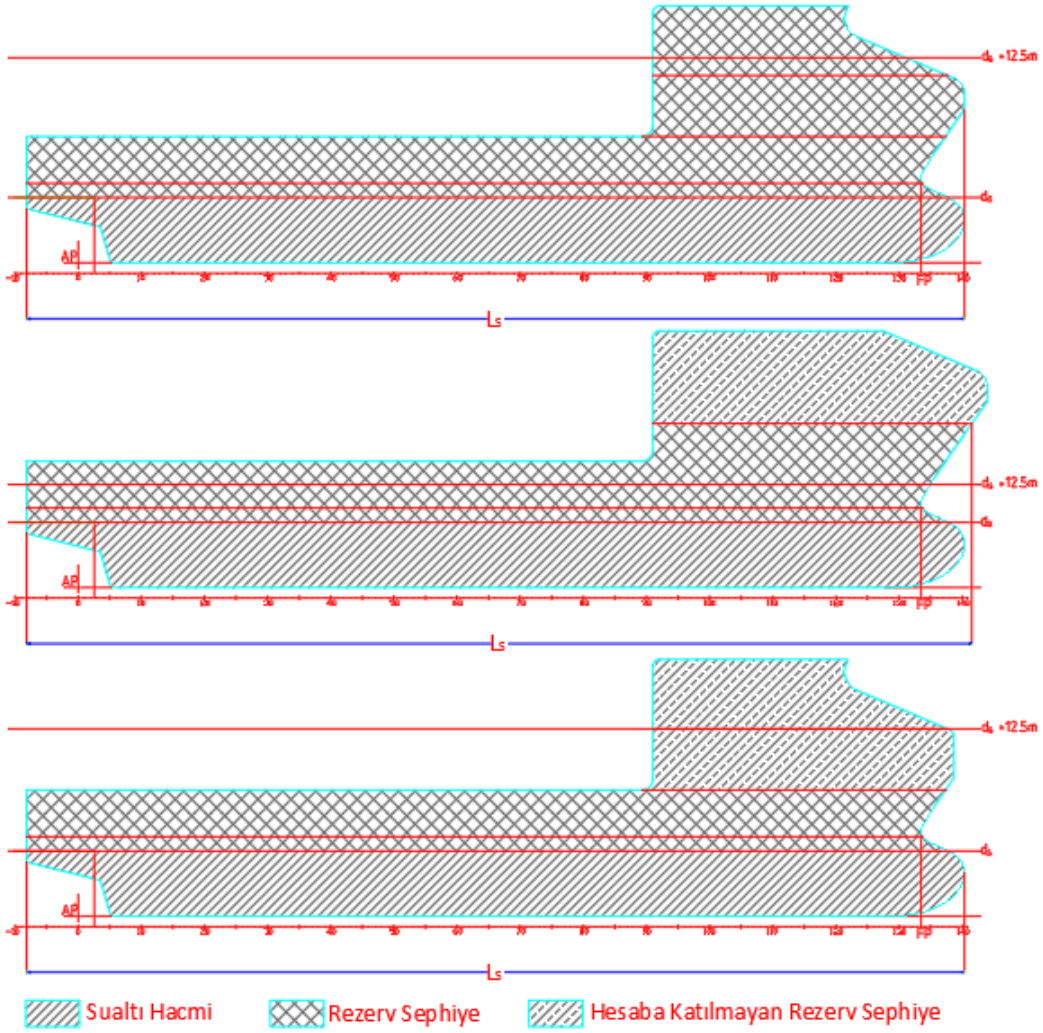
Olasılıklı hasarlı stabilite düzenlemelerinin temel kavramı, bir bölme indeksinin belirlenmesidir; bu, elde edilen indeks-A olarak adlandırılır. İndeks-A'nın ifadesi iki kısımdan oluşur: biri geminin belirli bir bölümünün zarar görme olasılığını, diğeri ise o bölüm su aldıktan sonra hayatta kalma olasılığını tanımlar. Elde edilen indeks-A "0" ise geminin herhangi bir hasardan kurtulamayacağı anlamına gelir; elde edilen indeks-A "1" ise geminin tüm hasarlardan kurtulabileceği anlamına gelir [11].

Hesaplama açısından bakıldığında, aynı elde edilen indeks-A değerine sahip iki farklı geminin güvenlik açısından eşdeğer olduğu sonucuna varılabilir [8].

$$A \geq R \tag{3.1}$$

3.1 Indeks-R

Gerekli bölme indeks-R'nin formülasyonu, yük gemileri için Ls'ye dayanır ve Ls'nin 100 metreden büyük veya 80 metre ile 100 metre arasında olmasına göre değişir. Yük gemileri için Ls, 80 metreden küçük olduğunda deterministik hesaplama yöntemi uygulanmalıdır. Yolcu gemileri için, indeks-R formülü gemideki toplam yolcu sayısına ve bölme boyuna bağlı olarak değişir. PDS'de Ls, bölme boyu, en büyük projeksiyonlu kalıp boyudur ve yüzer gövdeye bağlıdır. Şekil 2, Ls'nin nasıl elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 3.1 Bölmeleme Boyu (Ls) gösterimi

L : "International Convention on Load Lines" da belirtilen boy

Aft Terminal : Bölme uzunuluğunun (subdivision length) kıç limiti

FWD Terminal: Bölme uzunuluğunun (subdivision length) baş limiti

Kargo gemileri için indeks-R, L_s 100 metrenin üzerinde olduğu durumda [12]:

$$R = 1 - \frac{128}{L_S + 152} \tag{3.2}$$

Kargo gemileri için indeks-R, L_s 80 metrenin üzerinde fakat 100 metrenin altında kaldığı durumda [12]:

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \frac{L_S}{100} + \frac{R_0}{1 - R_0}} \tag{3.3}$$

Yolcu gemileri için ise indeks-R [8]:

$$R = 1 - \frac{5000}{1 - L_S + 2.5N + 15225} \tag{3.3}$$

Burada N, $N = N_1 + 2N_2$ olarak ifade edilmektedir. N_1 can salı sağlanan kişi sayısı, N_2 ise N_1'in aşılması durumundaki izin verilen insan taşıma kapasitesini ifade eder.

3.2 İndeks-A

İndeks-A hesaplaması, birden fazla hasar senaryosuna bağlıdır. Su geçirmezlik düzenlemesi ve gövde formu, bu hesaplamaların ana unsurlarıdır. Perdelerin boyuna, düşey ve enine konumlarının yanı sıra, geminin ana parametreleri ile alakalı bilgiler de bu hesaplamalar için kritik öneme sahiptir. Hesaplama, denklem 3.4'e göre önceden hesaplanmış üç farklı draft için kısmi indekslerin toplamına dayanır [8].

$$A_{final} = 0.4A_{DS} + 0.4A_{DP} + 0.2A_{DL} \tag{3.4}$$

Burada, D_S geminin en yüklü su hattını, D_P geminin yarı yüklü su hattını, D_L ise geminin en az yüklü olduğu su hattını ifade etmektedir [8].

Pi faktörü yalnızca geminin su geçirmez düzenlemesinin geometrisine bağlıdır ve belirli bir hasarın meydana gelme olasılığına ilişkin bir faktördür. S_i faktörü ise, belirli bir hasar senaryosunda hasar meydana geldikten sonra geminin hayatta kalma olasılığına ifade eder. P_i, yalnızca boyuna ve enine hasar boyutlarını dikkate aldığından, geminin dikey hasar boyutunu da hesaplamak için V_i faktörüne başvurulur. Bu faktörlerin ardındaki hesaplamalar, ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır [12].

Elde edilen indeks-A, üç farklı yükleme durumu için tüm hasar senaryoları üzerinden hesaplandıktan sonra, farklı ağırlıklarla çarpılır ve nihai elde edilen indekse ulaşılır [MSC.216, 2006]. Üç yükleme durumundaki işletme süreleri farklı olduğundan, elde edilen indeks-A bir faktörle çarpılır. Bu faktör, işletim sürelerine göre ağırlıklandırılmakta, geminin işletme zamanının %40'ını en derin yükleme hattında, %40'ını kısmi yükleme durumunda ve %20'sini en hafif hizmet su çekiminde geçirdiğini ifade edtmektedir [13].

3.3 Pi-Faktörün Hesaplanması

P_i-faktörü belirli bir yarığın meydana gelme olasılığını tanımlamak için kullanılır. Bu olasılık, her tehlike durumu için (çarpışma, yan veya taban oturması), yarığın boyutları ve konumu (merkez, iskele veya sancak tarafı) dikkate alınarak hesaplanır. Bu durum, söz konusu unsurların her biriyle ilgili olasılıksal bilgilere duyulan ihtiyacı ortaya çıkarır. Bu bilgiler, yarık boyutları ve konumunun marjinal dağılımlarıyla sağlanır.

Hasar yarıkları, konum, taraf (iskele/sancak) ve gemi boyu boyunca dikey konum olmak üzere üç boyutlu lokasyonlar olarak tanımlanır. Bu bağlamda, hasar yarıkları genellikle küboid (dikdörtgen prizma) olarak düşünülüp tanımlansa da bu her zaman geçerli değildir. Geminin su hattında eğriliğin bulunduğu alanlarda, yani paralel orta gövdenin dışında, hasar yarığı küboid şeklinde tanımlanamaz. Bunun yerine, hasar yarığının penetrasyon elemanı, incelenen su çekimine (draft) karşılık gelen su hattı profilini takip eder ve L_y penetrasyon miktarı kadar kaydırılır [14].

Daha öncesinde bahsedildiği üzere, P_i'lerin toplamı, geminin tüm uzunluğu için 1'dir. P_i, yalnızca su geçirmez bölme düzenlemesi ve PDS bölmelendirmesi seçimine bağlıdır. P_i 'nin hesaplaması, "MSC216, 2006" referansına uygun olarak bulunabilir.

$$p_i = p(x1_j, x2_j)\left[r(x1_j, x2_j, b_k) - r(x1_j, x2_j, b_{k-1})\right] \quad (3.5)$$

j = kıçta 1 olarak başlayan kıçtaki yaralı bölme numarası

k = enine penetrasyona engel olacak olan boyuna perde sayısı

x_1 = geminin kıç bitiminden, belirlenmiş PDS bölmesinin kıç bitimine olan mesafe

x_2 = geminin kıç bitiminden, belirlenmiş PDS bölmesinin baş bitimine olan mesafe

b = boyuna perde ile gemi bordası arasındaki ortalama mesafe

r= yatay yaralanma derinliği için hesaplanmış faktör

Denklem 3.5 'de gösterilen P_i formülü, yalnızca tek bir bölge hasarı için geçerlidir. Çok bölgeli hasarlar için P_i ifadesi, "SOLAS Bölüm II-1 Açıklayıcı Notlar" da bulunabilir. Ancak, çoklu bölge hasarı için formülün karmaşıklığı nedeniyle bu raporda açıklanmamıştır. p(x1j, x2j), boy yönündeki hasarın olasılığı için

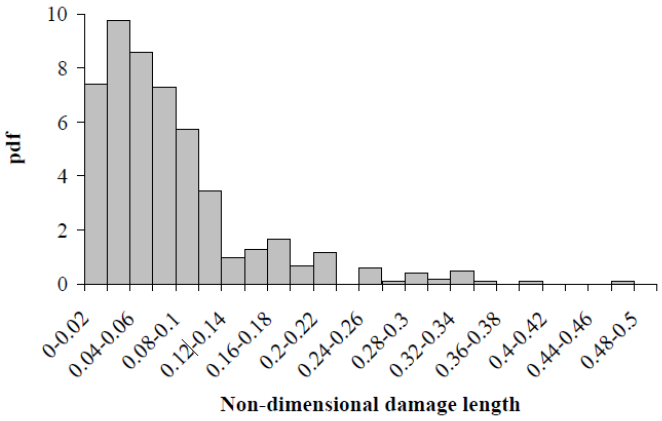
oluşturulmuş bir ifadedir. P_i denkleminde kullanılan "r", hasarın boyuna su geçirmez perdeleri delme olasılığını ifade eden bir faktördür. Su geçirmez bütünlüğün, dikey olarak bozulma olasılığı P_i faktöründe yer almaz, fakat V_i faktörü hesaplanırken dikkate alınır [12]. Su geçirmez bölme aralıklarında incelenen hasarlı bölge "i" simgesi ile gösterilir. Bölmeler, en kıçtan başlayarak boy yönünde incelenir.

Bahsedilen teorik anlatım kısmı ne kadar basit gibi gözükse de işin pratik bölümünde, matematiksel olarak mükemmel bir model oluşturmak oldukça zorludur. Beş boyutlu, rastgele değişkenlerin ele alınmasındaki zorlukların yanı sıra, mevcut hasar istatistikleri ile olasılık dağılımını çok hassas bir şekilde belirlemek mümkün değildir. Benzer sınırlamalar, geminin su alma sürecinin ara veya nihai aşamalarında alabora olmaması veya batmaması olasılığının hesaplanmasında yer alan değişkenler ve fiziksel ilişkiler için de geçerlidir [8].

3.4 (x1, x2) Hesaplanması

Mevcut istatistiklere dayalı hesaplamalar karmaşık ve çok fazla basamak içermektedir, bu nedenle konsepti uygulanabilir kılmak için kapsamlı basitleştirmeler gereklidir. Bu basitleştirmelerle, temelde hayatta kalma olasılığını tam hesaplamak mümkün olmasa da geminin bölmelerinin etkinliğini karşılaştırmak için faydalı bir ölçüt geliştirilmiştir.

Şekil 3.2, HARDER projesinden toplanan verileri göstermektedir. Şemanın x ekseni, boyutsuz hasar uzunluklarını göstermektedir. HARDER projesinde toplanan bilgiler, min(3m+L_s.3% ,11m) formülü kullanılarak hesaplanan deterministik hasar uzunluğu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, min(3m+L_s.3% ,11m) formülü kullanılarak hesaplanan hasar uzunluğunun yeterli düzeyde irdelenebilir sonuçlar vermediğini ortaya koymuştur. Deterministik formülle hesaplanan hasar uzunlukları, gemilerin çarpışma ve karaya oturma senaryolarında karşılaştıkları gerçek hasarları temsil etmemektedir. Daha doğru hasar senaryoları hesaplamak için PDS kapsamlarını içeren formül, HARDER projesindeki istatistiklerden türetilmiştir. Şekil-3.2 hasar senaryolarının boyutsuz hasar boyu dağılımını göstermektedir [15].



Şekil 3.2 Boyutsuz hasar boyu dağılımı [15]

Olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF), hasarın gerçekleşme olasılığını temsil eder ve x eksenindeki değerler boyutsuz hasar uzunluğu olan J'yi ifade eder. J'yi tanımlamak için birçok farklı fonksiyon kullanılmıştır. Marie Lützen, 2001 yılında yayımladığı doktora tezinde, parametrelerin kesirler olarak ifade edildiği bir bi-lineer fonksiyonun kullanılmasının, regülasyonlara kolayca entegre edilebilmesi nedeniyle uygun olduğunu belirtmiştir. Bu doğrultuda, Lützen tarafından önerilen bi-lineer fonksiyon, SOLAS düzenlemelerinin sonraki revizyonlarında benimsenmiştir. Fonksiyon, boyutsuz hasar uzunluğunu şu şekilde tanımlar [15]:

$$b(\bar{y}) = \begin{cases} b_1(\bar{y}) = b_{11}.x + b_{12} \; for \; \bar{y} \leq J_k \\ b_2(\bar{y}) = b_{21}.x + b_{22} \; for \; \bar{y} > J_k \end{cases} \tag{3.6}$$

Burada J_k, $b_1(\bar{y})$ ve $b_2(\bar{y})$ arasındaki kırılma noktasını ifade etmektedir. Ek olarak, sıfırdan maksimum boyutsuz hasar uzunluğunca yapılacak integralde, J_m değeri 0 olmalıdır [15].

$$\int_0^{Jm} b(\bar{y})\, dy = 1 \tag{3.7}$$

SOLAS'ın ilk yaralı stabilite hesaplarındaki isterlerine göre Res. A.256, göstermiştir ki gemilerin baş tarafından hasar alma olasılığı, kıç bölgelerinden hasar alma olasılığından daha fazladır.

Aşağıdaki tabloda verilen değerler, Şekil 3.2'deki grafikteki maksimum noktalardan geçen bir eğri çizildiğinde, elde edilecek olan eğriyi temsil eder. Bu eğrinin kırılma noktası, J_k 'yı ifade ederken, P_k ise o noktadaki kümülatif olasılığı ifade eder.

Normalize edilmiş maksimum hasar uzunluğu: Jmax=10/33

Dağılımın kırılma noktası: Jkn=5/33

Kırılma noktasındaki kümülatif olasılık: Pk=11/12

Maksimum mutlak hasar boyu: lmax=60 m

Normalize edilmiş dağılımın uzunluk sınırı: L=260 m*

J_m, hedef geminin maksimum boyutsuz yaralanma boyutunu ifade eder. Hasar istatistikleri, gemi boyuna göre değiştiği için, J_m, J_k ve b_{12} gibi katsayılar da buna göre değişmektedir [8].

$$b_{11} = 4\frac{1-p_k}{(J_m+J_k)J_k} - 2\frac{P_k}{J_k^2} \tag{3.8}$$

$$b_{12} = gemi\ boyuna\ bağlıdır \tag{3.9}$$

$$b_{21} = -2\frac{1-p_k}{(J_m+J_k)^2} \tag{3.10}$$

$$b_{22} = -b_{21}J_m \tag{3.11}$$

L_s nin L den küçük olduğu durumlarda ise:

$$J_m = \min\left(J_{max}, \frac{l_{max}}{L_s}\right) \tag{3.12}$$

$$b_{12} = b_0 = 2\left(\frac{p_k}{J_{kn}} - \frac{1-p_k}{J_{max}-J_{kn}}\right) \tag{3.13}$$

$$J_k = \frac{J_m}{2} + \frac{1-\sqrt{1+(1-2p_k)b_0J_m+\frac{1}{4}b_0^2J_m^2}}{b_0} \tag{3.14}$$

L_s'nin 260 metreden büyük olduğu durumlarda J_m^* ve J_k^* değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun sebebi, 260 metre üzeri için toparlanmış yaralanma sayısının nispeten düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

L_s'nin L'den büyük olduğu durumlarda ise:

$$J_m{}^* = \min\left(J_{max}, \frac{l_{max}}{L^*}\right) \tag{3.15}$$

$$J_m = \frac{J_m^*\ L^*}{L_s} \tag{3.16}$$

$$J_k{}^* = \frac{J_m{}^*}{2} + \frac{1-\sqrt{1+(1-2p_k)b_0J_m{}^*+\frac{1}{4}b_0^2J_m^*{}^2}}{b_0} \tag{3.17}$$

$$J_k = \frac{J_k^* \; L^*}{L_s} \tag{3.18}$$

$$b_{12} = b_0 = 2\left(\frac{p_k}{J_k} - \frac{1-p_k}{J_m - J_k}\right) \tag{3.19}$$

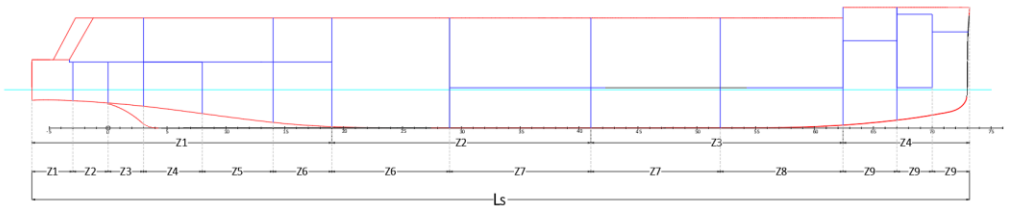
Hesabı yapılacak olan gemi boyunun 260 metreden uzun olduğu durumlarda b_{12} değişkeninin formülünün L_s<L durumuyla neredeyse aynı olduğu gözlemlenmektedir. Bu iki durum arasındaki tek farkın J_{kn} yerine J_k, J_{max} yerine ise J_m kullanımı olduğu görülebilir. Aşağıdaki formüllerde J, hesabı yapılan kompartmanın boyutsuz boyunu ifade ederken, J_n boyutsuz hasar boyu ile ilgili bir ölçüdür.

$$J = \frac{(X_1 - X_2)}{L_s} \tag{3.20}$$

$$J_n = \min\{J, J_m\} \tag{3.21}$$

3.5 Bölmelerin Tanımlanması

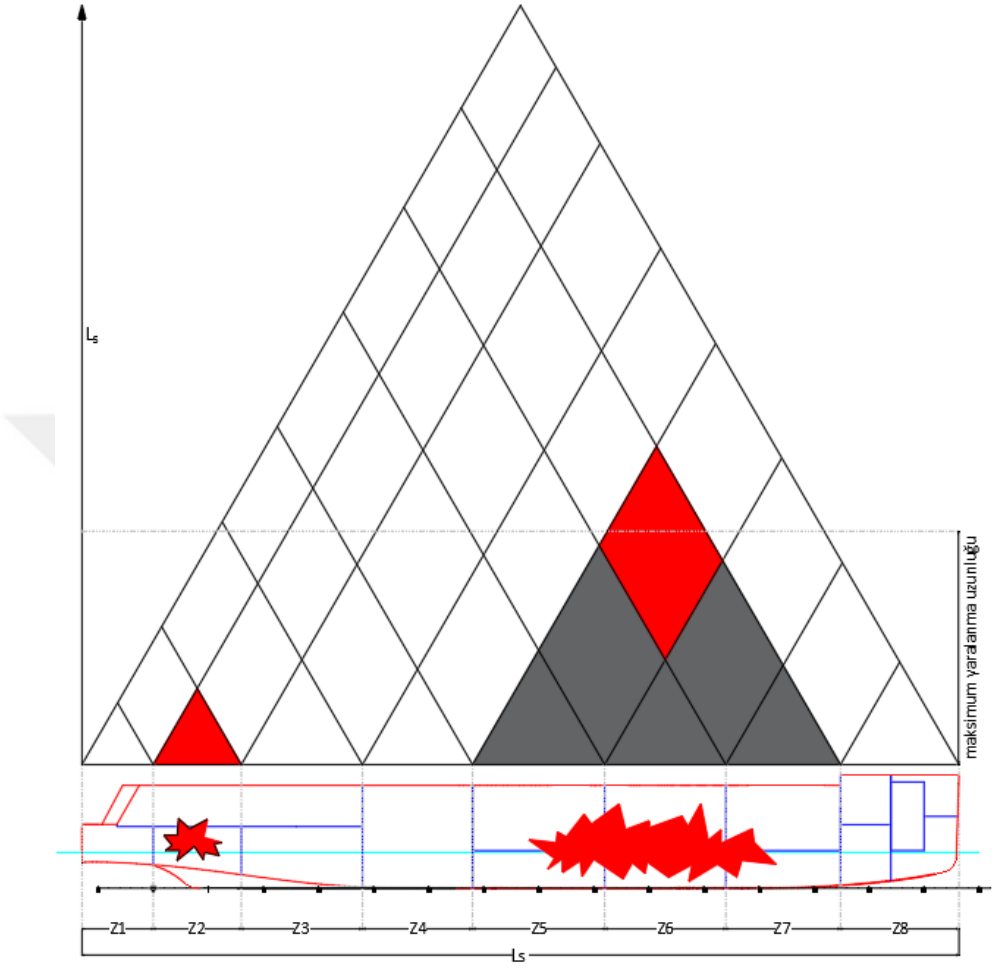
Gemiyi boyuna bölmelendirmenin herhangi bir spesifik kuralı olmamakla birlikte L_s'nin zonların gövde sınırlarını tanımladığı unutulmamalıdır. Zon sınırlarının fiziksel bölmelendirmeler ile eşleşmesi şart değildir. Öte yandan doğru bir strateji ile zon sınırlarını belirlemek önem arz etmektedir. Bütün zonlar ve birlikte hesaplanacak olan eşlenik zonlar, hesabın sonucunda elde edilen indeks-A'ya etki edecektir. Genel olarak, daha fazla bölmelendirilmiş bir geminin daha yüksek indeks-A değerine ulaşması beklenir. Fakat bu etki hesaplama süresini gözeterek yapılmalıdır.



Şekil 3.3 Boyuna bölmelendirme gösterimi

Şekil 3.3'te görüleceği üzere, aynı gemi yapısı için 2 farklı bölmelendirme gösterilmiştir. Birinci bölmelendirmede, gemi 4'e bölünmüştür (cetvelin hemen altında z1,z2,…,z4), ikinci bölmelendirmede ise 9 bölmeye ayrılmıştır (birinci

bölmelendirmenin hemen altında z1,z2,…,z9). Buradan yola çıkarak söylenebilir ki ikinci OYS (Olasılıklı Yaralı Stabilite) hesabında daha yüksek bir indeks-A değerine ulaşılırken, hesaplama süresi daha uzun olacaktır.



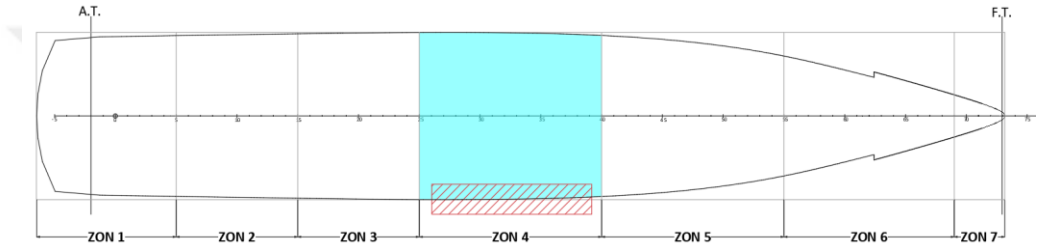
Şekil 3.4 Bölmelendirme olasılık üçgeni

Örnek olarak, Şekil 3.4'te sol tarafta yer alan bölme 2 nolu kompartmanındaki yaralanma, olasılık üçgeninde tek bölme-tek üçgen olarak gösterilmiştir. Diğer yandan, sağ tarafta, zon 4, 5 ve 6'nın aynı anda yaralanması durumu üçlü üçgenin en üst köşesi olarak gösterilmiştir. Bu 3 bölmenin aynı anda yaralanma olasılığı, tüm yaralanma kombinasyonlarının olasılığından, sırasıyla her bir bölmenin tek başına yaralanması ve 2'li kombinasyonlarla yaralanma olasılıklarının çıkarılmasıyla elde edilir.

Gölgelendirilmiş alan, maksimum mutlak hasar uzunluğunun etkisini göstermektedir. Üç veya daha fazla bitişik bölgenin kombinasyonu için p-faktörü,

eğer kombine hasar bölgelerinin toplam uzunluğu eksi kombinasyondaki en ön ve en arka hasar bölgelerinin uzunluğunun maksimum hasar uzunluğunu aşıyorsa, yaralanma olasılığı bu durum için sıfıra eşit olur. Bunu göz önünde bulundurarak L_s'nin bölmelendirilmesi, tanımlanan bölge sayısını sınırlayabilir ve elde edilen A indeksini maksimize etmek için iyileştirilebilir [16]. Bu şekilde hesap yapmadan, maksimum bitişik bölme yaralanması tespit edilmiş olur ve hesaplamalar için zaman tasarrufu yapılması sağlanabilir.

$\boldsymbol{P(X_1, X_2)}$'nin terminaller ve bölmelendirme boyu ile ilişkisi şu şekilde açıklanabilir. Eğer, hedeflenen kompartman ya da kompartmanların baş ve kıç uzanımlarının hiçbiri kıç ve baş terminallerle çakışmıyorsa:



Şekil 3.5 Terminal-bölmelendirme ilişkisi

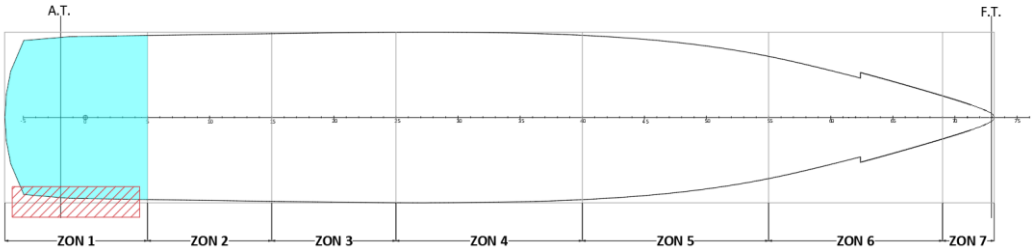
$J = J_k$

$$P(X_1, X_2) = p_1 = \frac{1}{6} J^2 (b_{11} J + 3b_{12}) \tag{3.22}$$

$J > J_k$

$$P(X_1, X_2) = p_2 = -\frac{1}{3} b_{11} J_k^3 + \frac{1}{2} (b_{11} J + b_{12}) J_k^2 + b_{12} J J_k - \frac{1}{3} b_{21} \left({J_n}^3 - {J_k}^3 \right) + \frac{1}{2} (b_{21} J - b_{22}) \left({J_n}^2 - {J_k}^2 \right) + b_{22} J (J_n - J_k) \tag{3.23}$$

Eğer, hedeflenen kompartman ya da kompartmanların kıç sınırı kıç terminal ile çakışıyorsa veya, baş sınırı baş terminal ile çakışıyorsa:



Şekil 3.6 Terminal-bölmelendirme ilişkisi

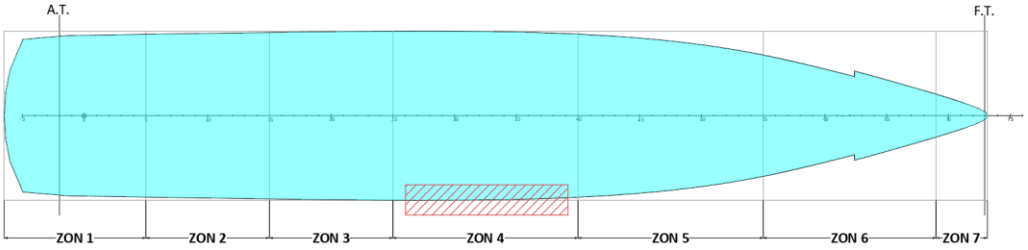
$J = J_k$

$$P(X_1, X_2) = \frac{1}{2}(p_1 + J) \tag{3.24}$$

$J > J_k$

$$P(X_1, X_2) = \frac{1}{2}(p_2 + J) \tag{3.25}$$

Eğer, hedeflenen kompartman ya da kompartmanlar bölmelendirme uzunluğunun tamamını kapsıyorsa;



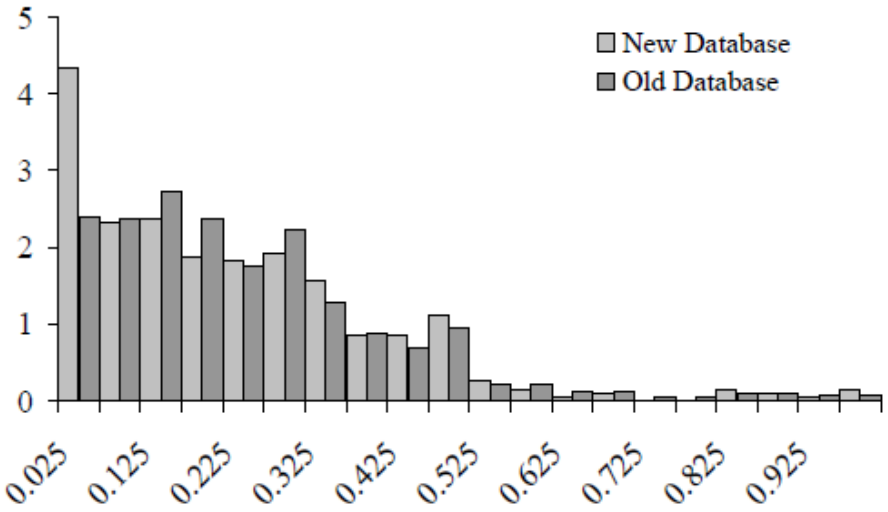
Şekil 3.7 Terminal-bölmelendirme ilişkisi

$$P(X_1, X_2) = 1 \tag{3.26}$$

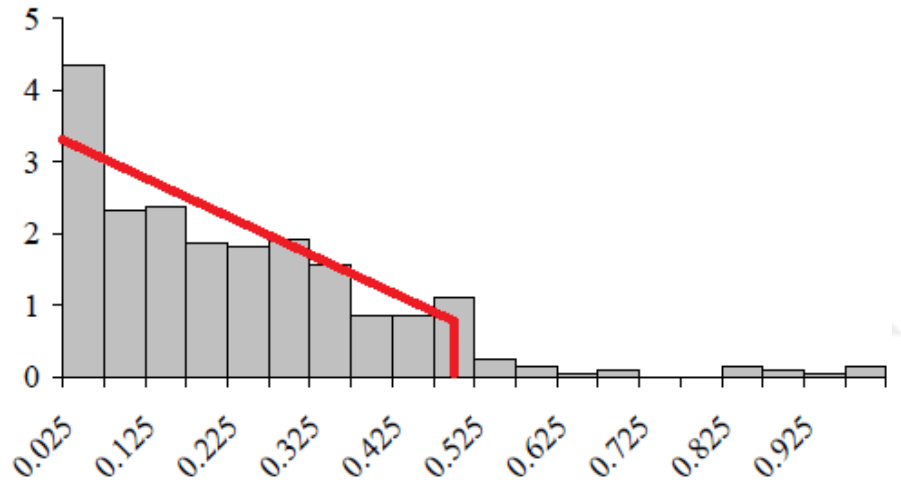
İfadeler tamamı için belirtildiği üzere J_n, $\min(J, J_m)$ olarak tanımlanmaktadır. J irdelenen kompartmanın boyunu nitelerken ($J=x_1-x_2$), J_m beklenen en büyük boyutsuz hasar uzunluğunu nitelendirmektedir.

3.6 R_i-Faktörün Hesaplanması

Birleşik bölmelerin yaralanmasından söz edilecek olursa, penetrasyon derinliğinin enine genişlik değerlerinden küçük olma olasılığı r ile belirtilir. $p(x_1, x_2)$ hesaplanmasında istatiksel veriler kullanıldığı gibi $\mathrm{b.r}(X_1, X_2, b)$, hesabında da istatiksel verilere başvurulur.



Şekil 3.8 Boyutsuz hasar nüfuz grafiği [15]



Şekil 3.9 Boyutsuz hasar nüfuzu dağılımı grafiği [15]

Yukarıdaki grafikte sütun olarak gösterilmiş şema, yeni veri tabanını göstermekte olup, kırmızı çizgi lineer denklemi göstermektedir [15].

Nüfuzun derinliği b, en yüklü su hattından itibaren ölçülür ve geminin bordasından merkez hattına dik olarak uzanan dikey mesafe ile ölçülür. Bu mesafe boyuna perdeye kadar ölçülür. Eğer bu bölme gövdeye paralel bir düzlem değilse ortalama mesafeler alınır. Bu bölmelendirmelerin çeşitlerine ve mesafe seçimlerinin nasıl yapılması gerektiğine "Explanatory notes to SOLAS Chapter II-1 Part B" yayınından ulaşılabilir. $\mathrm{r}(\mathrm{X}_1, \mathrm{X}_2, b)$ hesabına ait denklem 3.27, aşağıdaki gibidir:

$$\mathrm{r}(\mathrm{X}_1, \mathrm{X}_2, b) = 1 - (1 - C)\left[1 - \frac{G}{p(x_1, x_2)}\right] \tag{3.27}$$

$$C = 12J_b(-45J_b + 4) \tag{3.28}$$

$$J_{b=}\frac{b}{15B} \tag{3.29}$$

Burada b, penetrasyon derinliğini nitelerken, B ise en yüklü su hattındaki maksimum genişliği belirtmektedir.

G'nin terminaller ve bölmelendirme boyu ile ilişkisi aşağıdaki gibi değerlendirilir. $P(X_1, X_2)$ hesabında olduğu gibi b'nin hesabında da lokasyona bağlı olarak formül değişmektedir. Eğer, hedeflenen kompartman ya da kompartmanların baş ve kıç uzanımlarının herhangi biri kıç ya da baş terminallerden biriyle çakışmıyorsa:

$$G = G_2 = \frac{1}{3}b_{11}{J_0}^3 + \frac{1}{2}(b_{11}J - b_{12}){J_0}^2 + b_{12}JJ_0 \tag{3.30}$$

$$J_0 = \min(J, J_b) \tag{3.31}$$

Eğer, hedeflenen kompartman ya da kompartmanların kıç sınırı kıç terminal ile çakışıyorsa veya, baş sınırı baş terminal ile çakışıyorsa:

$$G = \frac{1}{2}(G_2 + G_1.J) \tag{3.32}$$

3.7 S_i-Faktörün Hesaplanması

S_i, hayatta kalma olasılığı faktörünü ifade etmektedir ve hayatta kalabilme, bir geminin hasarlı stabilite değerlendirmesi ile doğrudan ilişkili bir kavramdır [17]. Bir geminin, spesifik bir yaralanma senaryosu sonrasında yüzebilirliği, kayıp sephiye ya da eklenen ağrılık yöntemi ile hidrostatik veriler aracılığı ile ölçülür. Yaralanma sonucu denge durumundaki gemi, başlangıç stabilitesine sahipse ya da diğer bir değişle pozitif GM'e sahipse, geleneksel olarak güvenli bölgede kabul edilir. Fakat, yaralı bir gemiyi özellikle dalgalı bir denizde güvenli olarak değerlendirebilmek için derinlemesine düşünmek gerekir.

Hayatta kalma olasılığı, deniz koşullarıyla doğrudan ilişkilidir ve bahsedilen deniz durumuna ait dalga yüksekliklerine kadar geminin güvenli olduğunu göstermek kritik önem taşır. Eğer dalga yüksekliği, kritik dalga yüksekliğini aşmazsa, hasar görmüş geminin alabora olma riski taşımadığı kabul edilir [18].

S_i-faktörü, belirli bir yaralanma senaryosu sonrası geminin hayatta kalabilirliğine bağlı bir faktördür. "i" nolu senaryoya bağlı olarak minimum $S_{intermadiate,i}$ veya ($S_{final,i}$. $S_{mom,i}$) arasından elde edilir. Formülü aşağıda belirtildiği gibidir [12]:

$$S_i = minimum\{s_{intermediate,i} or\ s_{final,i} \times s_{mom,i}\} \tag{3.33}$$

$S_{intermediate,i}$ nihai su basma aşamasına kadarki tüm ara su alma aşamalarında hayatta kalma olasılığını ifade eder. Aşağıdaki gibi hesaplanır [12]:

$$S_{intermediate,i} = \left[\frac{GZ_{max}}{0.05} \times \frac{Range}{7}\right]^{0.25} \tag{3.34}$$

$GZ_{max} < 0.05m$

$Range < 7°$

Ayrıca ara meyil açıları yolcu gemileri için 15°'yi, yük gemileri için 7°'yi aşarsa $S_{intermediate,i} = 0$ olmalıdır.

$S_{intermedaite,i}$ yolcu gemileri ve kavanca valf düzeneğine sahip kargo gemileri için hesaplanmak zorundadır, diğer kargo gemilerinde ise hesaplanmasına gerek yoktur ve sonucu 1 alınır.

Faktör $S_{final,i}$ ise aşağıdaki gibi hesaplanır [12]:

$$S_{final,i} = K \times \left[\frac{GZ_{max}}{TGZ_{max}} \times \frac{Range}{TRange}\right]^{0.25} \tag{3.35}$$

Burada, GZ_{max} TGZ_{max}'tan daha yüksek değere sahip olamaz. Range de, TRange değerinden daha büyük olamaz.

θ_{min} = minimum meyil açısı, θ_{max} = maksimum meyil açısı

Yolcu gemileri için, θ_{min} =7°, θ_{max} =15°, Kargo gemileri için, θ_{min} =25°, θ_{max} =30°

Range = pozitif doğrultma kolunun olduğu alan 16°'den büyük alınamaz

GZ_{max} = maksimum GZ değeri 0.12 den daha büyük alınamaz

θ_e = hasar sonrası denge açısı

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_e}{\theta_{max} - \theta_{min}}} \tag{3.36}$$

$K = 1\ eğer, \theta_e \leq \theta_{min}, K = 0\ eğer, \theta_e \geq \theta_{max}$

Yukarıdaki formülden de anlaşılacağı üzere, K elde edilen meyil açısına dayanmaktadır. Yolcu gemileri için 15°'yi , yük gemileri için 30°'yi aşan durumlarda S_i değeri sıfır olacaktır. Deterministik stabilite hesabının gerekliliklerinde olduğu gibi, GZ_{max} ve Range, burada da kullanılmaktadır, fakat uygulama yöntemleri arasında fark vardır. GZ_{max} GZ-θ eğrisindeki maksimum pozitif moment koluna sahip olan değeri ifade eder. θ_e ve θ_v arasında yer alır. θ_v, GZ'in negatife geçtiği nokta ya da su geçirmez bölmeye su almaya başladığı ilk açıklık açısı olarak tanımlanır. Range, açı ile tanımlanmakla beraber, GZ eğrisine bakılarak hesaplanır. Ayrıca, pozitif bölgedeki θe-θv aralığı olarak tanımlanır.

$S_{mom,i}$ rüzgar, yolcu hareketleri veya can sallarının suya atılması ile oluşacak olan maksimum meyil momentinden hayatta kalma olasılığı olarak ifade edilir. Bu değer yük gemileri için hesaplanmaz, "1" olarak alınır ve aşağıdaki formüle göre hesaplanır [12]:

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{max} - 0.04).Displacement}{M_{heel}} \tag{3.37}$$

$$M_{heel} = max\{M_{passanger}, M_{wind}, M_{survivalcraft}\} \tag{3.38}$$

$$S_{mom} \leq 1,\ S_i\ faktör\ 1'in\ üzerinde\ alınamaz \tag{3.39}$$

$M_{passanger}$ yolcu hareketliliği sonucu oluşabilecek maksimum momenti ifade etmektedir ve yolcuların ortalama ağırlığı 75 kg olarak hesaba alınır. Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{passanger} = (0.075 \times N_P) \times (0.45 \times B) \tag{3.40}$$

Burada B gemi genişliğini, N_p ise bahsi geçen yükleme durumundaki kabul edilebilir maksimum yolcu sayısını ifade eder.

Rüzgâr kaynaklı oluşabilecek moment aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{wind} = (P.A.Z)/9.806 \tag{3.41}$$

Burada P, bir basınç ifadesidir ve 120 N/m² olarak tanımlanır. A, projeksiyon alanını, Z projeksiyon alan merkezi ile T/2 arasındaki mesafeyi ifade eder. T ise su hattını belirtmek için kullanılır ve d_s, d_p, d_l farklı su hatlarına göre değişir.

$M_{survivability}$ ise can salının denize atılışı sırasında oluşabilecek maksimum meyil momentidir. Hesaplanan bu üç moment değerinden en büyüğü hesaba alınarak $S_{mom,i}$ bulunur.

3.8 V_i-Faktörün Hesaplanması

V_i-faktörü, hasarın su hattı üzerinde belirli bir yüksekliği aşmama olasılığı olarak tanımlanır. Bu faktör, istatiksel veriler ışığında su hattı üzerindeki olası hasar yükseklikleri için bir dağılım oluşturularak yapılır. Yaralanma istatistikleri üç koşul dikkate alınılarak yapılır; kazanın çatışma olması, çatışmanın iki gemi arasında olması ve çatışmanın, çatışma perdesinin gerisinde olması gerekmektedir. Formül 3.41'e göre hesaplanır.

$$V_m = V(H_{j,\ n,\ m,}\, d) - V(H_{j,\ n,\ m-1,}\, d) \tag{3.41}$$

$H_{j,\ n,\ m}$ hasar gören bir kompartmanın, dikeydeki yaralanmasını sınırlayan kaide hattına en yakın sınırlayıcıyı ifade eden yükseklikliktir. Bu yükseklik $x_1(j)\ldots.x_2(j_m\text{-}1)$ boyuna aralığında, kaide hattından ölçülür. j, bahsi geçen yaralı bölmelerin kıç tarafını ifade eder. m, su hattının yukarısına doğru sayılan yatay sınırı temsil eder. d, hesabı yapılan su hattını temsil eder. x_1 ve x_2 ise dikkate alınan bölme ya da bölme gruplarının sınırlarını ifade eder [12]:

Eğer,

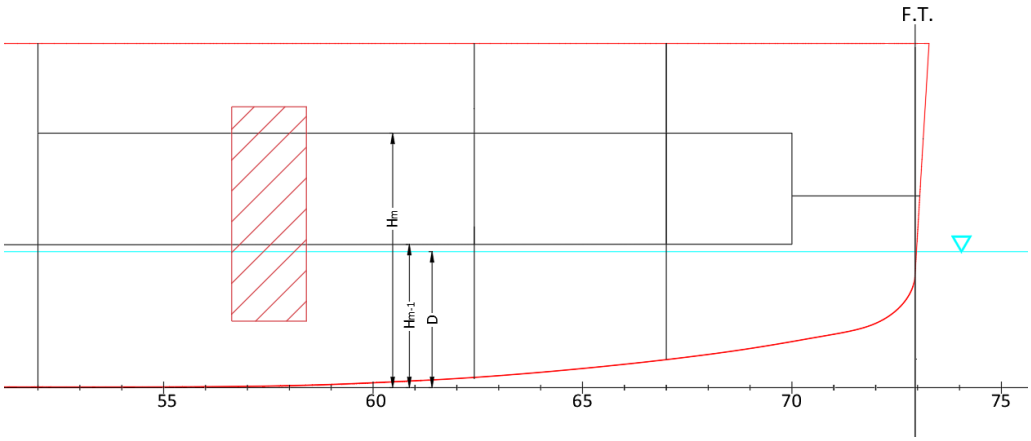
$H_m - d \leq 7.8$

$$v(H,d) = 0.8 \cdot \frac{(H-d)}{7.8} \tag{3.42}$$

Diğer durumlarda:

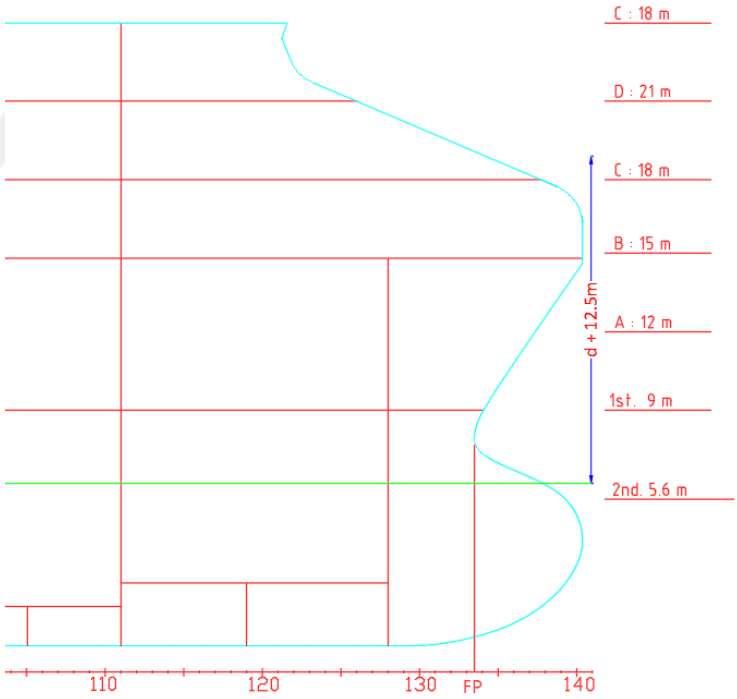
$$(H,d) = 0.8 + 0.2 \cdot \left[\frac{(H-d)-7.8}{4.7}\right] \tag{3.43}$$

H_m en üst su geçirmez güverteyle çakışıyorsa $H(_{j,\ n,\ m}\ ,\ d)$, 1 alınır.



Şekil 3.10 Hm tanımı

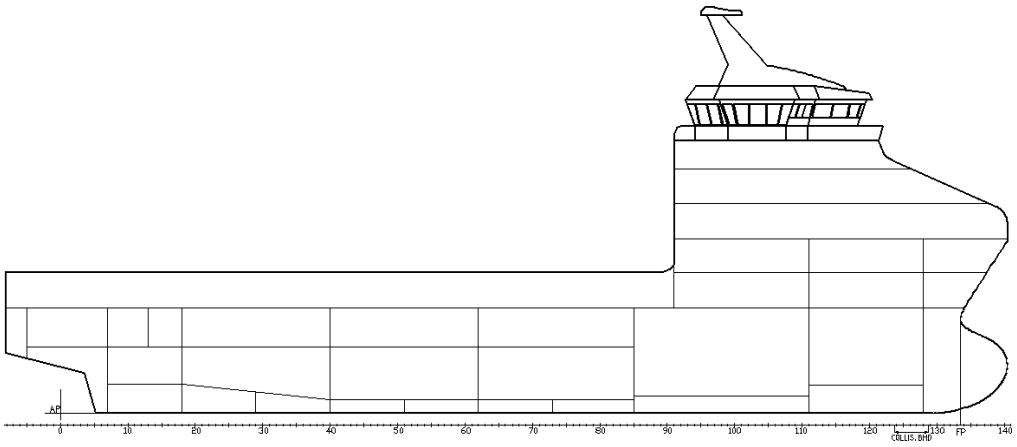
V_m formülü istatiksel verilere dayanarak oluşturulmuştur ve d + 12.5m maksimum yaralanma yüksekliği olarak kabul edilir. Eğer maksimum yaralanma yüksekliğinin üzerinde, su geçirmez bir perde bulunuyorsa, bu yüksekliğin üzerindeki kompartmanlar bütün yaralanma koşullarında hasarsız kabul edilmelidir [8].



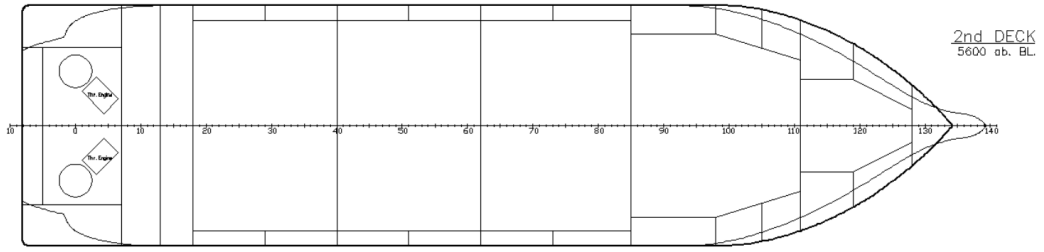
Şekil 3.11 d+12.5 m gösterimi

4
GEÇERLEME ANALİZİ

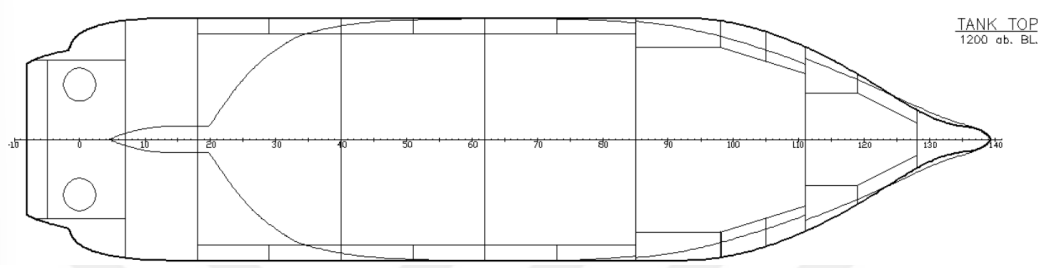
Çalışmaya, olasılıklı stabilite hesapları (PDS) sonucu açık literatüre Djupvik tarafından sunulmuş bir Açık Deniz Destek Gemisi (Offshore Supply Vessel - OSV) için geçerleme çalışması yapılarak başlanmıştır [5]. Bu çalışmada, Wartsila tasarımı bir OSV kullanılmış olup, kod adı 4789A-101 olarak belirtilmiştir ve Gemi-I olarak adlandırılmıştır. Djupvik'in çalışmasında, hesaplamalar 2 farklı boyuna bölme düzenine sahip 4 farklı açık deniz destek gemisi için yapılmış olup, U-tankların boyuna sınırlarının enine mesafeleri değiştirilerek indeks-A incelemesi yapılmıştır. PDS hesaplamaları için NAPA yazılımı kullanılmıştır. Mevcut geçerleme analizinde ise Bentley'nin Maxsurf yazılımı kullanılmıştır. Temel bir hidrostatik tablo ve genel yerleşim çizimi, su geçirmez perde yerleşimi aşağıda gösterilmektedir. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3, su geçirmez perde yerleşimini göstermektedir.



Şekil 4.1 4789A-101 Nolu geminin profil gösterimi [5]



Şekil 4.2 Ikinci güverte üstü plan görünüm 4789A-101 Vessel-I [5]



Şekil 4.3 Tank plan 4789A-101 Vessel-I [5]

4.1 Modelin Hazırlanması

Tablo 4.1'de geminin hidrostatik özellikleri gösterilmiştir. Tüm karakteristikler incelendiğinde iyi bir uyum sağlandığı görülmüş olup, deplasman ve boyuna yüzme merkezi (LCB) değerlerinin karşılaştırması Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Açık deniz destek gemisine ait hidrostatik değerler

T	Deplasman	CB	LCB	LCF	TPC	MCT	KMT
m	ton		m	m	t/cm	tm/cm	m
6.00	8467.60	0.78	38.76	34.13	17.10	106.40	10.69
6.50	9324.80	0.79	38.32	33.88	17.20	107.80	10.43
7.00	10188.80	0.80	37.94	33.84	17.30	109.30	10.21
7.50	11056.70	0.81	37.62	33.92	17.40	110.80	10.04
8.00	11929.10	0.82	37.36	34.08	17.50	112.30	9.91
8.50	12805.90	0.83	37.14	34.28	17.60	114.00	9.83
9.00	13687.60	0.84	36.96	34.49	17.70	115.80	9.80
9.50	13918.30	0.81	37.38	64.95	4.40	2.30	5.94
10.00	14140.10	0.78	37.82	65.18	4.50	2.50	6.03
10.50	14368.20	0.76	38.25	65.43	4.60	2.60	6.14
11.00	14602.80	0.73	38.69	65.69	4.80	2.80	6.26
11.50	14844.70	0.71	39.14	65.96	4.90	3.00	6.39
12.00	15094.20	0.69	39.58	66.25	5.10	3.20	6.52
12.50	15350.80	0.68	40.03	66.58	5.20	3.50	6.67
13.00	15615.20	0.66	40.48	66.90	5.40	3.70	6.82
13.50	15888.20	0.65	40.94	67.22	5.50	4.00	6.98
14.00	16170.00	0.64	41.40	67.52	5.70	4.20	7.16
14.50	16460.50	0.63	41.86	67.83	5.90	4.50	7.34
15.00	16755.80	0.62	42.32	67.90	5.90	4.60	7.48

Tablo 4.2 Doğrulama hesabı ve Djupvik [5] karşılaştırmalı tablo

	Deplasman		LCB	
Draft	Çalışma	Djupvik [16]	Çalışma	Djupvik [16]
(m)	(ton)	(ton)	(m)	(m)
6.00	8439	8468	38.76	38.76
6.50	9295	9325	38.33	38.32
7.00	10158	10189	37.94	37.94
7.50	11025	11057	37.62	37.62
8.00	11896	11929	37.36	37.36
8.50	12772	12806	37.14	37.14
9.00	13653	13688	36.96	36.96
9.50	13870	13918	37.39	37.38
10.00	14093	14140	37.83	37.82
10.50	14323	14368	38.27	38.25
11.00	14559	14603	38.71	38.69
11.50	14802	14845	39.16	39.14
12.00	15053	15094	39.60	39.58
12.50	15311	15351	40.06	40.03
13.00	15578	15615	40.51	40.48
13.50	15852	15888	40.97	40.94
14.00	16135	16170	41.43	41.40
14.50	16426	16461	41.89	41.86
15.00	16723	16756	42.35	42.32

Modelleme aşamasının başında, AP (kıç dikey), FP (baş dikey) ve DWL (dizayn su hattı) çalışmada belirtilen lokasyonlara konumlandırılmıştır. Belirtilen kompartman ve tank yerleşimleri, çalışmada açık kaynaklı olarak paylaşılmış olan genel yerleşim planında sağlanan çizimler aracılığıyla modellenmiştir. Çalışmada herhangi bir yükleme durumu belirtilmemiş olup, yükleme durumlarına denk gelen deplasman, su hattı yüksekliği ve ağırlık merkezi konumları verilmiştir. Geçerleme analizi için de bu verilere denk gelen sanal yükleme koşulları oluşturulmuştur. Sanal yükleme koşullarının hidrostatik verilerine aşağıdaki tablodan ulaşılabilir.

Tablo 4.3 Açık deniz destek gemisine ait belirtilen yükleme koşullarına ait hidrostatik değerler

	DL	DP	DS
T0 (m)	4.70	6.20	7.20
TR0 (m)	-0.10	0.00	0.00
HEEL0 (degree)	0.00	0.00	0.00
DSP0 (t)	6302.00	8809.70	10535.50
LCB (m)	39.94	38.57	37.81
TCB (m)	0.00	0.00	0.00
VCB (m)	2.56	3.38	3.93
GM0 (m)	1.60	1.60	2.30
GM (m)	1.60	1.60	2.30
KG (m)	10.12	8.98	7.84
KMT (m)	11.72	10.58	10.14

4.2 Olasılıklı Yaralı Stabilite Modelinin Hazırlanması

Bölmelendirme boyları, konumları, H_m ve b verileri, açık kaynak olarak verilmiş rapora göre modellenmiştir. Bölmelendirme yerleşim tablosuna aşağıdaki Tablo 4.4'ten ulaşılabilir.

Tablo 4.4 Bölmelendirme tablosu

BÖLMELENDİRME	X1 (m)	X2 (m)	BP(m)	BS(m)	HHSD	HHSU
Z01	-4.90	-3.00	0/0	0/0	-	9
Z02	-3.00	4.20	3.8	3.8	5.6	5.6/9
Z03	4.20	7.80	-	-	2.5/5.6	5.6/9
Z04	7.80	10.80	-	-	2.5/5.6	5.6/9
Z05	10.80	17.40	1.4	1.4	2.365/5.6	5.6/9
Z06	17.40	24.00	1.4	1.4	1.889/5.6	5.6/9
Z07	24.00	30.60	1.4	1.4	1.412/5.6	5.6/9
Z08	30.60	37.20	1.4	1.4	1.2/5.6	5.6/9
Z09	37.20	43.80	1.4	1.4	1.2/5.6	5.6/9
Z10	43.80	51.00	1.4	1.4	1.2/5.6	5.6/9
Z11	51.00	54.60	2.6	2.6	1.5/5.6	5.6/9
Z12	54.60	58.80	2.6	2.6	1.5/5.6	5.6/9/12
Z13	58.80	63.00	2.887	2.887	1.5/5.6	5.6/9/12
Z14	63.00	66.60	3.061	3.061	1.5/5.6	5.6/9/12
Z15	66.60	71.40	3.473	3.473	2.4/5.6	5.6/9/12
Z16	71.40	76.80	1.823	1.823	2.4/5.6	5.6/9/12
Z17	76.80	84.23	-	-	-	5.6/9/12

Bölme P_i değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Bitişik bölmeler sonucu oluşan maksimum yaralanma boyu beş bölmeyle aşıldığı için daha fazla bitişik bölmenin hesabı yapılmamıştır ve bütün bölmelerden gelen P_i sonuçları bu çalışmada verilmemiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, P_i değeri perdelerin geometrik yerleşimine bağlıdır. P_i değerleri bazında, Djupvik'in elde ettiği değerler ile geçerleme hesabında elde edilen değerler arasında neredeyse hiç fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5 Pi değerleri

	Pi, Değerleri	
	Djupvik [4]	Çalışma
SDSP 1	0.01186	0.01186
SDSP 2	0.03016	0.03015
SDSP 3	0.00826	0.00826
SDSP 4	0.00582	0.00582
SDSP 5	0.02574	0.02574
SDSP 6	0.02574	0.02574
SDSP 7	0.02574	0.02574
SDSP 8	0.02574	0.02574

Tablo 4.5 Pi değerleri (devamı)

SDSP 9	0.02574	0.02574
SDSP 10	0.03016	0.03015
SDSP 11	0.00826	0.00826
SDSP 12	0.01107	0.01107
SDSP 13	0.01108	0.01107
SDSP 14	0.00826	0.00826
SDSP 15	0.01425	0.01425
SDSP 16	0.01777	0.01777
SDSP 17	0.05736	0.05759

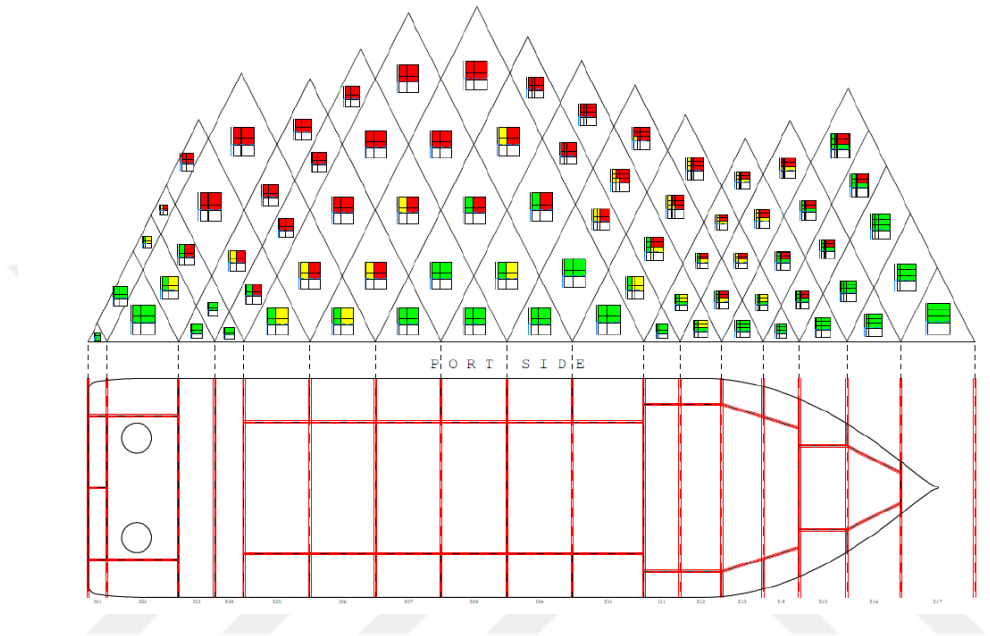
Tablo 4.6 Boyuna perdelerin enine uzaklıkları

Tek Bitişik Bölme	Gövde Yarı Genişlikleri	Boyuna Perde Sayısı	b1 (m)
Bölme 1, 1	11	0	n/a
Bölme 2, 1	11	1	3.8
Bölme 3, 1	11	0	n/a
Bölme 4, 1	11	0	n/a
Bölme 5, 1	11	1	1.4
Bölme 6, 1	11	1	1.4
Bölme 7, 1	11	1	1.4
Bölme 8, 1	11	1	1.4
Bölme 9, 1	11	1	1.4
Bölme 10, 1	11	1	1.4
Bölme 11, 1	11	1	2.6
Bölme 12, 1	11	1	2.6
Bölme 13, 1	11	1	3.246
Bölme 14, 1	11	1	4.446
Bölme 15, 1	11	1	6.8
Bölme 16, 1	11	1	8.15
Bölme 17, 1	11	0	n/a

Tablo 4.7 Yatay sınırlayıcı perde yükseklikleri

Tek Bitişik Bölme	Güverte Sayısı	H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)
Bölme 1, 1	1	9.0	n/a	n/a
Bölme 2, 1	2	5.6	9.0	n/a
Bölme 3, 1	3	2.5	5.6	9.0
Bölme 4, 1	3	2.5	5.6	9.0
Bölme 5, 1	3	2.365	5.6	9.0
Bölme 6, 1	3	1.889	5.6	9.0
Bölme 7, 1	3	1.412	5.6	9.0
Bölme 8, 1	3	1.2	5.6	9.0
Bölme 9, 1	3	1.2	5.6	9.0
Bölme 10, 1	3	1.2	5.6	9.0
Bölme 11, 1	2	1.5	9.0	n/a
Bölme 12, 1	3	1.5	9.0	14.8
Bölme 13, 1	3	1.5	9.0	14.8
Bölme 14, 1	3	1.5	9.0	14.8
Bölme 15, 1	3	2.4	9.0	14.8
Bölme 16, 1	3	2.4	9.0	14.8
Bölme 17, 1	2	9.0	12.0	n/a

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 güverte ve boyuna perdeler kaynaklı oluşmuş H_m ve b değerlerini göstermektedir. Genişletilmiş hasar bölgeleri oluşturulmuş, hesaplamalar olasılıklı yaralanma stabilitesi s_i faktörü bazında kontrol edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Tablo 4.8 NAPA ve Maxsurf arasında yüzey tanımlama fonksiyonları ve çıktı verme bazlarındaki farklılıklar nedeniyle, tüm tablolar ve veriler ayrı ayrı incelenmiş, basitleştirilmiştir.



Şekil 4.4 PDS 5 bitişik yaralanma için bölmelendirme şeması, Gemi I [5]

Yukarıdaki Şekil, olasılıklı yaralı stabilite hesabı şemasını göstermektedir. L_S boyunca, yaralanma dağılımı bu şekilde incelenebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi, dağılımın beşli bitişik bölme yaralanması ile sınırlandırıldığı bu şekilden anlaşılmaktadır. Hesaplar sonucunda ulaşılan karşılaştırmalı değerler Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Hesaplanan İndeks-A Karşılaştırması

	Ad		Ap		Al	
	Djupvik[16]	Çalışma	Djupvik[16]	Çalışma	Djupvik[16]	Çalışma
1 BİTİŞİK	0.302	0.302	0.340	0.340	0.342	0.343
2 BİTİŞİK	0.251	0.246	0.276	0.289	0.348	0.372
3 BİTİŞİK	0.060	0.054	0.066	0.067	0.110	0.114
4 BİTİŞİK	0.012	0.008	0.016	0.014	0.023	0.023

Tablo 4.8 Hesaplanan İndeks-A Karşılaştırması (devamı)

5 BİTİŞİK	0.003	0.001	0.004	0.002	0.006	0.004
TOTAL	0.628	0.611	0.701	0.712	0.828	0.855
AĞIRLIKLAR	0.400	0.400	0.400	0.400	0.200	0.200
İNDEKS-A_i	0.251	0.244	0.281	0.285	0.166	0.171

Tablo 4.9 Djupvik [5] ve mevcut analiz arasında indeks-A bazındaki yüzdesel farklar

	Faklar
	%
Ad	2.74%
Ap	1.51%
Al	3.25%
A	0.39%

Hesaplamalar sonucunda, Djupvik [5] ile bu çalışmada kullanılan modelin elde edilen A indeksi değeri arasında %0.39 fark bulunmuştur. Bu hesaplamalar, sonraki bölümlerde açıklanan hesaplama prosedürünün doğruluğunu göstermektedir.

5
YÖNTEM

Bayrak ve klas kurallarında yatlar için tanım ve kural çerçevesi kuruluşlara göre değişebilmekle beraber, genel olarak SOLAS'ı kapsamaktadır. SOLAS, 12 yolcuya kadar (Buna mürettebat dahil değildir ve yolcu tanımı SOLAS'ta belirtilmektedir.) yatları, kargo gemisi olarak kabul eder ve regülasyonların buna göre izlenmesine yönlendirir. SOLAS Part-B regülasyon 4.2 de kargo gemileri için açıklama yapılmıştır. Buna göre 80m ve üzerindeki L boyuna sahip kargo gemileri SOLAS B-1 6-7.3'te bahsi geçen olasılıklı hasarlı stabilite hesaplarını göstermek durumundadır. Öte yandan, yolcu sayısı 12'nin üzerinde olan yatlar, yolcu gemisi olarak tanımlanır. SOLAS Part B Regülasyon 4, yolcu gemileri için SOLAS B-1 - B-4 arasının uygulanacağını belirtir. Kuraldan yola çıkılacak olursa, yolcu sayısının 12'nin altında kaldığı, L boyunun 80 m'nin üzerinde olduğu bir kondisyonda tasarlanan yat, olasılıklı hasarlı stabilite hesabını göstermek durumundadır.

Deterministik yaklaşımda hasar kapsamında, SOLAS perdelerin konumlandırılmasına dair tanımlamalarda bulunur. Diğer yandan olasılıklı hasarlı stabilite hesaplarında hasar kapsamı belirsizdir. Bu da perde yerleşimi konusunda bilinmeyen bir esneklik sağlar. Bu çalışma, genel yerleşimde oluşabilecek değişimlerin olasılıklı stabilite hesaplarına olan etkisini incelemektedir. Bu kapsamda genel yerleşimde yaşanabilecek değişimlerin ulaşılan indeks değerini nasıl etkileyeceğini göstermesi amaçlanmıştır. İlk adımda, konvensiyonel dizel makinalı, uzun bir şaft yataklamasına sahip yatın, dizel-elektrik podlu bir sevk sistemine dönüştürülmesi sonucunda, genel yerleşim değişikliklerinin ulaşılan indeks değerini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

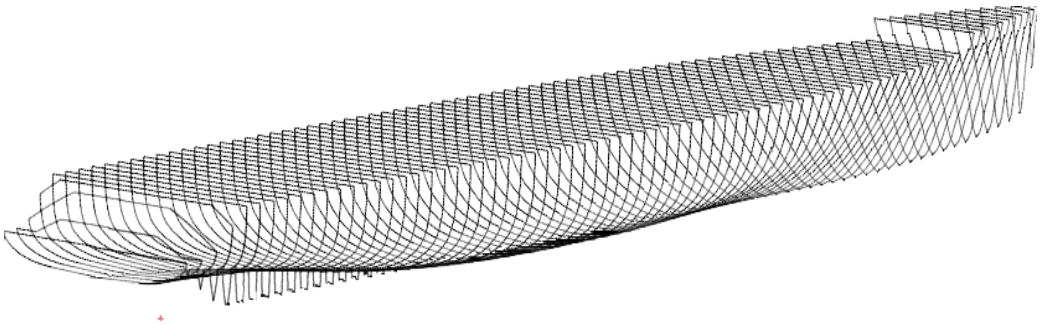
İkinci aşamada ise bordadaki bütünleşik tankların boyuna ve düşey sınırlarında yapılacak sıralı değişikliklerin, ulaşılan indeks değerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu yapılırken, tanklar iskele ve sancak olarak ikiz modellenmiştir. kavanca valf sisteminin sonuca etkisini gözlemleyebilmek için aynı hesaplar, iskele-sancak ikiz tanklarının bağlı olduğu kabul edilerek de yapılmıştır.

5.1 Yat Tasarımı

Tasarım, süreçler hesaba katılarak belirli bir gövde platformu üzerinden yapılmıştır. Yat, benzer gemi platformundaki genel yerleşim gerekliliklerini sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Tablo 5.1 Ana boyutlar ve bilgiler tablosu

ANA BOYUTLAR	
L_{OA}	95.78m
L_{PP}	89.97m
B	16.41m
T	8.00m
Maksimum Deplasman (ön tasarım)	2579t
Dedveyt (ön tasarım)	616.16t
Operasyon	Sınırsız serviste çalışan
Hayatta kalma standartı	Hasarlı ve hasarsız stabilite
Mürettebat sayısı	32
Yolcu sayısı	30



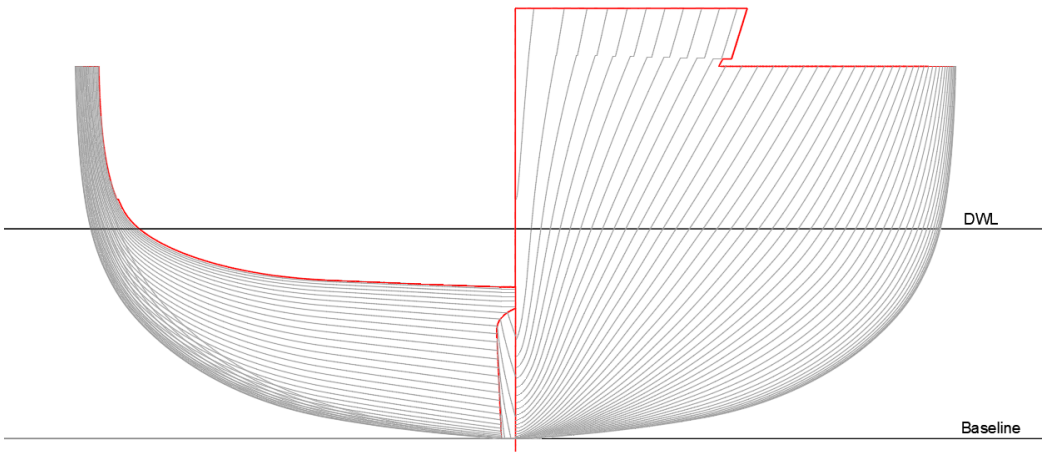
Şekil 5.1 Kesit Modeli

Tablo 5.2 Yatın hidrostatik tablosu

Draft (m)	**3.4**	**3.45**	**3.5**	**3.55**	**3.6**	**3.65**	**3.7**	**3.75**	**3.8**	**3.85**	**3.9**

Tablo 5.2 Yatın hidrostatik tablosu (devamı)

Deplasman t	2051	2103	2155	2208	2260	2313	2366	2420	2474	2527	2582
Islak Alan m²	1250	1261	1273	1284	1295	1306	1317	1328	1339	1349	1360
Su Hattı Alanı m²	1009	1015	1020	1025	1030	1035	1040	1044	1048	1053	1056
Narinlik Katsayısı (Cb)	0.41	0.414	0.417	0.42	0.424	0.427	0.43	0.433	0.436	0.439	0.442
LCB m	33.93	33.82	33.73	33.64	33.55	33.46	33.38	33.31	33.23	33.16	33.10
LCF m	29.84	29.84	29.84	29.85	29.87	29.88	29.91	29.93	29.96	29.99	30.02
KB m	2.146	2.178	2.209	2.241	2.272	2.303	2.333	2.364	2.395	2.425	2.456
BMt m	7.379	7.301	7.22	7.138	7.055	6.972	6.888	6.805	6.721	6.637	6.554
KMt m	9.526	9.479	9.43	9.379	9.327	9.275	9.222	9.169	9.116	9.063	9.01
1cm Batma Tonajı (TPc) ton/cm	10.34	10.40	10.46	10.51	10.56	10.61	10.66	10.70	10.75	10.79	10.83
Trim M ton.m	54.75	55.29	55.80	56.29	56.76	57.21	57.65	58.08	58.48	58.88	59.26
RM 1deg	201.3	204.7	207.9	211.0	214.0	216.9	219.7	222.5	225.1	227.7	230.2



Şekil 5.2 Yatın kesit planı

Kesit planı yukarıda verilmiş olan yatın yükleme durumları bu aşamada gerçekçi bir şekilde 3 farklı seyir durumuna göre düzenlenmiş olup, yükleme durumlarına karşılık gelen hidrostatik değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Boş gemi ağırlığı, benzer teknelerden alınan değerlerin ampirik hesapları yoluyla elde edilmiştir. Ağırlık merkezi, yüklemeler sonucunda trimsiz ve meyilsiz koşullar elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Ağırlık merkezinin yüksekliği ise, yükleme koşullarına denk gelen KG sınırı eğrisindeki, limit değerine göre optimize edilmiştir.

Olası su basma noktaları, benzer bir tasarımda kullanılmış olan genel yerleşim tercihlerine göre yenilenerek, bu tez için modellenmiş olan yata uyarlanmıştır.

Tablo 5.3 Yükleme koşullarına ait hidrostatik veriler

	ds (m)	dp (m)	dl (m)
Draft (m)	3.9	3.8	3.63
Deplasman	2579	2460	2287
Trim(m)	0.00	0.00	0.00
Meyil(deg°)	0.00	0.00	0.00
LCB(m)	33.122	33.291	33.523
GM	2.705	2.512	2.424
KG	6.276	6.416	6.785
KM_T	9.012	9.128	9.299

5.2 Sevk Sistemi Kaynaklı GA Değişikliklerinin İndeks-A'ya olan Etkisi

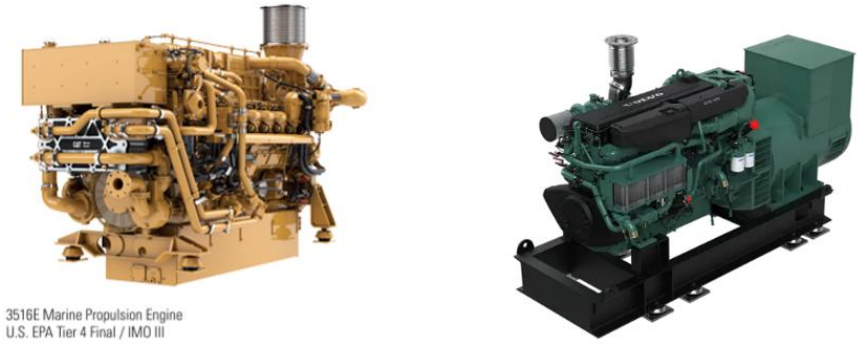
Bu bölümde sevk sistemi kaynaklı genel yerleşim planında yapılan değişikliklerin, indeks-A'ya olan etkileri incelenmiştir. Yat sektöründe son yıllarda hem titreşimi önleme bakımından olan pozitif etkileri hem de daha düşük yakıt tüketimine sahip olması nedeniyle podlu hibrit sistemlerine doğru bir yönelme görülmektedir. Buna bağlı olarak, konvensiyonel dizel ana makinaya sahip bir yatın, dizel elektrik hibrit pod sistemine sahip bir yata dönüştürülmesi ile yapılacak genel perde yerleşimi değişikliklerinin, olasılıklı hasarlı stabilite hesapları sonuçlarına etkisi karşılaştırılmıştır.

5.2.1 Konvensiyonel Dizel Makinalı Sistem - Genel Yerleşim A

Bu genel yerleşimde, gerekli efektif gücü 12 knot servis hızında sağlamak amacıyla 2 adet Caterpillar 3516E-1920kW ana makina (Şekil 5.2) seçilmiştir. Bu makinalar ve hedef hız ile yapılan seyir hesaplamalarına göre 8000 deniz mili seyir çapına ulaşıldığı, yaklaşım yapılarak elde edilmiştir. Bu seyir çapı hesabına göre, jeneratörlerin de seyir sırasında çalıştığı kabul edilmiştir. Hesaba dair sonuçlar Tablo 5.4'te verilmiştir.

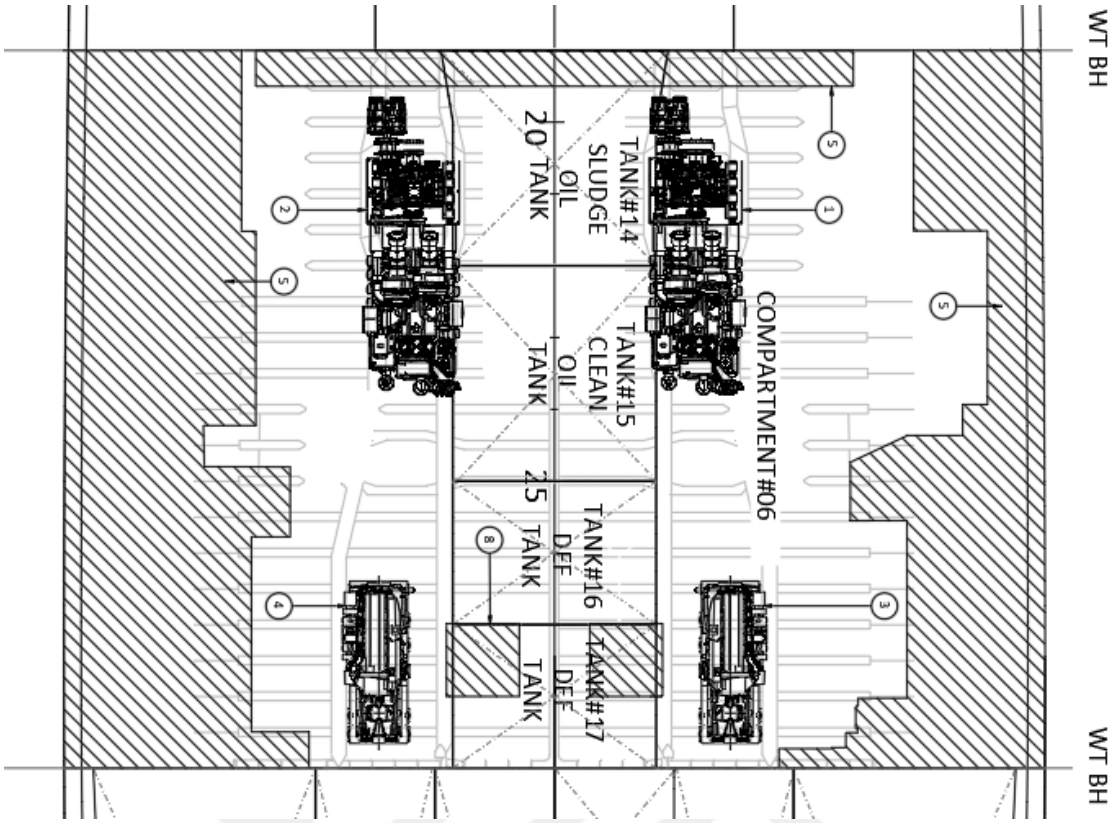
Table 5.4 Seyir çapı tablo gösterimi

Gemi Hızı	Efektif Güç	Makina Hızı	Toplam Yakıt Tüketimi	Seyir Yarı Çapı
(knots)	**(ehp)**	**rpm**	**(L/hr)**	**(n.m.)**
10.0	294.9	997.6	348.9	6157.9
11.0	301.2	924.6	304.9	7751.5
12.0	407.9	953.5	321.9	8010.4
13.0	548.7	1013.7	359.3	7774.9
14.0	747.3	1101.3	419.9	7163.8
15.0	999.2	1202.4	503.7	6399.1
16.0	1265.3	1285.6	590.0	5826.7
17.0	1558.8	1353.1	676.5	5399.4



Şekil 5.3 Caterpillar 3516E (sol) A [19], Volvo Penta D16MG HE (sağ) jeneratör [20]

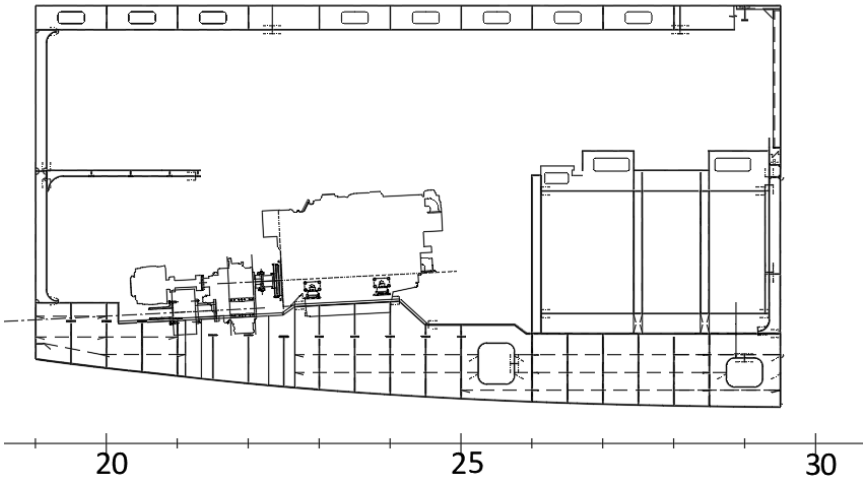
Bu aranjmanda, konvensiyonel tip sevk sistemine sahip bir yatta olması gerektiği gibi, uzun bir şaft yataklama sistemi bulunmaktadır. Sevk için 2 konvansiyonel tip makinaya, iki adet şaft ve 2 adet pervane eşlik etmektedir. Kıç kompartmanda ise iki adet dümen odası bulunmaktadır. Yatlarda çokça tercih edildiği gibi, bu sistemde de liman içi manevralar için bir adet kıç pervane bulunmaktadır ve bu sisteme ait ekipmanların donatılacağı bir adet kompartman yerleşimi sağlanmıştır.



Şekil 5.4 Genel yerleşim-a makina dairesi plan görünümü genel yerleşim gösterimi

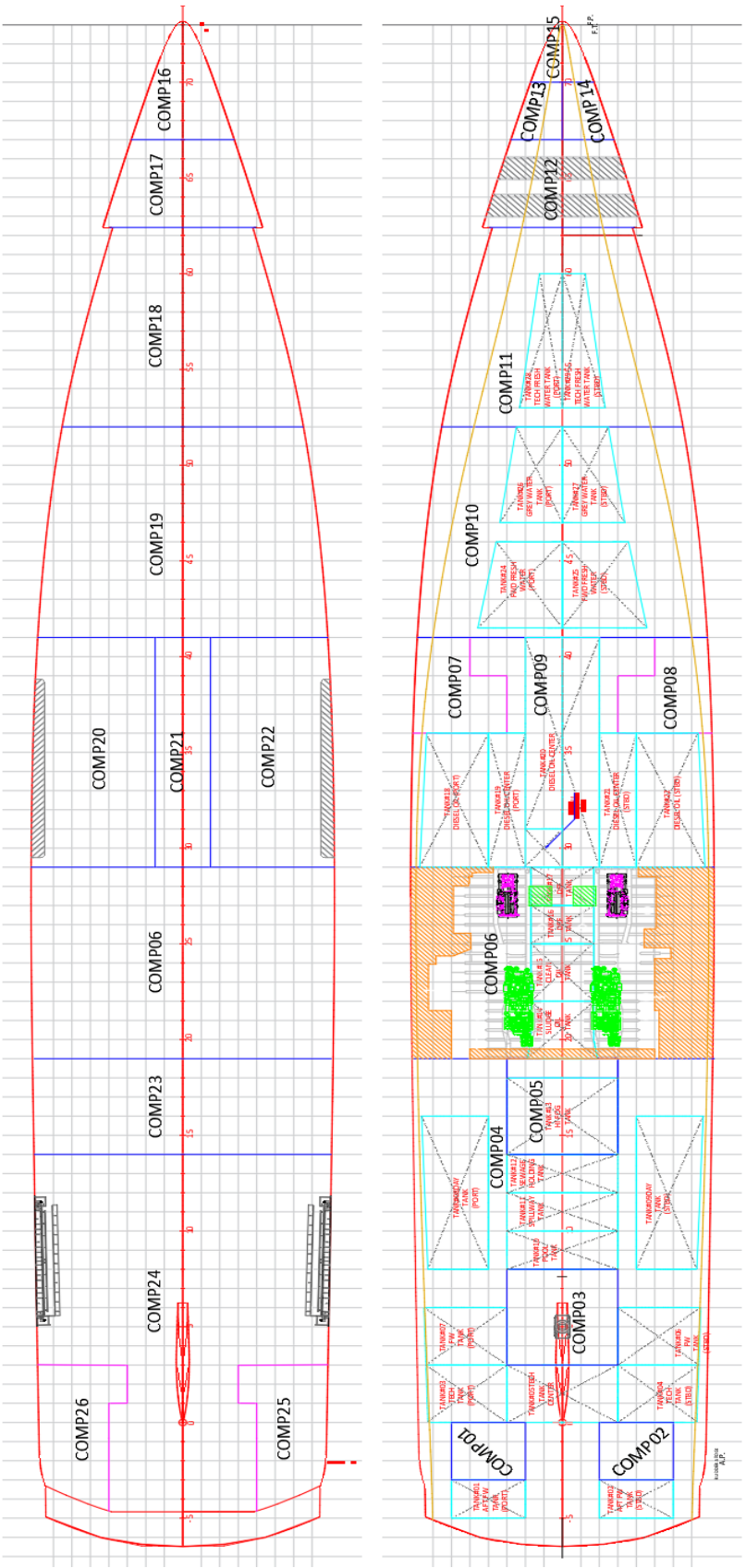
1. İskele Ana Makina
2. Sancak Ana Makina
3. İskele Jeneratör Ünitesi
4. Sancak Jeneratör Ünitesi
5. Teknik Ekipman Alanı
6. Sancak Üre Ünitesi
7. İskele Üre Ünitesi

Geminin geometrisine ve pervanenin konumlandırılması gereken konuma bağlı olarak, bu tip bir sistemde açılı bir şaft yerleşimi gerekmektedir. Açılı şaft yerleşimi nedeniyle, makinaya da açı verilmesi ve bu şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Açı verilerek yerleştirilen makina, konumu sebebiyle perde yerleşiminde oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Bu tip konvansiyonel yerleşimlerde makinanın konumu sebebiyle ara güverte yerleşimi yapmak mümkün değildir. Makina dairesinin tipik boyuna kesiti Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Genel yerleşim-a makina dairesi boyuna kesit gösterimi

Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi, ara güverte yerleşimi, makina ile kesişmektedir.



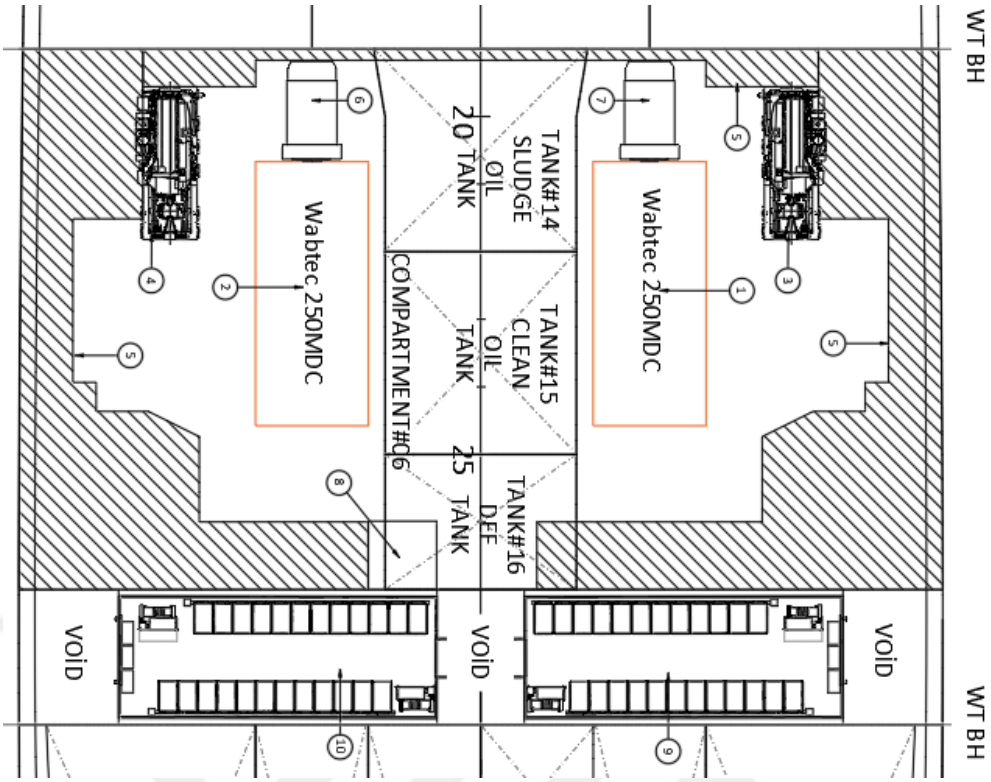
Şekil 5.6 Genel Yerleşim -a

5.2.2 Dizel-Elektrik Pod Sistemi - Genel Yerleşim B

Dizel elektrikli sistemler, belirli özellikleri sebebiyle son yıllarda daha yaygın hale gelmiştir. Şaftla kullanılan dizel elektrikli sistemler, konvansiyonel tipteki sistemlerle karşılaştırıldığında, efektiflik açısından konu tartışmalı kalmaktadır. Dizel elektrikli podlu sistemlerin kazanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

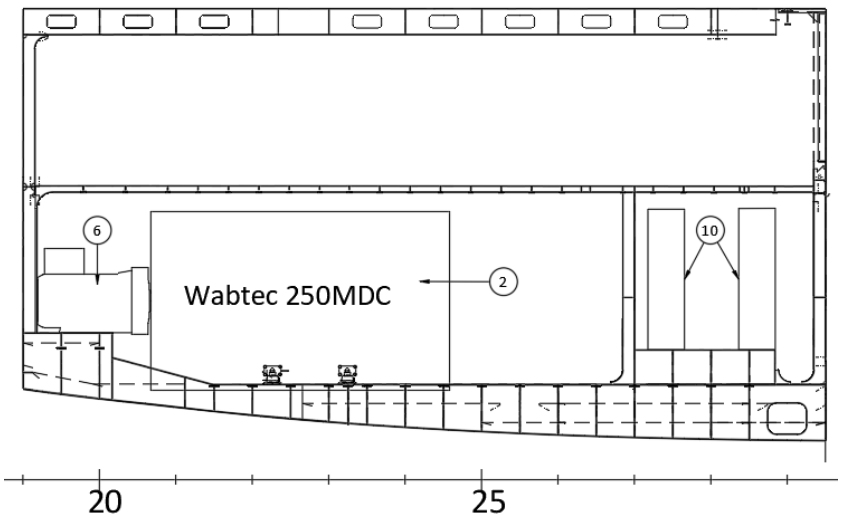
- Yüksek manevra kabiliyeti
- Pervaneye gelen akımda daha uniform karakterde akış
- Pod sistemi sayesinde daha düşük titreşim ve gürültü
- Daha esnek makina dairesi yerleşimi olanağı
- Daha efektif dinamik konumlandırma sistemi

Genel yerleşim B'de Şekil 5.7, itici elektrik gücünü üretmek için 2 adet Wabtec dizel makina ve 2 adet Cummins alternatör kullanılmıştır. Ayrıca, diğer genel yerleşim planında Şekil 5.4 olduğu gibi sadece otel yükleri (hotel loads) için 2 adet Volvo jeneratör yerleştirilmiştir. Wabtec motorları SCR sistemlerine ihtiyaç duymaması nedeniyle, bu düzenlemede jeneratörlerin SCR kullanımını sağlamak adına yalnızca bir adet SCR sistemi yerleştirilmiştir. Ana makinalar sayesinde azalan üre ihtiyacı ile, tüketimdeki azalmalar da hesaba katılarak, iki adet olan üre tanklarından biri sistemden çıkarılmıştır.



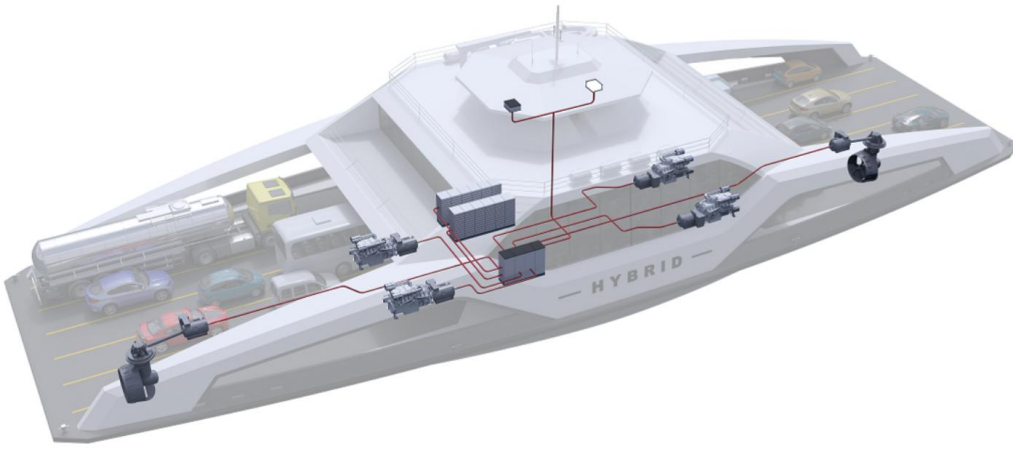
Şekil 5.7 Genel yerleşim-b makina dairesi plan görünümü genel yerleşim gösterimi

1. İskele Ana Makina
2. Sancak Ana Makina
3. İskele Jeneratör Ünitesi
4. Sancak Ana Makina Ünitesi
5. Teknik Ekipman Alanı
6. Sancak Ana Makina Alternatörü
7. İskele Ana Makina Alternatörü
8. Sancak Üre Ünitesi
9. İskele Batarya Ünitesi
10. Sancak Batarya Ünitesi



Şekil 5.8 Genel yerleşim-b makina dairesi boyuna kesit gösterimi

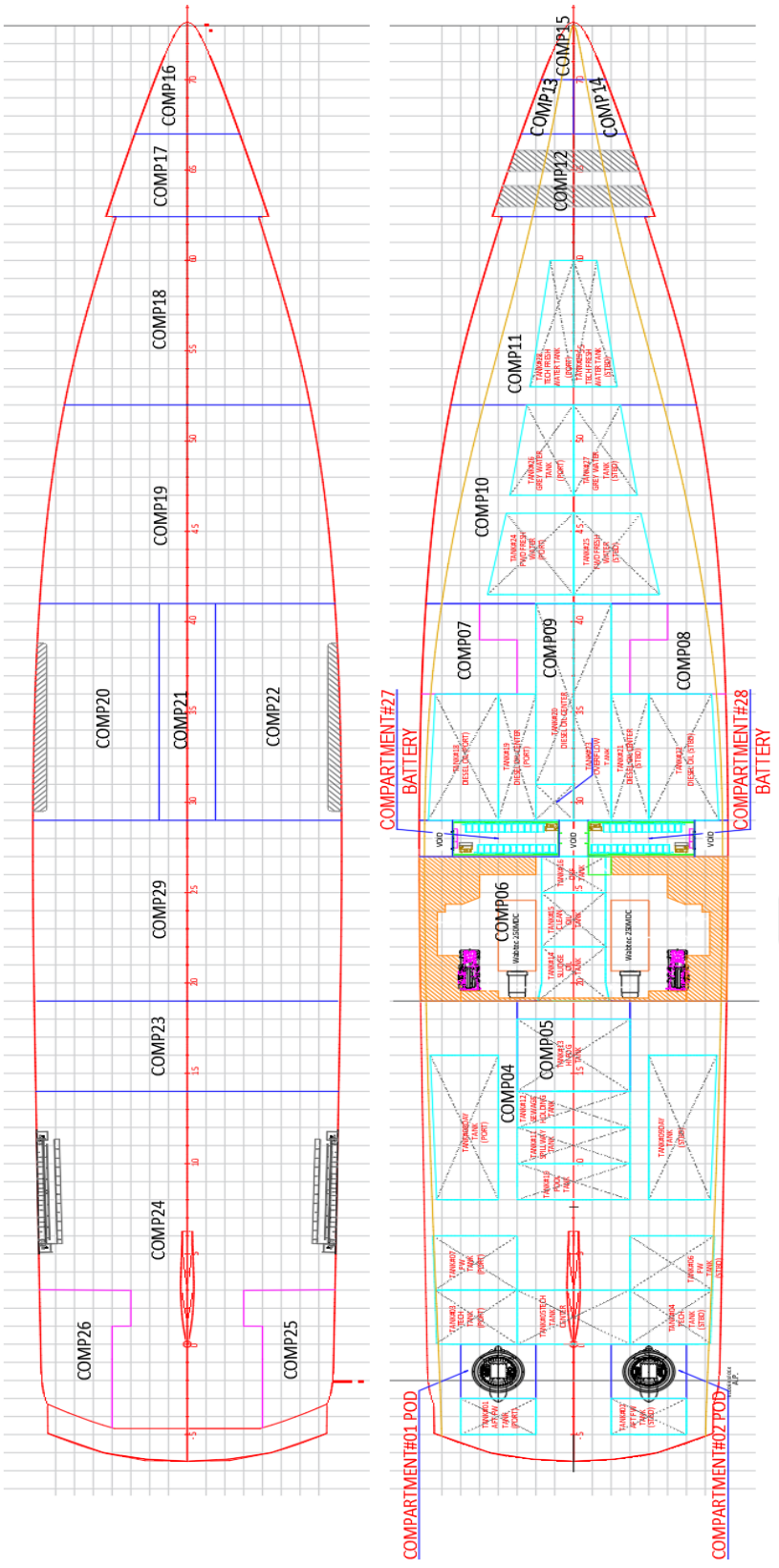
Genel yerleşim B'de, pod sistemi kullanıldığı için bir şaft yerleşimine ihtiyaç yoktur. Şaft yerleşiminin olmaması, genel yerleşim A'da gerekli olan açılı makina konumlandırmasına ihtiyaç olmadığı anlamına gelir. Bu sayede Şekil 5.6'da da görüleceği gibi, bir ara güverte yerleşimi sağlanabilmiştir. Sevk, pod sistemi ile sağlanacağı için kompartman planından dümen odaları çıkarılmıştır. Fakat podlar için arıca kompartman ihtiyacı olduğu için, podların ve donatım ekipmanlarının yerleştireceği bir kompartman oluşturulmuştur. Sistemin temel hibrit yerleşim planı, Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Hibrit sevk sistemi şematik gösterimi [21]

Ayrıca, bu sistemde liman içi kullanım, zincirdeyken sessiz kullanım ve ani yüklenmeleri podlara yansıtmamak adına 2 adet batarya odasına ihtiyaç

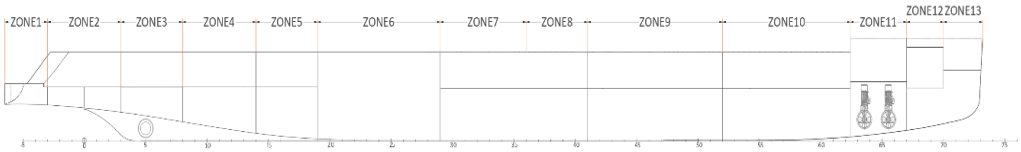
duyulmuştur. Bu batarya odaları, makina dairesinin baş tarafına yerleştirilmiştir. Güvenlik regülasyonlarının sağlanması adına batarya yerleşimi için 2'şer adet ek boş kompartman yerleştirilmiştir. Pod sisteminin kullanımı nedeniyle, kıç pervane sistemine ihtiyaç kalmamıştır, bu nedenle kıç pervane için oluşturulmuş olan kompartman bu yerleşimde kaldırılmıştır.



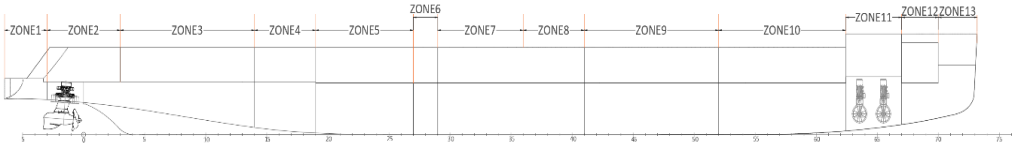
Şekil 5.10 Genel yerleşim-b

5.2.3 Hesap Sonuçları

İki yerleşim için oluşturtulmuş olan genel yerleşimler plan görünümde sırasıyla aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.11 Genel yerleşim-a profil görünümü



Şekil 5.12 Genel yerleşim-b rofil görünümü

Yukarıdaki profil kesitlerinde bölmelendirme yerleşimindeki farklar görülebilir. Dip yerleşimindeki değişiklikler nedeniyle B yerleşiminde, kıç bölgede 1 bölme kaldırılmış olup, makina dairesinin başına 1 adet ek bölme yerleştirilmiştir. Aşağıdaki tablodan, p_i faktörünün karşılaştırmalı tablosuna ulaşılabilir.

Tablo 5.5 pi değerleri karşılaştırması

Bölme	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Pi (GA-A)	0.0266	0.0266	0.0762	0.0190	0.0444	0.0033	0.0351	0.0190	0.0762	0.0697	0.0161	0.0072	0.0240
Pi (GAB)	0.0266	0.0266	0.0190	0.0266	0.0190	0.0651	0.0351	0.0190	0.0762	0.0697	0.0161	0.0072	0.0240

Tablo 5.6 Genel yerleşim a'nın draft değerleri ve bölme kombinasyonlarına göre indeks-a

Genel Yerleşim-A	ds	dp	dl
1 Bitişik Bölme	0.429	0.429	0.443
2 Bitişik Bölme	0.259	0.298	0.270
3 Bitişik Bölme	0.083	0.065	0.051
4 Bitişik Bölme	0.014	0.012	0.009
Ağırlıklandırma	0.4	0.4	0.2
A	As	AP	Al
0.790	0.314	0.322	0.155

Tablo 5.7 Genel yerleşim b'nin draft değerleri ve bölme kombinasyonlarına göre indeks-a

Genel Yerleşim-B	ds	dp	dl
1 Bitişik Bölme	0.419	0.418	0.417

Tablo 5.7 Genel yerleşim b'nin draft değerleri ve bölme kombinasyonlarına göre indeks-a (devamı)

2 Bitişik Bölme	0.296	0.352	0.296
3 Bitişik Bölme	0.056	0.037	0.034
4 Bitişik Bölme	0.009	0.009	0.009
Ağırlıklandırma	0.4	0.4	0.2
A	As	AP	Al
0.790	0.312	0.326	0.151

Yukarıdaki değerler tablosu ve indeks-A'lar arasındaki farklardan anlaşılacağı üzere genel yerleşim planındaki sevk sistemi kaynaklı değişiklikler, indeks-A üzerinde büyük bir fark yaratmamıştır.

5.3 Perde Yerleşiminin İndeks-A'ya Olan Etkisinin İncelenmesi

Bir geminin hasarsız stabilite hesapları, hasarlı stabilite hesaplamalarının sonuçlarını etkileyecektir. Hasarlı stabilite hesaplamaları için gerekli olan birkaç girdiden biri, farklı yükleme koşullarına ait ağırlık merkezi ve su çekimi değerleridir. Yüksüz gemi ağırlığının ve ağırlık merkezinin konumunu tahmin etmek ve hasarsız stabilite hesabı için farklı yükleme koşulları belirlemek bu tezin kapsamına girmediğinden, su hattı değerlerini tahmin etmek için referans gemiler kullanılmıştır.

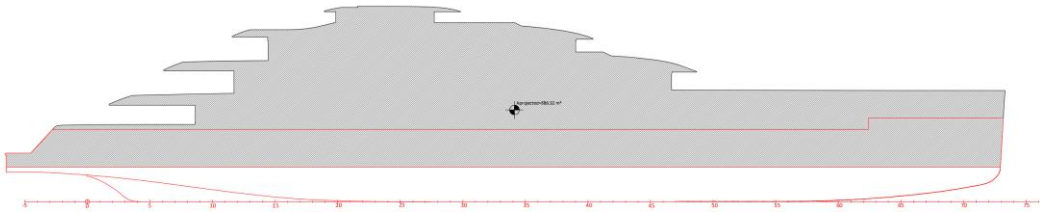
5.3.1 Yükleme Koşulları ve GM Değerlerinin Belirlenmesi

Bu gemi için farklı yükleme koşullarına ait su çekimi değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiş olup bir önceki bölümde gösterilmiş olan hesap detayında kullanılan yükleme koşullarıyla aynıdır. En hafif öngörülen yükleme koşulu $D_ı$ olup, D_s en derin öngörülen bölme su çekimidir ve yaz yükleme hattı su çekimine karşılık gelmektedir [22]. Benzer yükleme koşullarına sahip gemilerde kullanılan yükleme durumlarından yola çıkılarak, ölçek boyutunda ortaya çıkabilecek farklılıklar hesaba katılmış ve buna göre boyutlandırma yapılmıştır. GM değerleri yukarıda Tablo.5.2'de işlenmiştir. GM değerinin tahmini yeri sınırlayıcı KG hesapları sonucunda ve benzer tasarımların KG değerleri esasınca belirlenmiştir.

5.3.2 Üst Yapı

Yatın üst yapısı benzer yatlara göre modellenmiş olup ölçek faktörü hesaba katılarak boyutlandırılmıştır. Üst yapının projeksiyon alanı, gemi üzerine etki

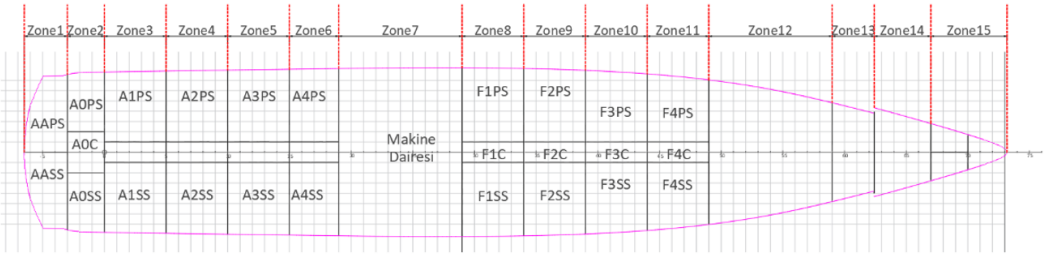
edecek olan rüzgâr momentini belirleyecek olup, geminin yaralanma durumunda hayatta kalabilme özelliğini belirleyecektir. Bu unsur, hesaplama sonucuna etki edecek önemli faktörlerden biri olduğu için referans gemilere göre tasarlanmıştır (Şekil 5.10).



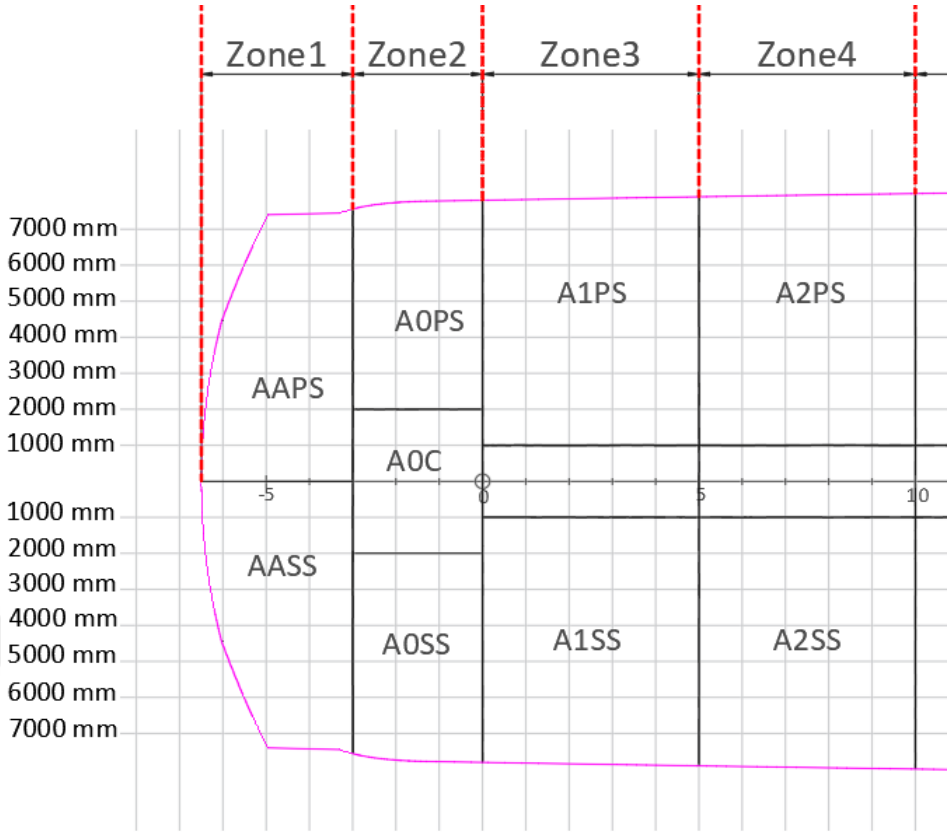
Şekil 5.13 Üst yapıya ait rüzgâr projeksiyon alanının profil görüntüsü

5.3.3 Perde Yerleşiminin Belirlenmesi

Çalışmada, mümkün olduğunca genel sonuçlar sağlanmaya çalışmıştır. Tank ve perde yerleşimi, genel bir sonuç elde edilebilmesi ve bir ön tasarım fikri verebilmesi için düzenlenmiştir. Bu kapsamda, benzer tiplerde kullanılan kompartman planına sadık kalınması amaçlanmıştır. Kıçta, dümen dairesi için tasarlanmış kompartmanlar değiştirilmemiştir. Ana güverteye kadar uzanan makina dairesi de hesap boyunca sabit hacimde bırakılmıştır.

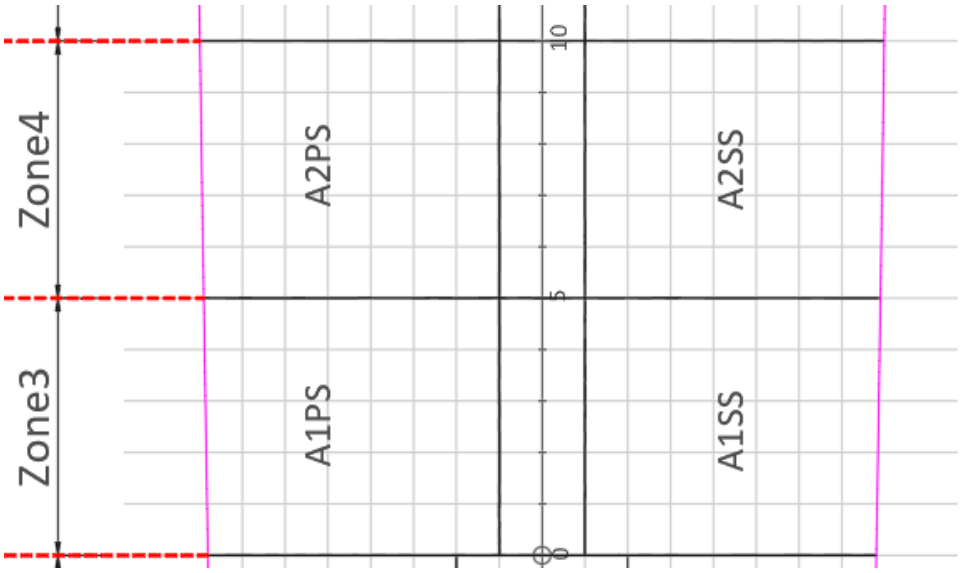


Şekil 5.14 Tipik plan görünüm



Şekil 5.15 Kıç bölgesinden tipik plan görünüm

Şekil 5.15'te tipik kıç görünüm olarak verilen plan görünümden anlaşılacağı üzere, A_x ile başlayan ikiz tank yerleşimi, başa doğru devam eder. Şekil 5.16'da görüleceği üzere kıçtan başa doğru A_x ile başlayarak makina dairesi kıç perdesine kadar devam eder ve totalde 3 enine perdeyle bölmelendirilir. İskele ve sancak olarak ikiz olan tanklar A_xPS iken sancakta A_xSS olarak isimlendirilmiştir. Makina dairesinin baş perdesinden itibaren ise toplam iki kompartman ilerleyerek devam eden bir tank sistemi oluşturulmuştur. Baş perde önündeki tanklar ise F_xPS/F_xSS olarak adlandırılmıştır.



Şekil 5.16 Plan görünüm tank/kompartman isimlendirme detayı

Makina dairesi ve sevk sistemine ait kompartmanlar, basit direnç hesaplarına göre seçilmiştir. Benzer teknelerdeki ekipman yerleşimleri ve gerekli hacimlere bakılarak, çalışmadaki gemide uygun hacimler belirlenmiştir. Öyle ki, buradaki hacimler, bir önceki bölümde referans verilmiş olan konvansiyonel sisteme sahip dizel yatın gereksinim duyduğu kompartman hacimlerine göre belirlenmiştir.

5.3.4 Enine Perdelerin Yerleşimi

Deterministik yaklaşım, yaralanma sonrasında bir geminin hayatta kalabilirliğini incelemek için kullanıldığında, yaralanma boyutu SOLAS Ch. II-1, 198, regülasyon kodu 1-54'te yer alan denklem 1 [16] kullanılarak hesaplanır. Olasılıklı yaralı stabilite yaklaşımında ise yaralanma boyutu sınırlanmaz ve tüm yaralanma uzunlukları dikkate alınır. Olasılıklı düzenlemeler, SOLAS Ch. II-1, Bölüm B-1, Reg. 6 ve 7'de yer almakta olup, karaya oturma kaynaklı hasarları dikkate almaz. Su hattının altındaki hasar senaryoları ise Reg. 9'da açıklanan deterministik yaklaşım kullanılarak değerlendirilir. Bu nedenle, enine perdeler arasındaki mesafe Regülasyon 9'da tanımlanan hasar boyutuna göre belirlenmiştir.

$$Yaralanma\ Boyu = \min\left(\frac{1}{3} \cdot L^{\frac{2}{3}}, 14.5\right) \tag{5.1}$$

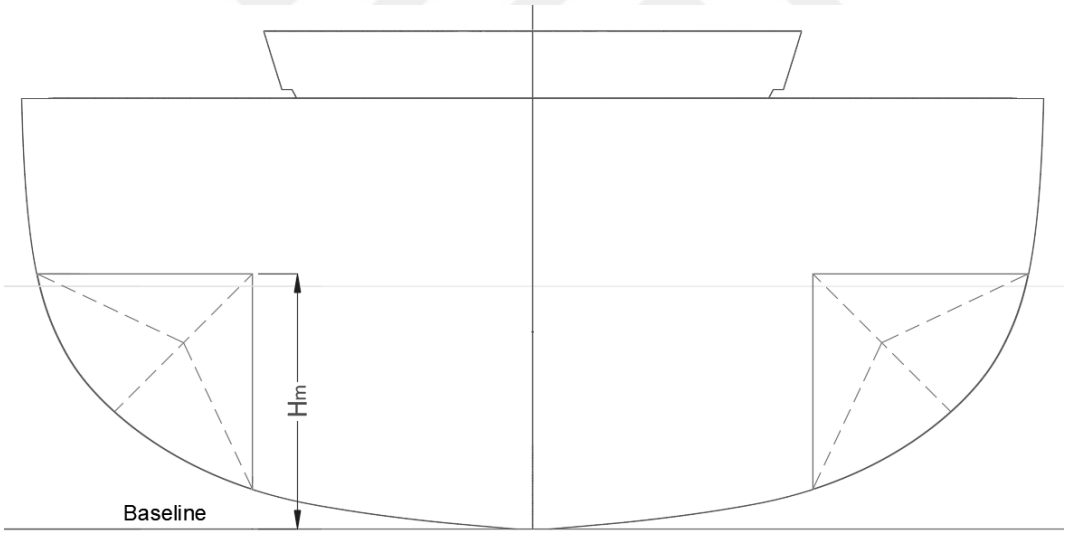
Burada L kural boyunu temsil eder. Yaralanma boyu hesaplandıktan sonra, enine perdeler taban hasarı iki enine perdeyi birden içermeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Eğer mesafe, maksimum hasar boyutundan daha küçük olursa, bir hasar durumu üç

bölgeyi kapsayabilir. Bu durum istenmeyen bir senaryo olduğundan, maksimum hasar boyutunu aşan en küçük mesafe seçilmiştir. Bu çalışmada regülasyon 9 kapsamında taban hasarları incelenmemiştir. Ancak, daha gerçekçi düzenlemeler elde etmek amacıyla, enine perdeler arasındaki mesafe Regülasyon 9'a göre belirlenmiştir.

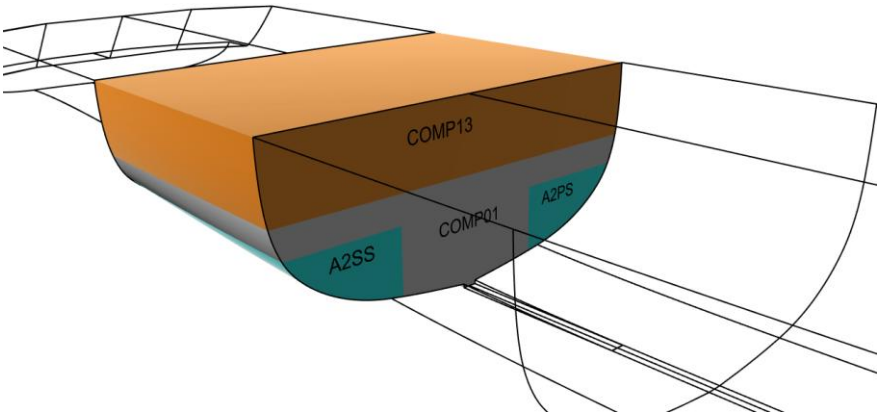
Merkez hattından borda hattına doğru boyuna perdelerin yeri her 25cm'de bir değiştirilerek, boyuna perdelerin enine konumunun hesaplanan indeks-A'ya olan etkisi incelenmiştir

5.3.5 Tank Yüksekliklerinin Yerleşimi

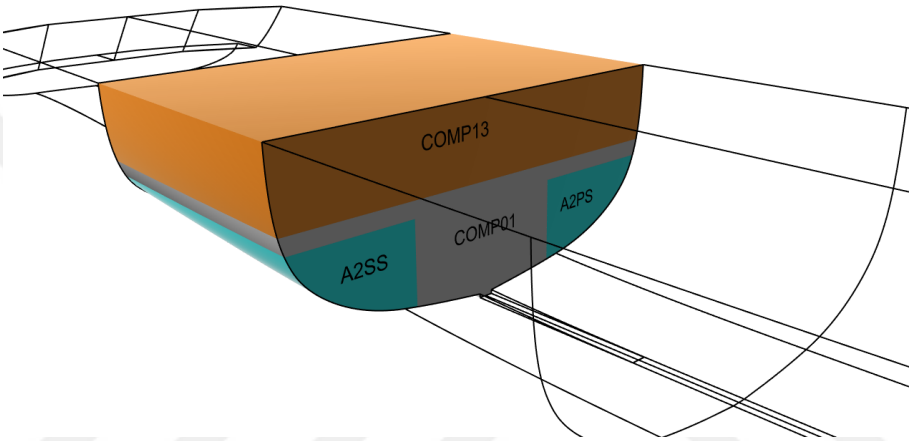
Bu çalışmada, tankların boyuna sınırlayıcıları yansıra dikey sınırlayıcıları da incelenmeye çalışılmıştır. Bununla beraber kompartmanları bölen bu tankların, dikey sınırlayıcılarının da hesaplanan indeks-A'yı ne oranda etkilediği incelenmiştir. Bunu yaparken, tanklar için 3 farklı yükseklik belirlenmiştir. Tanklar 3m, 3.5m ve 4.1m yükseklikleriyle ayrı ayrı incelenmiştir.



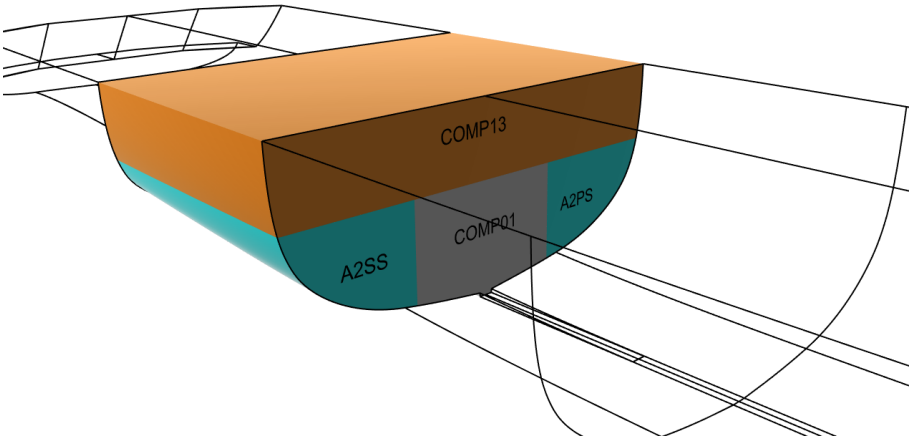
Şekil 5.17 Tanklar için tipik Hm gösterimi



Şekil 5.18 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=3.0m



Şekil 5.19 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=3.5m



Şekil 5.20 A2SS-A2PS kodlu tankların yükseklik gösterimi v=4.1m

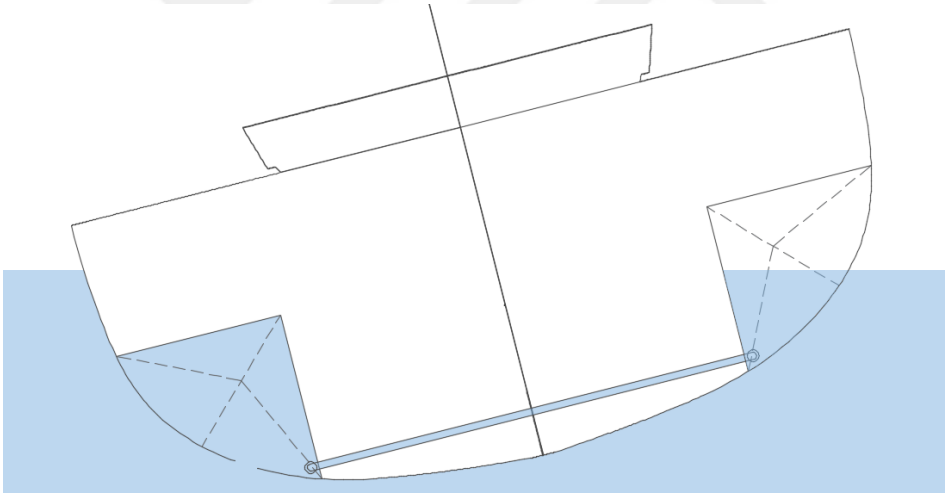
5.3.6 Kavanca Valfleri (Cross-Flooding Valve)

Kavanca sistemi, çoğunlukla yaralanma sonucu asimetrik su basmasını dengelemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemde tanklar, geminin iskele ve sancak

yönlerinde simetrik olarak konumlandırılır. Bu iki tankın aralarına yerleştirilen bir bağlantı hattı ile iki taraftan herhangi bir tankın yaralanması durumunda, çapraz su transferi sağlanmış olur. Bu sayede asimetrik bir denge durumunun önüne geçilir.

Yukarıda anlatılan yaralanma senaryoları tek taraftan gerçekleşen asimetrik yaralanmaları içermektedir. Denge durumunda her zaman için iskele ya da sancak tarafa doğru sonuçlanmaktadır. Kavanca valf sistemi ile yaralanan tankın yaralanmayan diğer tarafla bağlantısı sağlanarak denge durumunun daha düşük bir meyil açısı ile sonuçlanması sağlanır. Deterministik yaralı stabilite hesaplarında, simetrik yaralanma denge durumu açısından son derece önemlidir. Burada da kavanca valf sisteminin olasılıklı yaralı stabiliteye olan etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Önceki bölümlerde bahsedilen perde aranjmanı aynı şekilde bu hesaplarda da kullanılarak, sisteme kavanca valfleri eklenmiştir ve hesaplanan indeks-A'ya olan etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21 Kavanca valf sistemi, yaralanma sonrası gösterimi

5.3.7 Sınırlamalar

Bu bölümde, çalışmayı sınırlayan ve çalışmanın belirsizlik taşıdığı faktörlere değinilecektir.

- **Si, Faktör Hesabı**

S_i faktör hesaplanırken, aşağıda verilen moment hesapları kullanılır, bu formüller önceki bölümlerde verilmişti. Bu momentler ikisi, yat için yapılan hesap sırasında

kullanılmış olup bunlar rüzgâr kaynaklı yatırıcı kuvvetlerden ve yolcu haraketliliği sonucu oluşan yatırıcı momentlerden oluşur.

$$S_i = minimum\{s_{intermediate,i} or\ s_{final,i} \times s_{mom,i}\}$$

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{max} - 0.04).Displacement}{M_{heel}}$$

$$M_{passanger} = (0.075 \times N_P) \times (0.45 \times B)$$

$$M_{wind} = (P.A.Z)/9.806$$

Bu çalışmanın amacı benzer gövde formuna sahip motor yatlar için genel bir sonuç elde etmek olduğu için, yolcu sayısı ve üst yapının geometrisi nedeniyle ortaya çıkabilecek yatırıcı rüzgar yükleri sonuçlarda değişikliğe sebep olabilir.

5.3.7.1 Geminin Karakteristikleri

- **Gövde Formu**

Gövde geometrisi önemli bir faktördür, yatın modellenmesi sırasında benzer gemiler kullanılmış olsa da direnç ve benzeri diğer faktörler göz ardı edilmiştir. Diğer optimizasyon faktörleri göz önüne alındığında, yatta yapılacak mühendislik bazlı değişikliklerin hesaplanan indeks-A'da nasıl değişikliklere sebep olacağı belirsizdir.

- **Ağırlık Merkezinin Düşey Konumu (KG)**

Ağırlık merkezinin düşey konumunun (KG) belirlenmesinde izlenen yol yaklaşıma dayanmaktadır ve bölüm 5.1'de bulunabilir. KG, GZ'i doğrudan etkilediği için analizlerin bütününü etkilemektedir. Farklı gemiler, farklı gövde formları için su altı formu değişebileceği gibi KG de değişecektir. Bu anlamda KG değeri için hesaplana indeksin nasıl gelişeceği belirsizlikler taşır. Bu çalışmada, hasarsız stabilite bazlı bir sınırlayıcı KG hesabı yapılmış ve bu hesaba bağlı bir sınırlayıcı KG grafiği elde edilmiştir. Bölüm 5.1'de de açıklandığı gibi yaklaşım yoluyla elde edilmiş olan yükleme kondisyonlarına denk gelen sınırlayıcı KG değerleri belirlenmiştir ve mevcut yükleme durumlarında bu KG'ler kullanılmıştır.

5.3.7.2 Genel Yerleşim

Bölüm 5.2'deki yerleşim planı üzerinden bölüm 5.3'teki yerleşim planları türetilmiştir. Yatlar, sınırlı teknik alana sahip olduğu için tüm tankların bordaya dayandırılması farklı teknik sebeplerce her zaman mümkün olmayabilir.

- **Kavanca Sistemi**

Çalışmanın diğer aşamasında, gösterildiği üzere kavanca valf sistemiyle, asimetrik yaralanmanın önüne geçildiği durumda, yatın hayatta kalma olasılığı artmakta ve daha güvenli olmaktadır. Bu da göstermektedir ki tasarımcı bu aşamada bu tip bir sistemle asimetrik yaralanmaların önüne geçmek isteyecektir. Fakat bu aşamada kavanca valf sisteminin bütün tanklara yerleştirilmesini sınırlayan bazı faktörler mevcuttur. Bu faktörlerden biri, yatların büyük konfor alanlarına olan talep nedeniyle oldukça dar bir teknik alanla sınırlandırılmasıdır. Bu da bütün tankların borda yönünde dayandırılmasını engeller. Tanklar çoğunlukla dip yapısına yerleştirilir ve yetersiz alan nedeniyle asimetrik yerleştirilmeleri olasıdır. Çalışmada kullanılan bütün tanklar ikiz bir şekilde yatın borda yönüne dayandırılmıştır.

- **Su Girme Açısı**

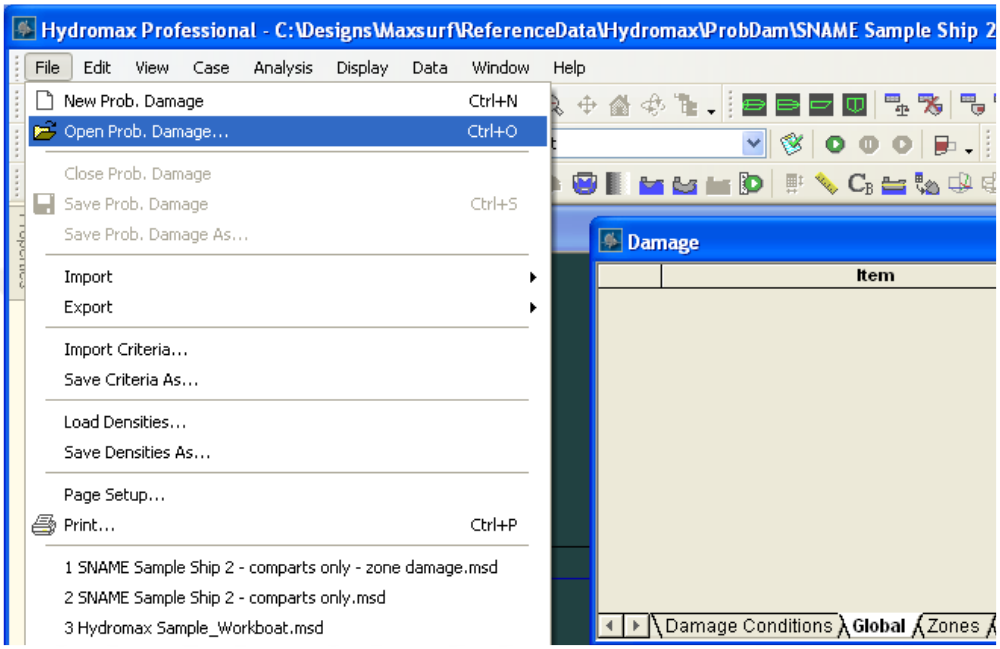
Kapılar, havalandırma açıklıkları, borda açıklıkları gibi açıklıklar, Maxsurf'te meyil sırasında ilk suya giriş açısını belirlemek için veya kompartmanlar arası akışı belirlemek için tanımlanır.

Ancak bu açıklıklar, geminin genel yerleşimi ve havalandırma tasarımına bağlı olarak değişebilir. Bu tanımlanan açıklıklar, zaten uzun olan hesaplama sürecini daha da uzatabilmektedir. Bu sebeplerle, bu açıklıklar modelde tanımlanmamıştır.

5.3.8 Maxsurf - Olasılıklı Hasarlı Stabilite Modülü

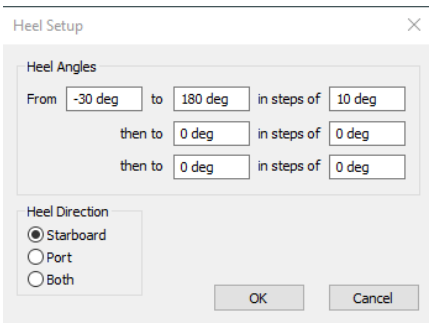
Bu çalışmada, hesaplamalar için Bentley's Maxsurf yazılımı kullanılmıştır. Maxsurf, bu hesabın regülasyon doğrulamasını, IMO MSC.421(98), MSC.216(82) ve IMO MSC.19(58) düzenlemelerine göre sağlamaktadır. SC.216(82) hem kuru yük gemileri hem de yolcu gemilerine uygulanabilirken, MSC.19(58) yalnızca kuru yük gemileri için geçerlidir [20]. Temelde, olasılıklı hasarlı stabilite analizi, bir dizi geniş açılı stabilite analizi ile gerçekleştirilir. IMO kriterlerini kullanarak GZ

eğrisinin belirli parametrelerine bağlı olan bir s-faktörü belirlenir. GZ eğrileri, farklı hasar koşulları ve çeşitli yük durumları için hesaplanır. Her durum için bir p-faktörü hesaplanabilir. Geminin elde edilen bölmelendirme indeksi, p-faktörlerine karşılık gelen s-faktörleriyle çarpımlarının toplamı olarak bulunur. Daha sonra, elde edilen bölmelendirme indeksi, gerekli bölmelendirme indeksi ile karşılaştırılarak geminin yeterli bir güvenlik seviyesine ulaşıp ulaşmadığı belirlenir [23].



Şekil 5.22 Maxsurf olasılıklı yaralı stabilite hesabı modunun seçimi

Program arayüzünde olasılıklı hasarlı stabilite hesaplama modu seçildikten sonra, hesap içerisinde kullanılacak olan meyil açısı ve aralıkları seçilebilir.

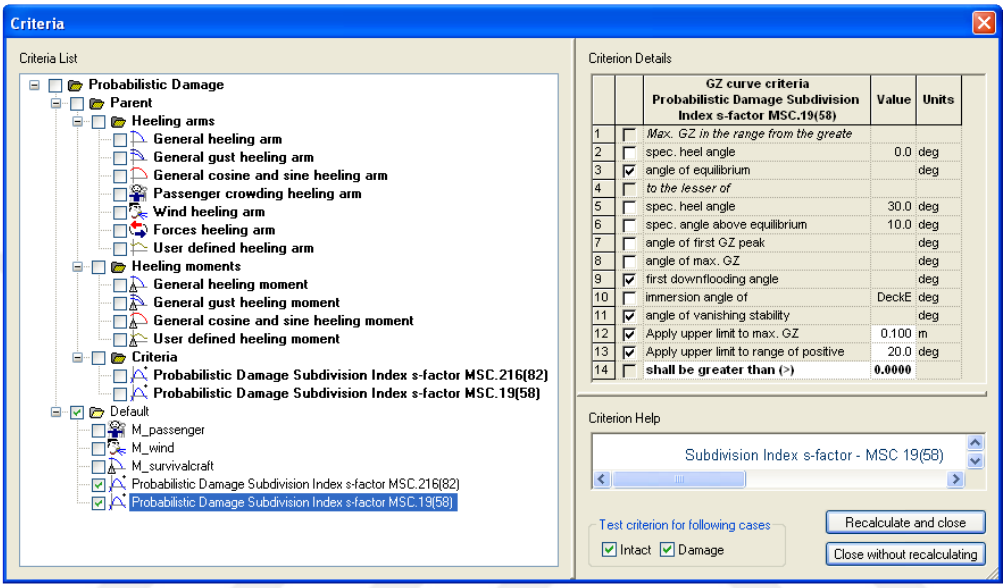


Şekil 5.23 Maxsurf meyil açıları seçim ekranı

Olasılıklı yaralı stabilite analizi sırasında, geminin hem iskeleye hem de sancağa meyil yapmasını kontrol etmek mümkündür. Tankların balast ya da yük içermesi halinde hasar oluştuğu durumda, geminin hangi yöne yatacağı belirsiz olması

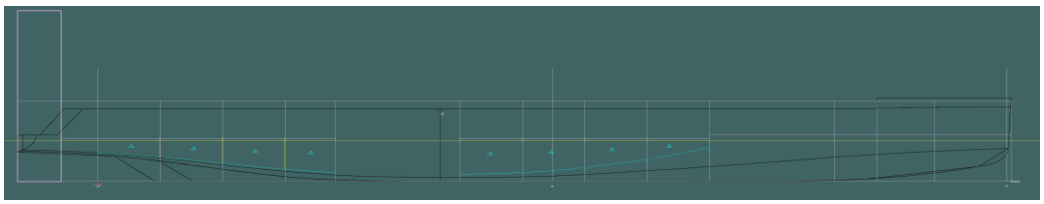
karşısında bu hesap eklentisi oldukça faydalı olmaktadır. Fakat yaralanma durumları belirli ve kontrol edilmiş ise hem iskele hem de sancak yönünde meyil kontrolünün yapılmasının anlamı yoktur, aksi takdirde hesaplamalar oldukça uzun sürecektir ve zaman kaybına yol açacaktır.

Olasılıklı yaralanma kriterler seti, seçilen gemi tipine göre belirlenir ve Şekil 5.24'te Maxsurf seçim ekranı gösterilmiştir.



Şekil 5.24 Maxsurf olasılıklı yaralı stabilite regülasyon seçimi ekranı

Spesifik gemi bilgi girişi ve model tanımı sonrası, boyuna bölmelendirme özellikleri, kullanıcının tercihine göre belirlenir. Boyuna bölmelendirme sonrası oluşan şema şekilde gösterilmiştir.

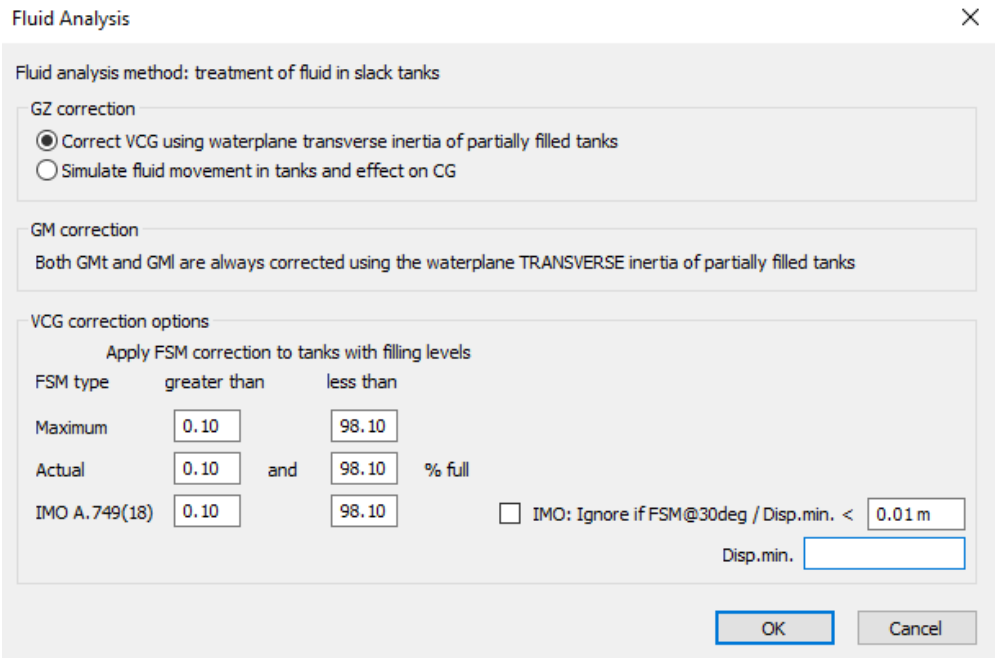


Şekil 5.25 Maxsurf boyuna bölmelendirme gösterimi

Şekil 5.25, Maxsurf arayüzündeki bölmelendirme gösterimidir. Pembe kutucuklar, boyuna bölmeleri göstermektedir. Şeklin solunda görülen ve gemi yüksekliğini aşan kutucuk, maksimum yaralanma yüksekliğini temsil etmektedir.

Boyuna bölmelendirmelerden sonra, dikey yükseklikler ve boyuna perdelerin yarı mesafeleri bordadan ölçülerek girilir. Kompartmanlara ve tanklara ait permabilite değerleri, tank ve kompartman modellerinin hazırlandığı sekmede belirlenir. Bu permabilite değerlerinin teorik kabullerine SOLAS 2018 Part B-1 Reg.7-3' ten ulaşılabilir. Analizler sonucunda her bir bölmenin enine yaralanma olasılığı, bitişik yaralanma olasılıkları gözlemlenebilir. Dikey yaralanmalar ve boyuna perdelere olabilecek penetrasyonların olasılıkları da bitişik yaralanma olasılığı çıktısı olarak alınabilmektedir.

Meyil açısının aralığı ve açı adımları belirlenen değerlerce ayarlanabilmekte olup spesifik aralıklarda daha dar açılar seçilebilir. Bununla beraber serbest yüzey etkisi, teorik olarak hesaplanabileceği gibi analizler boyunca sıvı hareketi hesaplanıp, her meyil açısı için gerçek KG değeri çıktısı alınabilmektedir.



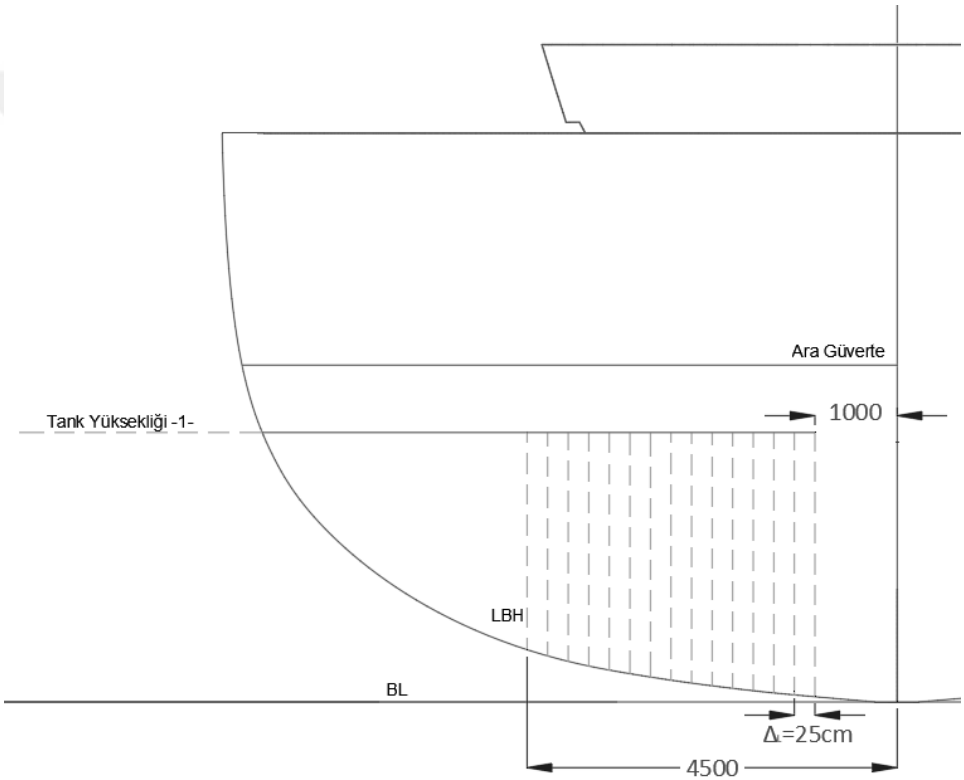
Şekil 5.26 Maxsurf sıvı analizi seçim ekranı

Burada yapılacak olan hesaplarla ilgili zaman kapasitesinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Sıvı hareketliliği simülasyonlarında, gerçek sıvı hareketlerinin seçimi, hesaplama süresini uzatacaktır. Öte yandan meyil açısında seçilecek meyil aralıklarının düşük derecelere ayarlanması da aynı şekilde hesap süresini uzatacaktır. Bu iki analiz seçimi beraber çalıştığı için, yapılacak seçimler hesap süresini katlayarak uzatabilmektedir.

Bu çalışmada, yürütülen hesap adımlarının fazla olması ve olasılıklı yaralı stabilite hesaplarının zaman alan hesaplar olması nedeniyle gerçek sıvı hareketlerinden hesaplanan KG düzeltmesi seçeneği kullanılmamıştır.

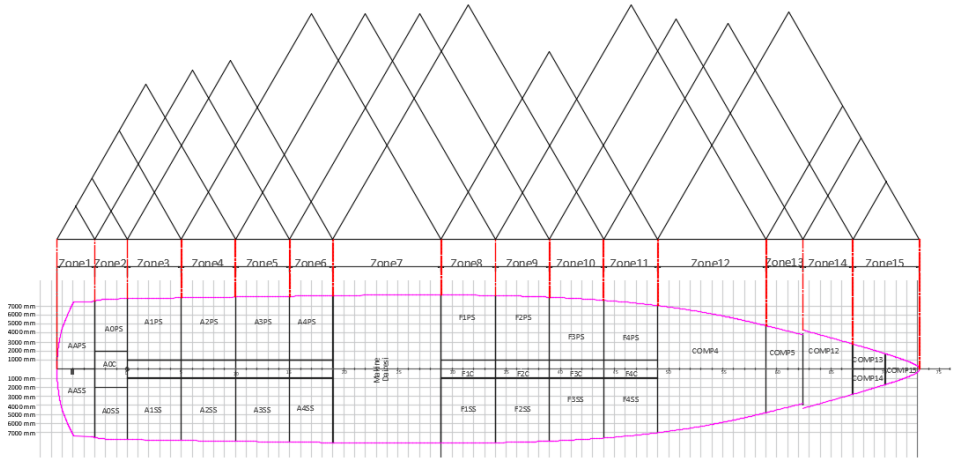
5.3.9 Hesap Sonuçları

Baltabaş bir yatta, öncelikle tank-kompartman yerleşimindeki farklı boyuna perde konumlarının indeks-A'ya olan etkisi incelenmiştir. Sonrasında 25 cm aralıklarla, merkezden bordaya boyuna perdeler ötelenmiş, tank yükseklikleri 3 farklı yükseklikte incelenmiştir. Aynı senaryolarda kavanca valf sistemi varlığında indeks-A'ya olan etkisi incelenmiştir.

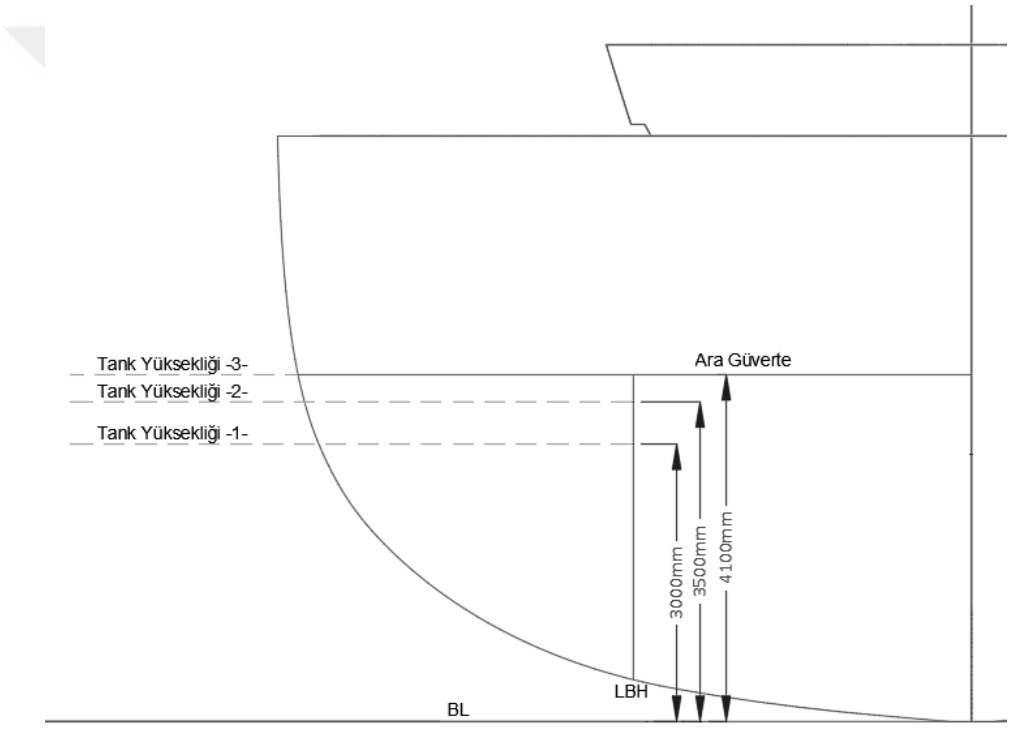


Şekil 5.27 Boyuna perdelerin kademeli değişimi

Bu bölümde olasılıklı yaralı stabilite hesaplarının sonuçları sunulmaktadır. Burada bazı tank konumlandırmaları, yerleşim açısından genel geçer bir uygulama tarzı değildir. Hem hesaplamalar arası geçişi hızlandırmak hem de hesap sürelerini kısaltmak adına sistematik bir tank yerleşimi yaratılmaya çalışılmıştır.

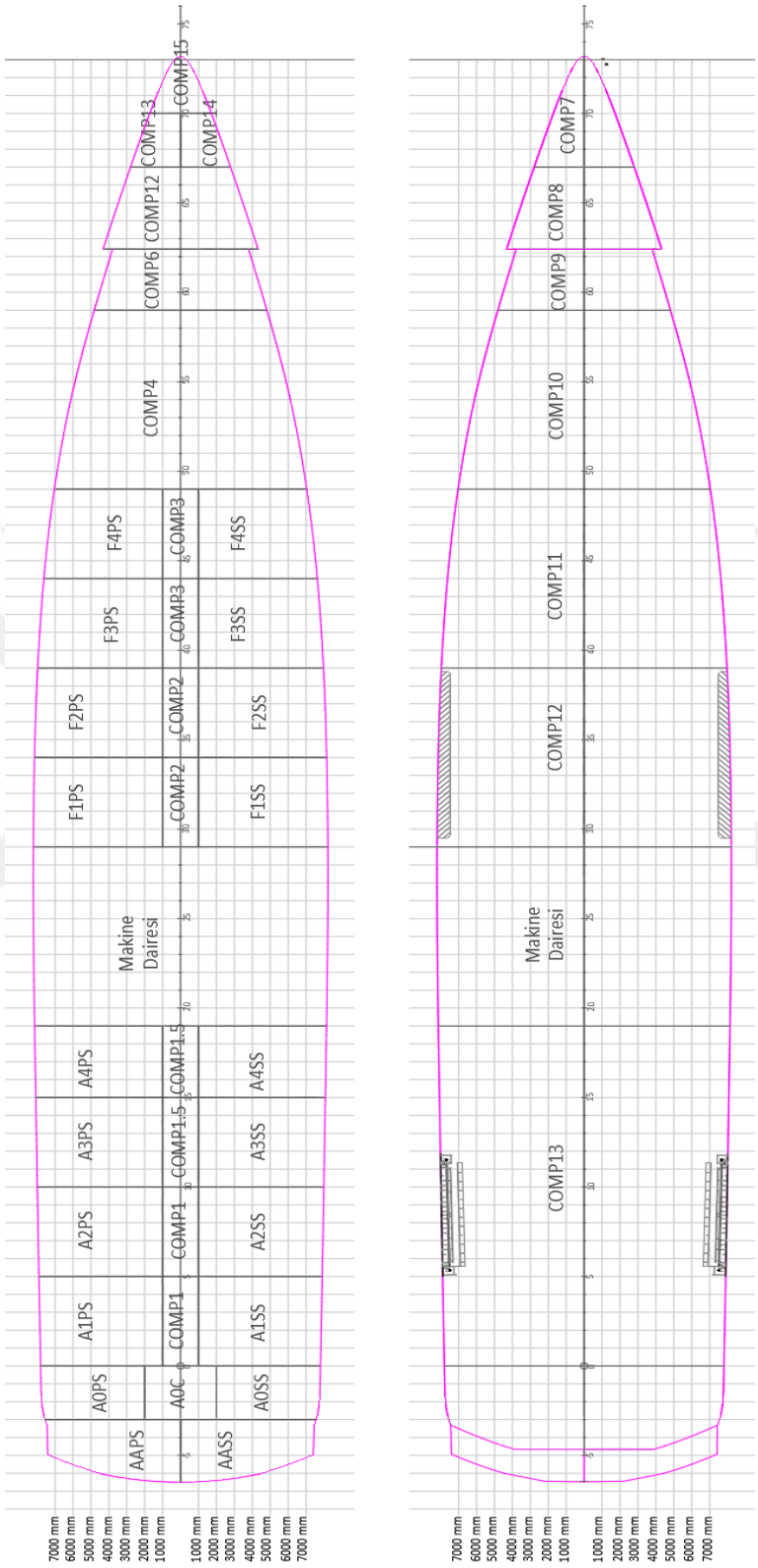


Şekil 5.28 Ardışık 4 bitişik bölme yaralanması durumumda yatın olasılık üçgeni



Şekil 5.29 Tank yüksekliklerinin enine kesit gösterimi (her tank yüksekliği için ayrı göster)

5.3.10 Yatın Yerleşim Gösterimi

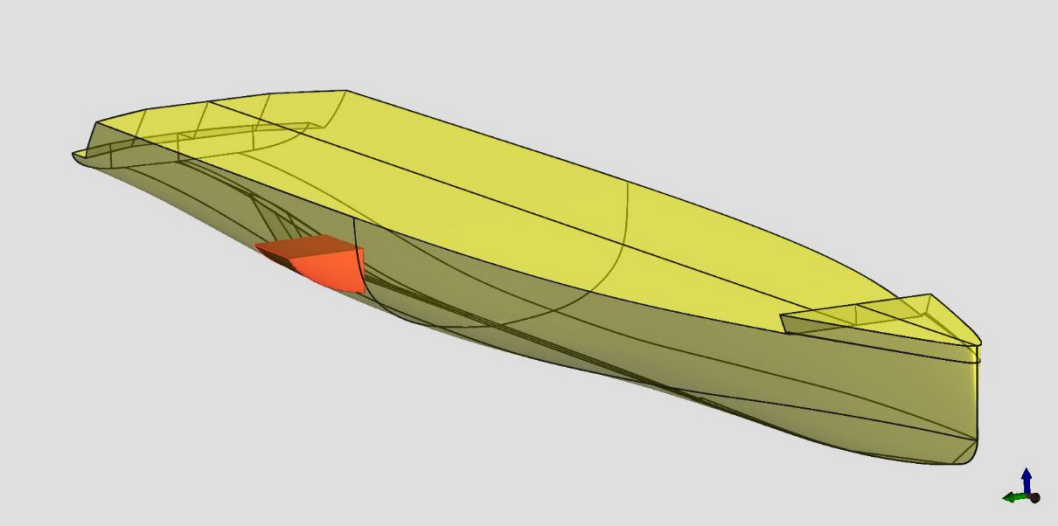


Şekil 5.30 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

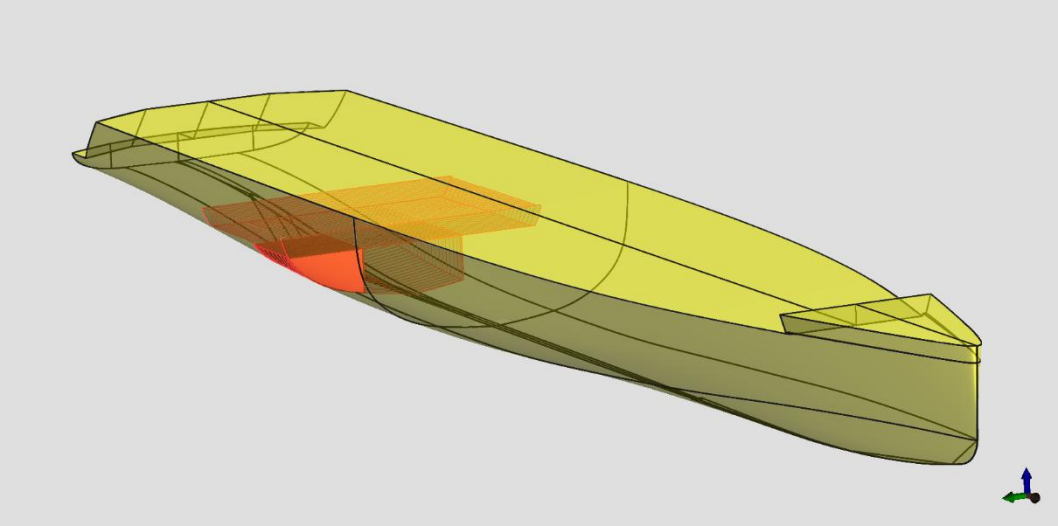
5.3.11 Asimetrik Yaralanma Örnekleri

Bu bölümde farklı tank yüksekliklerindeki asimetrik yaralanma şekillerine örnekler gösterilmiştir. Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 3.0m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.

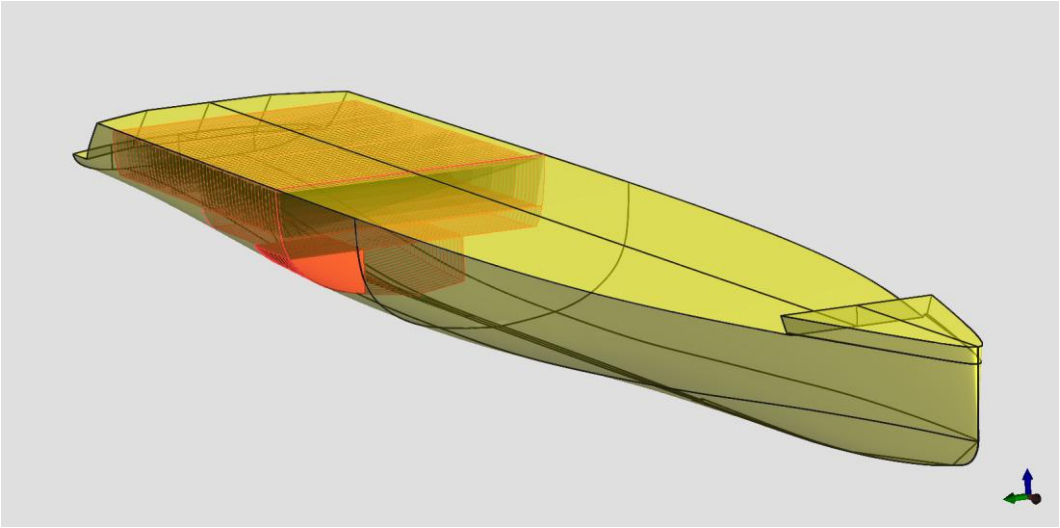
- **v=3.0m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**



Şekil 5.31 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum



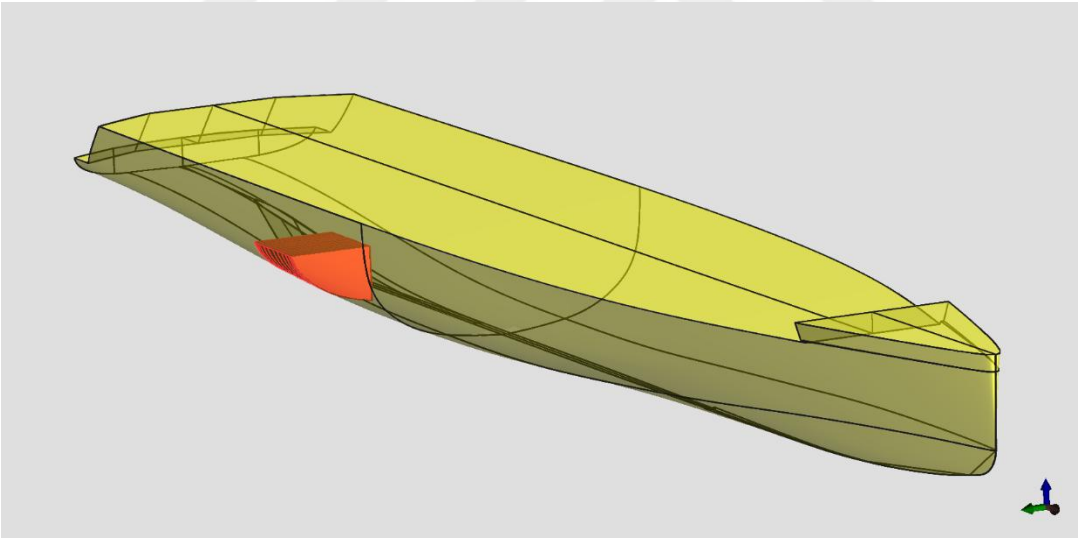
Şekil 5.32 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum



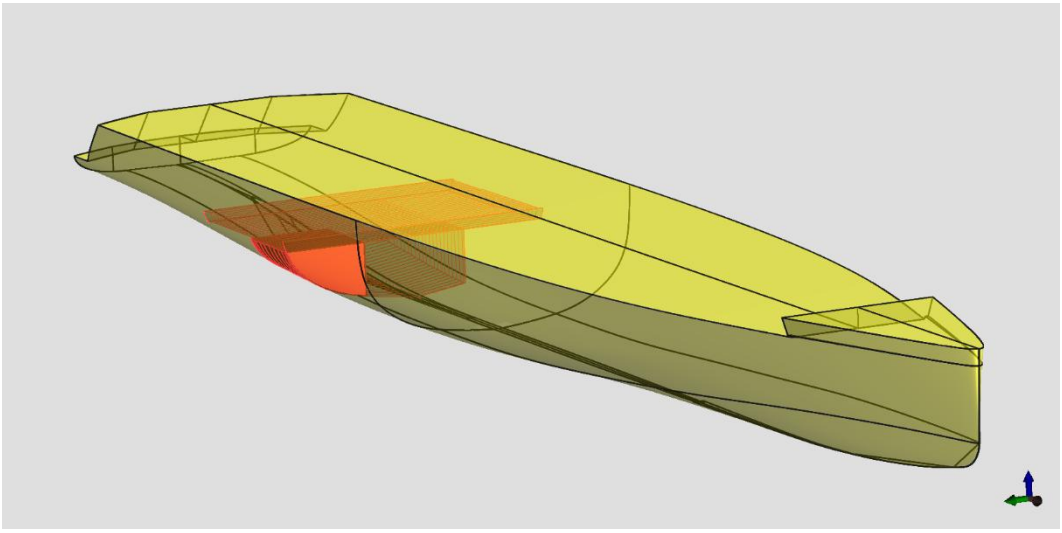
Şekil 5.33 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

- **v=3.5m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**

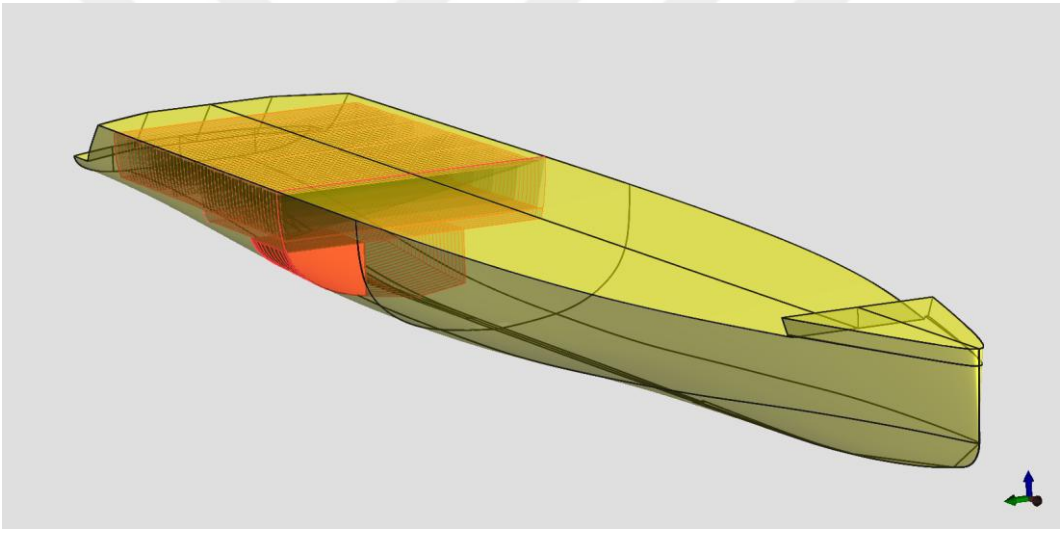
Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 3.5m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.



Şekil 5.34 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum



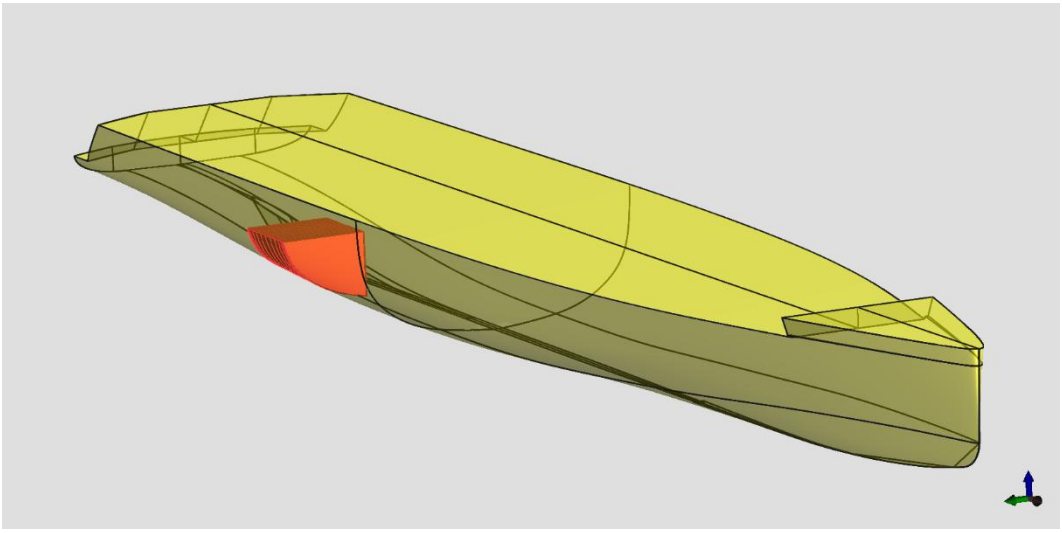
Şekil 5.35 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum



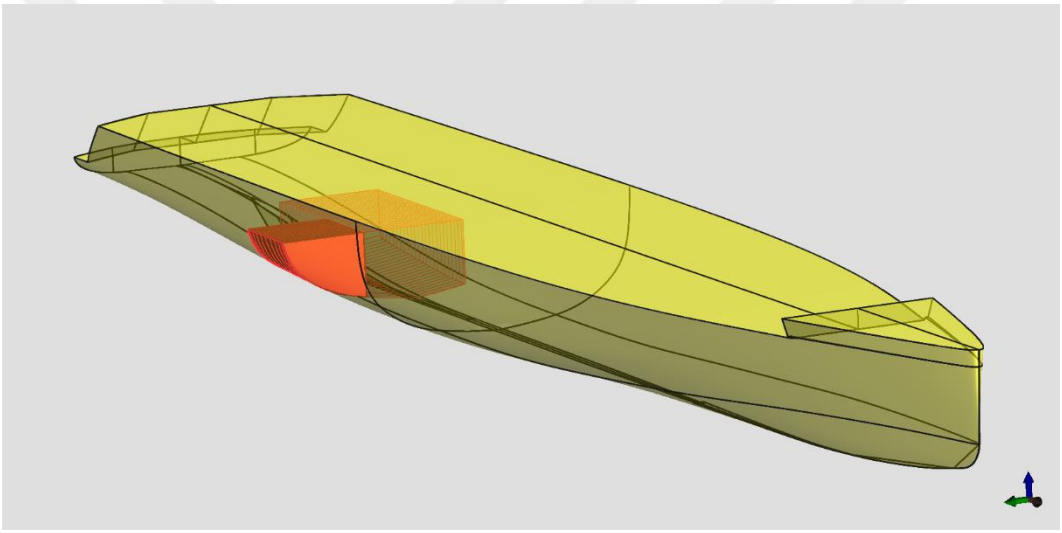
Şekil 5.36 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

- **v=4.1m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**

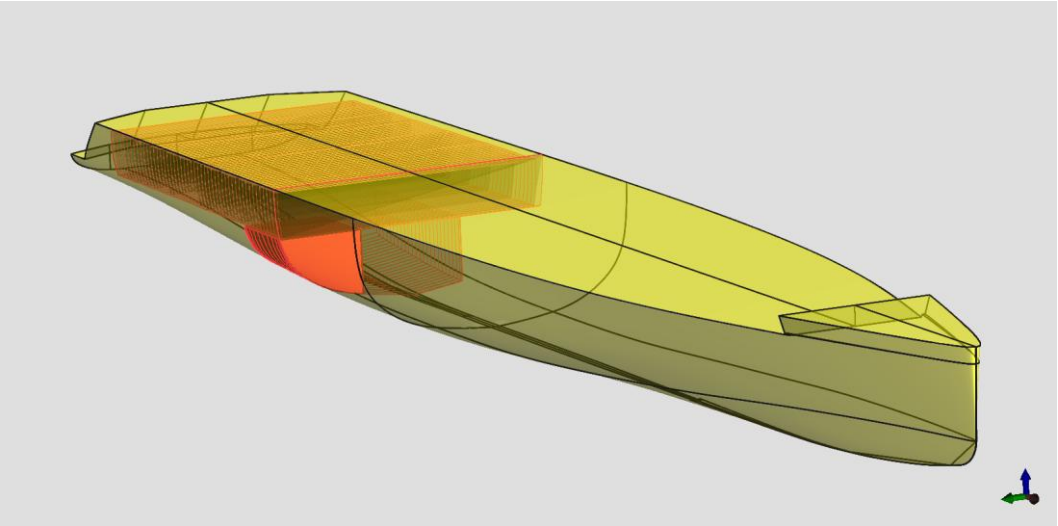
Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 4.1m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.



Şekil 5.37 A4SS No'lu tankın yaralandığı durum



Şekil 5.38 A4SS No'lu tankın ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum

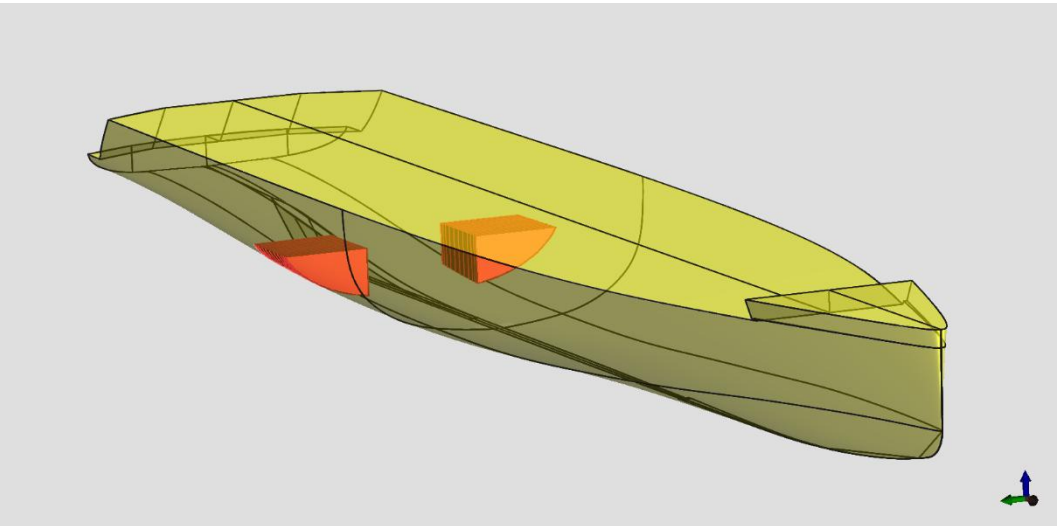


Şekil 5.39 A4SS No'lu tankın, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

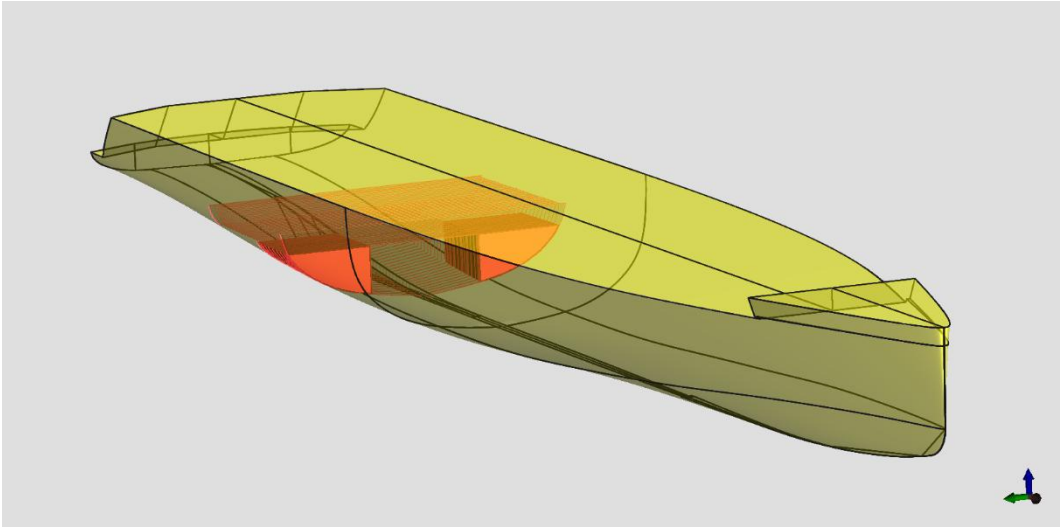
5.3.12 Kavanca Valf Sistemli Yaralanma Örnekleri

Bu bölümde kavanca valf sistemli tank yerleşimine ait farklı tank yüksekliklerindeki yaralanma şekillerine örnekler gösterilmiştir. Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 3.0m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.

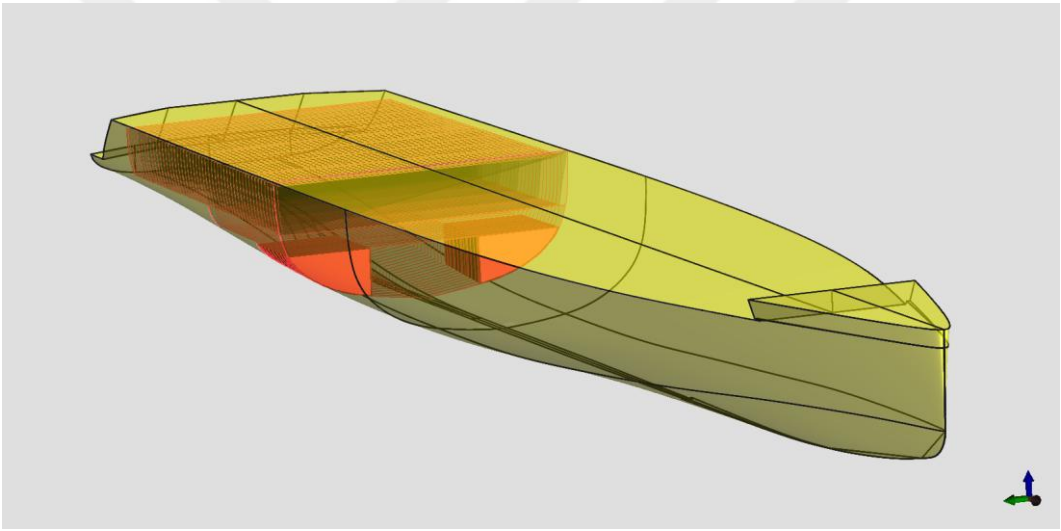
- **v=3.0m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**



Şekil 5.40 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum



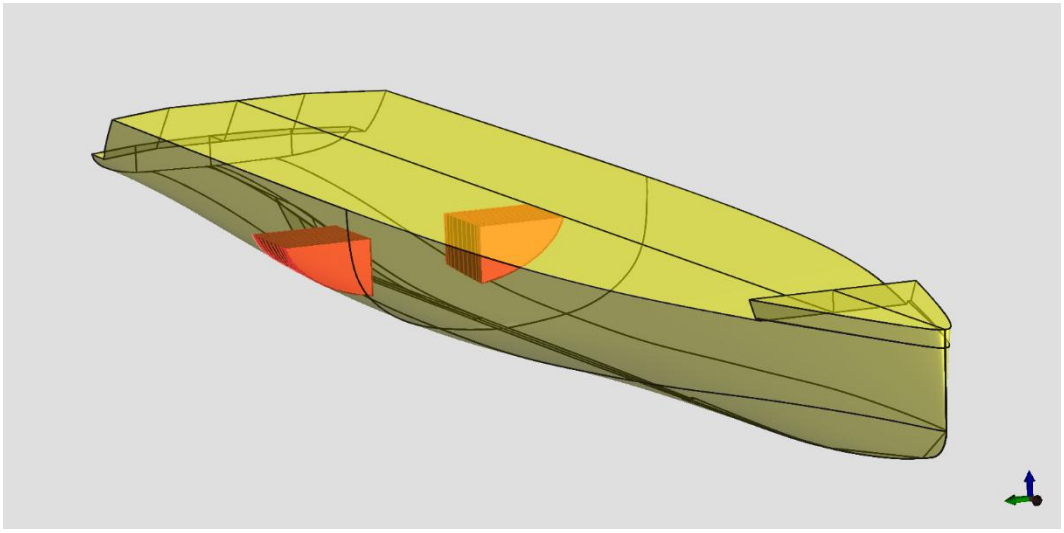
Şekil 5.41 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum



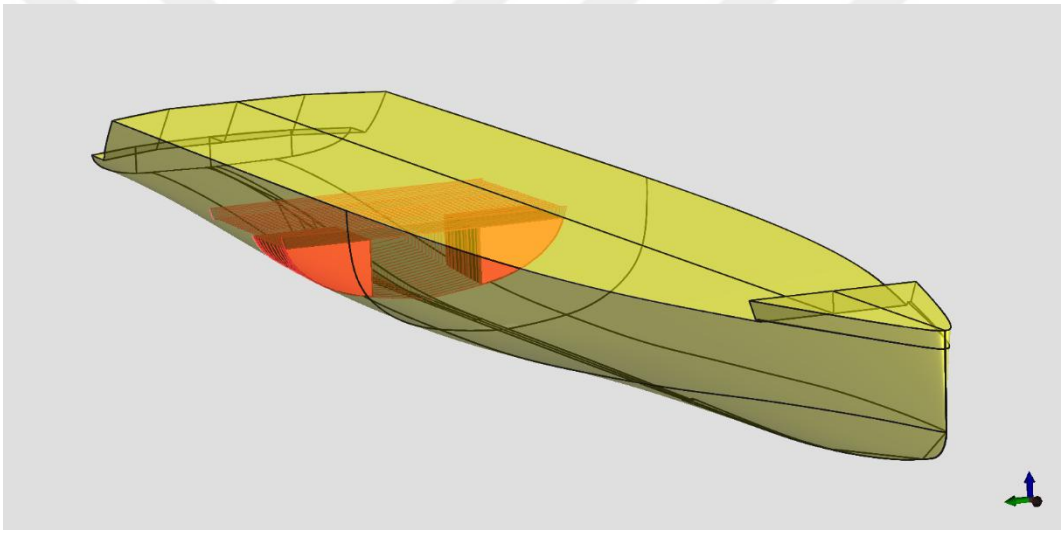
Şekil 5.42 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

- **v=3.5m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**

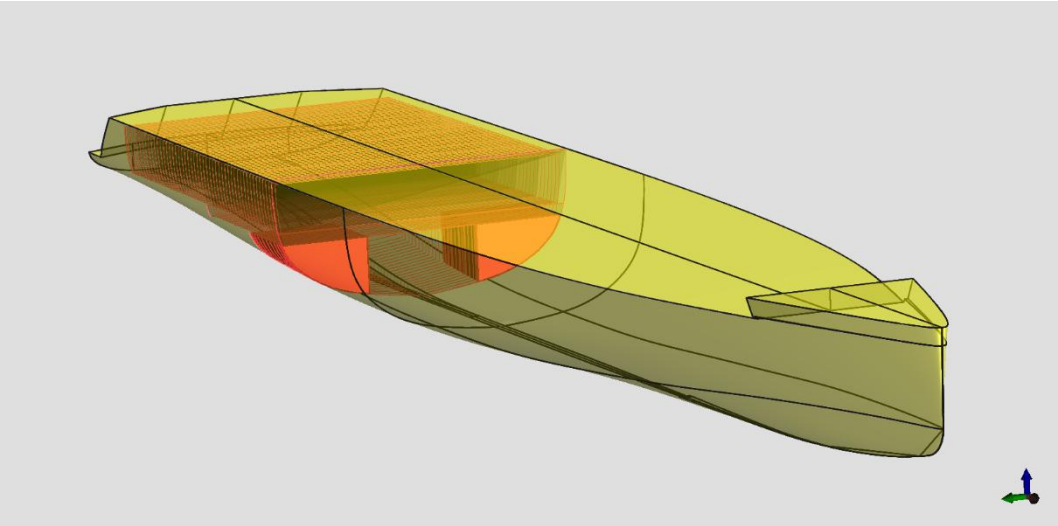
Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 3.5m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.



Şekil 5.43 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum



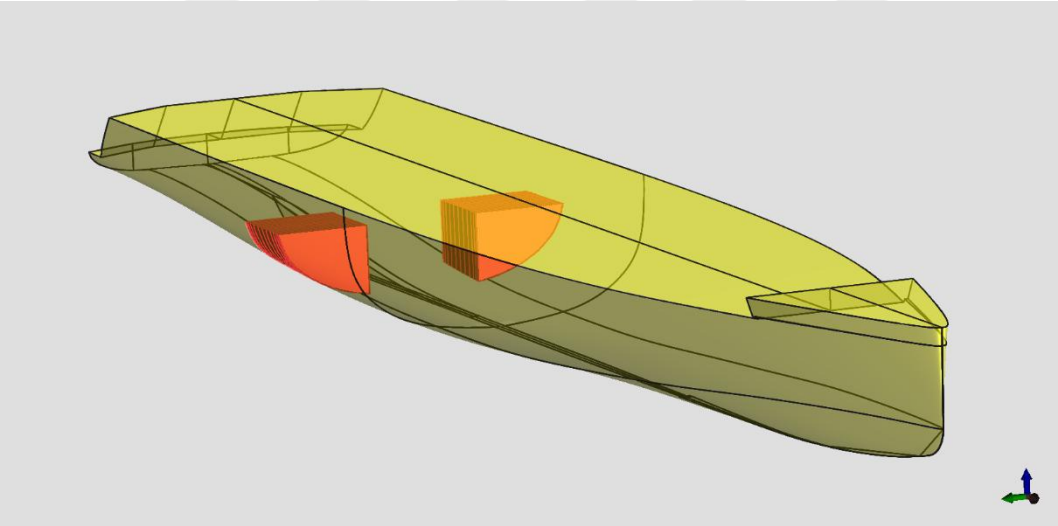
Şekil 5.44 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum



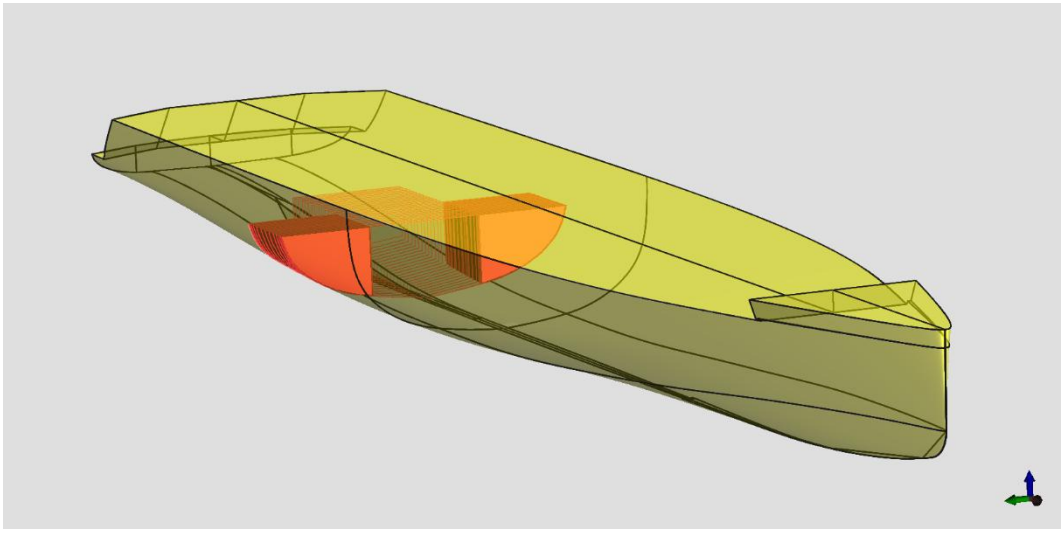
Şekil 5.45 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

- **v=4.1m tank yüksekliğindeki tank yerleşimi:**

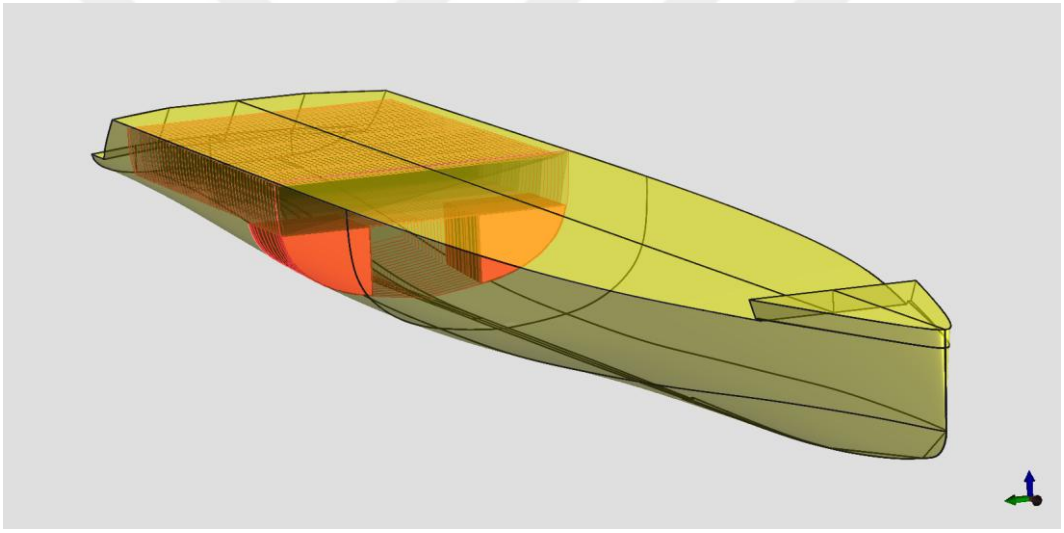
Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 tank yüksekliği 4.1m için A4SS kodlu tank ve COMP1.5 nolu kompartmanın yaralanma durumlarını göstermektedir.



Şekil 5.46 A4SS & A4PS No'lu tankların yaralandığı durum



Şekil 5.47 A4SS & A4PS No'lu tankların ve COMP1.5 kodlu kompartmanın bitişik yaralandığı durum



Şekil 5.48 A4SS & A4PS No'lu tankların, COMP1.5 ve COMP13 kodlu kompartmanların bitişik yaralandığı durum

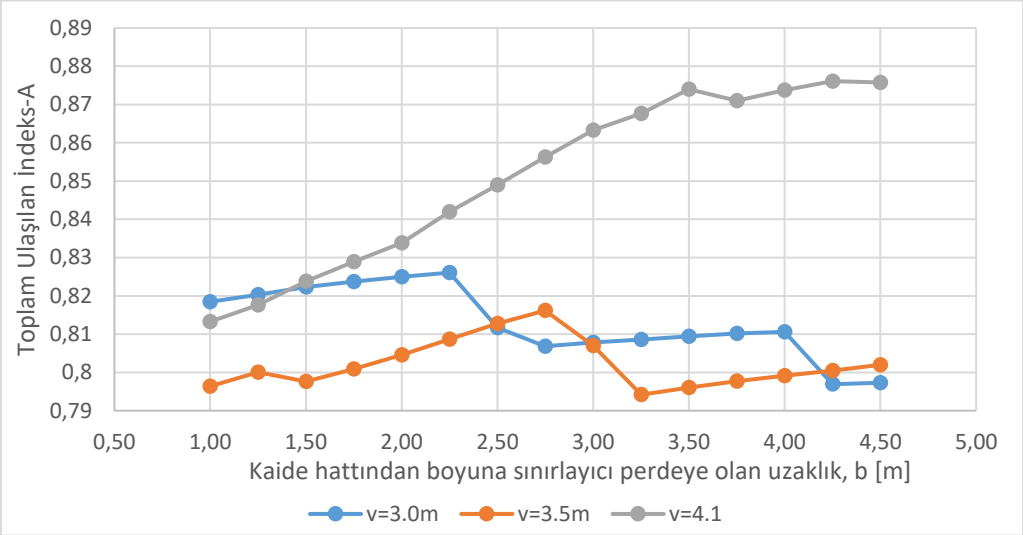
5.3.13 Ulaşılan Toplam İndeks-A Değeri

Bu bölümde, çalışmada gerçekleştirilen tüm hasarlı stabilite hesaplamalarının sonuçları sunulmaktadır. Aşağıdaki Şekil 5.27 tank yükseklikleri ile yükleme durumlarının ilişkisi gösterilmiştir. Hesaplar, üç farklı tank yüksekliği için yapılmıştır. Her bir tank yüksekliğinde tankların sınırlayıcı boyuna perdeleri kaide hattından bordaya doğru değiştirilmiştir. Hesabın ilk aşamasında bu sınırlayıcı perdeler kaide hattından 1.0 m uzaklıkta bulunmaktadır. Kaide hattından enine

mesafesi 4.5 m olana kadar 25 cm'lik adımlarla boyuna perdeler kaydırılmıştır. Her 25 cm'lik yer değiştirmede olasılıklı yaralı stabilite hesabı tekrarlanmıştır.

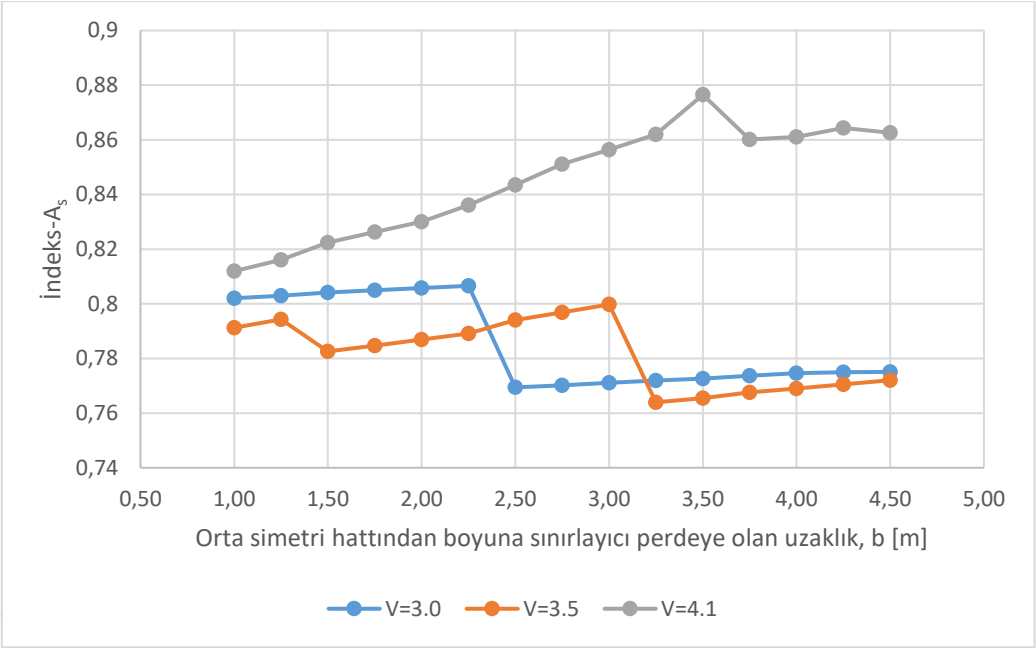
Sonraki bölümlerde sırasıyla, kavanca valf sistemi ile donatılmamış tank yerleşimine sahip ve kavanca valf sistemli tank yerleşimine sahip geminin olasılıklı yaralı stabilite hesaplama sonuçları verilmiştir.

5.3.14 Asimetrik Tank Yerleşimli Yaralanma Sonuçları

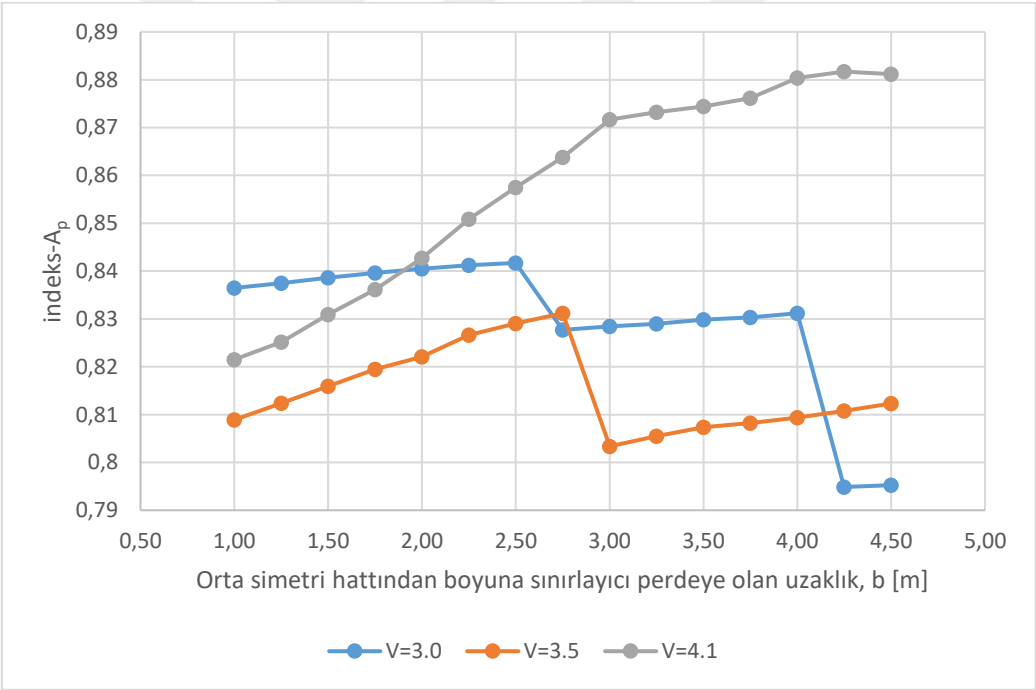


Şekil 5.49 Toplam ulaşılan indeks-A ve b yarı mesafeleri grafiği

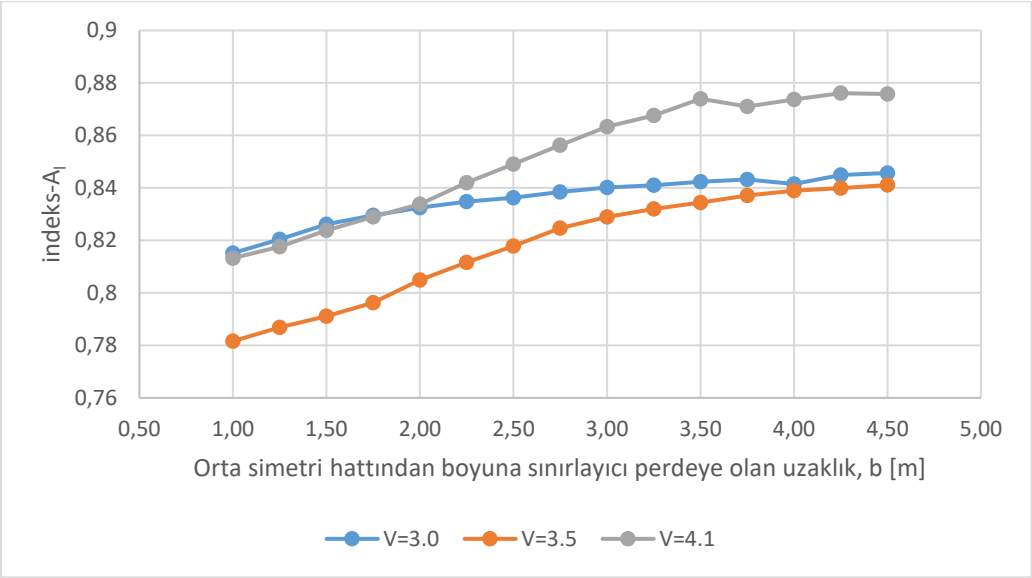
Şekil 5.49, her bir V_i yani H_m tank yüksekliğindeki modelin, boyuna perdelerinin enine mesafelerindeki değişimin ulaşılan indeks-A'ya denk gelen değerlerini göstermektedir. Buradaki ulaşılan indeks-A, bütün yükleme kondisyonlarında hesaplanan değerlerin ağırlıklı toplamıdır. 1.0 m'den başlayarak 4.5 m'ye kadar 25 cm aralıklarla hesaplanmıştır. Enine mesafeler, merkez hattından ölçüldüğü için, bu mesafeler artıkça asimetrik tank yaralanma hacimleri azalır. Grafikten okunacağı gibi, V= 3.0 m ve V=3.5 m çizgilerinde belirli bir trendde indeks-A bazında artış olmuş, sonrasında ise ani bir düşüş ile yükseldiği indeks-A konumuna ulaşamamıştır. V=4.1 m'de ise bu artışı istikrarlı bir şekilde b= 4.25 m'ye kadar devam etmiştir.



Şekil 5.50 Toplam ulaşılan indeks-A_s - b yarı mesafeleri grafiği

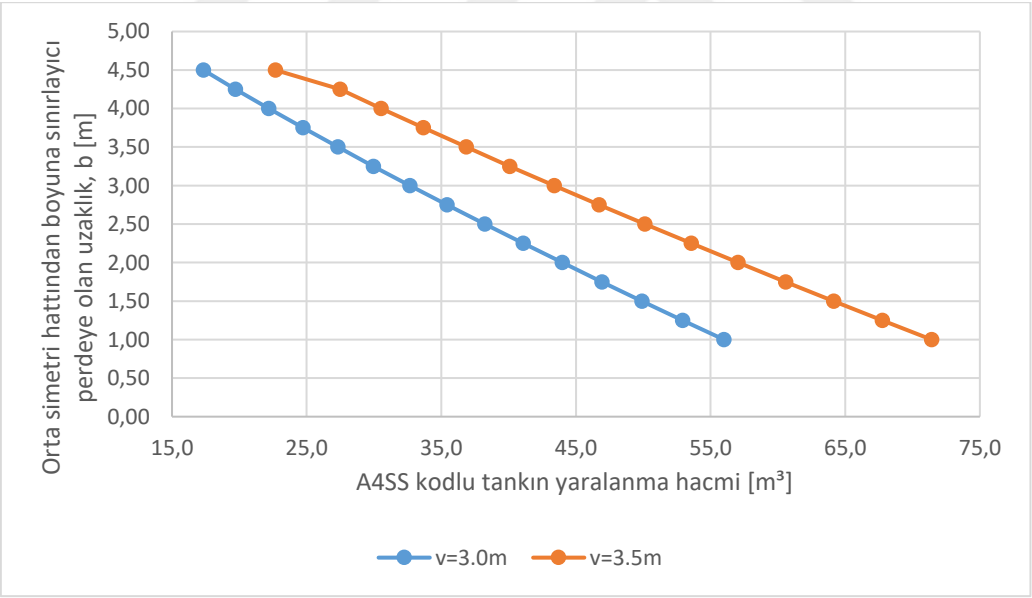


Şekil 5.51 Toplam ulaşılan indeks-A_p - b yarı mesafeleri grafiği



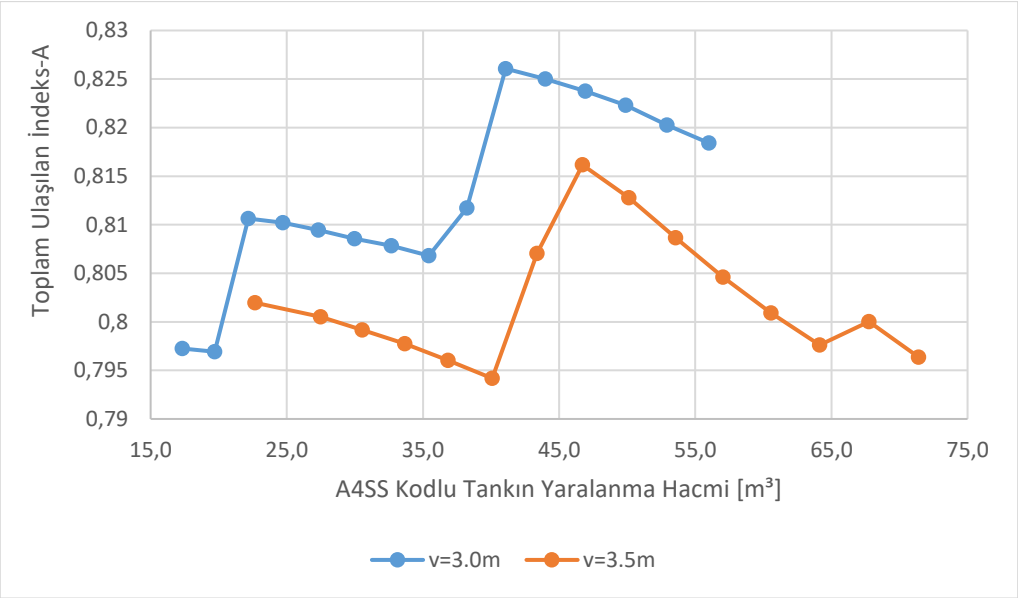
Şekil 5.52 Toplam ulaşılan indeks-A_I - b yarı mesafeleri grafiği

Yukarıda sırasıyla D_s (Şekil 5.50), D_p (Şekil 5.51) ve D_I (Şeki5.52) yükleme hatlarında boyuna perde konumlarına karşılık gelen hesaplanan indeks-A değerleri verilmiştir. Bu tablolardaki değerler ağırlık katsayısı ile çarpılmamış değerlerdir.



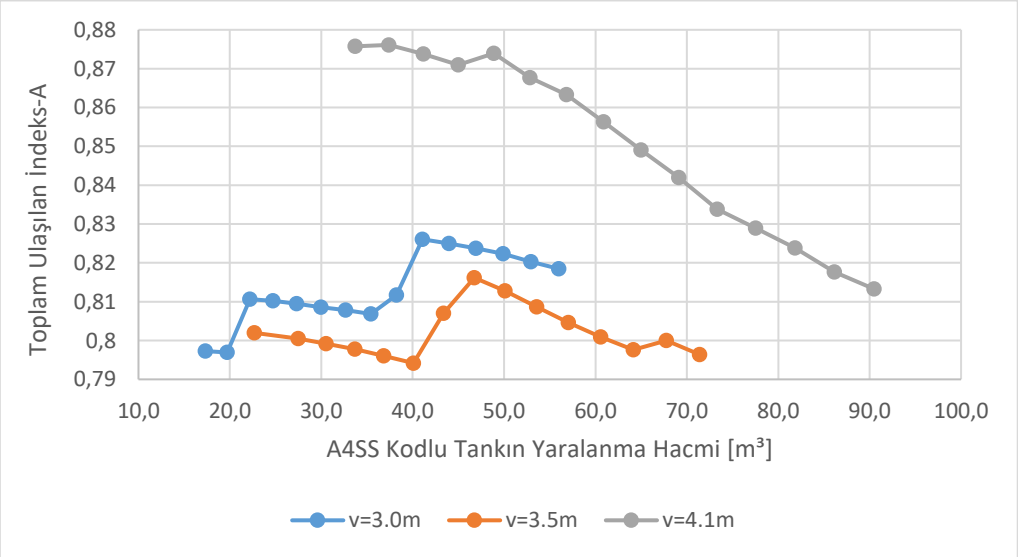
Şekil 5.53 Boyuna perdenin enine lokasyonu [m] – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi [m³]

Şekil 5.53, v=3.0 m ve v=3.5 m yüksekliklerine denk gelen boyuna perde lokasyonları için A4SS kodlu tankın yaralanma hacimleri grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.54 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi

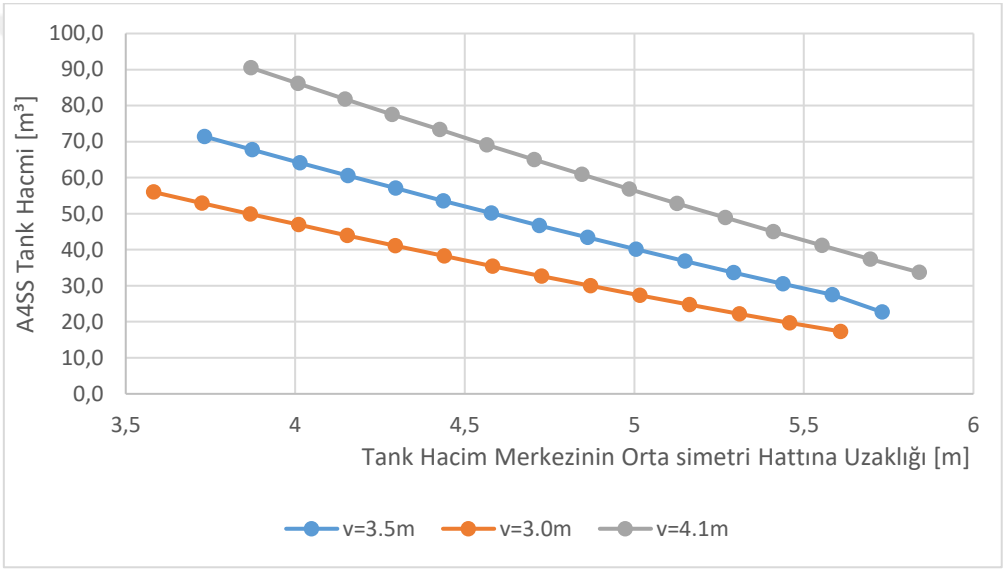
Şekild 5.54 de anlaşılacağı üzere, v yüksekliklerinin artışı, aynı boyuna perde lokasyonlarında okunan hacim değerlerinde de artışa sebep olmaktadır. Bu artış aynı zamanda moment kollarındaki dikey ve yatay mesafeye de etki etmektedir. Yukarıdaki grafikten de anlaşılacağı üzere, iki indeks-A grafiğinde değişen boyuna perde lokasyonlarına bağlı davranışlar benzerdir. V=3.0 m için 40-45 m³ aralığına kadar hayatta kalma olasılığı yükselen bir trend izlemektedir, V=3.5 m ise 45-50 m³ aralığına kadar benzer bir davranış görülmektedir. Fakat, v=3.5 m grafiği benzer hacim bölgelerinde, v=3 m grafiğine göre indeks-A bazında daha az güvenli bir katsayı sonucu vermektedir.



Şekil 5.55 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi

Şekil 5.55'te de görüleceği gibi, grafiğe v=4.1 m girilince ise davranış şekillerindeki farklılık ortaya çıkmaktadır. v=4.1 m, düşen bir indeks-A grafiğiyle sonuç vermektedir. 50 m³ çizgisine yakın olan noktada yükselme trendi ise, v=3.0 m ve v=3.5 m grafiklerinde gördüğümüz yükselme davranışına benzemektedir.

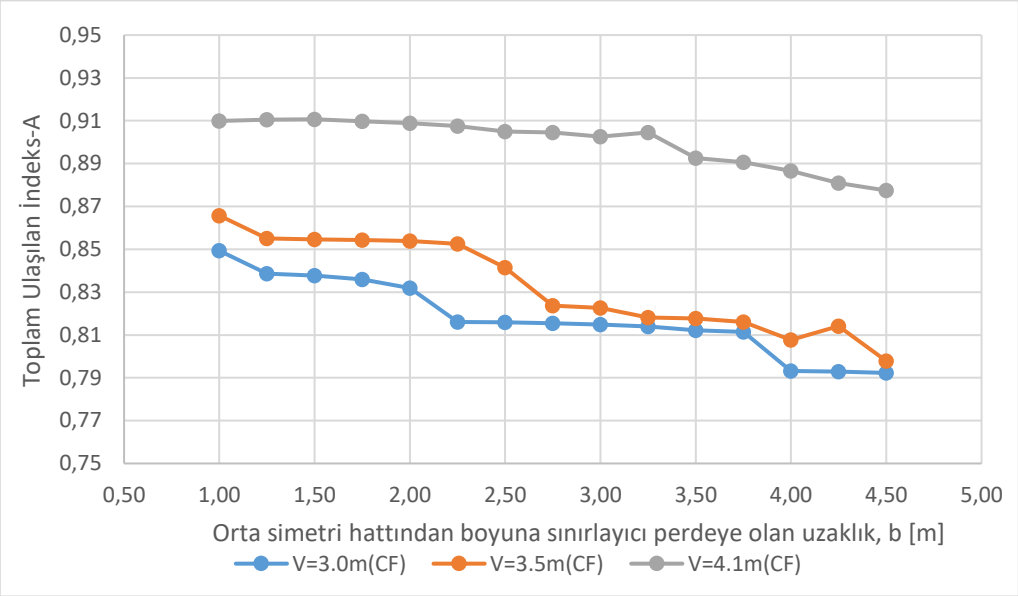
V=4.1 m tank yüksekliğinde, tank ara güverte ile aynı yüksekliğe ulaşmaktadır. Bu da tank yüksekliği ile güverte arasında kalan yükseklikte oluşabilecek yaralanma olasılıklarını sıfıra eşittir. Boyuna bölmelendirme sınırlarına giren her bir bölmelendirme için yaralanma olasılığını ortadan kaldırır. Üç yerleşim içerisinde aynı boyuna perde sınırları içerisinde en yüksek hacme ulaşan v=4.1m'dir.



Şekil 5.56 A4SS tankının hacim [m³] – orta simetri hattına olan uzaklığı [m] grafiği

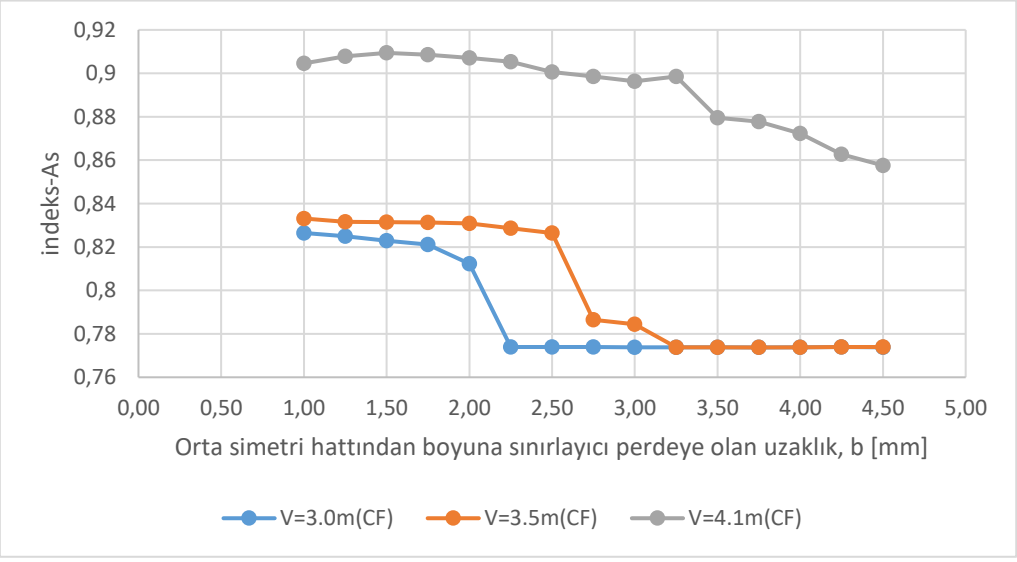
Şekil 5.56, A4SS tankının, boyuna perde yerleşiminin kaide hattından uzaklığına göre değişen hacim-hacim merkezinin kaide hattından uzaklığı ilişkisini göstermektedir.

5.3.15 Kavanca Valf Sistemli Tank Yerleşimi Yaralanma Sonuçları

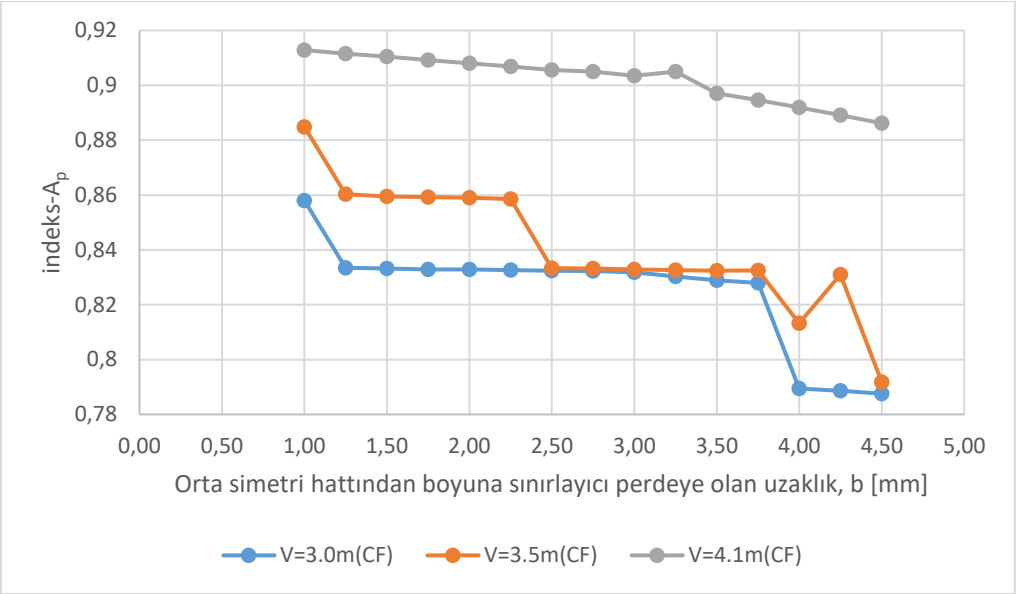


Şekil 5.57 Toplam ulaşılan indeks-A ve b yarı mesafeleri grafiği

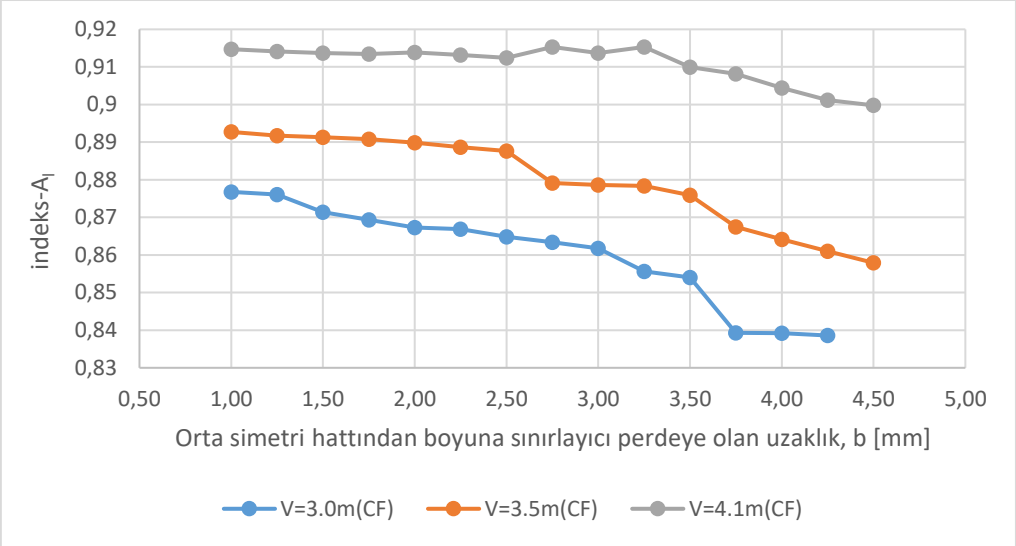
Şekil 5.57, önceki bölümde de olduğu gibi kavanca valf sistemi ile bağlı ikiz tankların, kaide hattından mesafelerine göre değişen yerleşim değişimlerine denk gelen ulaşılan indeks-A değerlerini göstermektedir. Önceki bölümde olduğu gibi, hesaplamalar 3 farklı tank yüksekliğine göre yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Grafiğe göre tank yüksekliklerindeki artış ulaşılan indeks-A değerinde de, her bir enine mesafe karşılaştırması için yükselmeyle sonuçlanmıştır.



Şekil 5.58 Toplam ulaşılan indeks-A_s - b yarı mesafeleri grafiği

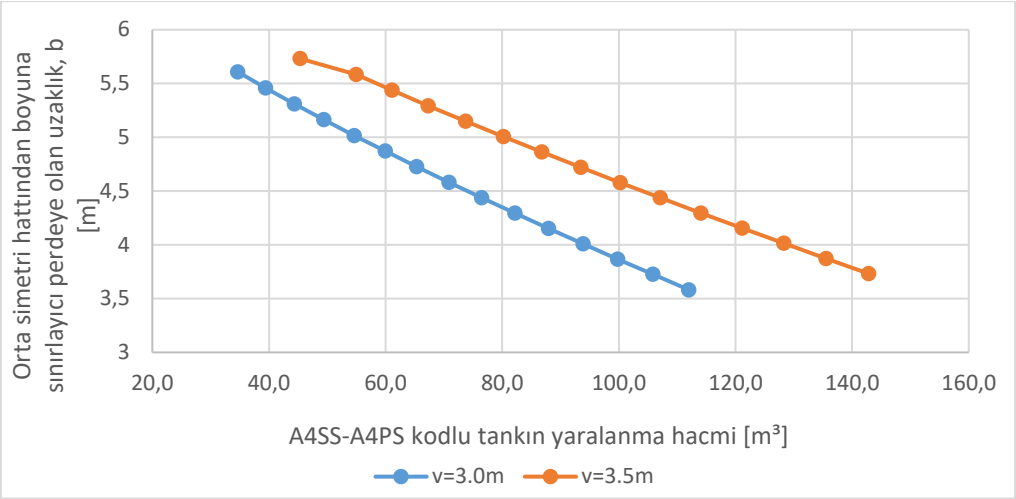


Şekil 5.59 Toplam ulaşılan indeks-A_p - b yarı mesafeleri grafiği



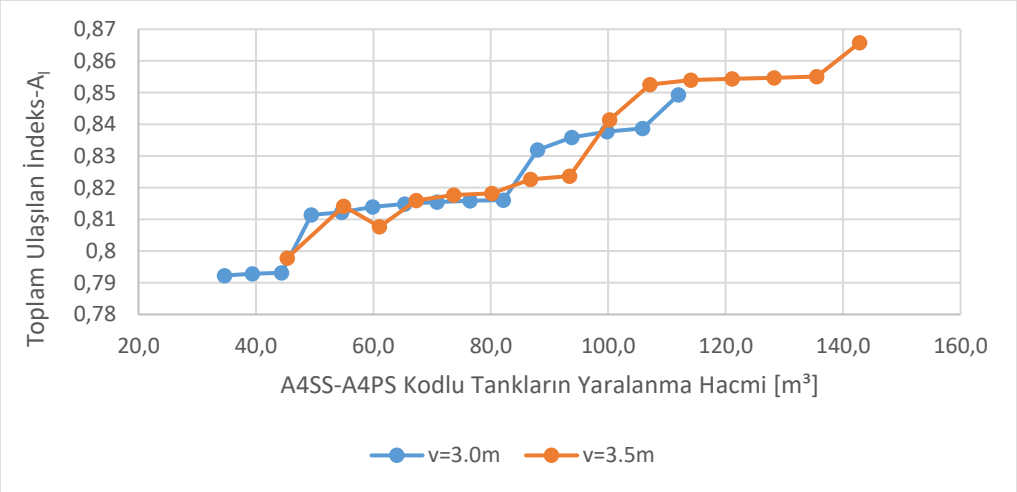
Şekil 5.60 Toplam ulaşılan indeks-A_l - b yarı mesafeleri grafiği

Yukarıda, önceki bölümde olduğu gibi sırasıyla D_s (Şekil 5.58), D_p (Şekil 5.59) ve D_l (Şekil 5.60) yükleme hatlarında, boyuna perde konumlarına karşılık gelen ulaşılan indeks-A değerleri verilmiş olmakla beraber, bu yükleme durumlarına karşılık gelen değerler, ağırlık katsayısı ile çarpılmamış değerleridir.



Şekil 5.61 Boyuna perdelerin enine lokasyonu [m] – A4SS-A4PS kodlu tankların yaralanma hacmi [m³]

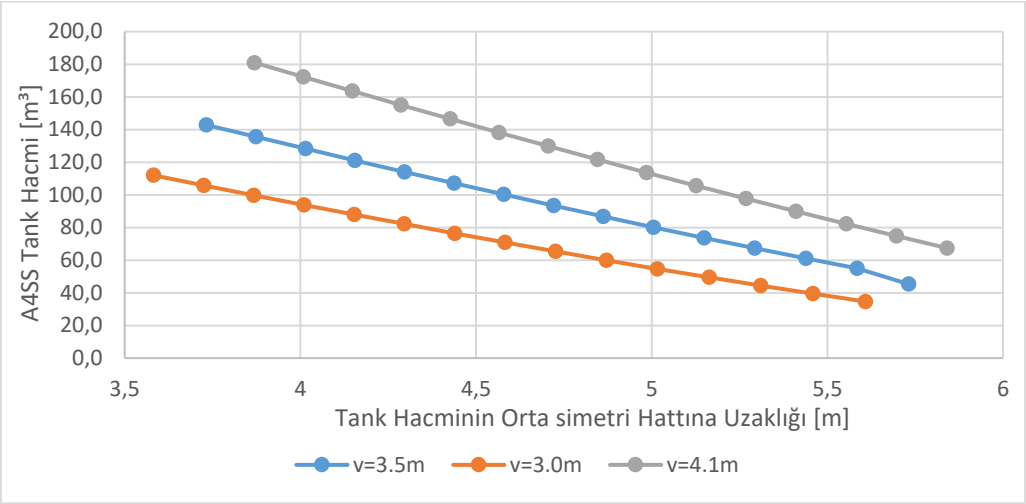
Şekil 5.651 grafikte, v=3m ve v=3.5m yüksekliklerine denk gelen boyuna perde lokasyonları için A4SS-A4PS kodlu tankların toplam yaralanma hacimleri grafiği gösterilmektedir.



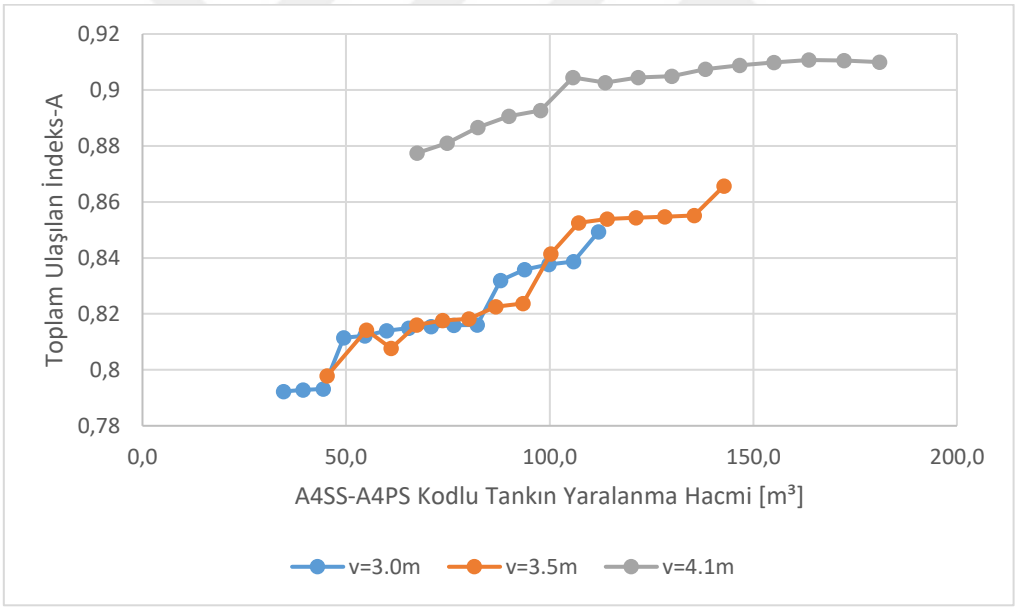
Şekil 5.62 Toplam ulaşılan indeks-A_l – A4SS-A4PS kodlu tankların yaralanma hacmi [m³]

Şekil 5.62, kavanca sistemiyle birbirine bağlanmış olan A4SS-A4SS tanklarının dağılım grafiğini göstermektedir. Bu dağılım, boyuna sınırlayıcı perdelerin tankların hacimlere göre olan indeks-A dağılımını göstermektedir. Bu grafikten, v=3.0 m ve v=3.5 m grafiklerinin benzer hacimlerde benzer hayatta kalma özellikleri gösterdikleri görülmektedir.

Şekil 5.63 A4SS-A4PS tanklarının, tank yüksekliklerine denk gelen yaralanma hacimlerini göstermektedir.



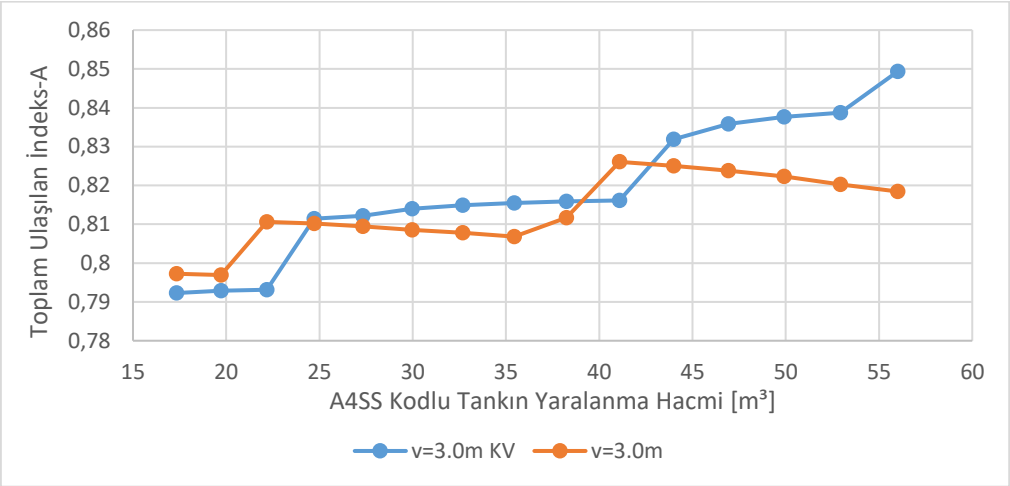
Şekil 5.63 A4SS-A4PS tankının hacim [m³] – orta simetri hattına olan uzaklığı [m] grafiği



Şekil 5.64 Toplam ulaşılan indeks-A_I – A4SS-A4PS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³]

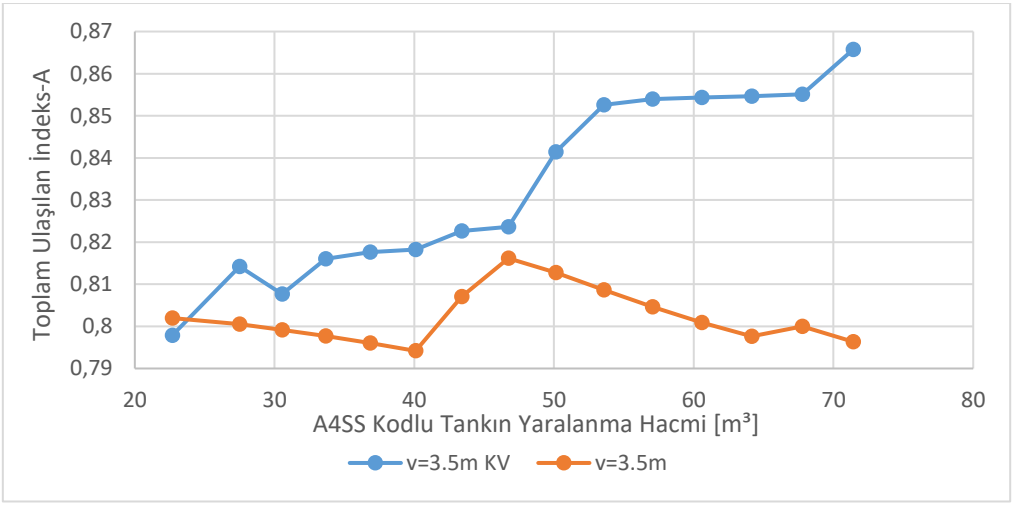
Asimetrik tank yaralanmasının aksine, Şekil 5.64, 3 tank yüksekliğine ait indeks-A grafiğinde de yükselen bir sağ kalma olasılığı görülmektedir. v= 3.0m ve v=3.5 m grafikleri, asimetrik tank grafiklerine göre, benzer hacimlerde daha yakın indeks-A değerleri almaktadır. Asimetrik tank sisteminde, yatay hacim merkezi farklarının burada etkileyici bir rol oynamadığını söyleyebiliriz.

5.3.16 Asimetrik Tank Yaralanması ve Kavanca Valf Sistemli Tank Yaralanması Karşılaştırması



Şekil 5.65 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi

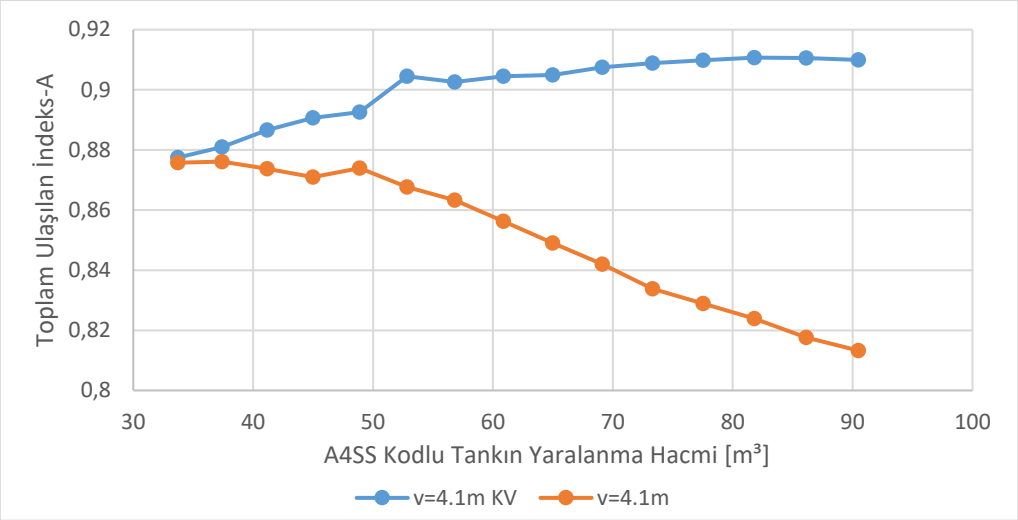
Şekil 5.65 KV (kavanca valfi) sistemine sahip ikiz tank ile diğer sistemdeki tankın v=3.0m tank yüksekliğindeki indeks-A değerleri verilmiştir. Düşük hacimlerde yakın indeks-A değerine ulaştıkları gözlemlenirken hacim arttıkça KV sistemli yerleşime sahip geminin daha yüksek indeks-A değerlerine ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.66 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³]

Şekil 5.42'de bulunan v=3.0m grafiğinde olduğu gibi şekil 5.43 v=3.5m grafiğinde de benzer şekilde KV sistemli tank yerleşimine sahip geminin, indeks-A benzer hacimlerinde daha yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Şekil 5.42, v=3.0m

grafiğinde 45m³ hacim karşılığına kadar iki sisteminde indeks-A değeri bazında yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Öte yandan v=3.5m grafiğinde değerler arası farklar 45m³-50m³ hacimleri arasında yakınken, sonrasında v=3.0m grafiğine göre fazladır.



Şekil 5.67 Toplam ulaşılan indeks-A – A4SS kodlu tankının yaralanma hacmi[m³]

Şekil 5.67, benzer hacimlerde v=4.1m yüksekliği için iki sistemin ulaşılan indeks-A değerlerini göstermektedir. Kavanca valf sistemli tank yerleşiminde ulaşılan indeks-A değeri asimetrik tank yerleşimine göre daha yüksektir.

6
SONUÇ

Bu çalışma birinci aşamada, daha verimli ve çevre dostu gemi tasarımları konusundaki arayış nedeniyle dizel-elektrik hibrit gemilerin tasarımını göz önünde bulundurarak, bu sevk sistemlerinin entegrasyonunda ortaya çıkabilecek stabilite sorunlarını ele almak adına bir ön çalışma oluşturmuştur. Bu ön çalışma ile konvansiyonel bir dizel makinaya sahip yatın dizel elektrikli bir yata dönüştürülmesi süreci ele almıştır. Yatta yapılacak minimum genel yerleşim değişiklikleri sonucu elde edilecek yat ile dönüştürme öncesi yatın indeks-A bazlı karşılaştırması gösterilmiştir. Bununla beraber iki yerleşim arasına indeks-A bazlı karşılaştırmada neredeyse fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışma ikinci olarak, balta baş bir yatta kavanca valf sistemiyle donatılmış ve donatılmamış yerleşim olarak iki farklı konfigürasyon için 3 farklı tank yüksekliğinde boyuna perdelerin enine konumu değiştirildiğinde elde edilen indeksin nasıl değiştiğini analiz etmiştir.

Hesaplamalar, sadece indeks-A'yı optimize etmeye değil aynı anda tank hacimlerini de maksimize etmeye çalıştığı için kavanca valf sisteminin hesaplara olan etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bu yapılırken tankların düşeydeki sınırlayıcı perde yükseklikleri değiştirilmiştir, bu sayede hacmin etkisi gözlemlenmiştir.

Birinci aşamada, 3.0 m tank yüksekliğindeki asimetrik tank yerleşimi ele alınmıştır. Boyuna perdenin bordaya yaklaşması hem hacim bazında hem de indeks-A bazında değişime sebep olmaktadır. Bu değişim grafiklerden de anlaşılacağı üzere belirli bir aşamaya kadar artarak gerçekleşmektedir. Buradaki artış, kaybedilen sephiye hacmi ve bu sephiyenin hacim merkezi arasındaki ilişkiye bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Hacme bağlı gösterilmiş olan grafik Şekil 5.54'te görülebilir. Şekil 5.54 incelenecek olursa anlaşılacaktır ki 3.0 m tank yüksekliği, 3.5 m tank yüksekliğine göre indeks-A bazında daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu sonuç, kaybedilen sephiyenin hacim merkezinin 3.5 m tank yüksekliğinde daha yüksek moment oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Fakat tank yüksekliği 4.1 m'de, farklı bir grafik çıktığı gözlemlenmiştir. 3.0 m ve 3.5 m tank yüksekliğine denk gelen yüksekliklerde, 4.1 m güverte yüksekliğine kadar uzanan kompartman, tank-güverte arasına da nüfuz etmektedir. Bu sebeple, tam güverte yüksekliğine denk gelen tank yerleşiminde (4.1 m tank yüksekliği), 3.0 m ve 3.5 m tank yüksekliklerine göre çok daha az ara yaralanma senaryosu oluşmaktadır. Bu da tank yaralanmaları kaynaklı oluşacak olan senaryoların azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca, 4.1 tank yüksekliğinde boyuna perdeler merkez hattına yaklaştıkça, diğer bir ifade ile hacim arttıkça indeks-A düşmektedir. Bunun sebebi, yaralanmaların asimetrik olması ve hacim arttıkça denge durumunun daha yüksek meyil açılarıyla sonuçlanmasıdır.

İkinci aşamada 3.0 m tank yüksekliğindeki kavanca valf sistemli tank yerleşimi ele alınmıştır. Boyuna perdeler bordaya yaklaştıkça, elde edilen indeks-A düşmektedir. İki ara tank yüksekliği olan 3.5 m ve 4.1 m yüksekliklerinde, indeks-A bazında benzer davranış görülmektedir. Ayrıca bu iki tank yüksekliğinde, maksimum tank hacmi-maksimum indeks-A kıyası benzer hacimler için yapılacak olursa görülecektir ki iki tank yüksekliği yerleşimi arasında marjinal bir fark yoktur. 4.1m tank yüksekliğinde ise indeks-A bazında, diğer tank yüksekliklerine göre fark barizdir. Bu ise asimetrik yaralanmanın bu tank yüksekliğinde minimum olması ve daha önce de bahsedildiği gibi daha az yaralanma senaryosu oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Üçüncü aşamada ise kavanca valfli sistem ve asimetrik yaralanmaların gerçekleştiği sistem karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada aynı iki sistem her bir tank yüksekliğinde karşılaştırılmıştır. 3.0 m ve 3.5 m tank yüksekliklerindeki grafiklerde (Sırasıyla Şekil 5.65 ve Şekil 5.66) görülecektir ki 40 m^3 - 45 m^3 tank hacmi aralığından sonra kavanca valfli sistemler daha yüksek indeks-A değerlerine ulaşmaktadır. 4.1 m yüksekliğinde ise tank hacmi arttıkça kavanca valfli yerleşimde

indeks-A değerleri artarken, diğer yerleşimde düşmektedir. Bunun sebebi de asimetrik yaralanmadır.

Asimetrik ve simetrik (KV sistemli yerleşim) yaralanmalar sonucu elde edilen A indeksi karşılattırıldığında, KV sistemli bir tank yerleşiminin daha güvenli olduğu açıktır. Öte yandan bir tank için KV sistemli yerleşimde hacim arttıkça her üç yükseklik için de güvenli olma ihtimali artarken asimetrik sistemde güvenli olma ihtimali düşmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Menteş and H. Akyıldız, “Hibrit tahrik sistemli gemilerde risk değerlendirmesi,” GİDB Dergi, no. 17, pp. 33–42, 2019.

[2] A. Bordianu and G. Samoilescu, “Electric and hybrid propulsion in the naval industry,” in *Proc. 2019 11th Int. Symp. Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEEE)*, Bucharest, Romania, Mar. 2019.

[3] R. Di Bernardo, B. Di Cecca, T. Coppola, G. Spazzafumo, and D. Speranza, “Preliminary design of a 75 m mega yacht with diesel-electric hybrid propulsion powered with hydrogen FCs,” Int. J. Hydrogen Energy, 2024.

[4] A. Papanikolaou and E. Eliopoulou, “On the development of the new harmonised damage stability regulations for dry cargo and passenger ships,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 93, no. 9, pp. 1305–1316, 2008.

[5] O. M. Djupvik, “Maximizing the Attained Index by Analyzing the Effects of Changes in the Arrangement for Offshore Vessels,” 2015.

[6] C. Patterson and J. Ridley, Ship Stability, Powering and Resistance (Reeds Vol. 13). London, U.K.: Adlard Coles Nautical BLOOMSBURY, 2014

[7] Red Ensign Group, Red Ensign Group Yacht Code – Part A (up to 12 guests), Haziran 2024.

[8] Resolution MSC.216(82), Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended, International Maritime Organization (IMO), 2006.

[9] J H. J. Koelman and J. Pinkster, “Rationalizing the practice of probabilistic damage stability,” Ship Technology Research, vol. 50, no. 3, pp. 239–254, Ağustos, 2003.

[10] M. Taylan, “Gemilerde Olasılıklı Yaralı Stabilite Analizi,” Gemi ve Deniz Teknolojisi, vol. 1, no. 158, pp. 20–26, 2003.

[11] E.Sonne, “ Probabilistic Damage Stability of Ro-Ro Ships”, 2003.

[12] International Maritime Organization (IMO), SOLAS Chapter II-1, Part B-1 Stability. IMO, 2006.

[13] J. P. Baltsersen and H. Erichsen, "Presentation of Probabilistic Damage Stability regulations, New SPS Code and MARPOL Regulation 12A," unpublished, Aralık 12, 2014.

[14] D. Vassalos, M. P. Mujeeb-Ahmed, D. Paterson, F. Mauro, and F. Conti, "Probabilistic damage stability for passenger ships—The p-Factor illusion and reality," J. Mar. Sci. Eng., vol. 10, no. 3, p. 348, Mar. 2022.

[15] M. Lützen, “Ship Collusion Damage”, 2001.

[16] MSIS42 SOLAS: Damage Stability Amendments, 2020.

[17] F. Mauro, D. Vassalos, D. Paterson, and E. Boulougouris, "Evolution of ship damage stability assessment—Transitioning designers to direct numerical simulations," Ocean Eng., vol. 268, 2023

[18] C. Tuzcu, "Development of factor-S: The damage survival probability," in Proc. 8th Int. Conf. Stability Ships Ocean Vehicles (STAB), Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid, Spain, pp. 415-430, 2003.

[19] Caterpillar, 3516E Marine Auxiliary/Diesel Electric Propulsion Engine Spec. Brochure, 2019.

[20] Volvo Penta, D16-MG Marine Genset Spec. Brochure, 2020.

[21] Thrustmaster, Hybrid Marine Systems for Ferries Brochure, 2013.

[22] International Maritime Organization (IMO) 2008b, 2008.

[23] Bentley Systems, Maxsurf User Manual, 2024.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

[1] A. C. Akbaş and Y. Arıkan Özden, "Impact of general arrangement changes on probabilistic damage stability analysis of a diesel electric yacht," in Proc. 3rd Int. Congr. Ship and Marine Technology (GMO SHIPMAR), Trabzon, Türkiye, pp. 295–311, Aralık 11–12, 2024.