



**KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞININ
TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİYLE
TASARIM İYİLEŞTİRMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Mehmet KONAL

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ**

**KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞININ TOPOLOJİ
OPTİMİZASYONU YÖNTEMİYLE TASARIM İYİLEŞTİRMESİ**

Mehmet KONAL

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Eylül 2023

Mehmet KONAL tarafından hazırlanan “KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞININ TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİYLE TASARIM İYİLEŞTİRMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Anabilim Dalınız Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN (KTÜN)

.....

Üye : Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Ahmet Fatih YILMAZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet KONAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞININ TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİYLE TASARIM İYİLEŞTİRMESİ

Mehmet KONAL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ

Eylül 2023, 81 sayfa

Bilgisayarlı tasarım ve analiz yöntemleri tüm üretim sektörlerinde olduğu gibi gemi ve gemi yan sanayi sektörlerinde de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ve beraberinde oluşan ekonomik şartlar, yapısal tasarımlarda maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması için topoloji optimizasyonu gibi ileri analiz yöntemlerinin gemi inşa sanayinde de kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Gemi yapılarının tasarımında topoloji optimizasyonu ile mukavemet korunarak kütle azaltılıp, tasarımın eniyilenmesi hedeflenir. Bu yöntem, gemi inşa sanayinde çalışan mühendislerin daha iyi tasarım yapabilmelerine, gelecek tasarım ve analiz ihtiyaçlarına cevap vermelerine yardımcı olur. Bu tez çalışması kapsamında, örnek bir feeder tipi konteynir gemisi, katlanır tip ambar kapağına topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirilmesi yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu ile elde edilen sonuçlara göre model tasarımı güncellenmiş, analizlerin tekrarlanması ile yeteri kadar mukavemet ve en az kütle ideal tasarımına yaklaşılmıştır. Yapılan topoloji

optimizasyon çalışması ile bir adet ambar kapağı için 2,49 ton ağırlık azaltımı ile 3414 \$ maliyet tasarrufu sağlanmıştır. Örnek gemideki 14 adet kapak için ham madde, işçilik ve sarf malzemesi ile toplamda 47796 \$ tasarruf sağlanacaktır. Su çekiminin azalmasıyla da daha az sürtünme sayesinde sağlanan 6 kw'lık ana makina güç tasarrufu ile yıllık yaklaşık 6,6 ton daha az yakıt tüketilmesi sağlanacaktır. Bu bağlamda No_x emisyon miktarında da yıllık 103 kg azalma görülecektir. Gemi ağırlık merkezi konumunun düşeyde 8 mm. aşağı inmesi ile IMO stabilite kriterlerine göre stabilitede de ortalama %0,6 iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Şekil optimizasyonu, Ambar kapağı, Topoloji optimizasyonu.

Bilim Kodu : 91433

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN IMPROVEMENT OF CONTAINER SHIP HATCH COVER BY TOPOLOGY OPTIMIZATION METHOD

Mehmet KONAL

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Ahmet Fatih YILMAZ

September 2023, 81 pages

Computerized design and analysis methods are used extensively in the ship and ship supply industry and all production sectors. In recent years, the advancement of technology and the accompanying economic conditions have led to the need to use advanced analysis methods such as topology optimization in the shipbuilding industry to reduce costs and increase efficiency in structural designs. In the design of ship structures, the aim is to optimize the design by reducing mass while preserving strength through topology optimization. This method helps engineers working in the shipbuilding industry to make better designs and respond to future design and analysis needs. Within the scope of this thesis study, the design improvement of a sample feeder-type container ship, folding type hatch cover was made through topology optimization. According to the results obtained through topology optimization, the model design was updated, and by repeating the analysis, the ideal design with sufficient strength and minimum mass was approached. This topology optimization study achieved a cost saving of \$3414 with a weight reduction of 2,49 tons for one

hatch cover. A total of \$47796 will be saved in raw materials, labor and consumables for the 14 hatch covers on the sample ship. With the 6 kW main engine power savings provided by less friction and reduced water draft, approximately 6,6 tons less fuel will be consumed annually. In this context, there will be a 103 kg annual decrease in Nox emissions. By decreasing the ship's center of gravity position vertically by 8 mm, an average of 0,6% improvement in stability was achieved according to IMO stability criteria.

Key Word : Shape optimisation, Hatch Cover, Topology optimisation

Science Code : 91433

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, danıŐman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ'a için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. GEMİ İNŞA SANAYİ	1
1.2. GEMİ ÜRETİMİNDE BİLGİSAYARLI TASARIM VE ANALİZ KULLANIMI	3
1.3. TEZİN AMACI	4
1.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
BÖLÜM 2	17
KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞI.....	17
2.1. KONTEYNİR.....	17
2.2. AMBAR KAPAKLARI	19
2.3. YAPISAL OPTİMİZASYON	24
2.3.1. Boyut Optimizasyonu	25
2.3.2. Şekil Optimizasyonu.....	25
2.3.3. Topoloji Optimizasyonu	25
BÖLÜM 3	30
İYİLEŞTİRİLEN AMBAR KAPAĞI.....	30
3.1. İYİLEŞTİRİLEN AMBAR KAPAĞI BOYUTLARI.....	30
3.2. YÜKLEME KRİTERLERİ	33

	<u>Sayfa</u>
3.3. KAPAĞIN MARUZ KALDIĞI KUVVETLER.....	35
3.3.1. Konteynır Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	35
3.3.2. Kuvvetlerin Belirlenmesi.....	38
3.3.2. Kuvvet uygulama ve mesnet noktaları	38
3.3. MALZEME SEÇİMİ	39
BÖLÜM 4	41
TOPOLOJİ OPTİMİZASYONLARI.....	41
4.1. FUSION 360 İLE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU ANALİZLERİ.....	41
4.2. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU ANALİZLERİ.....	42
4.2.1. Birinci Analiz.....	42
4.2.2. İkinci Analiz	43
4.2.3. Üçüncü Analiz	44
4.2.4. Dördüncü Analiz.....	46
4.2.5. Beşinci Analiz.....	48
4.2.6. Altıncı Analiz.....	49
4.2.7. Yedinci Analiz	50
4.2.8. Sekizinci Analiz.....	52
4.2.9. Dokuzuncu Analiz	53
4.2.10. Onuncu Analiz	54
4.3. STATİK GERİLME ANALİZİ	57
4.4. AMBAR KAPAĞININ KUVVETLER ALTINDA ŞEKİL DEĞİŞTİRMESİ.....	58
4.5. DOĞAL FREKANS ANALİZİ	60
4.6. ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
4.7. MEVCUT AMBAR KAPAĞI İLE KARŞILAŞTIRMA	65
4.8. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI EKONOMİK GETİRİ	68
4.9. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI EMİSYON İYİLEŞTİRMESİ	70
4.10. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI YÜK KAPASİTESİ VE STABLİTE AVANTAJI.....	71
BÖLÜM 5	73
SONUÇLAR	73

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yıllara göre Türk gemi inşa sanayinde istihdam sayıları.....	1
Şekil 1.2. Yıllara göre teslim edilen yük gemilerinin toplam kapasiteleri.....	2
Şekil 2.1. Feeder tip konteynır gemisi.	17
Şekil 2.2. 20'lik konteynır ölçüleri.	18
Şekil 2.3. ULCV (Ultra Large Container Vessel) tip konteynır gemisi.....	19
Şekil 2.4. 917 TEU luk bir feeder tipi Konteynır gemisi genel yerleşim planı.....	21
Şekil 2.5. Konteynır gemisi en kesiti	22
Şekil 2.6. Katlanır tip konteynır gemisi kapağı.....	23
Şekil 2.7. Ponton tip konteynır gemisi kapağı	23
Şekil 2.8. Kapalı ve açık konumdaki ambar kapakları.....	24
Şekil 2.9. (a) Tasarımın ham modeli, (b) Topoloji optimizasyonu tasarımı, (c) Eklemeli üretim yöntemi ile üretilen ürün	26
Şekil 3.1. Ambar kapağı yerleşimi en kesiti.	31
Şekil 3.2. Ambar kapağının mezarnaya oturma detayı.	32
Şekil 3.3. 2 ve 3 nolu ambarın üstten görünüşü.	32
Şekil 3.4. Ambar kapağının üstten görünüşü ve konteynırların basma noktaları. ...	33
Şekil 3.5. IMO gemi ölçülerinin gösterimi	37
Şekil 3.6. Ambar kapağına uygulanan kuvvet noktaları ve mesnet bölgeleri.....	39
Şekil 4.1. Uygulanan yöntemin algoritması.....	41
Şekil 4.2. (a) Birinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.....	43
Şekil 4.3. (a) İkinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.	44
Şekil 4.4. (a) Üçüncü model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.	45
Şekil 4.5. (a) Dördüncü model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.....	46
Şekil 4.6. (a) Beşinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.....	48
Şekil 4.7. (a) Altıncı model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.....	49
Şekil 4.8. (a) Yedinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.	51
Şekil 4.9. (a) Sekizinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.....	53
Şekil 4.10. (a) Dokuzuncu model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.	54
Şekil 4.11. (a) Onuncu model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.	55
Şekil 4.12. Onuncu model.....	56

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.13. Onuncu modelin boy yönünde kesiti	57
Şekil 4.14. Gerilme analizi.....	57
Şekil 4.15. Elastik şekil değiştirme analizi.	58
Şekil 4.16. Güverte üzerinde konteynırların bağlanması	59
Şekil 4.17. Güverte üzerinde konteynır yığınının devrilmesi	60
Şekil 4.18. Gemi hareketleri	61
Şekil 4.19. Kapağın mesnetlenmiş halde doğal frekans analizi.	61
Şekil 4.20. Geminin mevcut ambar kapağı statik gerilim analizi.	65
Şekil 4.21. Geminin mevcut ambar kapağı elastik şekil değiştirme analizi.....	66
Şekil 4.22. Mevcut kapak doğal frekans analizi.	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Geminin Ana Boyutları.....	30
Çizelge 3.2. Geminin ağırlık kalemleri	36
Çizelge 3.3. Konteynır ağırlıkları.....	37
Çizelge 3.4. AH-36 gemi inşa çeliğinin mekanik özellikleri	40
Çizelge 3.5. AH-36 gemi inşa çeliğinin kimyasal bileşimi.....	40
Çizelge 4.1. Önerilen kapak ve mevcut kapağın değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.2. Her iki kapağın üretim maliyetlerinin karşılaştırılması	69
Çizelge 4.3. Her iki kapağın kullanımına göre ana makine güçleri	69
Çizelge 4.4. IMO Marpol No _x limitleri	70
Çizelge 4.5. IMO Marpol So _x limitleri	71
Çizelge 4.6. Önerilen ambar kapağı kullanımının stabiliteye iyileştirme etkisi.	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

L	: Gemi boyu
L _{bp}	: Gemi dikmeler arası mesafesi
D	: Gemi güverte yüksekliği
D'	: Düzeltilmiş gemi güverte yüksekliği
B	: Su hattındaki gemi genişliği
B _D	: Gemi genişliği
B _M	: yarı drafftaki gemi genişliği
d	: Gemi draftı (su çekimi)
V	: Seyir hızı
KG	: Gemi ağırlık merkezinin zeminden yüksekliği
C _B	: Gemi blok katsayısı
C _w	: Su hattı alanı katsayısı
l _h	: Merkezden %0,25 baş ve kıç taraf içinde kalan ambar ağız boyları
b	: Merkezden %0,25 baş ve kıç taraf içinde kalan ambar ağız genişlikleri
h	: Ambar ağız yüksekliği
$\varphi_0(p)$: Optimizasyonun amaç fonksiyonu
$\varphi_i(p)$: Optimizasyonun kısıt fonksiyonu
p_j	: Tasarım değişkenlerinin vektörü
$W_{den,e}$: Elemanın gerinim enerjisinin yoğunluğu
E	: Young modülü
K	: Eleman sertliği
σ	: Akma gerilmesi
C:	: Konteynır gemisi stabilite güvenlik katsayısı
M	: Üst üste dizili bir yığındaki konteynırların toplam ağırlığı
a _v	: Konteynır basma noktasına tesir eden ivme katsayısı

KISALTMALAR

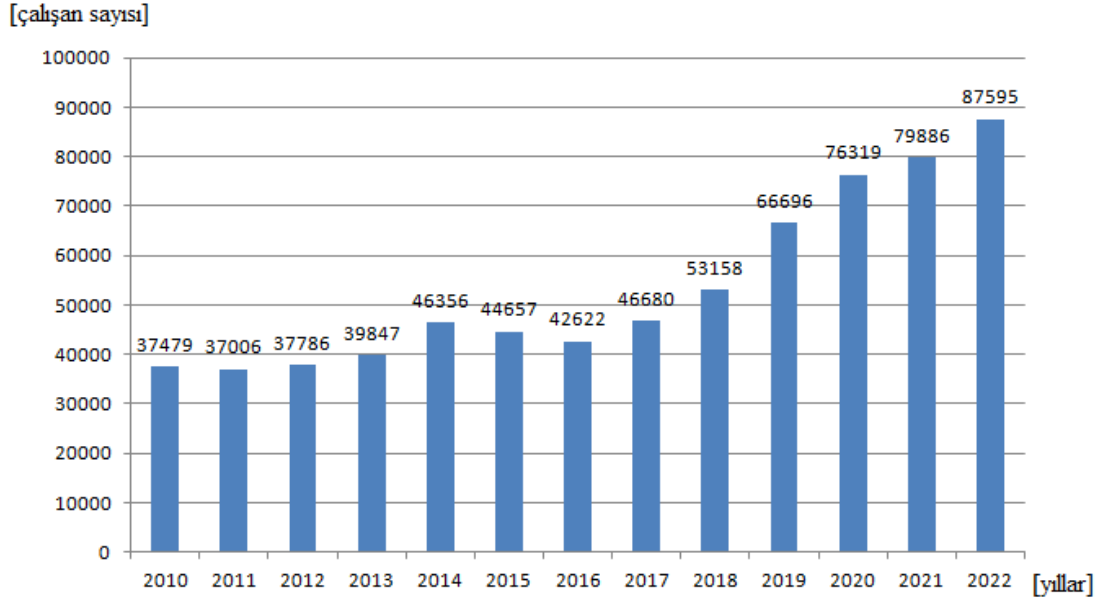
- IMO : International Maritime Organisation (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
- TEU : Twenty-foot Equivalent Unit (20 feet lik ölçüde konteynır ölçü birimi kısaltması)
- GZ : Gemi iskele ya da sancak tarafa meyil yaptığında suyun uyguladığı kaldırma momenti ölçüsü
- DWT : Geminin yük taşıma ölçüsü, taşıdığı yükün ton cinsinden kütlesi
- SIMP : Cezalı Katı İzotropik Malzeme yaklaşımı
- RR : Reddetme oranı
- IR : Dahil etme oranı
- ON : Salınım numarası
- TPC : Tonnage per centimeter

BÖLÜM 1

GİRİŞ

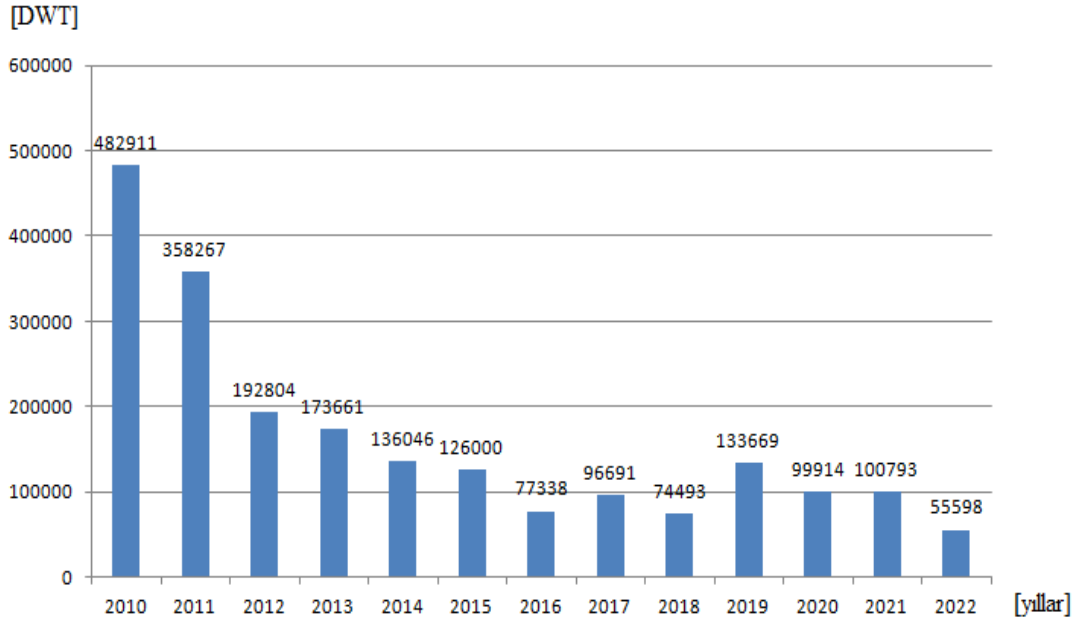
1.1. GEMİ İNŞA SANAYİ

Gemi inşa sanayi, girdi olarak yarı mamul (çelik levha, boru, kablo vs.) ve yan sanayi ürünlerini (makine, güverte ekipmanları, paneller, vs.) işgücü ile ürün olarak gemi üretilmesi sürecinin tamamı olarak tarif edilebilir. Gemi inşaatı, dünya ve ülke ekonomisine, iş gücüne ve dünya ticaretine olan katkısıyla kendine has özelliklere sahip, emek ve sermayenin yoğun olduğu bir sanayi koludur. Gemi inşa, makine imalat sanayi, elektrik-elektronik sanayi, boya sanayi, lastik-plastik sanayi, demir-çelik sanayi gibi onlarca sanayi kolunun ürünlerini bilimsel ve teknolojik temellere dayalı olarak, belirli bir sistematik ve disiplin içerisinde tersanelerde bir araya getirilerek ve birleştirilerek ürün elde edilen bir sanayi dalıdır [1].



Şekil 1.1. Yıllara göre Türk gemi inşa sanayinde istihdam sayıları [2].

Şekil 1.1 de Türk tersanelerinde 2010 yılından beri istihdam edilen çalışan sayıları görülmektedir. Bu sayılar sadece tersane içinde çalışan kişi sayısıdır, bunların haricinde sektörü besleyen yan sanayi kuruluşlarında da önemli miktarda istihdam bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Yıllara göre teslim edilen yük gemilerinin toplam kapasiteleri [2].

Şekil 1.2 de yine tersanelerimizde inşa edilen yük gemilerinin DWT (ton olarak geminin yük taşıma kapasitesi) kapasiteleri görülmekte. Şekil 1.1'deki istihdam sayıları ile Şekil 1.2.'deki üretim kapasiteli örtüşmüyor olarak görülebilir fakat Şekil 1.2'deki sayılar sadece yük gemilerini içermektedir. Ülkemizde son 15 yılda römorkör, açık deniz destek gemileri ve balıkçı gemileri inşasında da büyük atılım yapılmıştır. Yük gemisi üretim sayıları azalsa da katma değeri daha yüksek özel gemilerin miktarı artmıştır.

2002 yılında tersanelerimizin yıllık kapasitesi 550.000 DWT iken bu sayı 2012 yılında 3.600.000 DWT ye, 2022 yılında da 4.740.000 DWT ye yükselmiştir [2]. Sektörün üretiminin %90 dan fazlası ihraç ürünüdür. Bu verilerden anlaşıldığı üzere gemi inşa sanayi ülkemiz için önemli sektörlerden biridir.

1.2. GEMİ ÜRETİMİNDE BİLGİSAYARLI TASARIM VE ANALİZ KULLANIMI

Bilgisayarlı tasarım ve analiz yöntemleri tüm üretim sektörlerinde olduğu gibi gemi ve gemi yan sanayi sektörlerinde de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Geminin ilk tasarım aşamasından işletmecisine teslimine kadar birçok aşamada yer teşkil etmektedir.

Ön dizayn aşamasında güç direnç hesaplamaları, stabilite analizleri, form tasarımı, makine ve sevk sistemi seçilmesi ve tasarlanmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics) ve hidrodinamik hesaplamalar kullanılır. Konstrüksiyon tasarımında kabul edilmiş konstrüksiyon boyutlandırma standartlarının yanı sıra statik konstrüksiyon ve rijit dinamik analizleri kullanılır. Boru devrelerinin tasarımında da hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile beraber statik konstrüksiyon analizleri yapılır.

Gemi konstrüksiyonundan bağımsız ekipmanlarda da statik konstrüksiyon ve rijit dinamik analizleri, kabul edilmiş konstrüksiyon boyutlandırma standartlarına nazaran daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Kreynerler, matafaralar, güverte makineleri ve ambar kapakları sayılabilecek bazı bağımsız çelik konstrüksiyonlardır.

Ambar kapakları, dökme yük gemileri, genel kargo gemileri, konteyner gemileri gibi kuru yük taşıyan tüm gemilerde bulunur. Dökme yük gemilerinde kullanılan ambar kapakları, üzerinde yük taşımadığı için harici kuvvetlerden dolayı oluşacak gerilimlere maruz kalmazlar. Ancak istisnai durumlarda dökme yük gemilerinin ambar kapakları üzerine ambar ağzından giremeyecek yüklerin yerleştirildiği durumlar olabilir. Bu duruma istinaden kapakların tasarımında güverte üzerinden etkiyecek kuvvetlerin sebep olduğu gerilimleri karşılayabilecek tasarımlar yapılır.

Teknolojinin ilerlemesi ve beraberinde oluşan ekonomik şartlar, optimizasyon kavramının önemini ortaya çıkarmaktadır. Belirli bir amaç ve kısıtlar altında, en uygun çözümü arama işlemi olan optimizasyon, mühendisliğin hemen hemen bütün dallarında başarı ile uygulanmaktadır [3].

1.3. TEZİN AMACI

Konteynır gemisi ambar kapakları diğer yük gemilerinin ambar kapaklarına nazaran hem maruz kaldıkları gerilimler sebebiyle hem de boyutları sebebiyle daha ağır konstrüksiyonlardır. Konstrüksiyon olarak daha ağır olduğu gibi, imalat işçiliği de diğer ambar kapaklarına göre daha zor ve maliyetlidir. Kapak konstrüksiyonunda yapılacak ağırlık azaltımının getirilerini alttaki maddeler olarak sıralayabiliriz.

- Kapak maliyetinin düşürülmesi,
- Kapağı açmak için kullanılan sistemlerin maliyetinin düşürülmesi,
- Geminin taşıma kapasitesinin arttırılması,
- Gemi stabilitesinin iyileştirilmesi,
- Yakıt tüketimi azaltımı,
- Emisyon iyileştirmesi.

Kapağın imalatı için gerekli çelik miktarı azalacağı için maliyet ve nispeten işçilik azalacaktır. Diğer kuru yük gemilerinde ambar kapakları üzerinde yük taşımadıkları için maruz kaldıkları kuvvet ve gerilimler düşüktür, bu sebeple çok hafif konstrüksiyonlardır. Ancak konteynır gemisi ambar kapakları üzerlerinde konteynır yükü taşımaları sebebiyle yüksek gerilimlere maruz kaldıkları için ağır konstrüksiyonlardır. Ayrıca konteynır gemilerinin ambarları, ambar hacminin tamamının üzerinin açılması zorunluluğu sebebiyle çok büyük bir alanın kapatılması gerekir. Bu da konteynır gemisi ambar kapağının diğer kuru yük gemileri ambar kapağına göre uzunluk ve genişlik olarak da çok daha büyük olacağı anlamına gelmektedir. Her bir ambar için iki kış (geminin arka tarafını ifade eder) tarafta ve iki baş (geminin ileri tarafını ifade eder) tarafta dört adet kapak kullanılır. Ortada bulunan birer ambar kapağının ağırlıkları, sadece iskele ve sancakta bulunan mezarna konstrüksiyonu üzerine bastıkları hat üzerinden gemiye iletilir. Bu da kapakların üzerine yayılı yük binmiş basit mesnetli giriş olarak davranmasına sebep olur. Kapak, ortasında maksimum gerilimlere gerçekleşir.

Ambar kapaklarının ağırlıkları azaltılınca kapakları açmak için kullanılan hidrolik sistemler daha düşük seviye tercih edilebileceği için bu pahalı sistemlerin ilk yatırım

maliyetleri azaltılabilir. Her ambar kapağı çifti için ikişer adet hidrolik sistem kullanılır. yedi tane kapak çifti için on dört adet hidrolik açma kapama sistemi kullanılır.

Toplam ambar kapağı ağırlıklarında yapılacak azalma miktarı kadar taşınacak yük miktarında arttırılma sağlanabilir. Fakat taşınacak maksimum konteynır sayısı belli olduğu için bu maksimum limit zaten aşılamaz. Birçok durumda taşınan konteynırların büyük çoğunluğunun ağırlığı yüksek olabilir, bu durumlarda maksimum konteynır sayılarına ulaşmadan maksimum DWT limitine ulaşılmış olunur. Yapılacak olan toplam kapak ağırlığı azaltılması ile geminin DWT kapasitesi arttırılmış olunur. Konteynır gemileri aynı boyuttaki diğer kuru yük gemileri ve tankerlere nazaran toplamda daha hafif yük taşımaları sayesinde ve yüklerini daha hızlı taşımaları gerektiği için diğer yük gemilerine nazaran daha narin tasarımıdır. Daha narin tasarımı gemilerin 1 cm batma tonaj (TPC) değeri daha düşük olur. Bu da aynı ana boyutlara sahip daha narin ve TPC değeri daha düşük gemilerde ağırlık azaltımının daha etkili ve efektif olması anlamına gelir.

Ambar kapaklarının ağırlık merkezi gemi ağırlık merkezinden daha yukarıda olduğu için ambar kapaklarının ağırlığı gemi stabilitesine olumsuz etki yapar. Ambar kapaklarının ağırlığındaki azalma, doğal olarak gemi stabilitesinin iyileşmesi demektir. Stabilitenin iyileşmesi, ağır deniz koşullarında geminin daha emniyetli seyir yapabilme imkanının artması demektir. Gemi stabilitesinin iyileşmesi stabilitenin limit durumlara geldiği zaman, dolaylı olarak geminin yük taşıma kapasitesinin de olumlu etkilenmesi demektir. Yani gemi ağırlık kapasitesi olarak limit değerlere ulaşmasa bile yükleme planından dolayı güverte üzerindeki konteynırların toplam ağırlığı yüksek olabilir; geminin stabilite kriterleri gereği başka konteynır almasına izin verilmeyebilir. Stabilitesi ambar kapaklarının hafiflemesiyle bir miktar iyileşen gemi, bir miktar konteynır yükü daha alabilir.

Diğer kuru yük gemilerinde güverte üzerinde yük taşınmadığı için ambar kapakları yüksek yüksek değerlerde kuvvetlerin tesiri altında değildir. Bu yüzden diğer kuru yük gemilerinin ambar kapakları daha hafif tasarımlardır. Ambar kapakları daha hafif oldukları için oransal olarak geminin yük taşıma kapasitesine daha az etki etmektedir.

Aynı şekilde diğer kuru yük gemilerinde stabilite durumu konteynır gemileri gibi limit değerlere yaklaşmadığı için ambar kapaklarının stabilite hususunda etkisi azdır. Maliyet açısından etkisi de geminin toplam maliyetine oranla daha az etkilidir. Tüm bu sebeplerle bu çalışmada konteynır gemisi ambar kapağı ağırlık azaltılması üzerine çalışılmıştır.

Ambar kapağı ana boyutları ile Fusion 360 programı ile modellenip üzerine konteynır yükleri verilerek Fusion 360 programı shape optimization (şekil optimizasyonu) modülü ile topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuç yorumlanarak, modelde değişiklikler yapılp optimizasyon yinelenmiştir. Her optimizasyon sonunda hacim eksiltilmesi önerilen bölgelerde daha ince, daha dar ve sayıca daha az elemanlar kullanılıp, hacim koruması önerilen bölgelerde de gerilmeye daha dayanıklı konstrüksiyon elemanları yerleştirilmesi yapılmıştır. Optimizasyonlar tekrarlanarak nihai ambar kapağı tasarımına ulaşılmaya çalışılmıştır. Programın verdiği hacim eksiltilmesi önerilerine göre model, sac ile kaynaklı imalat usulüne uygun olarak güncellenip tekrarlanmaktadır. Ambar kapağının topoloji optimizasyonu tasarım yöntemlerinde sıkça kullanılan eklemeli yöntem ile imal edilemeyeceği için sac ile kaynaklı imalat yapılabilecek modeller analiz edilecektir. Bir başka deyişle topoloji analizi ile programın önerdiği üç boyutlu modeller, farklı kalınlıklardaki ve farklı şekillerdeki saclar ile imal edilebilecek şekilde yinelenecektir. Ardından tekrar topoloji optimizasyonu analizi uygulanacaktır. Çalışma bu yönüyle diğer topoloji analizi çalışmalarından farklıdır.

1.4. LİTERATÜR ARAşTIRMASI

Gemi inşa ve diğer tüm sanayi türlerinde konstrüksiyon ve makine bileşenlerinin ağırlığını azaltmak her zaman önemli hedeflerden biri olmuştur. Ağırlık azaltımı hem maliyeti düşürmek hem de konstrüksiyonun diğer fonksiyonlarını iyileştirmek için en önemli faaliyetlerden biridir. Yapılan literatür araştırmalarında yapıların ve makine bileşenlerin ağırlığını azaltmaya yönelik birçok alanda çok sayıda hem makale hem de tez çalışmaları bulunmuştur. Ağırlık azaltımı için farklı optimizasyon türlerinin yanı sıra farklı sonlu eleman yöntemleri de kullanmışlardır. Birçok bilim adamı yaptıkları iyileştirme çalışmalarının ekonomikliği üzerine de çalışma yapmışlardır. Üretiminin

büyük yatırımlar gerektirdiği seri imalat makine parçalarının ilk yatırım maliyetlerinin geri kazanım süreleri hesaplanmış ve verilecek kararın verimliliği hakkında öneriler sunulmuştur.

Eklemeli imalat teknolojisi son yıllarda çok geliştiği için çalışmaların birçoğu eklemeli imalat ile üretilebilecek parçalar üzerine yapılmıştır. Seçici lazer eritme (SLM), seçici lazer sinterleme (SLM), eriyik biriktirme (FDM), lazer metal biriktirme (LMD), lazer ışın eritme (LBM) gibi birçok eklemeli imalat teknolojisi gelişmiş ve araştırmacılar farklı malzeme türlerine göre farklı üretim metotları ile her türlü metal parçanın ağırlığını azaltmaya yönelik optimizasyon çalışmaları yapmışlardır [4].

Birçok araştırmacı çalışmalarında hazır sonlu elemanlar analiz programlarını kullanırken birçoğu kendilerinin hazırladığı farklı yazılım dilleri ile hazırlanmış programlar ve farklı algoritma yöntemleri kullanmışlardır.

Putra ve arkadaşları (2019), gemi ambar kapağı için malzeme miktarını azaltmak için 3 aşamalı genetik algoritma kullanarak şekil optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Ambar kapağının konstrüksiyonu gemi konstrüksiyonundan bağımsız olduğu için optimizasyon çalışması daha kolay yapılmıştır. "Ha 2011" in verdiği bilgiye göre kapak maliyeti toplam gemi maliyetinin %5-8 civarındadır. Birinci aşamada malzeme ve stifner tipi (genetik algoritma ile), ikinci aşamada sac kalınlığı, üçüncü aşamada da materyallerin yerleşimi belirlenmektedir. Birinci aşama ve ikinci aşama iç içe geçmiş olarak gerçekleştiği için bu ikisine hibrid genetik algoritma aşaması denilmiştir. "Ashby 2012" sayfa 4 teki denklemleri önermiştir. Bu denklemde orijinal ve alternatif malzemenin özelliğine göre maliyet ve mukavemet özelliğine göre basit bir oran sunulmuştur. Yaptıkları sonlu eleman analizlerinde, maksimum deformasyon, maksimum gerilme gibi IACS kurallarını da sınırlayıcı kriter olarak göz önünde bulundurmışlardır [5].

Liu ve arkadaşları (2019), gemi pruvası dış kaplamasına stifner yerleşimi için 2 aşamalı tasarım optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Birinci aşamanın plaka üzerine stifner yerleşimi, ikincisi aşamanın boyut hesaplaması olduğu belirtilmiştir. Plaka üzerine stifner yerleşimi tasarımının 2 metotla yapılabileceğini, birincisinin optimal

kalınlık dağılımı ile, ikincisinin kalın malzemeler ile donatılmış yapının inceltilerek nihai kalınlıktaki şekline düşürülmesi olduğu söylemişlerdir. "Bendsøe (1989)" Cezalı Katı İzotropik Malzeme (SIMP) metodu önermiştir. Ve bu yöntem topoloji optimizasyonunda da yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Topoloji optimizasyon problemlerini çözmek için uygun olan gradyan tabanlı bir optimizasyon algoritması olan sıralı ikinci dereceden programlama çözüm algoritmasını kullanmışlardır. Gemi pruvası dış kaplamasının maruz kaldığı tüm yük ve momentleri hesaba dahil edilmiş, bu yük ve momentleri geminin boyutuna göre kural kitaplarından elde edilmiştir. İlk tasarım modele göre stifner ağırlığını 11 ton arttırıp dış kaplama ağırlığını 23 ton azaltıp, toplamda 12 ton (%6,2) çelik miktarı tasarruf sağlanmıştır [6].

Putra ve arkadaşları (2019), hibrit genetik algoritma ile malzeme tasarrufu amacıyla panel üzerine stifner yerleştirilmesinin optimizasyonunu yapmışlardır. Stifner tipi ve şekli, stifnerler arası boşluk ve sac kalınlığını belirlemişlerdir. Stifnerler arasındaki sacdaki deformasyon ve gerilim miktarları sınırlayıcı kriterler olarak kabul edilmiştir. (IACS kurallarına göre). Belirli sayıda ve ölçüdeki T stifnerler de sınırlayıcı olarak kabul edilebilir olduğu söylenmiştir. Stifnerler arası mesafelerin aynı olması zorunlu tutulmamış fakat toplam stifnerler arası mesafe sabit kabul edilmiştir. Stifnerlerin de farklı ölçülerde kullanılabileceğine yönelik optimizasyon yapılmıştır. Hedef fonksiyon olarak da en az kütleyle sahip konstrüksiyon belirlenmiştir [7].

Caprace ve arkadaşları, 319 metre boyunda bir LNG gemisi gövde konstrüksiyonuna çoklu amaçlı optimizasyon yapmış ve bu hesapları BV kurallarına göre doğrulamışlardır. Çelik gemi ve diğer deniz yapılarının konstrüksiyon optimizasyonunda kullanılan LBR-5 yazılımını kullanmışlardır. Sadece en kesit çizilerek, dizaynın tamamını bitirmeden ön dizayn aşamasında analiz yapabilmekteler. Pareto optimum haritalandırması için tekrarlanan ağırlıklı toplam çözüm yöntemini kullanmışlardır. Benzer gemilere göre sintine dönümü kısmından hacim azaltarak gemi en kesitini biraz daha daireselleştirmişlerdir. Bu sayede tarafsız eksen daha yukarı çıktığı için üst taraflardaki gerilim azalmıştır. Ayrıca konstrüksiyondan farklı olarak nozullu ve daha küçük bir pervane kullanılarak gemi boşken gereken balast miktarının azaltılmasıyla daha verimsiz önerilmiş pervaneye nazaran %1-10 arasında bir yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Yapılan bu hesaplamalarla elde edilebilecek malzeme

tasarrufunu ve işçilik miktarı değişimini tablo olarak sunup Pareto optimum grafiğinde haritalandırılmıştır [8].

Caramatescu ve Mocanu (2010), kompozit bir teknede dalga darbelerinin oluşturduğu gerilimleri nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Küçük fiber bir tekneye 10 adet basınç sensörü, 2 adet de ivme sensörü yerleştirilip basınç ölçümleri yapılmış. Farklı hızlarda seyir yaparken tekne baş ve ortasında dikey ivmelenmeler ölçülmüştür. Deneysel veriler ile nümerik hesapların verileri karşılaştırılmıştır. Dalga tepesi ve dalga çukuru için ayrı ölçümler yapılmış. Ölçülen basınçlar sayesinde gerilimler hesaplanmıştır [9].

Sobey ve arkadaşları (2013), epoksi kompozit gövdeli bir teknenin konstrüksiyon optimizasyonu için, kompozit ızgara panele yapısal analiz yöntemi olan Navier Grillage teorisini uygulamışlardır. Genetik algoritma ile stifnerlerin yeri, aradaki boşluklar tasarlanmış, gömülü algoritma ile stifnerlerin kendisi tasarlanmıştır. Lloyd's Register ve ISO 12215-5 kuralları ayrı ayrı kullanılarak simülasyon yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır [10].

Rosén ve arkadaşları (2020), nonlinear zaman alanlı strip metodu ile yüksek hızlı kayıcı teknelere mukavemet analizi yapmışlardır. İncelenen teknenin konstrüksiyonuna iç konstrüksiyon yükleri ve dalga kuvvetleri uygulanmıştır. Dalgalar, 2 boyutlu darbe serisi problemi olarak modellenmiş ve düzensiz dalga simülasyonu için uygun dalga spektrumuna göre Monte Carlo şeması uygulanmıştır. Rijid gövde hareketinin hız, ivme kesit draftları ve hidrodinamik kuvvetlerin zaman serisi cinsinden sonuçlar elde edilmiştir [11].

Stenius ve arkadaşları (2011), gemi konstrüksiyonuna yapısal boyutlandırma optimizasyonu yapmışlardır. Düşük konstrüksiyon ağırlığı, daha az deplasman, bu da daha az direnç, daha az güç gereksinimi, daha az yakıt tüketimi, daha az işletme maliyeti ve daha az çevresel etki anlamına gelmektedir. Probleme hem malzeme seçimi hem de malzeme boyutlandırması olarak iki bakış açısı ile yaklaşılmaktadır. Gemi konstrüksiyonunun bütününün optimizasyon zorluğunun üstesinden gelinmesi için, daha basit, çözülebilir alt problemler dizisine dönüştürülmektedir [12].

Um ve Roh (2015), C++ yazılım dili ile optimizasyon programı geliştirerek, 180.000 DWT'lik bir dökme yük gemisinin ambar kapağına ağırlık azaltımı iyileştirmesi çalışması yapmışlardır. Ambar kapağında enine yönde yerleştirilmiş korgeyt stifner takviyelerinin kesit boyutlandırması ve sac kalınlığı belirlemesi yapmışlardır. Çalışmalarında, çoklu başlangıç optimizasyon algoritması yöntemi, sıralı ikinci dereceden programlama, genetik algoritma ve hibrit optimizasyon algoritması yöntemlerinin ayrı ayrı uygulayarak sonuçları karşılaştırmışlardır [13].

Kendibilir ve Kefal (2023), peridinamik topoloji uygulaması ile örnek bir açılır tarak dubası gemisinin orta kesitine Matlab programında şekil optimizasyonu yapmışlardır. Ölçüleri belli olan geminin en kesitini, konvansiyonel tasarım, optimal kriterli peridinamik topoloji ve oransal yaklaşımlı peridinamik topoloji yaklaşımı ile tasarlayıp karşılaştırmışlardır [14].

Zuo ve arkadaşları (2023), ızgara kabuk çatı konstrüksiyonunda bağlantı elemanlarına topoloji optimizasyonu ile tasarım yapmışlardır. Çelik borular ile üçgen hücreler oluşturularak silindirik çatı sisteminin tamamı oluşturulmaktadır. Her üçgen hücrenin köşe noktalarında 6 adet boru tek bir bağlantı elemanı ile birleştirilmektedir. Yatayda her bağlantı elemanının maruz kaldığı kuvvet ve gerilimler aynı olduğu için hepsi özdeş fakat çatının üst taraflarına çıktıkça maruz kaldıkları kuvvet ve gerilimler değişeceği için her bağlantı elemanı farklı tasarlanmıştır. Yaptıkları bu çalışmada parçaları Rhinoceros, Grasshopper, Karamba 3D ve Ameda Programları ile parametrik olarak modellenip topoloji optimizasyonu yapılan sistem Abaqus ve Python Yazılımları ile sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Son olarak tasarlanan birleştirme parçaları STL formatına dönüştürülüp lazer ergitme yöntemi ile üretilmiştir [15].

Wang ve arkadaşları (2020), çelik konstrüksiyon çatı sistemlerindeki ağaç benzeri taşıyıcı uygulamalarında dal taşıyıcıların gövde taşıyıcıya bağlantı noktası üzerine topoloji analizi çalışması yapmışlardır. Topoloji analizini sürekli yapıların topoloji analizi ve tekil parçaların topoloji analizi olarak ikiye ayırmakta ve çalışmasındaki analizin sürekli yapı topoloji analizi olarak gerçekleştirildiği ifade edilmektedir. Yapılan bu analizle elde edilen tasarımın gerilim ve yer değiştirme analizlerini, küre tip birleştirme elemanı ve doğal tip birleştirme elemanı ile karşılaştırmışlardır.

Topoloji optimizasyonu ile elde edilen tasarımın diğer iki tasarıma göre imalat zorluğu olsa da mukavemet değerleri açısından daha başarılı olduğunu söylemektedir [16].

Bozer (2023), gemi radar alıcı ekipmanlarının montaj braketini için topoloji optimizasyonu ile tasarım yapmıştır. Tasarlanan ekipman, eklemeli imalat ile üretilmek üzere dizayn edilmiştir. Çalışmada Altair Hypermesh Programını kullanılmıştır. 4 kg olan ilk tasarımın ağırlığı 1,94 kg.' a düşürülerek %52 lik ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Dizayn edilen montaj braketinin titreşim analizleri de yapılmıştır. Eklemeli imalat yöntemi ile ürettikleri numune ürüne testler uygulanmıştır. Eklemeli imalat yönteminde parça içinde kusurlar ve eksiklikler olabileceğini belirterek yapılan testlerde, statik gerilme analizi ve titreşim analizlerinde elde ettikleri değerlere yakın sonuçlar bulunmuştur [17].

Botsalı (2022), otomobil ön süspansiyon sistemi alt salıncak elemanı üzerine topoloji optimizasyonu çalışması yapmıştır. Solidworks programı ile modellenen parçaya 2 farklı yükleme durumu senaryosuna göre hem ağırlık azalımı için hem de minimum deformasyon için analiz yapılmıştır. Analiz yapılan parçayı, her iki yükleme durumunda da hem minimum şekil değiştirme üzerine hem minimum gerilime maruz kalma üzerine hem de minimum kütleye ulaşmak üzere optimize etmiştir. Elde edilen sonuçlar parçanın doğal frekansı da göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır [18].

Nalbant (2021), otomobil ön süspansiyon sistemi alt rotilli salıncak elemanına topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirilmesi optimizasyonu yapmıştır. Ansys programı ile modellenen parçaya yine aynı programı ile topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Birinde parça dış geometrisi korunarak sadece iç kısımlardan parça eksilterek, diğerinde de parçanın tamamından parça eksilterek 2 farklı tasarım yapılmıştır. Her iki tasarım statik analiz, yorulma analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Tasarlanan parçalar üretilerek statik ve yorulma test cihazlarında test edilmiş, sonuçlar Ansys programındaki ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile ürünün imalatında yapılan tasarruf ile, yapılacak yatırım maliyetlerinin kendini 3 ayda amorti edebileceğini hesaplanmıştır [19].

Top ve arkadaşları (2019), otomobil el freni braketine topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirilmesi yapmıştır. İşlem sonrası elde edilen parçanın eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan SLS yöntemi ile üretilmesini planlanmıştır [20].

Erol (2019), uçak iniş takımı tork koluna topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi yapmıştır. Çalışmasında optimizasyonu Ansys, Solidworks, sT inspire ve Hyper Works programlarında ayrı ayrı yapmıştır. Tork kolunun malzemesini de CES Edupack programını kullanarak ashby yöntemi ile belirlemiştir. Solidworks ile %37,5 sT Inspire ile %41,8 ağırlık azalımı elde edilmiştir. Buradan da ortalama olarak uçağın bir yıllık operasyonunda toplamda 1360 litrelik yakıt tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır [21].

Enginar (2014), 22,5” x 9” ebatlarındaki ağır vasıta jantına topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi çalışması yapmıştır. Catia programı ile modellenen jant, HyperWorks programı ile statik analiz ve topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Yaptıkları çalışma ile jant kütlelerinde 0,46 kg %2,7 azalma elde edilmiştir [22].

Eser (2021), dinamik yükler altında, krank-biyel mekanizmasına bütünleşik halde topoloji optimizasyon uygulaması yapmıştır. Isight ve Abaqus programlarını kullanılmıştır. Orijinal tasarım, tam faktöriyel tasarım ve doğrusal olmayan 2. Derece programlama tasarımına göre 3 tasarım karşılaştırılmıştır. En iyi sonuçlar tam faktöriyel tasarım metodu ile elde edilmiştir [23].

Bal (2020), Avcı uçaklarda silah ve mühimmat taşıma sisteminde kelepçe parçasına topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi yapmıştır. Parçanın modellemesini solidworks programı ile, analizlerini ise Abaqus programı ile yapmıştır. Temel tasarım modeline göre 3250 gr. olan ilk parçanın ağırlığı 705 gr. a düşürülmüştür [24].

Kılıçaslan (2018), otomobil taşıma amaçlı kullanılmak üzere standart yüksek konteynır ölçülerinde topoloji optimizasyonu ile yeni bir konteynır tasarlamıştır. Tasarım, 40’lık yüksek konteynırın içine her biri 2 ton ağırlığında 4 adet otomobil sığacak şekilde yapılmıştır. Optimizasyonu Altair Optistruct Programı ile

gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak taşıma aparatları ile beraber 3220 kg ağırlığında bir kavramsal otomobil taşıma konteynırı tasarlamıştır [25].

Kılıç (2020), tek kişilik elektrikli otomobilin elektrik motoruna braket sistemi tasarlamışlar. Abaqus ve Altair Inspire programı ile yapılan optimizasyon sonucu, 364 gr. olan ilk tasarımı 229 gr. a düşürerek %37 lik bir ağırlık azalımı sağlamışlardır. Dizayn edilen braket eklemeli imalat yöntemi ile üretilecek şekilde tasarlanmıştır [26].

Özarpa ve arkadaşları (2022), raylı sistemlerde kullanılan cer kancasına topoloji optimizasyonu ile yeni bir tasarım geliştirmişlerdir. Başlangıçta 29,16 kg olarak yazılım tarafından hesaplanan cer kancası ekipmanı, optimizasyon uygulandıktan sonra 26,73 kg'a düşerek toplamda %8,33 oranında kütleli kazanımı elde edilmiştir. Ortaya çıkan kütleli kazanımın tasarım ve üretim akışını değiştirmeye ve yeni ürünü devreye almaya değer görülmesi için yaklaşık %30 tasarruf sağlaması gerektiğini belirterek, yaptıkları yeni tasarıma göre üretim değişikliğine gidilmesinin gerekmediğini belirtmişlerdir [27].

Bekler (2013), konteynır vagonuna şekil optimizasyonu çalışması yapmıştır. Çalışmasını ALTAIR/Hyper Study programı ile gerçekleştirmiştir. Sadece şekil optimizasyonu olarak yapılan bu çalışma ile, 9022 kg ağırlığındaki vagon konstrüksiyonunda %2 lik bir ağırlık azalımı sağlanmış ve bu miktarın yeni bir imalat altyapı yatırımı için yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [28].

Çetin (2019), Vlasov kirişi üzerine farklı kuvvet uygulamalarında kesit tasarımı için topoloji optimizasyonu yapmıştır. Optimizasyon için Matlab yazılımı kullanılmış. 100 mm uzunluğunda ve 20x20 mm kare kesitli bir ucu ankastre mesnet olan kirişin diğer ucuna önce düşey yönde kuvvet uygulayıp topoloji optimizasyonunu yapmış ve merkezde dikey elemanı kuvvet uygulama ekseninde bulunun 20x20 mm kesit ölçüsüne sığacak kadar I kiriş elde etmiştir. Buldukları bu kiriş kesitini literatürde bulunan benzer kesitler ile benzerliğini karşılaştırmıştır. İkinci olarak kirişin ucuna hem düşey hem de yanal yönde iki kuvvet uygulanmış. Bu analizin sonucunda da kare kesitin çapraz köşegen üzerinden merkez elemanı geçen ve köşeler üzerinde üçgen ok benzeri elemanları olan bir kesit elde edilmiştir. Üçüncü analiz için kiriş ucuna

burulma momenti uygulanmış ve boru şeklinde bir kesit şekline ulaşılmıştır. Dördüncü analizlerinde de kiriş ucuna hem burulma momenti hem de yanal kuvvet uygulayınca D kesitli bir kiriş elde edilmiştir [29].

Şenel (2021), yüksek darbeli yüke maruz kalan sandviç yapılı konstrüksiyonun ara elemanlarına topoloji optimizasyonu uygulamıştır. Çalışmasında Solidworks ve Abaqus Programlarını kullanmıştır. Savunma sanayi araçlarının konstrüksiyonlarında kullanılan çift cidarlı 4 farklı tasarıma TNT patlama basıncına maruz kalacak şekilde gerilme analizleri yapmıştır. Yine bu farklı iç tasarımları topoloji optimizasyonu ile alternatif şekle sokup gerilim analizlerini yineleyip karşılaştırmalar yapmıştır [30].

Ay (2021), Hypermesh Optristruct programını kullanarak burun tarafında tek iniş takımı bulunan örnek bir uçağın iniş takımı ana taşıyıcı konstrüksiyonuna topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi yapmıştır. İniş takımı taşıyıcı elemanı prizmatik olarak modellenmiş ve montaj için kullanılacak bölgeleri, kuvvetlerin uygulama noktalarının programda tanımlanarak analizleri yapılmıştır. Farklı kuvvetler altında farklı alternatif tasarımlar elde edilmiştir [31].

Özkal (2012), betonarme yapı elemanlarının donatı düzeninin belirlenmesi için topoloji optimizasyonu ve çubuk benzeşimi yöntemlerini kullanmıştır. 4 farklı kiriş kolon sistemine hem topoloji optimizasyonuna göre hem de çubuk benzeşimi yöntemine göre donatı tasarlamış ve bu tasarımları deney numunesi olarak imal etmiştir. Yaptıkları bu betonarme deney numunelerini test cihazları ile kuvvet uygulayıp dayanımlarını ölçmüşler ve sonuçları karşılaştırmıştır [3].

Mancuso ve arkadaşları (2021), 4,2 metre boyunda kontrplak malzemeden üretilen yelkenli tekneye topoloji optimizasyonu ile konstrüksiyon tasarımı yapmıştır. Cezalı Katı İzotropik Malzeme (SIMP) temelli metot ile çalışmışlardır. Ansys programı ile modellenen tekneye hem deniz suyunun hidrodinamik kuvvetlerini hem de yelken direğinin kendisi ve montaj tellerinin etki ettiği kuvvetleri program üzerinde tanımlamışlardır. İlk olarak orijinal tasarım teknenin statik gerilim analizlerini yapmışlardır. Ardından tekne hacminin tamamının dolu olduğu modele topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Analizde tekne dış formunun cidarını ve tekne dibinden

tekne güvertesine kadar merkez hatta boylu boyunca devan eden perdeyi sabit korunur bölge olarak tanımlamışlardır. Farklı oranlarda malzeme azaltımı hedefi ile alternatif analizler yapmışlardır. Sonuçlara göre elde edilen düşey ve boyuna ağırlık merkezi değerlerini orijinal tasarım ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca teknenin denizcilik kabiliyetini etkileyen boyuna enine ve düşey yönde atalet momentlerini de karşılaştırmışlardır [32].

İslam ve Paul (2021), petrol tankerinin ambar arası enine su geçmez perdesine topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi yapmıştır. Çalışmalarında Abaqus Programını kullanmışlardır. Sac üzerine enine yerleştirilmiş T girder elemanlar ile düşey yerleştirilmiş 3 sıra elemanın bulunduğu perde konstrüksiyonu önce statik gerilme analizi hesabı yapmışlar ve maksimum gerilimi 138 Mpa bulmuşlardır. İlk optimizasyonu %30 malzeme azaltımı hedefi, ikincisini %45 malzeme azaltımı hedefi üzerine yapmışlardır. Analizi perde sacına değil de sadece enine ve düşeyde yerleştirilmiş T girder elemanlar için gerçekleştirmişlerdir. Buldukları konstrüksiyon önerilerine gerilme analizi yaptıklarında sırasıyla 150 Mpa ve 203 Mpa gerilmeler bulmuşlardır. Önerilen konstrüksiyonların yakın gelecekte eklemeli imalat yöntemleri ile imal edilebileceğini söylemişlerdir [33].

Sekulski (2010), 82 m. boyunda yüksek hızlı alüminyum konstrüksiyon bir yolcu feribotunun orta kesitine topoloji optimizasyonu ile orta kesit ölçülendirmesi yapmıştır. Çalışmasında çoklu hedef yöntemi ile çalışmıştır. Geminin kaplama sacları ile boyuna giden profil elemanlarını boyutlandırmıştır. Kullanılan genetik algoritmanın içinde elde edilen kalınlık değerleri klas kuruluşu kurallarının belirlediği değerler ile de kontrol edilmiştir. [34].

Seo (2018), örnek bir yüksek hızlı kayıcı tekne için, alüminyum profil malzemedan düz güverte oluşturmak için topoloji analizi yaparak ideal tasarıma ulaşmaya çalışmıştır. Örnek teknenin hem kıç tarafında hem de baş tarafında birbirinden bağımsız 2 ayrı güverte yapısı tasarlamıştır. Güvertelyi oluşturmak için alüminyum profil kesitlerinin yan kenarlarında bir tarafta erkek bir tarafta dişi çıkıntı bulunmaktadır. Profiller bu birleştirme detayı ile birbirlerine sabitlenerek güverte

oluşturulmakta. 3 farklı ölçüde profil kesiti sırayla analiz yapılmış, gerilme ve ağırlık sonuçları avantajlı olan kullanılmak üzere seçilmiştir [35].

Vuijk (2020), Açılır tarak gemisi orta kesitine hem boyuna giden stifner elemanlar için hem de dolu posta elemanları için topoloji optimizasyonu ile tasarım yapmıştır. Topoloji optimizasyonu yaklaşımı için çift yönlü evrimsel yapısal optimizasyon (BESO) yaklaşımını uygulamıştır. Belirleyici kriter olarak akma gerilmesi ile beraber burkulma gerilmesini de hesaplarına dahil etmiştir. Farklı posta arası mesafelerine göre farklı profil kesitleri ölçüldürmesi ve profiller arası mesafe, yani profil yerleşim düzenleri bulmuştur. Dolu posta yerleşimi için 12 mm'den 21 mm kalınlığa kadar eleman kalınlıklarına ayrı ayrı topoloji analizi yaparak farklı sonuçlar elde etmiştir [36].

BÖLÜM 2

KONTEYNİR GEMİSİ AMBAR KAPAĞI

2.1. KONTEYNİR

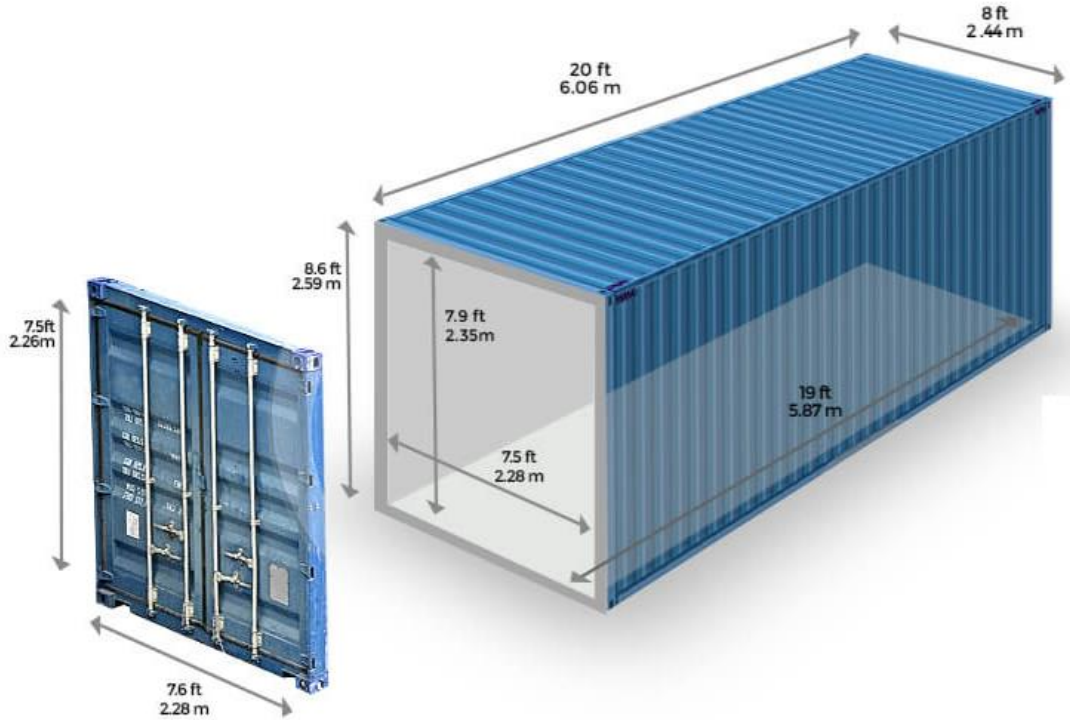
Gemi ile yük taşımacılığı günümüzde hala en ekonomik taşımacılık yöntemidir. 20. yüzyılın başlarına kadar yükler sadece genel kargo gemilerinin ambarlarında hiçbir standarda bağlı kalmadan taşınmaktaydı. 1950’li yıllarda ABD silahlı kuvvetlerinin lojistik için geliştirdiği ilk konteynir kutuları kullanılmaya başlandı. 1968-1970 yıllarında konteynir ile ilgili ilk ISO standartları kabul edilmiş ve 1972 tarihinde yayımlanan uluslararası denizcilik konvansiyonu ile konteynir taşımacılığı düzenlenmiştir. Günümüz tüketim ve ticaret sistemi içinde konteynir taşımacılığı büyük bir hacim teşkil etmektedir [37].



Şekil 2.1. Feeder tip konteynir gemisi [38].

Verimli ve güvenli olarak yük taşımak için üretilmiş uluslararası standartlara uygun boyutlarda ve konstrüksiyona uygun olarak üretilmiş çelik kutu şeklinde yapılarıdır. Konteynır boyutları ISO6346 standardıyla belirlenmiş çeşitli farklı ölçülerde olabilmektedir. Deniz yolu haricinde raylı sistemler ile de taşımacılığı yapılmaktadır.

En genel olarak standart, yüksek tip, açık ve soğutuculu olmaz üzere 4 tip konteynır vardır. Her tip konteynırın 20 feet boyunda olanları ile beraber 40 feet boyunda olanları da vardır. Yüksek tip konteynır, standart tip konteynırdan 30 cm daha yüksektir. Açık tip konteynırlar, kapalı alanda taşınma zorunluluğu olmayan ve konteynır kapağında geçemeyecek kadar büyük, küçük tekne gibi ürünler yerleştirilir. Sadece üstteki konteynırların yükünü taşımak ve alttaki konteynıra iletmek için köşelerindeki konstrüksiyonun bulunması zorunludur. Açık konteynırlarda içine silindirik tank yerleştirilerek sıvı yükler de taşınabilir. Soğutuculu konteynırların içi ısı izolasyonu malzemeleri ile kaplıdır ve konteynırın içinde dizel motor ile çalıştırılan soğutma sistemi bulunur. İçinde belli bir sıcaklıkta tutulması gereken gıda ve benzeri yükleri taşırlar.



Şekil 2.2. 20'lik konteynır ölçüleri [39].

Konteynır gemilerinin taşıma kapasitesi için DWT yerine TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) ifadesi kullanılır. Kelime anlamı olarak yirmi feet eşdeğer birimi anlamına gelmektedir. 917 TEU luk gemi denilerek 917 adet 20 feet ölçüsünde konteynır taşıma kapasitesinde gemi ifade edilmektedir.



Şekil 2.3. ULCV (Ultra Large Container Vessel) tip konteynır gemisi [40].

2.2. AMBAR KAPAKLARI

Ambar kapakları, kuru yük taşıyan gemilerde yükün korunması için yük ambarlarının üzerini kapatmak amacıyla kullanılır. Ambar içine dalgalar vasıtasıyla deniz suyu girmesini önlemek için temas ettiği her noktada sızdırmazlık özeliğinin olması gerekir. Yükleme boşaltma operasyonlarının daha kolay ve hızlı yapılabilmesi için ambar ağız açıklıklarının mümkün mertebe büyük olması istenir. Tersisi durum olarak da ambar ağız açıklıklarının gemi mukavemetini olumsuz yönde etkilemesinden dolayı mümkün mertebe küçük olması gerekir.

En çok kullanılan ambar kapağı çeşitleri;

- Yana kayar tip ambar kapağı
- Zincir çekmeli üst üste yığılmalı ambar kapağı

- Ponton tip ambar kapağı
- Katlanır tip ambar kapağı

olarak sayılabilir. Yana kayar tip ambar kapakları büyük dökme yük gemilerinde kullanılır. Ambar kapakları iki parça olarak her iki yana açıldığında ambar ağzı açıklığı genişliği gemi genişliğinin yaklaşık yarısı kadardır. Bu açıklık kapmalı kreyn (grab crane), vakumlu ya da elevatörü yükleme boşaltma sistemleri için yeterlidir.

Zincir çekmeli üst üste yığmalı ambar kapakları, gemi ambarının tek olduğu gemilerde kullanılır. Bazı uygulamalarda üst üste değil de dikey konuma getirilip istiflenebilir. Bu sistemlerde gemi ambarı hem genişlik hem de boyuna olarak tamamen açılmış olur. Bu gemilere rüzgar türbini kanatları ve gövdeleri, uzun beton kirişler, sıvı ya da gaz depolama tankları gibi bölünemeyen yükler yerleştirilir.

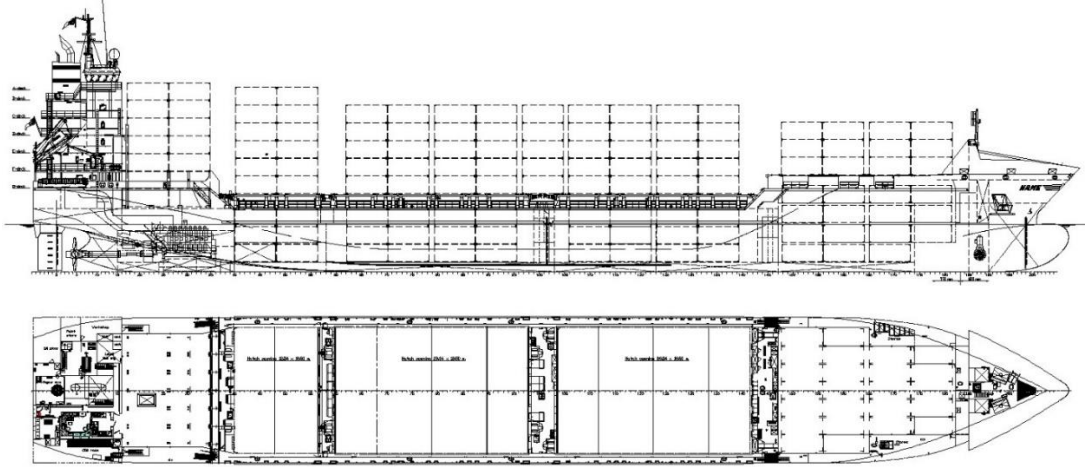
Ponton tip ambar kapakları büyük konteynır gemilerinde kullanılır. Gemi büyüklüğüne göre kapak tipi tercih edilir. Gemi genişliği belli bir mesafeye kadar katlanır kapak kullanımı uygun olmaktadır. Genişlik arttıkça kapak genişliği de artacağı için, hem kapak üzerindeki konteynır miktarı ve dolayısıyla yük artacak, hem de mesafe artacağı için kapak ortasında oluşacak eğilme momenti artacaktır. Kapak konstrüksiyonunu güçlendirmek belli bir genişlikten sonar efektif olmaktan çıkacaktır. Bu durumda ponton tip kapak kullanılır. Ponton tip kapaklı gemilerde her konteynır sırasının önünde ve arkasında gemi ambar zemininde ambar tepesine kadar yükselen kapağın basacağı bir taşıyıcı perde yapı bulunur. Bu sayede ambar kapakları daha kısa mesafeden mesnetlenmiş olunur ve üzerindeki konteynır ağırlıklarından dolayı daha az yüke ve gerilime maruz kalırlar. Ancak ponton tip kapaklarda hidrolik katlanır sistem uygulaması yapılamamaktadır. Bir kreyn yardımı ile kapakların kaldırılıp uygun bir alana istiflenmesi gerekir.

Katlanır tip kapaklar ise genel kargo gemileri ve feeder (1000 TEU'ya kadar kapasiteli gemi boyutu) ve feedermax (2000 TEU'ya kadar kapasiteli gemi boyutu) tipi konteynır gemilerinde kullanılır. Katlanır tip kapaklar, kapak konstrüksiyonunun izin verebildiği belli bir genişliğe kadar kullanılabilir. Bir kargo ambarını 2 kıçta 2 başta olacak şekilde dört kapak kapatır. Her 2 kapak birbirine mafsallı sistem ile bağlıdır. Hidrolik pistonlar

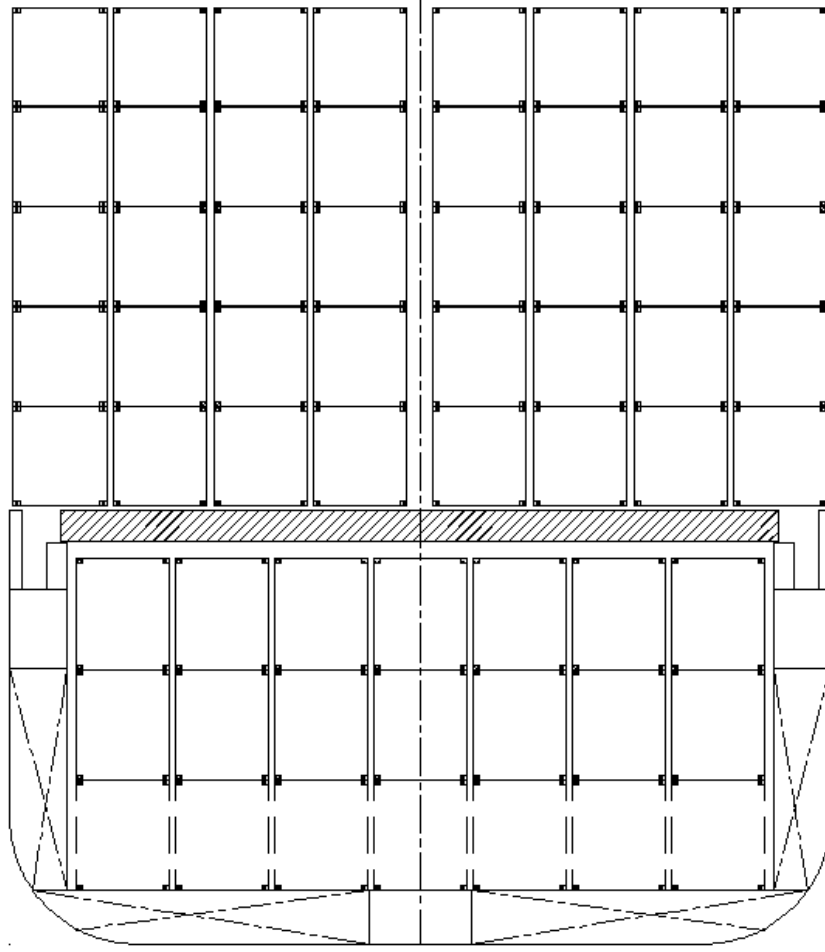
bir kapağı kaldırırken kalkan kapak ortada bulunan kapağı mafsal noktasından kaldırır ve 2 kapak 90 derece dik konuma geldiklerinde her iki kargo ambar mezarnası konstrüksiyonu arasına ana güverte üzerinde konumlanır (Şekil 2.6). Katlanır tip kapaklar operasyonel yönden çok daha pratiktir.

Konteynır gemilerinde ambar kapakları üzerinde her zaman konteynır yükü taşıdığı için diğer kapaklara göre daha mukavemetli olmalıdır. Konteynırlar ambar içinde olduğu gibi güverte üzerinde de dört köşeden zemine basar ve ağırlığını da sadece bu dört noktadan ambar kapağı konstrüksiyonuna iletir. Üst üste dizilmiş konteynırlar da her biri kendi ağırlığını köşelerdeki bağlantı noktalarında alttaki konteynıra iletir. Ambar kapağı üzerindeki bir bağlantı noktasına üst üste dizilmiş tek sıradaki toplam konteynır ağırlığının dörtte biri kadar kuvvet tesir eder. Ambar kapağına etkiyen tüm kuvvetler de ambar kapağı konstrüksiyonu ile gemi gövdesi konstrüksiyonuna ait olan mezarna konstrüksiyonu ile gemi konstrüksiyonuna iletilir.

Feeder ve feedermax konteynır gemilerinde taşınan konteynır yükünün sayıca çoğunluğu güverte üzerinde bulunmaktadır. Bu da ambar kapağına etkiyen kuvvetlerin ve maruz kaldığı gerilimlerin çok kritik seviyelere ulaşmasına sebep olur.



Şekil 2.4. 917 TEU luk bir feeder tipi Konteynır gemisi genel yerleşim planı [41].



Şekil 2.5. Konteynır gemisi en kesiti [41].

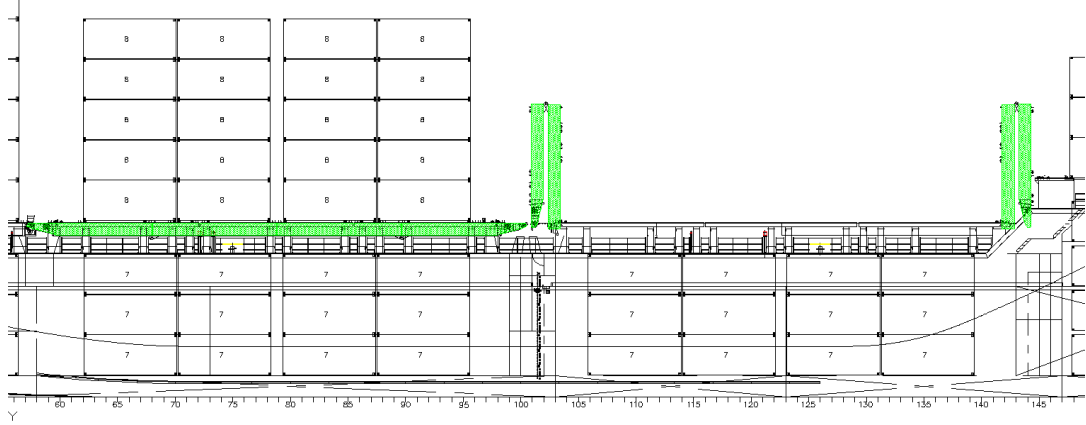
Diğer kuru yük gemilerinde ambar ağız açıklıklarının gemi genişliğine göre daha küçük ve ambar kapaklarının da küçük olmasında bir mahsur yok iken konteynır yükleri gemi ambarına düşey pozisyonda indirildiği için ambarların üzerinin tamamen açılması gerekir.



Şekil 2.6. Katlanır tip konteynır gemisi kapağı [42].



Şekil 2.7. Ponton tip konteynır gemisi kapağı [43].



Şekil 2.8. Kapalı ve açık konumdaki ambar kapakları [41].

2.3. YAPISAL OPTİMİZASYON

Optimizasyon, bir fonksiyonun değişkenlerini değiştirerek, o fonksiyonu belirli kriterlere göre maksimum veya minimum hale getirmek için kullanılan matematiksel bir araçtır [28]. Tüm mühendislik ve bilim dalları bu yöntemleri kullanarak optimum sonuçlara ulaşmaya çalışır. Kütle, enerji tüketimi, gerilim azaltmak için, verim arttırmak için kullanılabilir.

Matematiksel olarak bir optimizasyon denklem 2.1, 2.2 ve 2.3' te gösterildiği üzere, aşağıdaki gibidir [25]:

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \varphi_0(p) = \min, \text{ maks (hedef)} \quad (2.1)$$

$$\text{Kısıt Fonksiyonu: } \varphi_i(p) \leq 0 \quad (2.2)$$

$$\text{Tasarım Alanı: } p^l \leq p_j \leq p^u \quad (2.2)$$

$\varphi_0(p)$ ve $\varphi_i(p)$ iterasyon sonundaki, amaç fonksiyona ait karşılık değerlerdir.

p_j tasarım değişkenlerinin vektörünü temsil etmektedir.

Yapısal optimizasyon türleri alttaki gibi sıralanabilir [24] [27].

- Boyut optimizasyonu
- Şekil optimizasyonu
- Topoloji optimizasyonu

2.3.1. Boyut Optimizasyonu

Boyut optimizasyonu, profillerin kesitleri, elemanların kalınlıkları gibi değişkenlerin önceden hazır olan konstrüksiyon üzerinde belirli bir değerden başlayarak belli bir değere kadar değiştirilerek optimum sonuca ulaşmak için uygulanır.

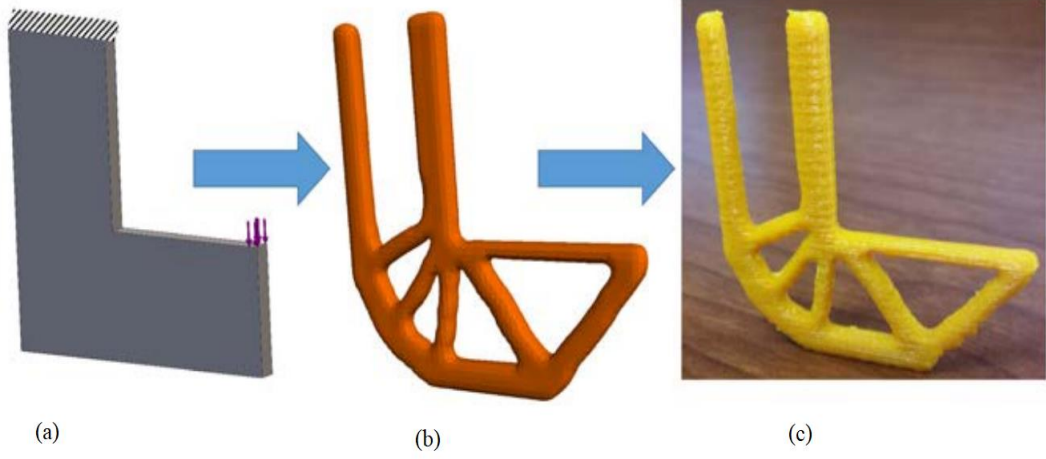
2.3.2. Şekil Optimizasyonu

Şekil optimizasyonunda konstrüksiyon içindeki açıklıklar ve boşlukların değiştirilmesiyle yapılar ve optimum sonuçlara ulaşılır.

2.3.3. Topoloji Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu, bir yapının şeklini optimize etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, teknik yapılarda, mukavemeti koruyarak, malzeme kullanımını azaltıp ağırlığı azaltarak, performansı optimize etmek için kullanılır. Topoloji analizi, bir yapıyı optimize etmek için matematiksel ve hesaplamalı yöntemleri birleştirir. Bu analiz, yapının veya bileşenin sınırlarını ve kısıtlamalarını tanımlayan bir model oluşturur. Bu sınırlar ve kısıtlamalar, tasarım alanı içindeki malzemelerin dağılımını kontrol eder. Analiz, optimum malzeme dağılımını belirlemek için matematiksel optimizasyon algoritmalarını kullanır. Şekil optimizasyonu, topoloji analizi için bir yöntemdir. Şekil optimizasyonunun amacı, yapının veya bileşenin şeklini değiştirilerek performansı iyileştirmektir. Bu, yapısal sertliği artırabilir, ağırlığı azaltabilir veya istenen diğer özellikleri elde etmek için şekil değişiklikleri yapabilir. Şekil optimizasyonu, tasarım alanı içinde malzeme yerleştirme ve şekil değişikliklerini içeren yinelemeli bir optimizasyon süreci kullanır. Yapısal tasarımlarda maliyetlerin düşürülmesi, enerji verimliliğinin artırılması, verimlilik ve performans açısından daha

iyi sonuçlar elde edilmesi için şekil optimizasyonu ve topoloji analiz yöntemleri kullanılabilir.



Şekil 2.9. (a) Tasarımın ham modeli, (b) Topoloji optimizasyonu tasarımı, (c) Eklemeli üretim yöntemi ile üretilen ürün [44].

Optimizasyon işlemiyle elde edilen yapı, başlangıç tasarımından çok farklı ve dolayısıyla ondan bağımsızdır. Diğer bir ifadeyle yapının nihai biçiminde, ilk biçimine bağlı olacak şekilde hiçbir sınırlama bulunmamaktadır [3].

Kısıtlayıcı olarak elemanlardaki Von Mises akma kriterine göre belirlenen gerilme değerinin dikkate alındığı optimizasyon süreci alttaki gibi izah edilebilir [3].

- Yapı, yeterli bir şekilde sonlu elemanlar ağına bölünür.
- Belirtilen yükleme ve mesnet koşulları altında analiz gerçekleştirilir.
- Von Mises akma kriterine göre her eleman için hem ayrı ayrı ve hem de yapıdaki azami gerilme değerleri bulunur.
- En düşük gerilmeye maruz belirli sayıda eleman yapıdan kaldırılır.
- Önceden belirlenen hedef duruma ulaşıncaya dek, 2. ve 4. adımlar arasında döngü devam ettirilir.

SIMP (Cezalı Katı İzotropik Malzeme) yaklaşımı topoloji optimizasyonlarında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile her bir elemanın gerilme enerjisi yoğunluğu azaltmak üzerine odaklanır [36].

$$W_{den,e} = \frac{\frac{1}{2}u_E^r K_E u_E}{V_E} \quad (2.4)$$

Burada $W_{den,e}$ her bir elemanın gerinim enerjisinin yoğunluğudur. Bir elemanın yoğunluğu onun sertliğiyle bağlantılıdır, bu nedenle yoğunluğun azaltılması aynı zamanda onun sertliğini de azaltacaktır. Uygunluk fonksiyonu yoğunluktan türetildiğinde aşağıdaki eşitliklere ulaşılır [36].

$$E_e = \rho_e^p \cdot E_{0,e} \quad , \quad K_e = \rho_e^p \cdot K_{0,e} \quad (2.5)$$

Young modülündeki (E_e) değişim, elemanın sertliğindeki (K_e) değişim ile aynı olur. 2.4 denkleminde 2.5 denklemindeki K_e yerine yazılırsa ve ρ_e ye göre türetilirse 2.6 denkleminde elde edilir.[36]

$$\frac{\delta W_{den,e}}{\delta \rho_e} = -p \cdot \rho_e^{(p-1)} \frac{\frac{1}{2}u_e^T K_{0,e} u_e}{V_e} \quad (2.6)$$

Her elemanın kendi uygunluk fonksiyonu ve duyarlılık analizi vardır. Amaç, Young modülü vasıtası ile elemanın sertliğini değiştirerek gerinim enerjisini en aza indirmektir. Bu, ρ_e değişkeninin 0 ile 1 arasında olduğu konveks bir fonksiyondur. Bu yoğunluk değişkeni 0 ile 1 arasında doğrusal bir çizgiden seçilemez, onun yerine ρ_e^p seçilebilir. Bu şekilde algoritma 0 ve 1'e yakın değerler seçmek için zorlanır, bu da orta düzey doldurulmuş elemanlar açısından daha iyi sonuçlar verir. Bu sanal yoğunluk, dolayısıyla sertlik, homojenleştirme metodu olarak adlandırılır. Kısmen doldurulmuş ve kısmen boşluklu olan, ancak aynı miktarda sertlik ve yoğunluğa sahip olacak şekilde homojenleştirilmiş bir yapı elemanına benzer. Elemanın yoğunluğunun bulunması için denklem 0'a eşitlenir [36].

$$\frac{\delta W_{den,e}}{\delta \rho_e} = 0 \quad (2.7)$$

Bu sürekli bir fonksiyon olduğundan gradyan tabanlı bir optimizasyon algoritmasıyla çözülebilir. Geometri oluşturulduktan ve optimizasyon başlatıldıktan sonra her yineleme aşağıda gösterilen adımlardan oluşur [36].

- Her eleman için gerinim enerji yoğunluğu hesaplanır.
- Duyarlılık eşitliğinin 0' a eşit olduğu yerlerde ρ_e yoğunluğu bulunur.
- Bulunan bu değer bir sonraki iterasyon için ayarlanır.

Durma kriterleri sağlanana kadar bu yinelenir, bunun için hacim kısıtlaması veya iterasyon sayısı belirtilebilir [36].

Evrimsel yapısal optimizasyon ise gerilime odaklanarak optimizasyon yapar. Verimsiz elementleri ortadan kaldırır [36].

$$\sigma_{VM,e} \leq RR \cdot \sigma_{VM,max} \quad RR = r_1 \cdot SS + a_{RR} \cdot ON \quad (2.8)$$

$$\sigma_{VM,e} \leq IR \cdot \sigma_{VM,max} \quad IR = 1 - i_1 \cdot SS - a_{IR} \cdot ON \quad (2.9)$$

Burada RR reddetme oranı, IR de dahil etme oranıdır. Bunlar 0 ile 1 arasında değişen, elemanın eksiltilmesi veya dahil edilmesi durumunu belirleyen faktörlerdir. $\sigma_{VM,e}$, elemanın akma gerilmesidir, $\sigma_{VM,max}$ ise izin verilen maksimum akma gerilmesidir. SS kararlı duruma her ulaşıldığında 1 arttırılan kararlı durum sayısıdır. Bu, hiçbir eleman eksiltmediği ve dahil edilmediği durumlarda olur. ON 1'er 1'er artan salınım sayısıdır. Bir sonraki iterasyonda eleman eksiltildiğinde veya çıkarıldığında gerçekleşir. a_{RR} ve a_{IR} deneyimlere göre bulunmuş sabitlerdir. $a_{RR} = 0,01$ ve $a_{IR} = 0,1$ alınması tavsiye edilir. r_1 ve i_1 de deneyimlere göre bulunmuştur ve $r_1 = 0,001$ ve $i_1 = 0,01$ alınması tavsiye edilir [36].

İterasyon döngüsü SIMP yaklaşımına benzer olarak aşağıdaki gibidir [36];

- Her eleman için Von Mises gerilim değeri bulunur.

- Elemanların gerilim değerlerine göre çıkarılması mı, eklenmesi mi ya da aynı kalması mı gerektiği tespit edilir.
- Bulunan değer bir sonraki iterasyon için ayarlanır.
- Kararlı duruma ulaşıp ulaşılmadığı belirlenir, kararlı duruma ulaşıncaya kadar tekrar ilk aşamaya dönlür.

Bu vektör 0 ile 1 arasındaki değerlerden oluşur ve her elemanın Young modülü ile çarpılır. Vektör 0'a yakın olunca çıkarılır, 1'e yakın olunca eklenir.

$$f = PI = \frac{\sum_{e=1}^n \sigma_{VM,e} V_e}{FL} \quad (2.10)$$

Bu amaç fonksiyonu, performans indeksine (PI) eşittir; burada V elemanın hacmidir, F giriş kuvvetidir ve L yapının uzunluğunu temsil eder. Bu, en aza indirilmesi gereken boyutsuz bir sayıdır. Bu amaç fonksiyonunun yalnızca geometrinin performansını tanımladığı ancak optimizasyon algoritmasından etkilenmediği unutulmamalıdır. Bu, reddedilme ve dahil edilme oranlarından kaynaklanan bir sonuçtur. Büyük ve karmaşık konstrüksiyonlar için evrimsel yaklaşım yöntemi kullanmak daha olduğu düşünülmektedir [36].

BÖLÜM 3

İYİLEŞTİRİLEN AMBAR KAPAĞI

3.1. İYİLEŞTİRİLEN AMBAR KAPAĞI BOYUTLARI

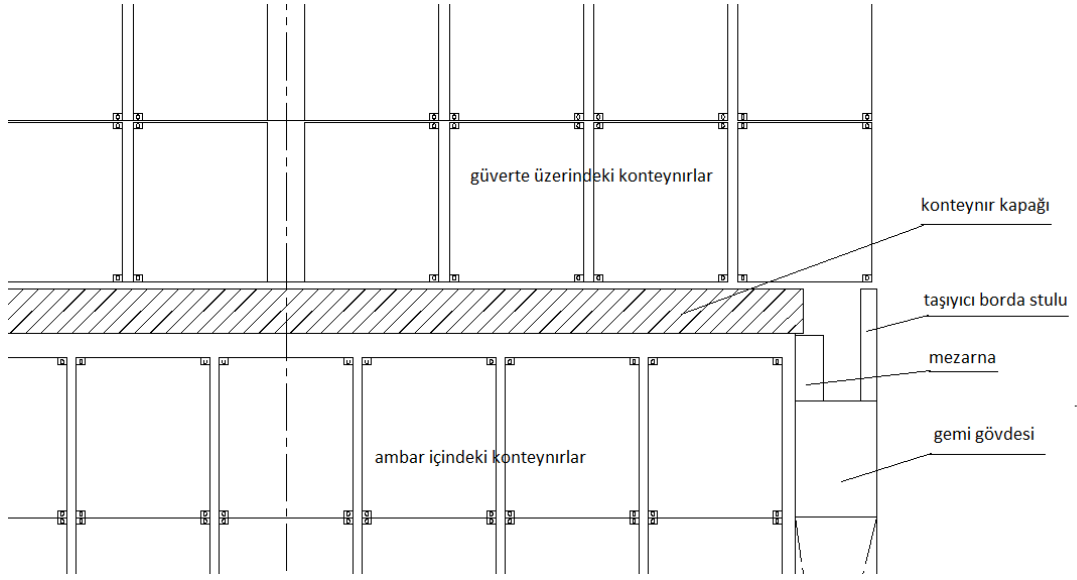
Bu çalışmada ana boyutları altta verilen Şekil 2.4’de boy kesiti ve Şekil 2.5’de en kesiti görünen feeder tip konteynır gemisinin bir adet ambar kapağının tasarım iyileştirilmesi yapılmıştır. Bu boyutta bir gemi seçilmesinin sebebi, diğer gemilere nazaran ambar kapağının mukavemet açısından en kritik değerlere yaklaşmasıdır. Kapak gemi eni yönünde tek parçadır, bu da kapağın sadece iki ucundan mesnetlenip orta kısımlarında herhangi bir yerinden desteklenemeyip kapak ortasında maksimum momentlerin oluşması demektir. Kapağın gemi boyu yönündeki mesafesi kısadır. Daha önemlisi kapak yüksekliği için ayrılan mesafe de ambar içi yükleme durumundan dolayı alçaktır. Geminin dört adet kargo ambarını kapatan on dört adet ambar kapağı bulunmaktadır. Üzerinde çalışılan gemi UM tersanesinde 2005-2008 yılları arasında inşa edilen dört adet konteynır gemisidir.

Çizelge 3.1. Geminin Ana Boyutları

Tam boy (m)	L	154,85
Dikmeler arası boy (m)	Lbp	144,90
Genişlik (m)	B	21,5
Derinlik (m)	D	9,3
Draft (m)	T	7,0
Seyir hızı (kn)	V	18

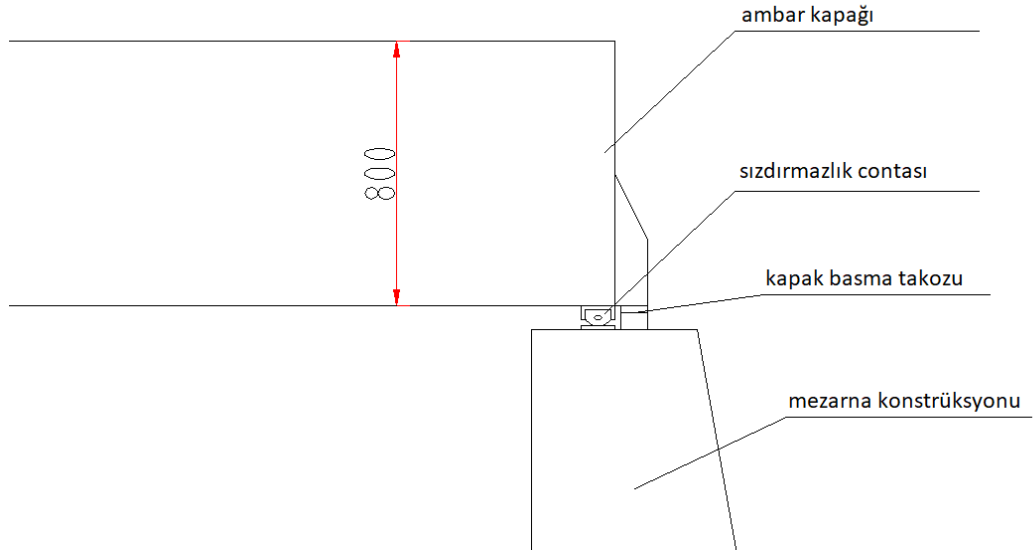
Gemide katlanır tip kapak kullanılmaktadır. Katlanır tip kapaklar, ambar üzerinde bir çift ambarın baş tarafında, bir çift de ambarın kıç tarafında olmak üzere dört adet

bulunur. Her çift kapağın biri hidrolik pistonlar ile çekilerek dikleştirilir, pistonlu kapağa mafsallı olarak bağlanmış merkezdeki kapak da dikleşerek ambarın kış ve baş tarafında toplanır. Ambar kış ve baş tarafındaki pistonlu kapaklar mezarnaya üç kenardan basmaktadır. Ancak merkezdeki iki kapak mezarnaya sancak ve iskele taraf olmak üzere iki taraftan basmaktadır. Mafsalla bağlı olduğu kapağa da çok az miktar kuvvet transferi yapmasına rağmen sadece iskele ve sancak taraftan desteklenmiş olarak analiz yapılacaktır.

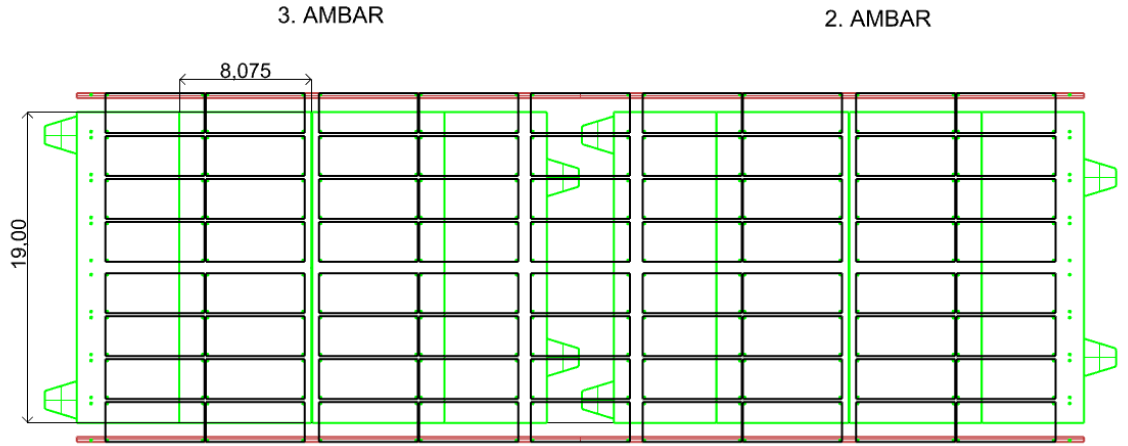


Şekil 3.1. Ambar kapağı yerleşimi en kesiti.

Ambar kapağı kapanınca takozlar üzerinde Şekil 3.2’de ki gibi oturur, aynı anda üzerindeki neopren sızdırmazlık contası da krom sacdan imal edilmiş yüzeye basarak su sızdırmazlığı sağlanmış olur. Gemi seyir yaparken dalga sularının ambarın içine girmemesi için sızdırmazlık önemlidir. Gemi dalga tepesi ve dalga çukuruna girdiğinde gemi konstrüksiyonu bir miktar esner ve baş kış taraflar çökme sarkma hareketi yapar. Kapak sızdırmazlık ve kapak basma takoz donanımlarının bu esneme durumlarını tolere etme kabiliyetinin olması gerekir.



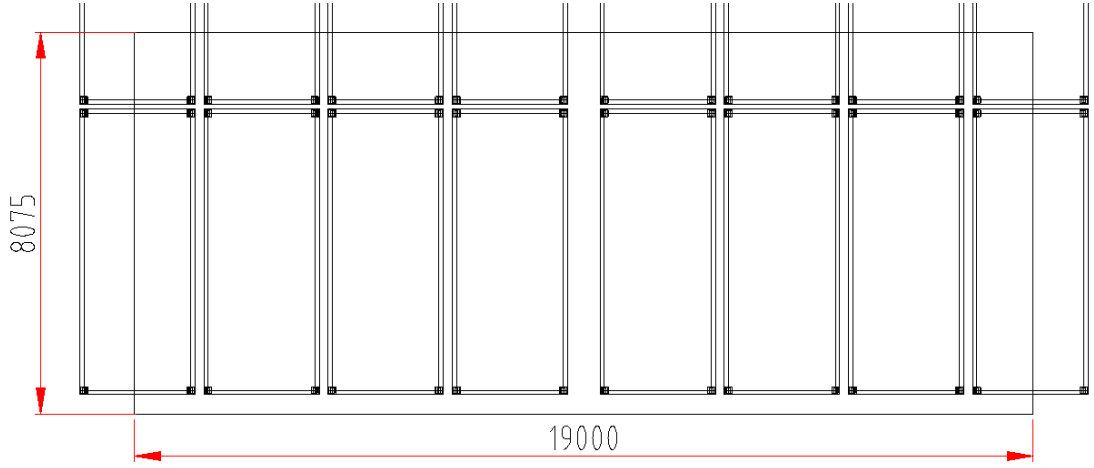
Şekil 3.2. Ambar kapağının mezarnaya oturma detayı.



Şekil 3.3. 2 ve 3 nolu ambarın üstten görünüşü.

Konteynırların boyutları standart olduğu için ambar boyutlarının da bu standarda bağlı olarak belirlenmesi gerekir. Bu büyüklükteki gemilerde ambar içine boyuna mesafede dört sıra konteynır koyulabilir, bu da merkezdeki kapakların boylarının 8075 mm olması demektir. Fakat enine yerleşim de tasarımı kısıtlayan sadece geminin enidir. Bu tasarımdaki geminin ambar içine enine mesafede yedi sıra konteynır koyulurken gemi genişliği 2,5 metre arttırılarak sekiz sıra konteynır de koyulabilirdi. Yedi sıra konteynır için de kapak genişliği 19000 mm olmaktadır. Ambar içine yerleştirilen konteynırlara kapağın temas etmemesi için kapak yüksekliği maksimum 800 mm

olabilir. Eğer kapak yüksekliği daha da yüksek olsa hatta kapağın orta kısımlarında konstrüksiyon ambar içine doğru sarkıtılırsa kapak mukavemeti daha da iyi olabilirdi. Fakat kapak yüksekliğini kısıtlayan bir diğer durum, kapakların dik duruma gelip katlandıklarında oluşacak toplam kapak kalınlığı mesafesidir. Kapak kalınlığı 25 cm artarsa kapaklar ambarların arasında güverte üzerinde dik konumda iken toplamda 1 metre daha fazla alan işgal eder.



Şekil 3.4. Ambar kapağının üstten görünüşü ve konteynırların basma noktaları.

3.2. YÜKLEME KRİTERLERİ

Gemilerin, ekonomiklik ve kazanç yönünden izin verilen maksimum miktarda yükü taşınması istenir. Yükün ağırlığından dolayı taşınacak yük miktarını belirleyen en temel 2 kriter;

- Geminin freeboard mesafesi ve su çekimi mesafesi
- Geminin stabilitesidir.

Bu her iki kriter de IMO tarafından güvenlik sebebiyle belirlenmiş kurallar çerçevesinde belli limitler altında tutulur. Özkütlesi ağır olan demir cevheri, demir çelik ürünleri gibi yükler geminin maksimum DWT tonaj kapasitesini doldurduklarında ambar hacminin sadece %20-25 lik bir kısmını doldurur. Bu da yük ağırlık merkezinin çok aşağıda olmasına dolayısıyla geminin son ağırlık merkezinin de çok aşağıya inmesine sebep olmaktadır. Gemi stabilitesi güvenlik açısından en

güvenli durumdadır. Tahıl gibi yükler de ise gemi ambarları tamamen dolar ve gemi ağırlık merkezi demir çelik ürünü taşıdığı duruma göre daha yukarıdadır, gemi formu tüm kurallar göz önünde bulundurularak tasarlandığı için stabilite açısından herhangi bir sıkıntı yoktur. Konteynır yüklerinin diğer tüm gemi yüklerine nazaran ortalama özkütlesi daha düşük olduğu için, gemi DWT tonaj kapasitesinin son limitlerine pek ulaşmaz. Bu sebeple ekonomik verimlilik için geminin güvertesine de konteynır yükleri alınır. Bu durumda esas sınırlayıcı kriter, gemi ağırlık merkezinin yukarı çıkmasından dolayı gemi stabilitesi olmaktadır.

Konteynır taşımacılığı ile taşınan yüklerin çok büyük çoğunluğu hammadde ürünü olmayıp son tüketici ürünleri olduğu için ve günümüz dünya ticaret ortamında bu ürünlerin çok hızlı bir şekilde tüketiciye ulaşması istendiği için, konteynır taşıyan gemilerin mümkün mertebe en hızlı şekilde seyir yapması istenir. Bu, gemilerin Cb blok katsayısı (geminin su altında kalan hacminin narinliğini ifade eden boyutsuz katsayı) daha küçük narin formda tasarlanmaları ve nispeten stabilite durumlarının olumsuz etkilenmesi demektir.

Tüm bu stabilite risklerinden dolayı IMO stabilite kurallarında 100 metreden büyük konteynır gemileri için ekstra güvenlik katsayıları alınarak stabilite limitleri belirlenmiştir.

Şekil 2.4. resminde 917 TEU'luk bir konteynır gemisi boy kesiti görülmektedir. 20'lik ölçüde 267 adet konteynırı ambarında, 650 adedini güverte üzerinde taşıyabilmektedir. Bu yerleşimde de sınırlayıcı kriter, gemi köprü üstünden pruvayı ve geminin rotasındaki belli bir mesafeyi net bir şekilde görebilme. Yani konteynır yığını köprü üstünün görüş açısını bozmamalıdır.

Konteynır gemisi yükleme planlamasında tüm bu stabilite ve DWT sınırlamaları çerçevesinde, gemiye özel hazırlanmış yükleme yazılımı kullanılır. Tüm konteynırların ağırlığı bilinmektedir. Yükleme yapılmadan önce tüm konteynırlar yazılımın belirlediği pozisyona yerleştirilir. Yazılım, gemi ağırlık merkezini aşağı çekmek için ağır konteynırları ambar içine ve daha aşağıya, hafif konteynırları yukarı

gelecek şekilde yerleştirmektedir. Bu sayede gemi ağırlık merkezi mümkün mertebe aşağıda tutulmuş ve stabilite kurallarının belirlediği sınırlar içinde kalınmış olunur.

3.3. KAPAĞIN MARUZ KALDIĞI KUVVETLER

3.3.1. Konteynır Ağırlıklarının Belirlenmesi

Gemilerin yüklü ve yüksüz durumları için limandan ilk kalkış ve gideceği limana varış olmak üzere 4 farklı ağırlık durumu vardır. Gemiler yüklü durumda iken balast suyu almazlar fakat yükleri yok ise, daha emniyetli, dengeli ve verimli seyir için balast tanklarına balast suyu almaları gerekir. Balast suyu gemiye fazladan ağırlık yapıp gemiye seyir esnasında fazla yakıt tüketimine sebep olduğu düşünülebilir fakat balastsız ve yüksüz iken hem pervanenin bir kısmı suyun dışına çıkacağından verimsiz ve emniyetsiz bir sevk durumu hem de denizin meteorolojik olarak sert durumlarında stabilite açısından emniyetsiz ve konforsuz olması durumu söz konusudur [45].

- Tam dolu halde kalkış yükleme durumu (“Full Load Departure”)
- Tam dolu halde varış yükleme durumu (“Full Load Arrival”)
- Balastlı kalkış yükleme durumu (“Balast Departure”)
- Balastlı varış yükleme durumu (“Balast Arrival”)

Limandan kalkış ve limana varış durumları ise geminin limandan ayrılırken yakıtının tam dolu olması ve limana varırken yakıtının bitmesi durumunu ifade eder.

Ana boyutları çizelge 3.1’de verilen gemi için freeboard mesafesi IMO kurallarına göre 2326 mm bulunur [46]. Bulunan freeboard mesafesine göre de tam dolu halde geminin draftı da 6974 mm olur.

Bu freeboard ve draft mesafesine Maxsurf programı Hydromax stabilite modülü ile yapılan analize ve bilinen gemi ağırlığı ve tank kapasitelerine göre geminin yük taşıma kapasitesi Çizelge 3.2’deki gibi bulunur.

Çizelge 3.2. Geminin ağırlık kalemleri

Gemi Lightship (ton)	2.930
Balast (ton)	5.500
HFO (ton)	740
Tatlı su (ton)	80
Yük (ton)	10.750
Toplam (ton)	14.500

Dizayn edilmiş bu geminin IMO stabilite ve seyir kriterlerine göre maksimum 14.500 ton toplam deplasman ağırlığı vardır. Balastsız tam yakıt ve donanım ile 3.750 ton lightship ağırlığı olan geminin maksimum 10750 ton yük taşıma kapasitesi vardır.

IMO'nun 4.9. bölümü 100 metreden büyük konteynır gemilerinin stabilite kurallarına göre [47];

4.9.2.1. GZ eğrisi altında kalan alan 0-30 derece arasında 0,009/C metre-radyandan, 0-40 derece arasında 0,016/C metre-radyandan az olamaz.

4.9.2.2. GZ eğrisi altında 30-40 derece arasında 0.006/C metre-radyandan az olamaz.

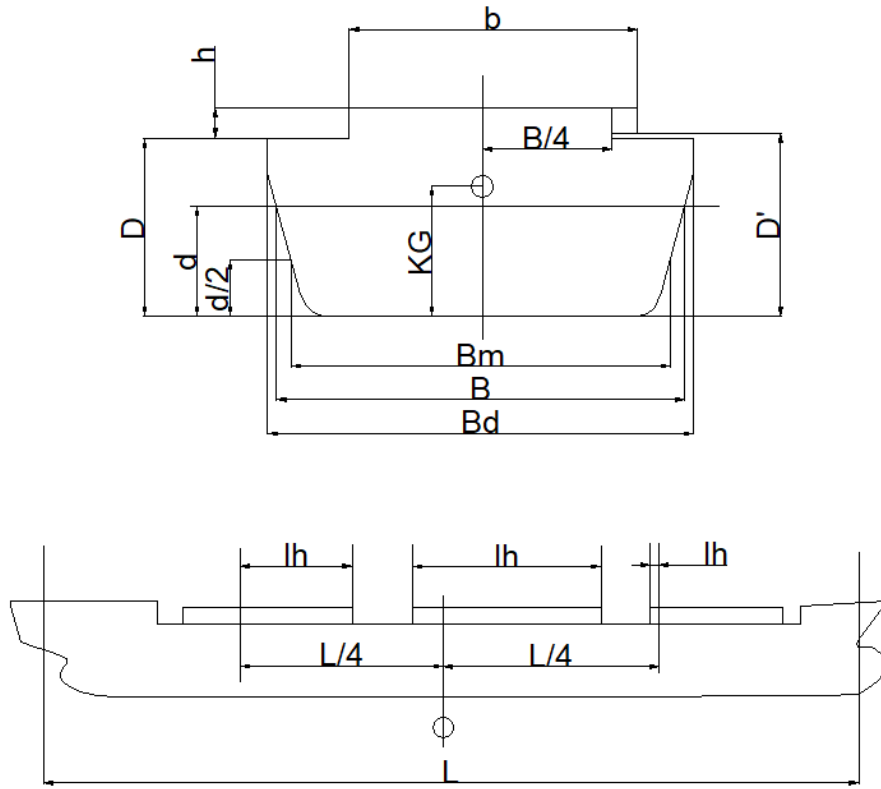
4.9.2.3. En az 30 derecede GZ değeri 0.033/C metreden büyük olmalıdır.

4.9.2.4. maksimum GZ değeri 0,042/C metreden büyük olmalıdır.

$$C = \frac{d \cdot D'}{B_{2m}} \sqrt{\frac{d}{K \cdot G} \left(\frac{C_B}{C_W} \right)} 2 \sqrt{\frac{100}{L}} \quad (3.1)$$

$$D' = D + h \frac{2b - B_D}{B_D} \cdot \frac{2 \sum l_H}{L} \quad (3.2)$$

IMO Bölüm 4.9.'a göre yapılan hesaplamalara göre bu geminin taşıyabileceği konteynırların ağırlıkları çizelge 3.2 de gösterilmiştir. Bu konteynır ağırlıkları en üst limit durumlarına göre belirlenmiştir. Yapılacak tasarım ve analizler de bu değerlere göre yapılmalıdır.



Şekil 3.5. IMO gemi ölçülerinin gösterimi [47].

Çizelge 3.3. Konteynır ağırlıkları.

Konteynır konumu	Konteynır adedi	Ortalama ağırlık (ton)	Toplan ağırlık (ton)
Güverte üzeri	650	5,5	3575
Ambar içi	267	26,9	7175

Tabloda belirtilen ağırlıklar geminin maksimum kapasitesine göre belirlenen ağırlıklardır. Tabloya bakarak, ambar içine 7175 tondan daha az, örneğin 3000 ton yük alınıp güverte üzerine 4000 ton yük alınsa geminin tonaj kapasitesinin epey altına inilmiş olunur, güverte üzerinde daha yüksek miktarda yük alma imkanı olabilmesi ve ambar kapakları daha fazla zorlanma durumuna maruz kalabilmesi anlamı çıkarılabilir. Fakat ambar içine alınmış yüklerin gemi stabilitesine olumlu etkisi olduğu için gemi yükleme yazılımı güverte üzerine tabloda belirtilen tonajdan daha fazlasının yüklenmesine izin vermeyecektir.

3.3.2. Kuvvetlerin Belirlenmesi

IMO Ambar Kapağı konstrüksiyon kuralları Bölüm 11. e göre [48];

11.2.3. Her bir konteynır basma noktasına etki eden ağırlık a_v ivme katsayısı eklenerek hesaplanır.

11.2.6. Maksimum gerilme 150 N/mm^2 den büyük olamaz.

$$P = 9,81 \frac{M}{4} (1 + a_v) \quad (3.3)$$

Formül 3.3 de M, basma noktasına basan dikine sıradaki tüm konteynırların toplam ağırlığıdır.

$$a_v = F \cdot m \quad (3.4)$$

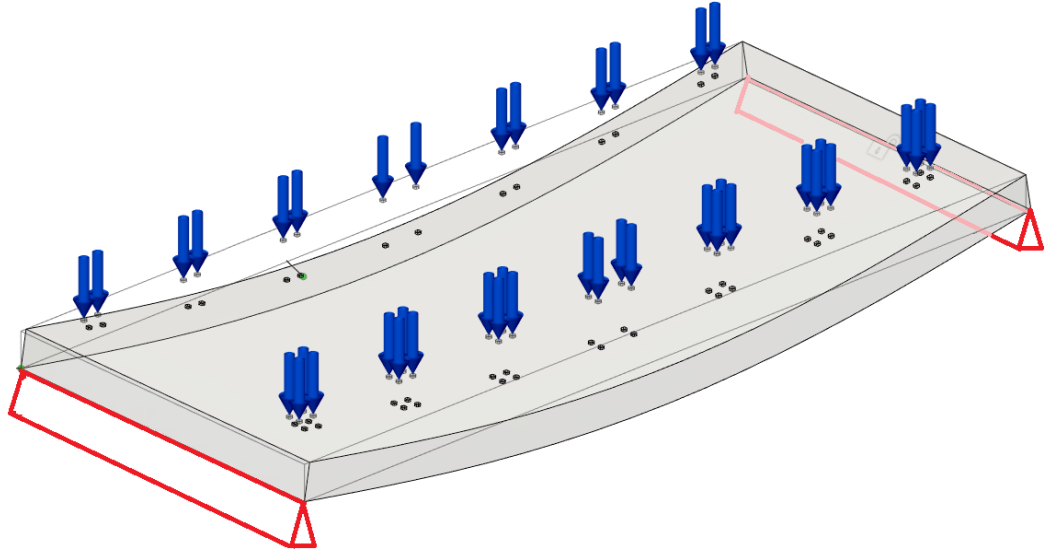
$$F = 0,11 \frac{V_0}{\sqrt{L}} \quad (3.5)$$

$$m = 1,0 \quad \text{for} \quad 0,2 < \frac{x}{L} < 0,7 \quad (3.6)$$

Buradan a_v ivmelenme katsayısı 0,16 bulunur ve her bir konteynır basma noktasına etki eden kuvvet 78.250 Newton bulunur.

3.3.2. Kuvvet uygulama ve mesnet noktaları

Önce ambar kapağı $19000 \times 8075 \times 800$ ebatlarında prizma şeklinde modellenmiş ve Şekil 3. de gösterilen noktalardan her basma noktasına 78250 Newton'lık kuvvet uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Ambar kapağına uygulanan kuvvet noktaları ve mesnet bölgeleri.

Analizde konteynır kapağı basit kiriş olarak kabul edilip bir taraftan sabit basit mesnet, diğer taraftan kayar basit mesnet olarak mesnetlenmiştir. Gerçekte her iki mesnet noktasında da kayar basit mesnet durumu söz konusudur. Kapağın yanlara doğru hareketini kısıtlayan, kapağın üzerinde hareket ettiği tekerlekler ve raydır. Bu ray tekerlek sisteminde kapağın kuvvet altında şekil değişikliğinden dolayı meydana gelecek uzama ve kısalma mesafelerini tolere edebilecek boşluk bulunmaktadır.

3.3. MALZEME SEÇİMİ

Ambar kapağı dar bir konstrüksiyon fakat yüksek değerde kuvvet ve momentlere maruz kaldığı için akma ve kopma değerleri yüksek malzeme tercih etmek elzemdir. Gemi inşa konstrüksiyonlarında sıkça kullanılan akma gerilmesi 355 N/mm^2 ve kopma gerilmesi $490 - 620 \text{ N/mm}^2$ olan AH36 sacı tercih edilmiştir. Daha yüksek mukavemet değerlerine sahip çelikler varken AH36 sacı tercih etmemizin sebebi hem fiyatı hem de bulunabilirliğinin kolay olmasıdır. Pratikte birçok projede DH36, EH36 grade saclar soğuk çentik değeri daha yüksek olan saclar kullanılsa da yapılan bu analizde düşük sıcaklık değerleri hesaba katılmadığı için mukavemet değerleri aynı olacaktır. AH36 sacı, Türkiye’de endüstride sık kullanılan ST52 olarak tabir edilen sacı ile kimyasal içerik olarak bazı farklılıkları olmakla birlikte mukavemet değerleri olarak çok yakın değerlerdedir.

Çizelge 3.4. AH-36 gemi inşa çeliğinin mekanik özellikleri

Çentik Darbe Testi				
R_{eH} [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	Test sıcaklığı [°C]	Ortalama darbe enerjisi (t < 50 mm) [J]	
			boyuna	enine
355	490-630	0	34	24

Çizelge 3.5. AH-36 gemi inşa çeliğinin kimyasal bileşimi

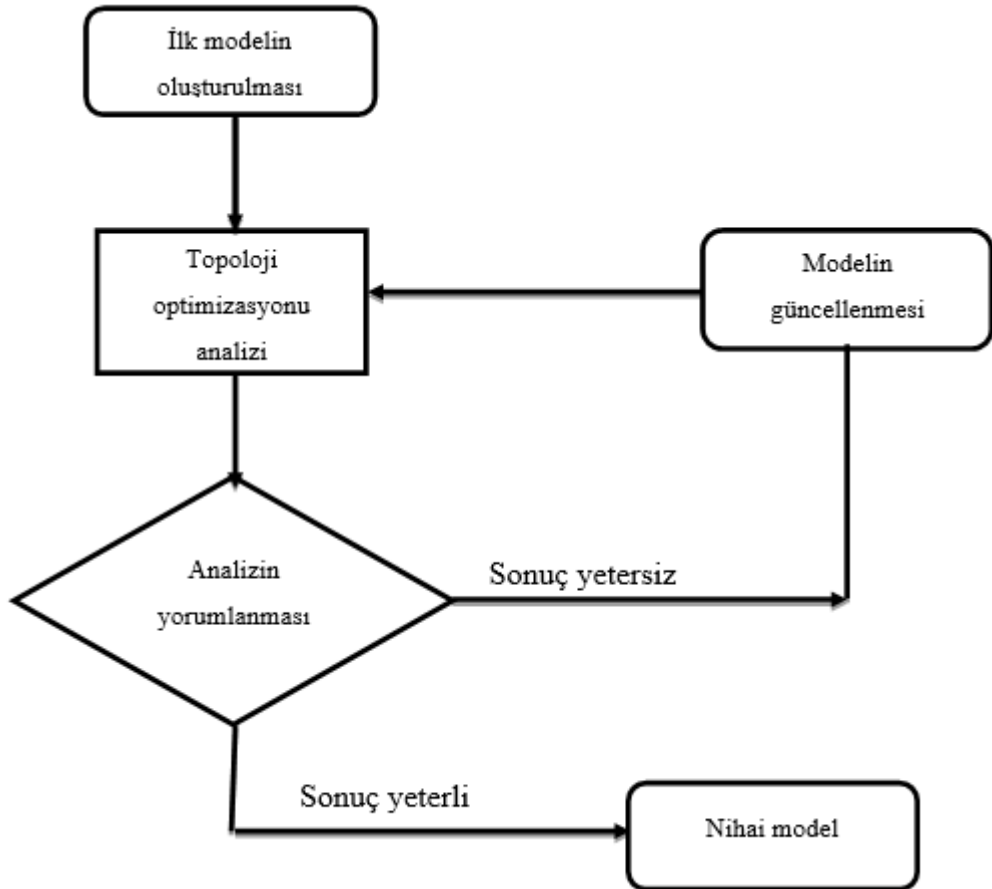
C_{max} (%)	Mn (%)	Si_{max} (%)	P_{max} (%)	S_{max} (%)	Al_{in} (%)	Nb (%)	V (%)	Ti_{max} (%)	Cu (%)	Cr_{max} (%)	Ni_{max} (%)	Mo (%)	Fe (%)
0,18	0,9- 1,6	0,5	0,03 5	0,03 5	0,01 5	Toplam maks. 0,12			0,35	0,2	0,4	0,08	kalan
						0,02- 0,05	0,05- 0,1	0,02					

BÖLÜM 4

TOPOLOJİ OPTİMİZASYONLARI

4.1. FUSION 360 İLE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU ANALİZLERİ

Ambar kapağı gibi sac ile kaynaklı olarak üretilen konstrüksiyonlarda boyut optimizasyonu ve şekil optimizasyonu uygulamaları ile kütle azaltımı optimizasyonu yapmak verimli bir yöntemdir. Topoloji optimizasyonu yönteminin sacdan kaynaklı üretimi yapılacak bir konstrüksiyona uygulanması akla mantıksız gelebilir fakat analiz sonuçlarına göre tekrarlı tasarım yöntemiyle optimum sonuca yaklaşılabılır.



Şekil 4.1. Uygulanan yöntemin algoritması.

Fusion 360 programı design modülünde ilk olarak, ambar kapağının ana ölçülerinin tamamını dolduracak şekilde ve belirtilen konteynır basma noktaları da kapağın üst tablasına yerleştirilerek model yapıldı. Buradaki amaç, tamamı malzeme ile dolu elemanda programın optimizasyon ile nerelerde hacim korunması nerelerde hacim eksiltilmesi önerisini görmektir. Şekil 4.1'deki algoritmaya göre her analiz sonucuna göre kapak tasarımında iyileştirmeler yapıldı.

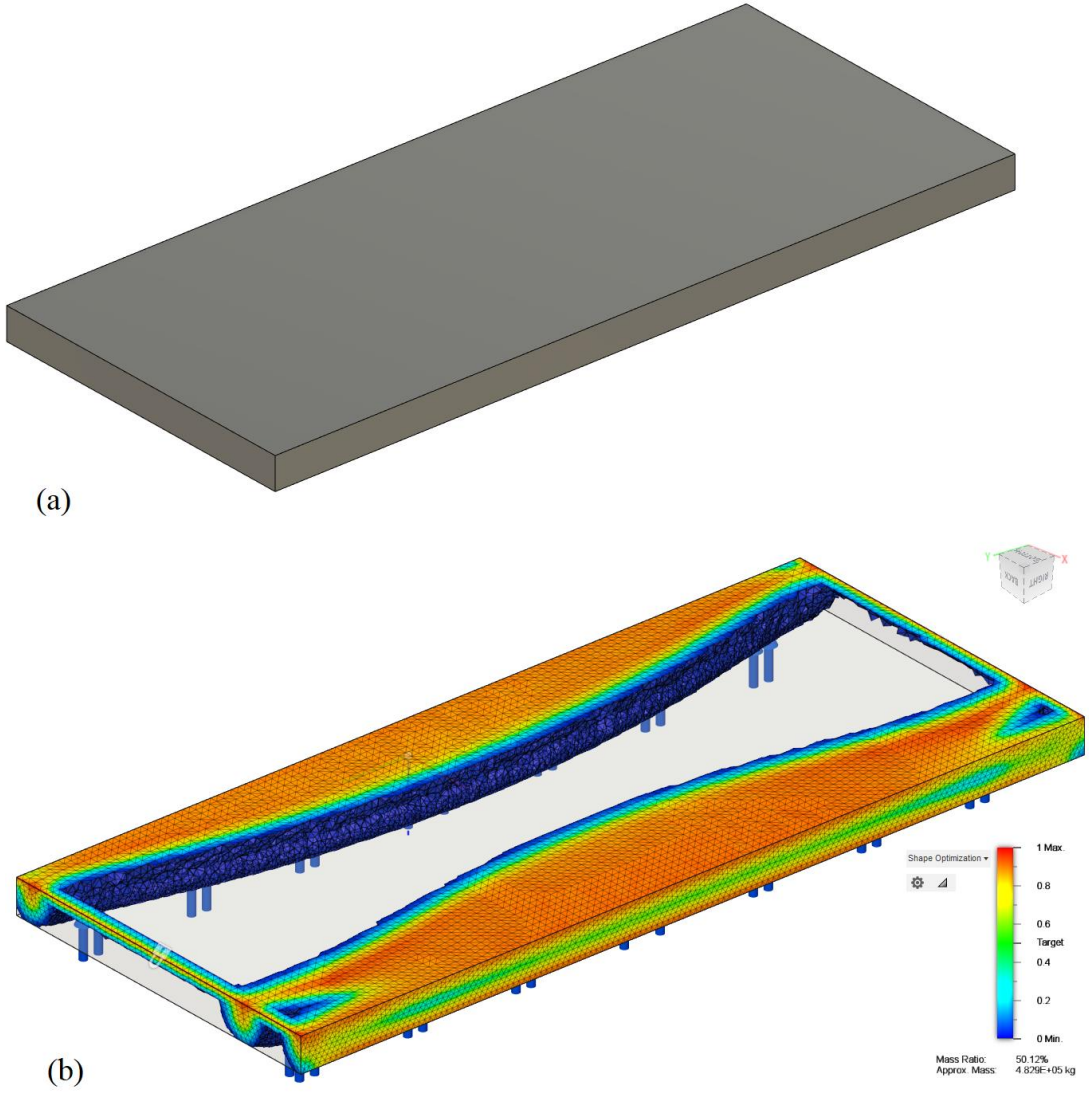
Her analizin sonunda önerilen optimum şekilden faydalanarak tasarım sac ile imal edilebilecek şekilde güncellenecektir. Ambar kapağı gibi büyük konstrüksiyonların modern eklemeli imalat yöntemleri ile imalatı verimli olamayacağı için tasarımın sac ile kaynaklı üretime uygun olarak yapılabilmesi gerekmektedir.

4.2. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU ANALİZLERİ

4.2.1. Birinci Analiz

Birinci analizde model, tasarım hacminin tamamı olarak yapıldı, yani 8,75 m. boyunda, 19 metre eninde ve 0,8 metre yüksekliğinde tamamı dolu çelik blok olarak hazırlandı ve konteynır basma noktalarından kuvvetler uygulandı.

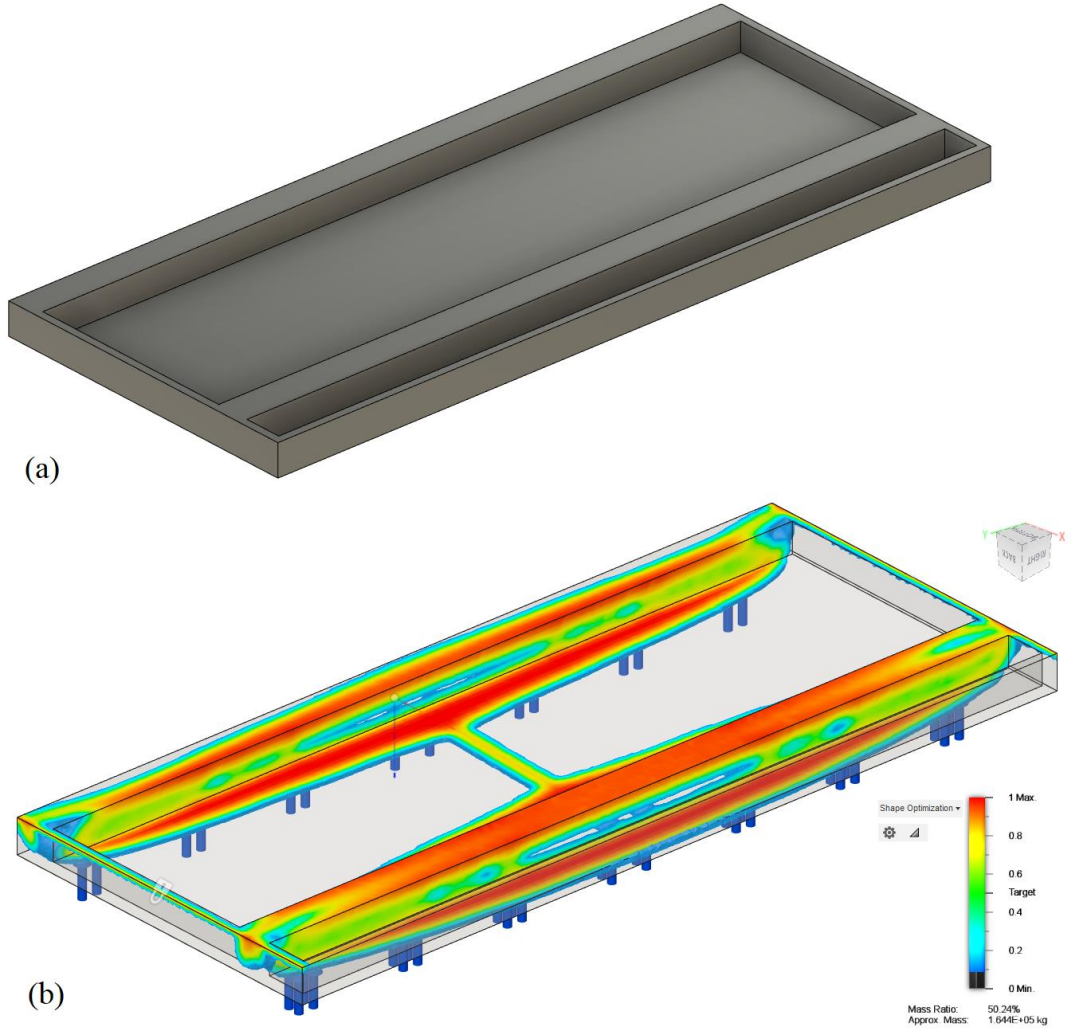
%50 ağırlık azaltımı hedefine göre önerilen Şekil 4.2'de görülmektedir. Renk skalasından da anlaşılacağı üzere hacim azaltılmasının öncelikli önerildiği bölgeler lacivert renk, öncelikli korunması istenen hacimler kırmızı renk olarak gösterilmektedir. Anlaşılacağı üzere analiz, kapak eni yönünde konteynırların basma noktaları hattında giriş yapı benzeri bir bölge oluşturulması önermektedir. Bunun sebebi kapak yan taraflardan mesnetlendiği için gemi eni doğrultusunda moment oluşması ve bu moment yüzünden oluşacak gerilimi yine aynı doğrultuda yerleştirilecek girişlerin karşılayabilmesidir.



Şekil 4.2. (a) Birinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

4.2.2. İkinci Analiz

İkinci analizde kapağın üst tarafında yani konteynırların bastığı yüzeyde 100 mm kalınlığında bir kabuk, baş tarafında ve iskele-sancak taraflarında 200 er mm kalınlığında kabuk olacak şekilde, tek sıra konteynır ayağı bastığı hatta 800 mm eninde ve kapak yüksekliğin de çift sıra konteynır basma hattında da 850 mm genişlik ve kapak yüksekliğinde hacim bırakılarak diğer bölgeler boşaltıldı. Birinci analizde önerilen şekle benzer bir kirişli yapı oluşturulmaya çalışılmıştır.



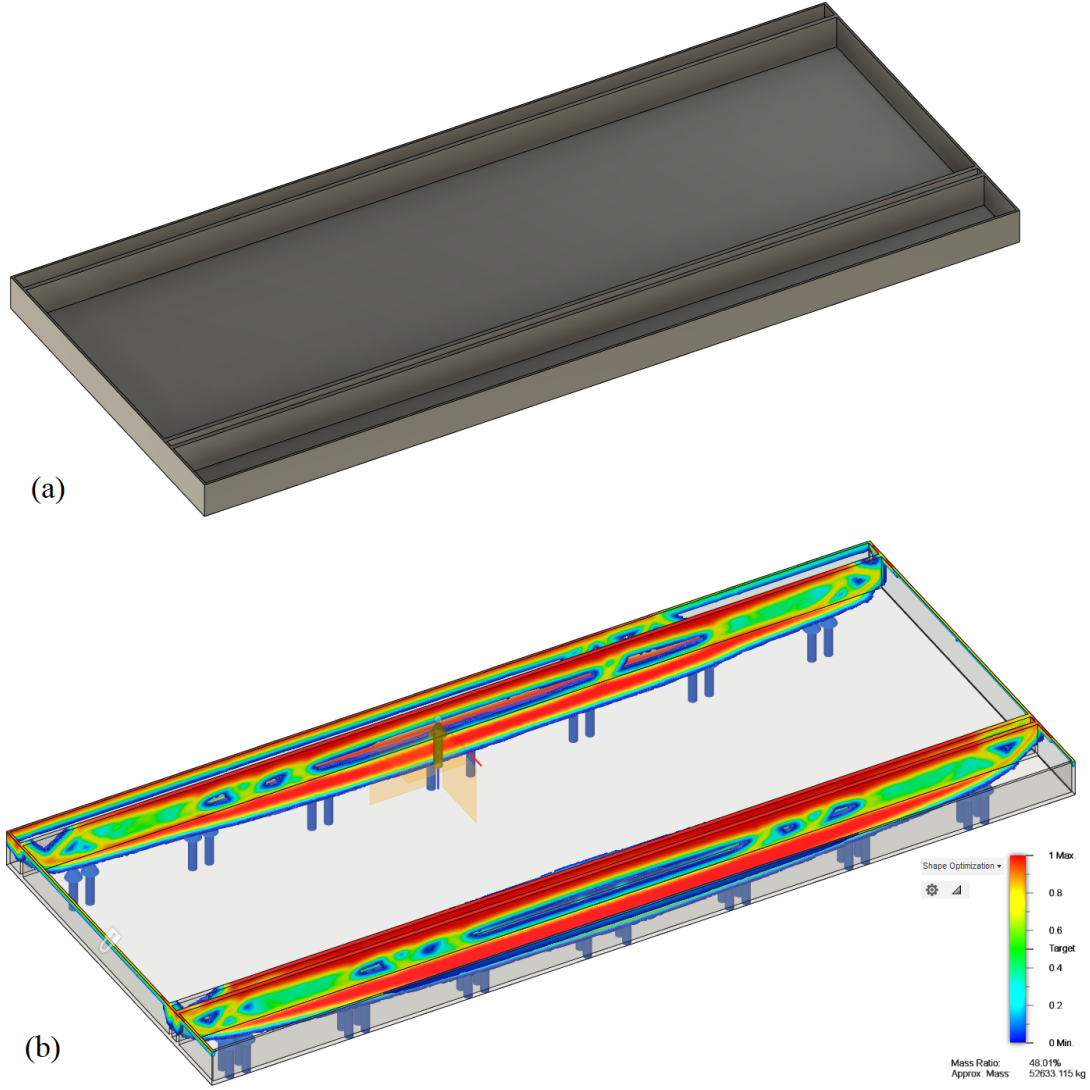
Şekil 4.3. (a) İkinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

İkinci analizde konteynır basma hatlarında enine yönde yaptığımız kirişte ve kirişlerin hemen yanında 100 mm kalınlığında üst kabukta kırmızı renkle görüldüğü gibi gerilimin yüksek olacağı alanlarda malzeme korunurken, yanlarda, baş tarafta ve üst kaplama kabuğunun çoğu bölgesinde malzeme eksiltilebileceğini önerilmiş. (Şekil 4.3)

4.2.3. Üçüncü Analiz

Üçüncü analiz için ambar kapağının üst kabuk kaplaması, sağ-sol ve baş-kıç kenarlarında dış kabuk kaplamasını 50 mm kalınlığında bırakıp konteynır basma hatlarında 100 er mm kalınlığında kiriş bırakıp diğer tüm kısımları boşaltarak

modelleme yapıldı. İmalatın eklemeli yöntemle yapılamayıp, prizmatik şekilde sacların kaynatılarak yapılabileceği için tüm modeller buna uygun olarak modellenmesi gerekmektedir. (Şekil 4.4)

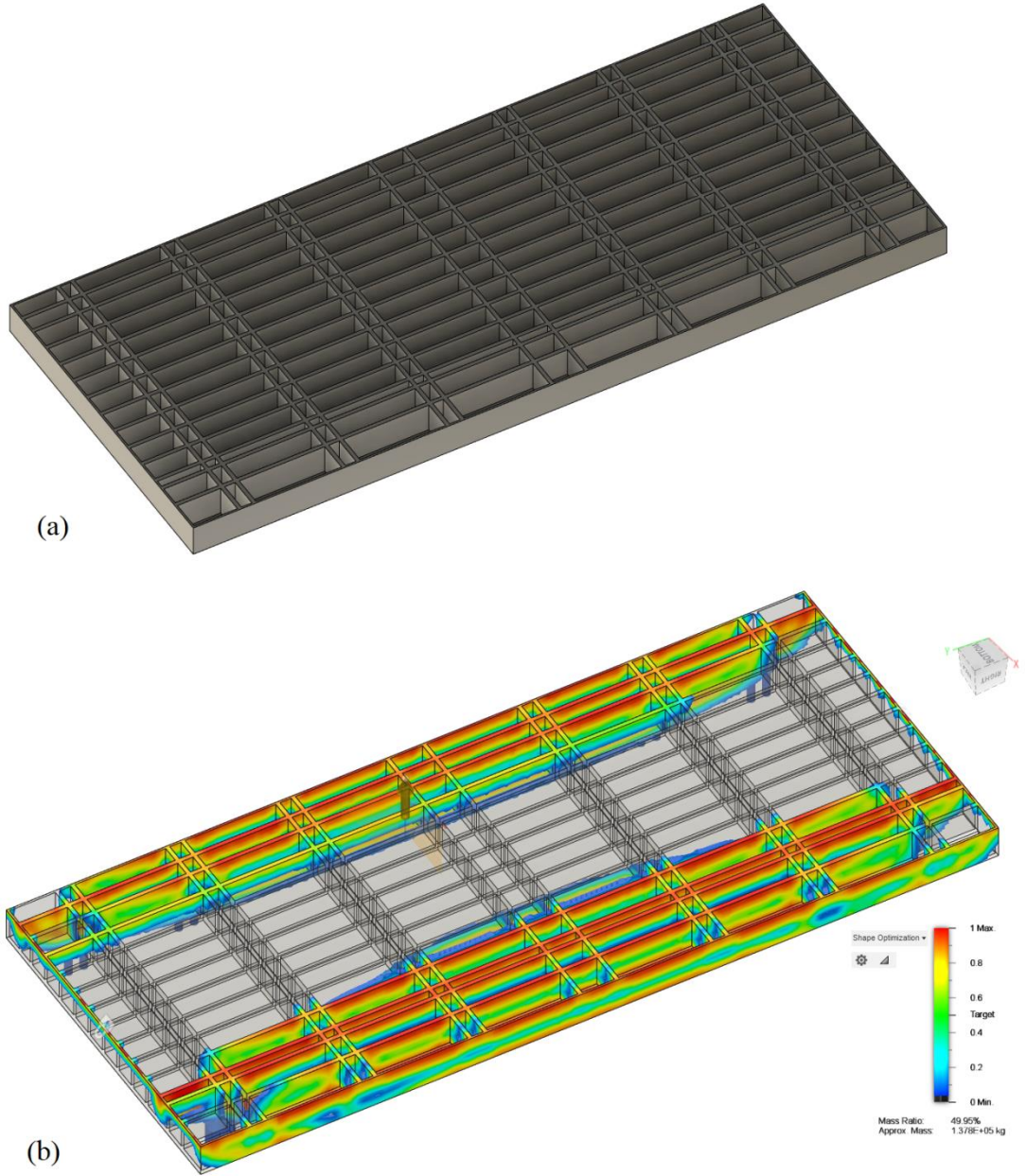


Şekil 4.4. (a) Üçüncü model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

Analiz sonucunda kiriş elemanlarını ve bu elemanların hemen yan taraflarında kirişlere paralel olarak üst kaplama sacında da hacim korunduğu görülmekte. Yani ana kirişlerin haricinde de kirişler yönünde destekleyici elemanların olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Kirişlere detaylı baktığımız zaman kirişlerin maksimum çekme gerilmesine maruz kaldığı kısımlarda ve maksimum bası gerilmesine maruz kaldığı kaplamaya kaynak edildiği kısımlarda malzeme korunduğu anlaşılmaktadır. Orta kısımlarında hacim azaltılmasının önerildiği lacivert renk ile görülmektedir.

4.2.4. Dördüncü Analiz



Şekil 4.5. (a) Dördüncü model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

Dördüncü analizde, ambar kapağının üst kaplama sacı, sağ sol ve baş kış taraftaki dış kabuk sac kalınlıkları, bir önceki üçüncü analizde korunması tavsiye edilen kısımların ağırlıklı olarak kiriş görevindeki saclar üzerinde olduğu ve kenar kısımlardaki kaplama saclarından eksilmesi gereken bölgeleri 10 mm. kalınlığa düşürüldü. Kiriş görevi gören saclar da kapak eni yönünde 600 mm aralıklar ile kapağın tamamına yerleştirildi. Aynı şekilde konteynır basma noktaları baş kış yönünde de her hatta birer kiriş eleman yerleştirildi. Kapağın tamamı tüm kuvvet uygulama noktalarını hem boy yönünde hem de en yönünde destekleyecek şekilde ızgara şeklinde desteklendi.

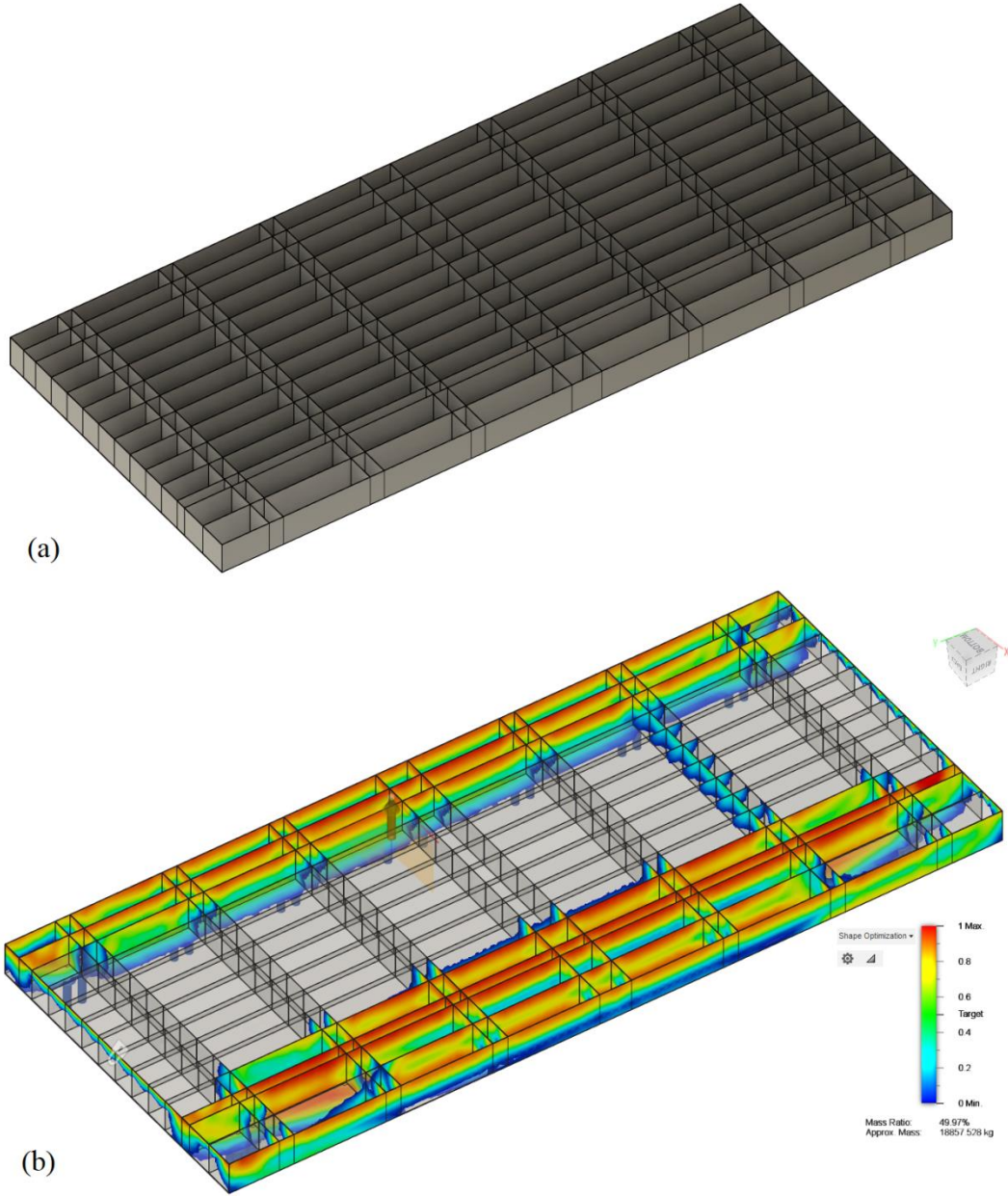
Analiz sonucunda kapağın baş ve kış tarafında enine yönde bulunun kaplama saclarında, sacın kendi içinde maksimum çekme geriliminin gerçekleşeceği alt tarafında ve basma gerilmesinin gerçekleşeceği üst kaplama sacına yakın üst kenarında kırmızı renk ile hacim korunması önerilirken ara bölgelerde ağırlıklı yeşil sarı renk tonları ile hacim azaltılabileceği anlaşılmaktadır.

Sağ ve sol tarafta bulunan yan kaplama saclarında da sadece mezarıya basarak kapakta basit mesnet görevi gören kısımda hacim korunması önerilirken yukarı doğru diğer kısımlarında hacim azaltılması önerildiği anlaşılmaktadır.

Kapağın enine yönde yerleştirilmiş 100 mm kalınlığındaki kiriş yapılarında kuvvet uygulama hatları üzerinde olanlarda alt taraftaki maksimum çekme gerilmesi gölgelerinde hacim korunurken diğer kısımlarında hacim azaltılabileceği durumu yine renklerden anlaşılmaktadır. Aynı doğrultuda yerleştirilmiş diğer kiriş elemanlarda sadece kuvvet hatlarının hemen yanında bulunanlarda hacim korunurken orta kısma yaklaşırken tamamen hacim eksilmesi önerildiği görülmektedir.

Gemi boyu yönünde yerleştirilmiş kiriş elemanlarda ise orta bölgelerde tamamen hacim eksitilebileceği, kuvvet etkime bölgelerinde de yer yer azaltılabileceği görülmektedir.

4.2.5. Beşinci Analiz



Şekil 4.6. (a) Beşinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

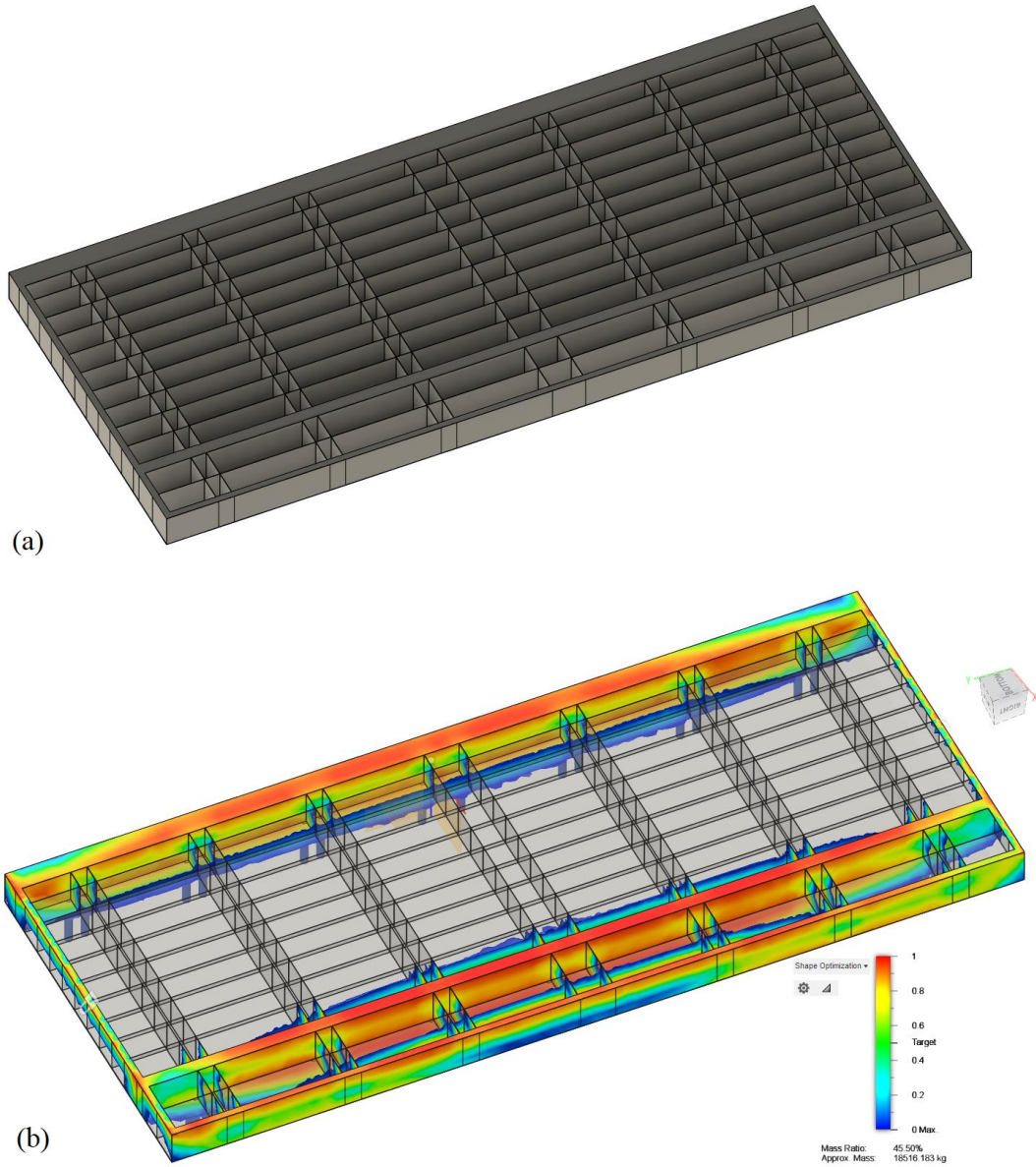
Beşinci analiz, dördüncü analizdeki konstrüksiyon yerleşimi değiştirilmeden sadece hücre şeklide yerleştirilen kiriş elemanlarının kalınlığı 10 mm.'ye düşürülerek yapıldı.

Dördüncü analizde 100 mm olan kiriş elemanların kalınlıkları 10 mm.'ye düşürülse dâhi topoloji analizi sonuçları her iki analizde de paralel. Küçük farklılıklar olsa dâhi

aynı konumdaki elemanların aynı bölgelerinde hacim korunması önerilmiş ve aynı bölgelerde hacim eksiltilebileceği önerilmiştir.

Yapılan analiz statik gerilim analizi olmadığı için sonuçların benzer olması mantıklıdır.

4.2.6. Altıncı Analiz



Şekil 4.7. (a) Altıncı model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

Altıncı analizde beşinci analizdeki konstrüksiyona ek olarak sağ sol ve baş kış taraflarda bulunan dış kabuk saclarının altına, kapak iç tarafına gelecek şekilde 150 mm genişliğinde ve 20 mm kalınlığında lama sac yerleştirilmiştir. Buradaki amaç, beşinci model optimizasyonunda korunması önerilen kış kaplama saclarının yüksek moment oluşan kısımlarını güçlendirmek ve altıncı optimizasyon analizinde yine bu sacların inceltilebilme imkanını zorlayabilmektir. Yani bu saclara bir nevi altında lama sacı bulunan T girder şekli vermektir. Yine benzer şekilde kuvvet hatları üzerinde bulunan enine kirişlerin altına da 20 mm kalınlığında sac yerleştirilmiştir. Baş taraftaki iki sıra kirişin ikisini beraber kapsayacak şekilde bir alın laması, kış taraftaki kuvvet hattı altındaki tek kirişe de arkasındaki dış kabuk sacını beraber kapsayacak şekilde bir alın laması yerleştirilmiştir. Beşinci optimizasyonun sonuç resminde sacların alt tarafı kısmı yüksek gerilime maruz kaldığı için öncelikli korunması önerisiyle koyu kırmızı renkte gösterilmiş. Yerleştirilecek alın sacları bu bölgeleri güçlendirecektir.

Bu analizde de kiriş görevi gören enine elemanlarda korunması gereken bölgeler net bir şekilde görülmektedir. Özellikle alın laması vazifesi gören saclar ve kirişlerin alın lamasına yakın alt bölgeleri kırmızı renkle görülmektedir.

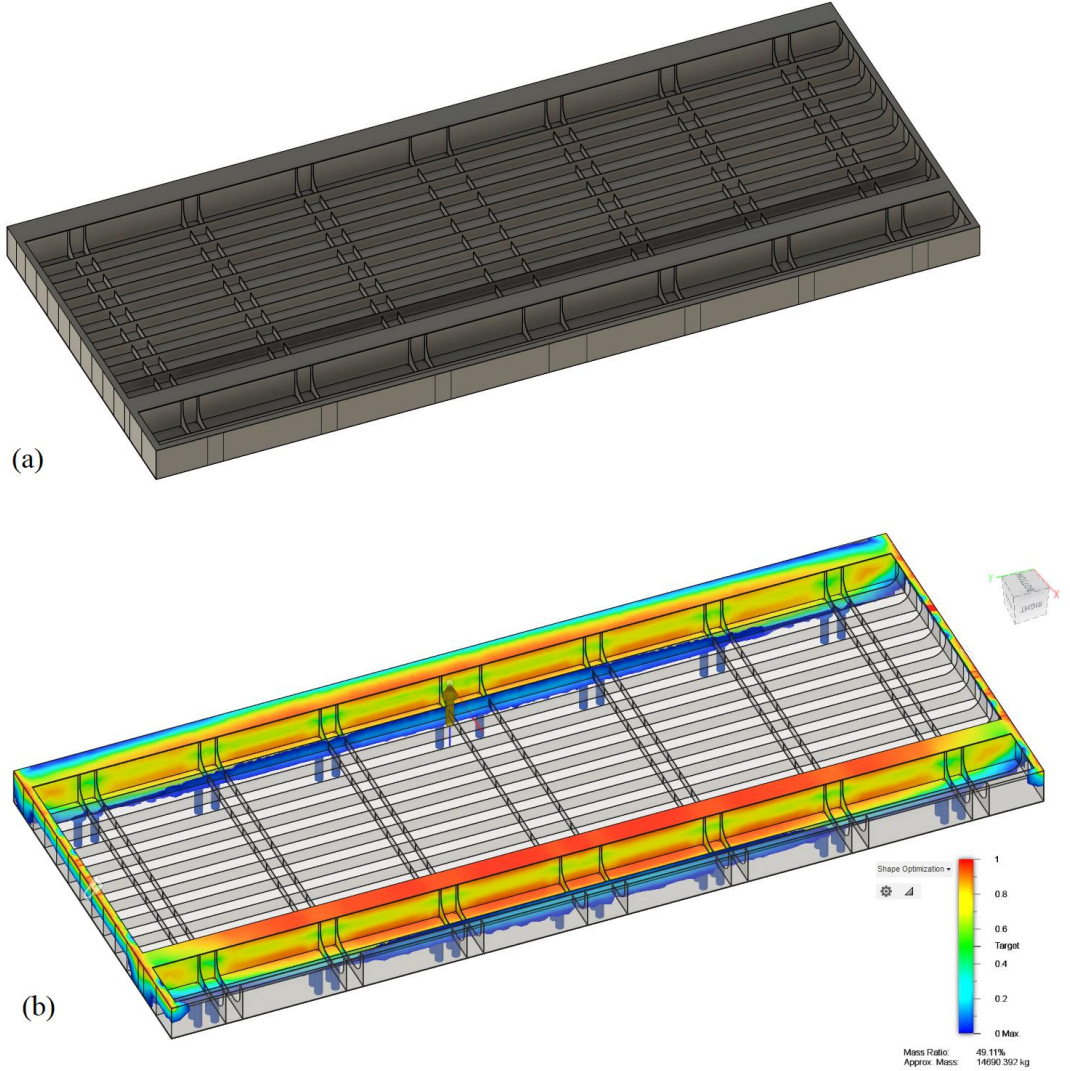
Önceki analizlerde de olduğu gibi 6. Analizde de kuvvet hatları altındaki kirişler haricinde ve boyuna yönde yerleştirilmiş elemanlarda hacim eksiltilmesi önerilmesi lacivert renk ile anlaşılmaktadır.

4.2.7. Yedinci Analiz

Altıncı analizde kiriş yapıların önerildiği kısımlar hariç orta bölgelerde tamamen hacim eksiltilmesi önerilmekteydi. Bunun için yedinci analizde yük hatları altındaki kirişler haricindeki tüm enine elemanların genişliği 300 mm.'ye düşürülmüştür ve kapak sağ sol kenarlarındaki yan kabuk saclara ve alın lamasına tamamen basacak şekilde uzatılmıştır. Benzer biçimde boyuna yönde yerleştirilmiş elemanların genişliği de 200 mm.'ye düşürülmüş ve hem baş ve kış taraftaki kaplama kabuk saca, enine ana kiriş elemanlara ve alın lamalarına basacak şekilde uzatılmıştır. Yani bu destek elemanlarının bitim yerleri braket şeklinde çizilmiştir. Ana kirişlere alın laması gibi

yerleştirilen saclar da her iki yöne 100 er mm genişletilmiştir. Buradaki kiriş yapıyı oluşturan enine yerleştirilmiş saclara braket şeklinde basan boy yönündeki parçaların, kirişin alın sacına da basması için bu genişletme yapılmıştır.

Şekil 4.8'deki %50 hacim azaltma oranlı görsele göre korunması önerilen bölgeler enine yerleşik ana kiriş yapılarıdır. Özellikle çift sıra kuvvet hattı altındaki kirişin alın laması görevi gören sac turuncu renkle korunması önerilmektedir. Aynı kiriş sacların hem kapağın üst sacına yakın kısımları hem de alın lamasına yakın kısımlarında turuncu renkler açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. (a) Yedinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

Üst kaplama sacında da sadece kiriş yapıların olduğu yerlerde ve bu kiriş sacların hemen yakınlarındaki bölgelerde hacim koruması önerilmektedir. Kapağın orta kısımlarında bu kaplama sacının eksiltilebileceği önerilmektedir.

Optimizasyon sonuç resminde baş ve kıçta bulunan enine kaplama sacının tamamen eksiltilebilir olduğu görülmekte. Sağ ve sol yanda boyuna kaplama kabuk saclarının mesnet olarak bastığı bölgelerde koruma önerilirken üst taraflara doğru tamamen eksiltilebileceği anlaşılmaktadır.

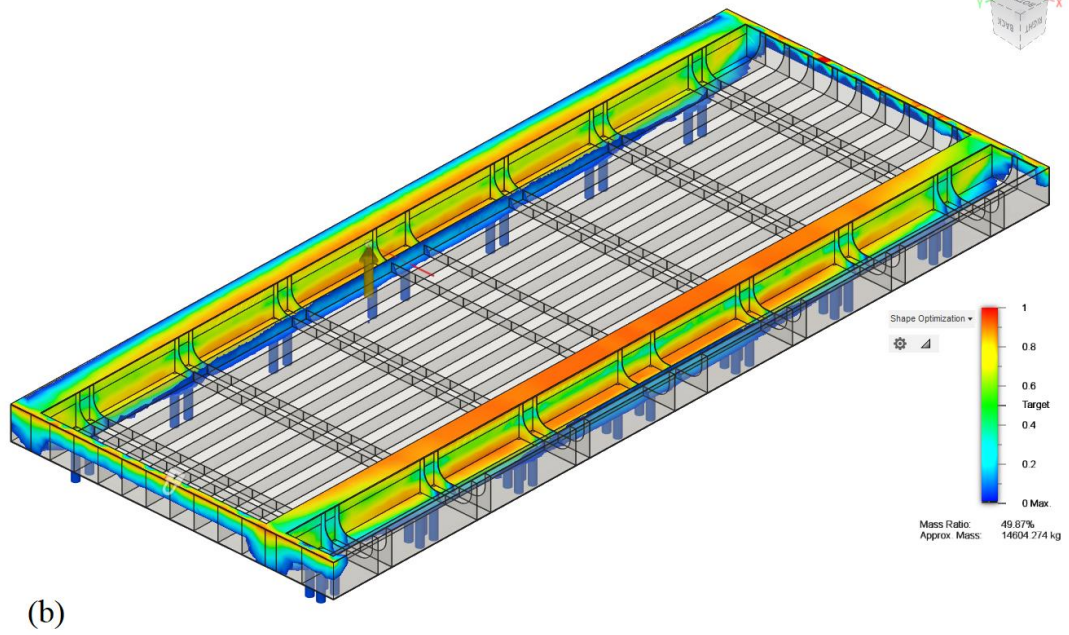
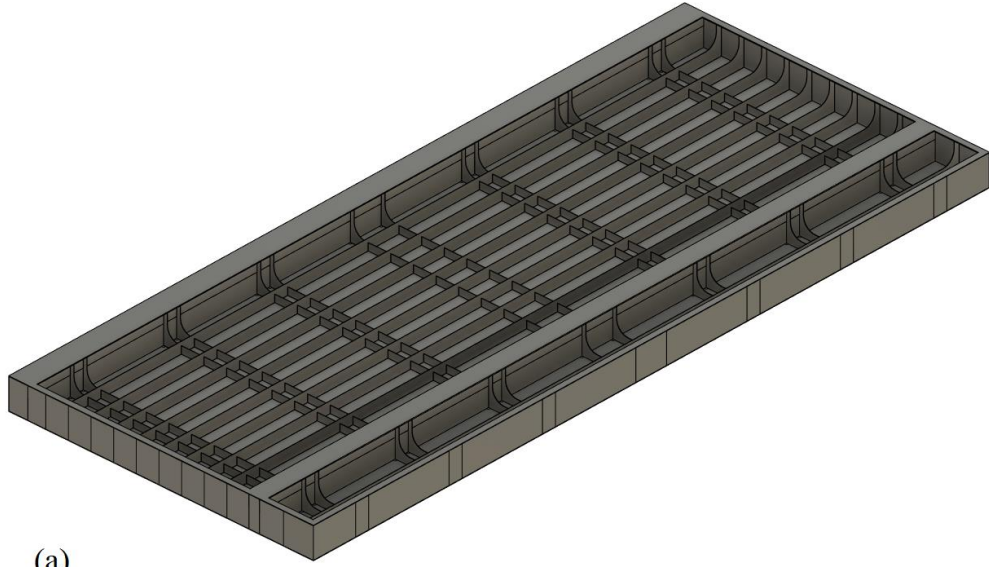
Boyuna yerleşik 200 mm genişlikteki destek elemanları ile enine yerleşik 300 genişliğindeki destek elemanları, kiriş yapıların hemen yanı haricinde tamamen eksiltilebilir olarak önerilmektedir.

4.2.8. Sekizinci Analiz

Yedinci analizde orta kısma yerleşik otuna ve enine yerleştirilmiş destek elemanlarının hala eksiltilmesi gerektiği anlaşıldığı için kalınlıkları 7 mm.'ye düşürülmüştür. Ancak boy yönündeki destek elemanlarının kiriş yapıların içinde ve hemen yakınında yer alan kısımları bir önceki analiz sonuç resminde turuncu renklerle gösterildiği için 10 mm olarak tutulmuştur. Ana kiriş elemanlarının kapak tavan sacına basan 500 mm'lik kısmının kalınlıkları 12 mm.'ye alın laması tarafındaki alt kısımlarının kalınlıkları da 14 mm.'ye çıkarılmıştır. Baş taraftaki kiriş yapının altına yerleştirilen sac kalınlığı da kapağın ortasında 14,7 metrelik kısmında 25 mm.'ye çıkarılmıştır.

8. model analizinde kırmızı renklerin artık olmadığı, model üzerinde ağırlıklı olarak turuncu, sarı, yeşil ve açık mavi renklerin ağırlıkta olduğu görülmektedir.

Öncelikli korunması gereken bölgeler baş taraftaki enine kirişin alın sacı, kirişin dip bölgeleri, kıç taraftaki kirişin alın sacı ve sacın dip bölgeleri mesnet noktaları olarak görülmekte. %50 hacim azaltma hedefine göre destek elemanlarının inceltilmesine rağmen hala eksiltilebileceği önerisi görülmektedir.

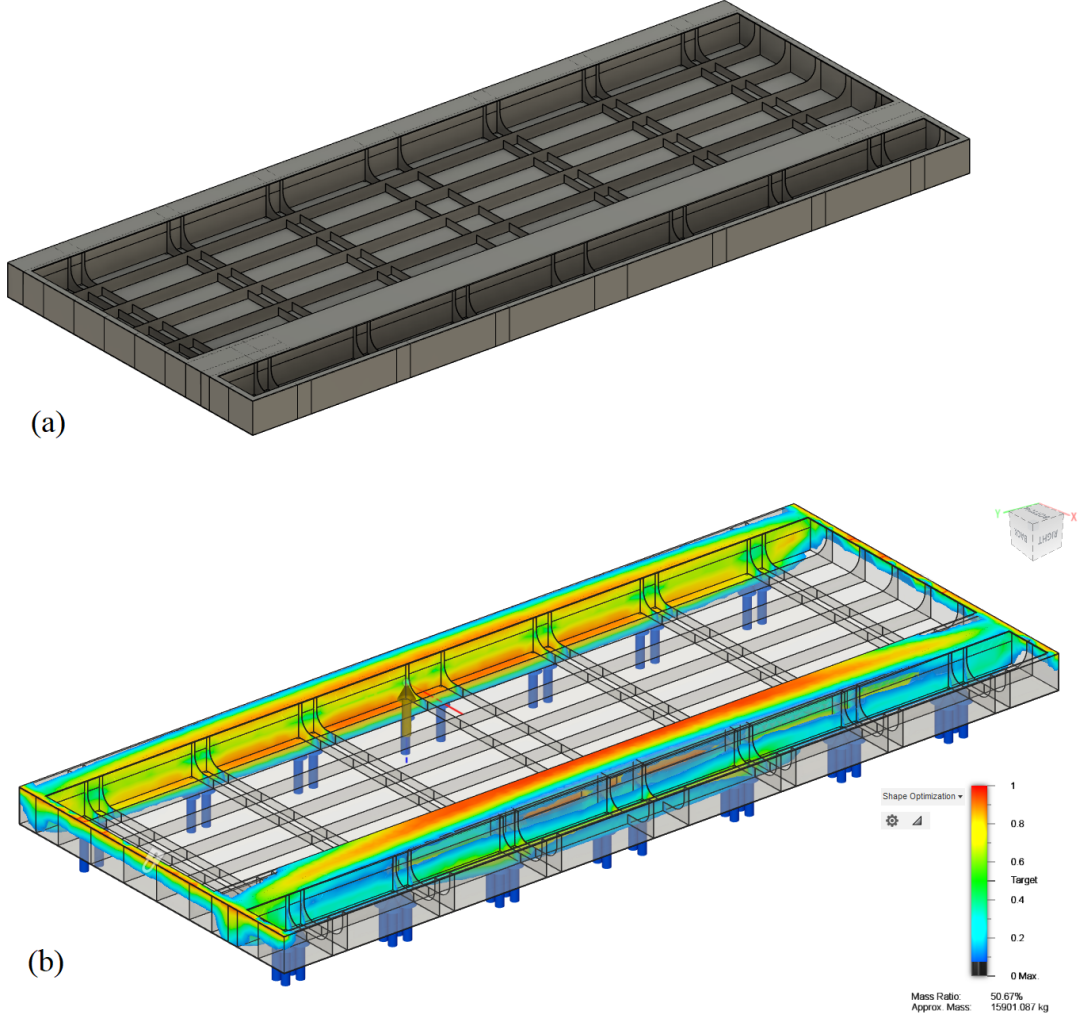


Şekil 4.9. (a) Sekizinci model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

4.2.9. Dokuzuncu Analiz

Dokuzuncu analiz için kapağın baş tarafındaki çift sıra kuvvet hattı altındaki bir kiriş geri doğru 1 metre mesafeye kopyalandı ve altına yerleştirilmiş sac da genişletildi. Buradaki amaç, ana kirişi yapısını genişletip malzeme de kalınlık azaltımı imkanını zorlamaktır. Kiriş yapılar arasındaki ara bölgede enine destek elemanlarının arasındaki mesafe de 1 m.'ye çıkarıldı.

Analiz sonucunda ana kirişin baş tarafındaki sacda malzeme eksiltilmesi önerilmektedir.

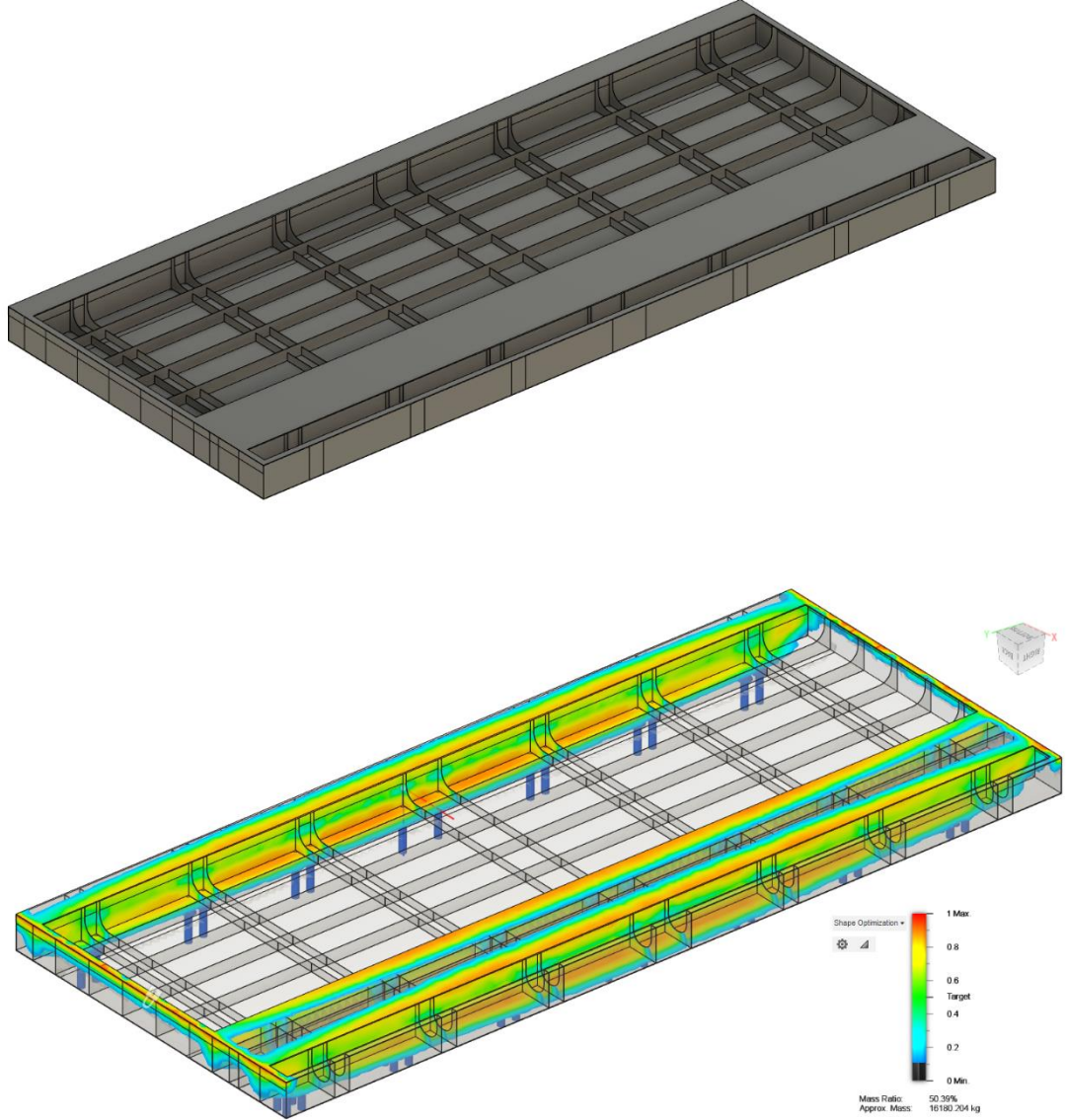


Şekil 4.10. (a) Dokuzuncu model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

4.2.10. Onuncu Analiz

Bir önceki analizde çift sıra kuvvet altında bulunan kiriş yapı yüke göre asimetric durduğu için hacim eksiltme ve korunması önerisi kesin renk ifadeleri ile verilmiştir. Bu asimetric durumu düzeltmek için onuncu analizde ana kiriş yapısının baş tarafındaki sac da 65 cm ileri enine destek elemanının yerine kopyalanmıştır. Bu sayede çift sıra kuvvet hattının altına 4 adet taşıyıcı sac ile ana kiriş yapısı

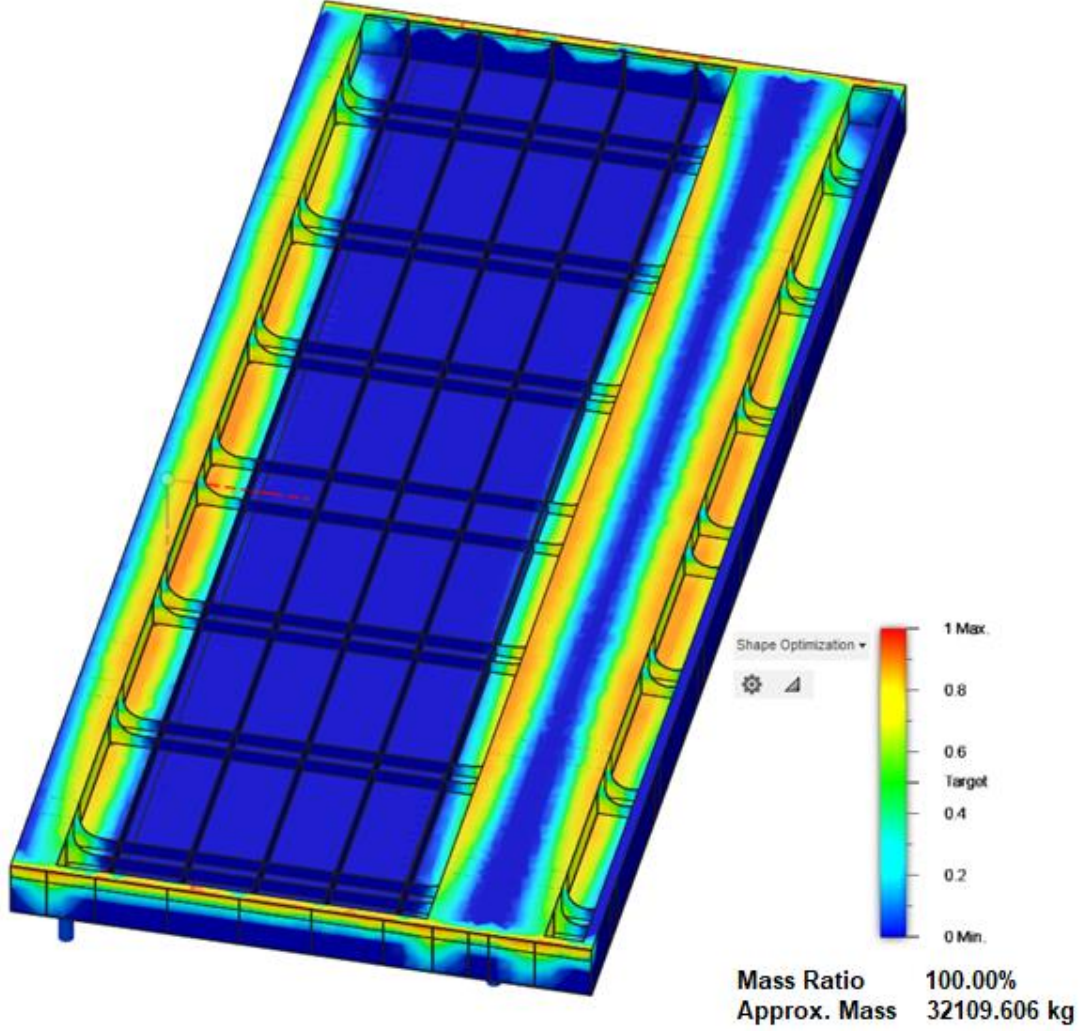
oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu bölgede kapak bir nevi çift cidar konstrüksiyon haline gelmiştir. Kapağın baş kış, sağ sol yanlarında bulunan kabuk kaplama saclarının kalınlığı 8 mm.'ye düşürülmüştür. Aynı şekilde de kapağın üst kaplama sacının kalınlığı da, ana taşıyıcı kirişlerin olduğu bölgeler haricinde 8 mm.'ye düşürülmüştür.



Şekil 4.11. (a) Onuncu model, (b) topoloji optimizasyonu analizi.

%50 ağırlık azaltımı hedefine göre görüntülenen topoloji analizi sonucu Şekil 4.11 'de görülmektedir. Şekil koyu kırmızı renkler görülmemektedir. Ağırlıklı olarak açık mavi, yeşil ve az miktarda turuncu renkler hakimdir. Buradan sanki optimum tasarıma yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Topoloji optimizasyonu, kapak konstrüksiyonunun tüm

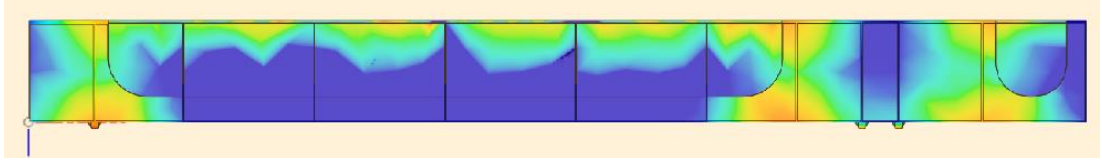
bölgelerinden homojen olarak hacim eksiltilebileceği durumuna yaklaşıldığını göstermektedir.



Şekil 4.12. Onuncu model

Şekilde, kapağın baş kış ve sağ sol taraflarındaki kabuk kaplama sacları, kiriş yapılar bölgesi hariç tavan kaplama sacları ile yine tavan sacları üzerindeki boyuna ve enine destek elemanları eksiltilmesi gereken bölgeler olarak önerilmektedir. Ancak IMO kuralları gereği kaplama saclarının kalınlığı ve destek elemanlarının kalınlığı ve sayısı ile ilgili minimum limit değerleri vardır. Bu sebeple bu kalınlıklar belli değerlerden aşağı düşürülememektedir [49]. Eğer gerilimlerin az gerçekleştiği bu kısımlarda sac kalınlıkları 1-2 mm gibi değerlere düşürülse, optimizasyon sonucu resminde renk

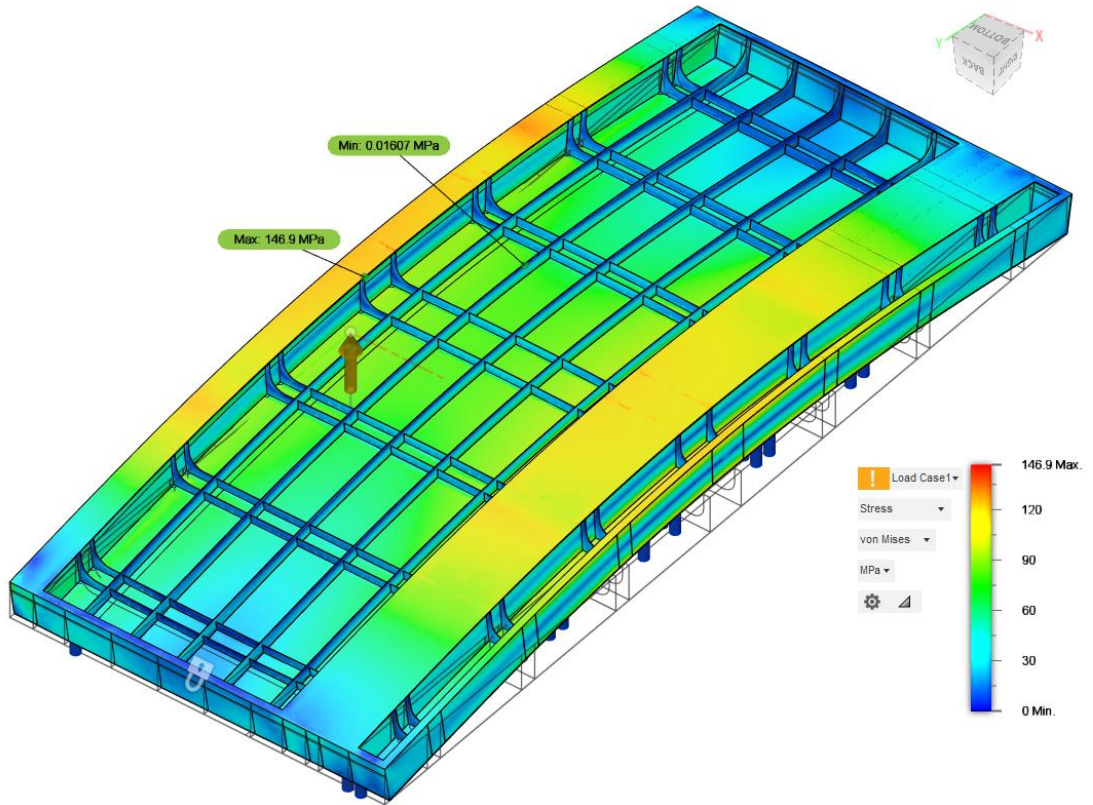
skalasında açık mavi veya yeşil renklerle gösterilebileceği düşünülmektedir. Ancak standartlar ve kurallar gereği bu mümkün değildir.



Şekil 4.13. Onuncu modelin boy yönünde kesiti

Hazırlanan 10. modelin Şekil 4.12'deki tam halinde kütlenin 32,110 ton olduğu görülmektedir.

4.3. STATİK GERİLME ANALİZİ

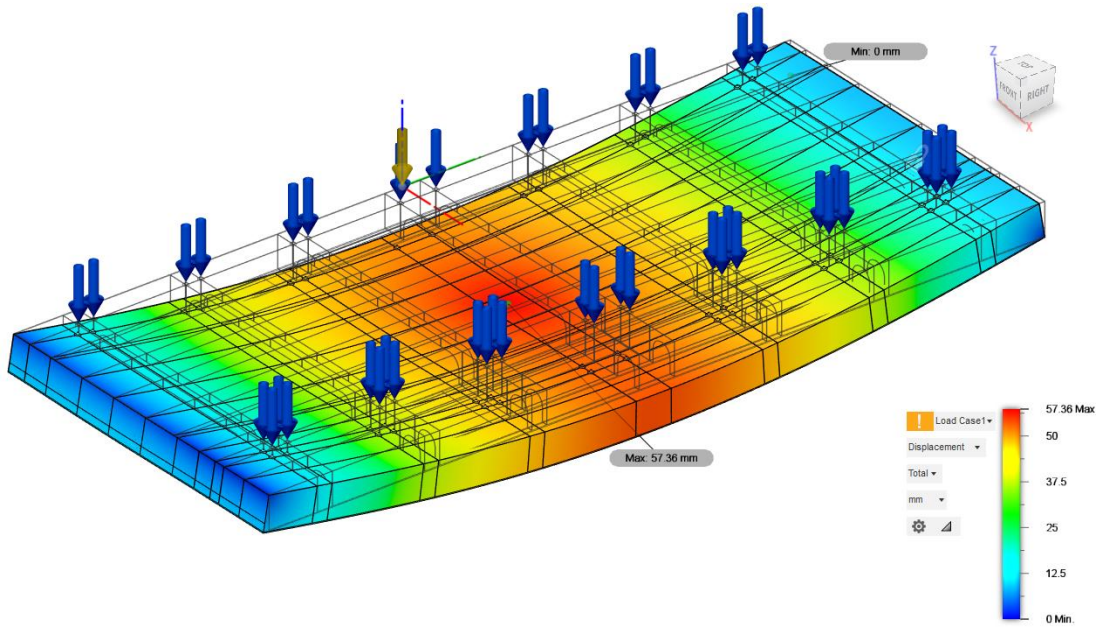


Şekil 4.14. Gerilme analizi.

Ambar kapağına, aynı topoloji analizinde yapıldığı gibi konteynır basma noktalarından kuvvetler uygulanmıştır ve mesnet yerlerinden 1 tarafta üç eksen de

sabit, diğer mesnet yerinde düşey ve boyuna ekseninde sabit, yatay ekseninde serbest olacak şekilde mesnetler belirlenmiştir. Yapılan statik gerilme analizi Von Mises gerilme durumuna göre incelenmiştir. Genel olarak kapağın kiriş yapılarının altına yerleştirilmiş 25 mm kalınlığındaki saclarda 147 MPa görülmektedir. Yüksek gerilme bölgeleri topoloji analizinde öncelikli korunması gereken bölgeler ile yaklaşık olarak örtüşmektedir (Şekil 4.14).

4.4. AMBAR KAPAĞININ KUVVETLER ALTINDA ŞEKİL DEĞİŞTİRMESİ



Şekil 4.15. Elastik şekil değiştirme analizi.

Tasarımı yapılan ambar kapağı doğal olarak maruz kaldığı kuvvetler sebebiyle bir miktar elastik şekil değiştirmeye maruz kalması kaçınılmazdır. Birçok konstrüksiyonda bu durum önemli olmayabilirken, ambar kapağının sızdırmazlığı ve üzerinde taşıdığı konteynır yükünün emniyeti açısından belli limitler dahilinde kalması gerekir. Ambar kapağının ortada yapacağı yüksek miktarda çökme sehim, konteynırların yerleşimini tehlikeye atar. Güverte üzerindeki konteynırlar belli bir yüksekliğe kadar özel gerdirme aparatları ile çaprazlama olarak bağlanır. Genelde 3. sıra konteynırlara kadar gerdirme aparatları ile sabitleme yapılır (Şekil 4.16.) ULCV tipi gibi çok büyük konteynır gemilerinde güverte üzerinde konteynır sabitleme için kullanılan konstrüksiyon yapılar bulunur. Ayrıca enine üç ya da daha fazla sayıda

kapak kullanıldığı için kapaklarda fazla sehim olmaz. Feeder ve feedermax boyutundaki gemilerde ise bu ara sabitleme konstrüksiyonları yoktur ve konteynırlar sadece belli bir seviyeye kadar bağlanabilir.

Ambar kapağında maruz kalınacak aşırı bir çökme yüzünden bağlantı liftin uskur aparatları ve bağlantı mapa noktaları, limitlerin üzerinde kuvvetlere maruz kalabilir ve kopabilir. Şekil 4.17.'deki gibi istenmeyen kazalar yaşanabilir.



Şekil 4.16. Güverte üzerinde konteynırların bağlanması [50].

IMO kuralları Bölüm 3. Kısım 11. gemi konstrüksiyonu, ambar kapakları kısmına göre dikey yönlü şekil değiştirme miktarı $0,0056 \times l_g$ den büyük olamaz [49] .

Burada l_g ana destek elemanının en büyük açıklığının metre cinsinden mesafesidir.

$$d_{hc} = 0,0056 \times l_g = 0,0056 \times 19 \quad (3.10)$$

$d_{hc} = 0,11$ metre olarak bulunur.

Şekil 4.15'de görülen şekil değiştirme analizine göre maksimum sarkma miktarının maksimum 57 mm ve limitler dahilinde olduğu görülmektedir. Görselde kapağın sehimi, daha rahat görülebilmesi amacıyla 10 kat olarak gösterilmiştir.



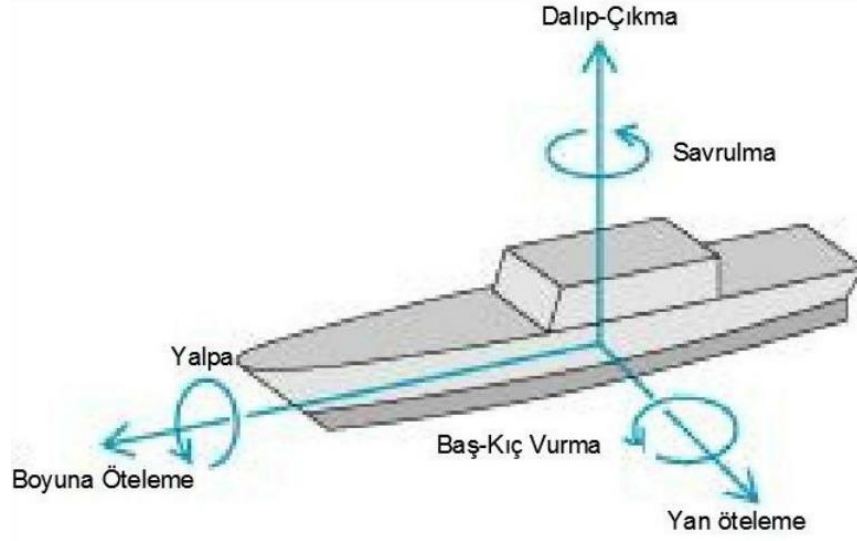
Şekil 4.17. Güverte üzerinde konteynır yığınının devrilmesi [51].

4.5. DOĞAL FREKANS ANALİZİ

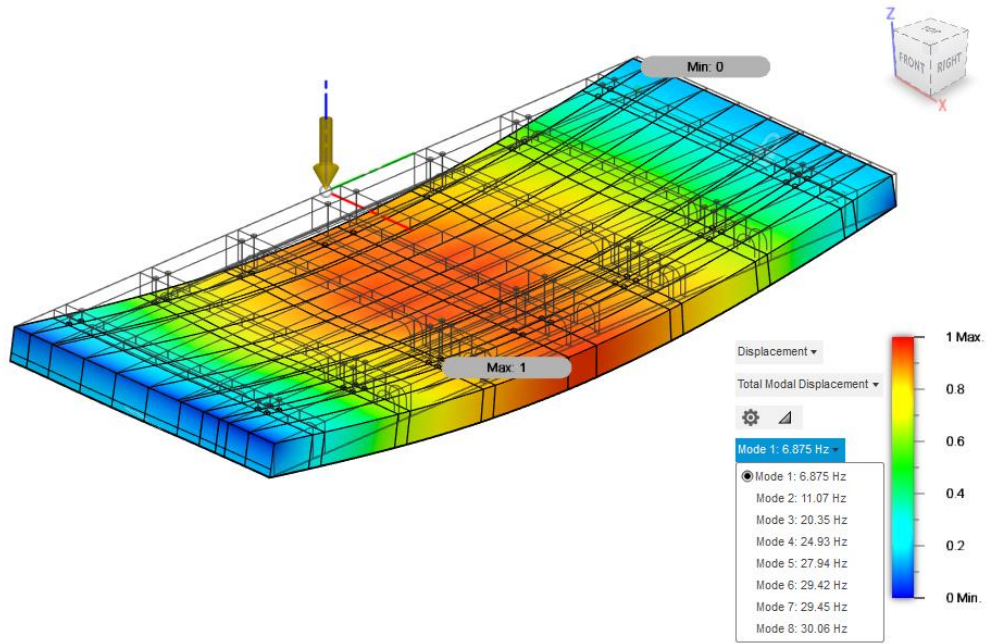
Gemi, seyir esnasında dalgalardan dolayı farklı hareketler gerçekleştirir. Dalıp çıkma hareketi geminin düşey yönde yukarı aşağı hareket etmesidir. Baş kıç vurma hareketi gemi ortasından geçen enine yatay ekseninde dönerek geminin baş kıç vurmasıdır. Baş kıç vurma hareketi ile geminin özellikle baş tarafı ve kıç tarafı yukarı aşağı yönde salınım yapar ve bu bölgeler ivmelenmeye maruz kalır. (Şekil 4.18.) Bu ivmelenme sayesinde ambar kapağı üzerindeki konteynırların uyguladığı kuvvetler bir miktar azalır artarak tesir eder. IMO kurallarına göre ambar kapağına etki eden konteynır kuvvetleri hesaplanırken, a_v ivme katsayısı hesaba dahil edilerek artan kuvvet bulunmuştur.

Ambar kapağı tasarım iyileştirilmesinde kapağın doğal frekansını da analizini yaparsak çizelge 4.19'daki sonuçlar çıkmaktadır. Ambar kapağı üzerindeki kuvvet yükten dolayı değişmeyen sabit kuvvettir. Ancak kuvvetin değişmesine geminin seyir esnasında yaptığı baş kıç vurma hareketi sebep olur. Şekil 4.19'da görülen sonuçlara göre kapağın doğal frekansı bu değerlerden uzaktadır. Resimde düşey Z yönünde kapağın doğal frekansı 6,87 Hz olarak görülmektedir. Yaklaşık boyutlarda benzer bir geminin baş kıç vurma hareketinde maksimum frekans 0,226 Hz olarak hesaplanmış

[52]. Ambar kapağının doğal frekansı bu değer ile çakışsa, kapak mukavemeti elbet sıkıntı yaşayacaktır.



Şekil 4.18. Gemi hareketleri [53].



Şekil 4.19. Kapağın mesnetlenmiş halde doğal frekans analizi.

4.6. ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Analizlerin tümünde momentin oluştuğu yön doğrultusunda modelin hacmi kuvvet uygulama hatları bölgesinde korunmakta, ara bölgelerde de eksiltilmesi önerilmektedir. [33]

Kiriş yapı elemanlarında kendi içinde maksimum gerilimlerin çekme gerilmesi olarak kiriş yapılarının alt bölgelerinde olduğu ve buralardan asla hacim eksiltilemeyeceği her analizde görülmüştür ve bundan anlaşılmıştır ki, bu bölgelere alın laması yerleştirilerek gerilimin azaltılması gerekmektedir. Yine kiriş elemanların alt kenarı ile üst kaplama sacına kaynaklandığı bölge arasında hacim eksiltilebilir. Yükleme hatlarının hemen önünde ve arkasında yardımcı kiriş yapıları da kapağın mukavemetine faydalı olduğu görülmüştür.

Boy yönünde yüksek momentler oluşmadığı için boyuna kirişler yerleştirilmesine gerek olmadığı analizler sonucunda anlaşılmıştır. Ancak kirişleri birbirine ve baş ve kış ta bulunan enine kabuk kaplamaya bağlayıp daha rijit bir konstrüksiyon elde etmek için boy yönünde elemanlar yerleştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

İlk yapılan analizlerde, eksiltilebilecek hacimler ve asla eksiltilmemesi gereken hacimler arasında renk skalasına göre keskin farklılıklar görülmektedir. Ancak analizler tekrarlandıkça ve konstrüksiyonda bu doğrultuda iyileştirmeler yapılıncı renk skalasındaki keskinlik farkları giderek azalmakta ve optimum konstrüksiyon tasarımına yaklaşıldığı anlaşılmaktadır.

Analizlerde moment yönünün oluştuğu mesnet bölgeleri arasındaki hat yönünde hacim korunduğu ve hacim eksiltildiği açıkça görülmüştür. Üçüncü model 100 mm genişliğinde ve 800 mm kapak yüksekliğinde sadece kuvvet hatları yönünde yerleştirilen kiriş sacları ile analiz yapıldığında %50 ağırlık azaltımı hedefli sonuç görüntüsünde renk skalasına göre koyu kırmızı renk bölgeleri ve eksiltilmesi önerilen bölgeler net bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.4). Kırmızı renkler ile yeşil renk bölgeleri arasında keskin sınırlar görülmektedir.

Dördüncü analizde yine 100 mm genişliğinde hem enine kuvvet uygulama hatları altında hem de boyuna yönde 800 mm. kapak yüksekliğinde yerleştirilen kirişler ile hücreli petek yapı benzeri konstrüksiyon analiz yapılıncaya koyu kırmızı renkler ile yeşil bölgeler arasında turuncu renkli geçiş bölgeleri olduğu Şekil 4.5'te görülmektedir.

Beşinci analizde 100 mm. kalınlığındaki hücre petek yapı elemanlarının kalınlığı 10 mm.'ye düşürülmüştür. Analiz sonucu dördüncü analizle hemen hemen aynı olduğu Şekil 4.6 de görülmektedir.

Altıncı analizde enine kiriş yapılarının maksimum gerilme olması beklenen alt kenarlarına 20 mm genişliğinde alın laması şeklinde saclar yerleştirilmiştir. Aynı şekilde çepeçevre kapak etrafına mesnet bölgeleri ile baş kış kaplama sacının altına da 20 mm. kalınlığında ve 150 mm. genişliğinde sac yerleştirilmiştir. Koyu kırmızı renklerin ve renk geçişlerinin keskinliğinin azaldığı görülmektedir. (Şekil 4.7)

Yedinci analizde yük hatları altındaki enine kiriş yapıları hariç diğer bölgelerde enine ve boyuna elemanların genişliği azaltılmıştır. Kiriş yapılarının alın lamaları 100'er mm kiriş saclarından dışarı çıkacak şekilde genişletilmiştir. Yedinci analiz sonucunda korunması gereken bölgelerin kapak ortasına doğru bir miktar genişlediği görülmekte ve koyu kırmızı renklerin azaldığı görülmektedir. (Şekil 4.8)

Sekizinci analizde kapak ortasındaki destek elemanlarının kalınlığı 7 mm.'ye düşürülmüştür. Yedinci analizdeki hacim korunması önermelerindeki renk skalasına istinaden, enine kiriş elemanlarının kalınlığı kapak tavan sacı tarafında 500 mm. genişliğindeki kısımda 12 mm.'ye, alın laması tarafındaki 300 mm. lik kısımda 14 mm.'ye çıkarılmıştır. Alın laması olarak tabir edilen sacın kalınlığı da ortada 14,7 metre boyunca 25 mm.'ye çıkarılmıştır. Analiz sonucunda da koyu kırmızı renklerin daha da azaldığı görülmektedir. (Şekil 4.9)

Dokuzuncu analiz için enine destek elemanları arasındaki mesafe 1 metreye çıkarılarak sayıları azaltılmıştır. Çift sıra kuvvet hattı altındaki kiriş yapıları da arkadaki kiriş sacı 500 mm. geri kopyalanmıştır. Analiz sonucunda çift sıra kuvvet hattı kiriş yapısında tekrar koyu kırmızı renk oluşumu ve hemen yanında hacim eksiltme önermesi

görülmüştür. Bunun sebebinin kuvvet hattı altındaki kiriş yapının asimetric olarak modellenmesinin olduğu düşünölmektedir. (Şekil 4.10)

Onuncu analizde ise bir önceki analizdeki asimetric yapıyı düzeltmek için ana kiriş yapının önündeki destek elemanı da kiriş sacına dönüştürölmüş ve alın sacı bu kiriş sacını 100 mm. geçecek şekilde genişletilmiştir. Ayrıca baş kış taraftaki kaplama kabuk saclarının kalınlığı 8 mm.'ye düşürölmüştür. Üst kaplama sacının da kalınlığı kiriş bölgeleri haricinde 8 mm.'ye düşürölmüştür. Analiz sonucuna göre renk skalasında yeşil sarı ve açık turuncu renklerinin hâkim olduğu görölmektedir. (Şekil 4.11)

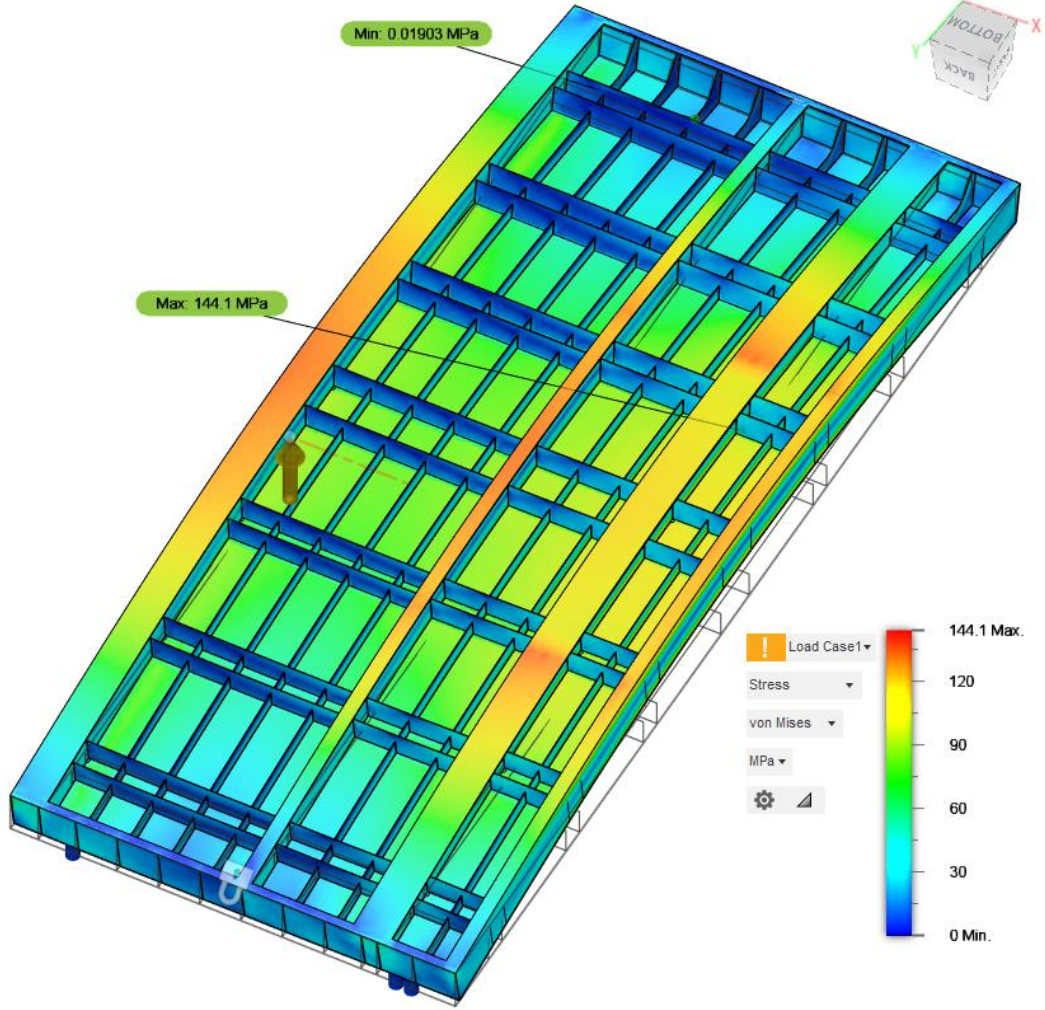
Yapılan analizlerin başında model içinde korunması gereken ve eksilmesi gereken hacimler, renk skalasında zıt yerlerde bulunan kırmızı ve lacivert renk ağırlıklı olarak gösterilmektedir. Her analiz sonunda model iyileştirildikçe renk skalasında birbirine yakın olan sarı, yeşil ve mavi renkler yoğunlukta görölmektedir. Bu durumun optimum tasarıma yaklaşıldığının göstergesi olduğu düşünölmektedir.

Topoloji analizinin tekrarlı uygulamasının önermesine göre çift cidarlı konstrüksiyon yapının verimliliği görölmekte. Ancak kapak orta kısmına kuvvet tesir etmediği için çift cidarlı yapı sadece kuvvet hatları bölgesinde lokal olarak oluşmaktadır. [30]

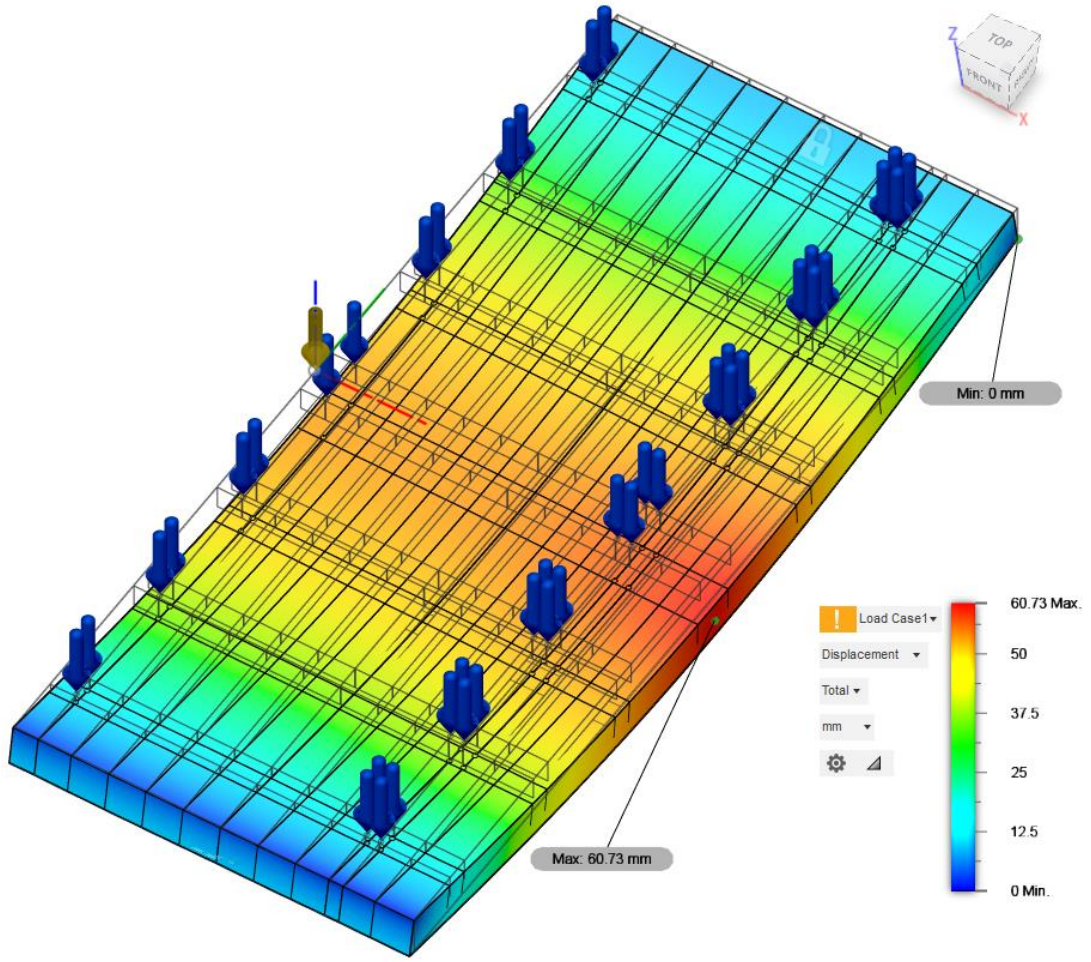
Eğer analiz tekrarları devam ettirilirse analiz sonuç görselinde yeşil ve sarı rengin hakimiyeti daha da artacaktır. Fakat IMO kuralları gereği kalınlıklar belli değerlerin altına düşürölemeyeceği için gerilimin az olacağı bölgelerde hacim eksiltilmesinin lacivert renk ile önerilmesi her zaman görülecektir.

Onuncu ve son analizde önerilen kapağa aynı kuvvetler altında statik gerilme analizi yapılıncaya maksimum gerilmenin 147 Mpa olduğu göröldü. Bu değer IMO ve tüm klas kuruluşlarının uygun gördüğü izin verilen maksimum gerilme değeri olan 150 Mpa'ın altında kalmakta, emniyetli sınırlar içindedir ve bu yüzden yeni analiz yapılmamıştır.

4.7. MEVCUT AMBAR KAPAĞI İLE KARŞILAŞTIRMA



Şekil 4.20. Geminin mevcut ambar kapağı statik gerilim analizi.

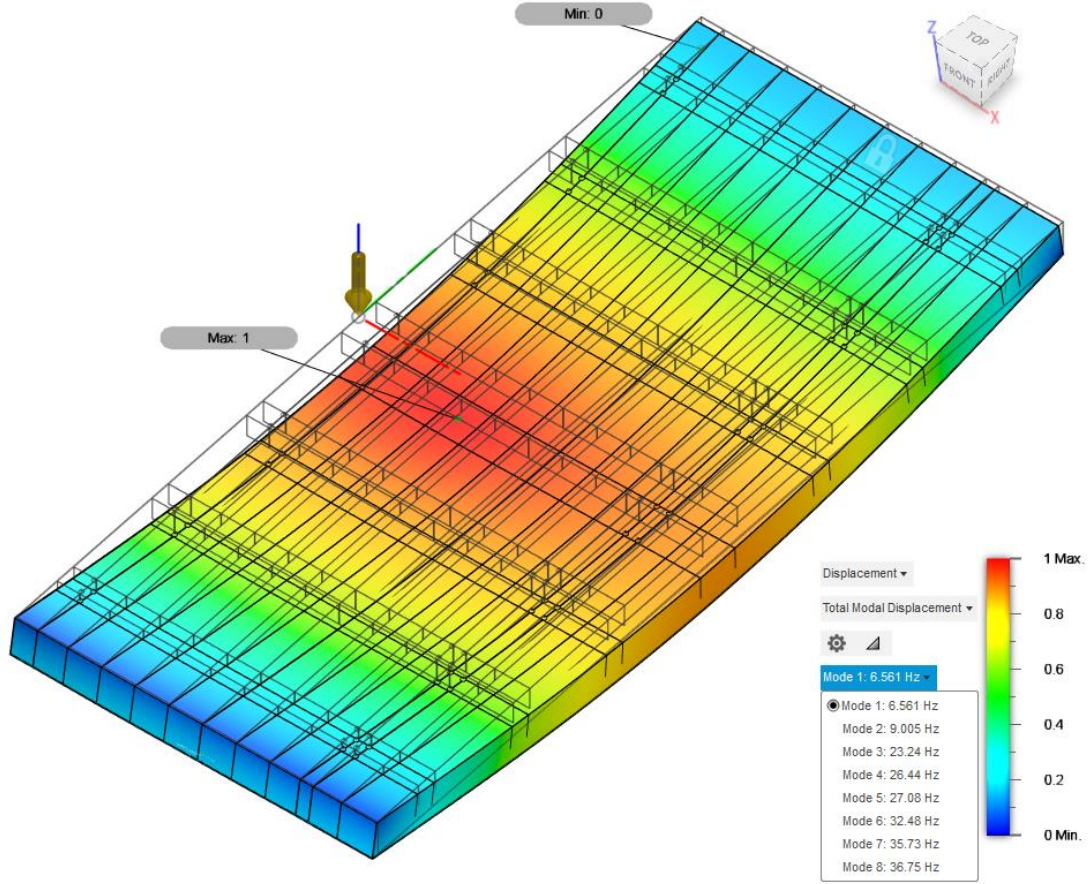


Şekil 4.21. Geminin mevcut ambar kapağı elastik şekil değıştirme analizi.

Geminin mevcut ambar kapağı tasarımı, topoloji optimizasyonu yönlendirmesi ile elde ettiğimiz konstrüksiyona kabaca benzemektedir. IMO'nun şart koştuğı genel gemi inşa kuralları gereğı maksimum gerilim 150 MPa altında tutulmaya çalışılmıştır. Ambar kapağının mevcut ağırlığı 34,6 tondur. Yapılan topoloji optimizasyonu ile yeni ambar kapağı 32,11 ton ağırlığa indirilmiştir. Yapılmış olan bu 2,49 ton ağırlık azaltımı %7 oranına tekabül eder. Gemi üzerindeki toplam 14 adet kapakta 34,86 ton çok önemli miktarda sac demektir.

Kapak üzerinde hidrolik sistemler, ray sistemi, mezarneya oturma kilitleme gereğı ve diğeri tüm sistemler hem geminin mevcut kapağında hem de topoloji optimizasyonu önermesiyle modellenen kapakta modellere işlenmemiştir. Her ikisinde de aynı

ekipman ve ağırlıkların olacağı kabul edildiğinden analiz ve hesaplara dahil edilmemiştir.



Şekil 4.22. Mevcut kapak doğal frekans analizi.

Çizelge 4.1. Önerilen kapak ve mevcut kapağın değerlerinin karşılaştırılması

	Önerilen ambar kapağı	Mevcut kapak
Kütlesi (ton)	32,11	34,6
Maksimum sehim miktarı (mm)	57	61
Maksimum gerilim (Mpa)	147	144
Z yönlü doğal frekans (Hz)	6,875	6,561

4.8. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI EKONOMİK GETİRİ

Yapılan topoloji optimizasyonu ile önerilen ambar kapağı konstrüksiyonu ile 2,49 ton ağırlık tasarrufu sağlanmaktadır. İncelenen bu gemi üzerinde 14 adet kapak bulunmaktadır ve ortalama aynı miktarda ağırlık tasarrufu yapılırsa toplam olarak 34,86 ton ağırlık tasarrufu yapılabilir.

Eylül 2023'te, AH36 kalite gemi inşa sacının en düşük fiyatı 850 \$/ton'dır. Bu fiyat geçtiğimiz yıllarda 1600 \$' a kadar yükselmiştir. Sac fiyatlarının yükseldiği zamanlarda bu gibi çalışmalarla yapılacak olan maliyet tasarrufları daha da önem kazanmaktadır. Eğer yeni yapılacak olan bir projede önerilen kapak kullanılsa ilk yatırım maliyeti tasarrufu olarak 29,631 \$ olacaktır. Ambar kapakları hareketli konstrüksiyonlar olduğundan ve yüksek kuvvet ve gerilimlere maruz kaldığı için, ambar kapaklarının ortalama 20 yıllık servis ömründe bir belki iki kez yenilenmesi gerekebilir. Bu maliyet tasarrufu ambar kapaklarının her yenilenmesinde kazanç olacaktır.

Önerilen yeni tasarımın işçilik maliyeti açısından karşılaştırma yapacak olursak alttaki çizelge 4.2.'deki değerler elde edilir. Sektörde ambar kapağı üretimi yapan firmalardan işçilik fiyatları alınmıştır. Mevcut kapağın imalatı için Eylül 2023 tarihinde 1,7 \$/kg işçilik fiyatı verilirken yeni tasarım için 1,8 \$/kg işçilik fiyatı verilmiştir. Bu fiyat artımına sebep olarak, topoloji optimizasyonu vasıtası ile tasarlanan kapağın daha ince saclardan oluşması ve daha fazla küçük parçalarının olmasıdır.

Çizelge 4.2. Her iki kapağın üretim maliyetlerinin karşılaştırılması

	Önerilen kapak			Mevcut kapak		
	Birim fiyat	Miktar	Tutar	Birim fiyat	Miktar	Tutar
Sac	850 \$/ton	32,11 ton	27.293 \$	850 \$/ton	34,6 ton	29.410 \$
İşçilik	1,8 \$/kg	32.110 kg	57.798 \$	1,7\$/kg	34.600 kg	58.820 \$
Kaynak teli	1,35 \$/kg	782 kg	1.055 \$	1,35 \$/kg	940 kg	1.269 \$
Diğer sarf malzemeleri			300 \$			300 \$
Toplam			86.446 \$			89.860 \$

Çizelge 4.2’de her bir kapaktan 3414 \$ tasarruf edileceği, toplam 14 ambar kapağından 47796 \$ tasarruf edileceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.3. Her iki kapağın kullanımına göre ana makine güçleri

Sürat (kn)	Önerilen Kapaklar ile	Mevcut kapaklar ile
	Ana makine gücü (kW)	Ana makine gücü (kW)
10	1103	1105
11	1462	1465
12	1902	1905
13	2439	2443
14	3095	3100
15	3897	3903
16	4882	4888
17	6075	6081
18	7494	7500
19	9263	9269
20	11550	11555

Çizelge 3.2’de belirtildiği üzere geminin yüklü halde toplam ağırlığı 14.500 ton’ dur. Kapakların kütlelerinde yapılacak olan yaklaşık 35 ton azaltma ile gemi yüklü halde toplam ağırlığı 14.465 ton olur. Bu deplasman ağırlığı değişimlerine göre geminin su çekimi 6,974 m.’ den 6,959 m.’ye düşer. Yani su çekimi 15 mm azalmış olur. Her iki deplasman ağırlığına göre Maxsurf programı direnç analiz modülü ile yapılan gemi sevk güç ihtiyacı hesaplamasının sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Gemi toplam kütlelerinde olan azalma ile geminin servis sürati olan 18 knot süratte ana makine gücünde 6 kW azalma olur. Gemide kullanılan MAK 8M43C ana makinenin

teknik dokümanına göre ana makinenin özgül yakıt sarfıyatı 175 gr/kWh' tir [54]. Bu değerlere göre gemi 1 kg/saat yakıt tasarrufu yapmış olur.

Sağlanan bu yakıt tasarrufu geminin toplam yakıt tüketiminde sadece % 0,07 lik bir tasarruf sağlar. Bu mütevazı oran saatte yaklaşık 1,4 ton yakıt tüketen gemi için pek de kayda değer görülme de uzun süren servis ömrü ile hesaplandığı zaman bir anlam ifade etmektedir. Bir konteynır gemisinin yıllık 6600 saat çalıştığı düşünürse [55] , gemi yılda 6,6 ton yakıt tasarrufu yapmış olur. Güncel fuel oil fiyatları 700 \$ seviyelerindedir [56]. Bu fiyatlara göre gemi yılda 4.620 \$ yakıt tasarrufu yapmış olur. 20 yıllık bir servis ömrü düşünülürse gemi toplam servis ömründe 92.400 \$ yakıt tasarrufu yapmış olur.

4.9. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI EMİSYON İYİLEŞTİRMESİ

Yapılan bu yakıt tasarrufu ile beraber geminin No_x emisyon değerinde de azalma olacaktır. IMO emisyon sınırlamaları 2016 yılı sonrası inşa edilen gemiler için uygulanan kurallara göre No_x emisyon değeri 2,6 gr/kWh olmalıdır. Bu değere göre geminin No_x emisyon miktarında yıllık 103 kg azalma olur. 20 yıllık bir servis ömrüne göre de 2,06 ton No_x emisyon miktarında azalma olacağı hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.4. IMO Marpol No_x limitleri [57]

Tier	Gemi inşa yılı	Ağırlık (gr/kWh)		
		Rpm < 130	130 < rpm < 2000	2000 ≤ rpm
I	1 Ocak 2000	17	$45 \cdot n^{-22}$	9,8
II	1 Ocak 2011	14,4	$44 \cdot n^{-23}$	7,7
III	1 Ocak 2016	3,4	$9 \cdot n^{-22}$	2,0

İzin verilen So_x emisyon miktarı da egzoz gazındaki oran olarak emisyon kontrol alanları dışında % 0,5, kontrol alanları dışında da % 0,1' dir. Bu miktar da yapılan güç tasarrufu oranında azalacaktır.

Çizelge 4.5. IMO Marpol So_x limitleri [58]

Emisyon kontrol alanlarının dışında (m/m)		Emisyon kontrol alanlarında (m/m)	
1 Ocak 2012'ye kadar	% 4,5	1 Temmuz 2010'a kadar	% 1,5
1 Ocak 2012'den sonra	% 3,5	1 Temmuz 2010'dan sonra	% 1
1 Ocak 2020'den sonra	% 0,5	1 Temmuz 2015' den sonra	% 0,1

Sağlanan bu küçük emisyon iyileştirmesi geminin toplam ömrü ve benzer gemilerin sayısının çokluğu düşünüldüğünde daha da önem kazanmaktadır.

Yeni inşa edilecek olan gemilerde emisyon limit değerleri çok düşük olduğu için iyileştirilecek olan bu değerler çok küçük miktarlarda görülebilir. Ancak halihazırda serviste çalışmakta olan eski gemiler eski emisyon regülasyonlarına tabi olduğu için eski gemilerde emisyon değerleri iyileştirmeleri için ambar kapağındaki %7 lik ağırlık azaltımı eski ana makinelerin yüksek emisyon değerlerini azaltmak için kayda değer sayılar verecektir. [59] [60]

4.10. ÖNERİLEN KAPAĞIN SAĞLADIĞI YÜK KAPASİTESİ VE STABLİTE AVANTAJI

Elde edilen bu maliyet tasarrufu haricinde de geminin ambar kapaklarının 35 ton hafiflemesi ile gemi stabilitesinde ve yük kapasitesinde de iyileşme olacaktır. Nadiren de olsa yükleme kapasite limitlerine gelmiş feeder tipi bir konteynır gemisinin yük limiti 35 ton iyileştirilmiş olur. Büyük tonajı gemilerde 35 ton kayda değer bir sayı olmasa da feeder tip konteynır gemiler için kayda değerdir. Yükünün büyük çoğunluğunu güverte üzerinde taşıyan bu tip konteynır gemileri için stabilite durumu çok önemlidir. Ağır hava ve deniz şartları büyük konteynır gemileri için fazla problem teşkil etmezken böyle küçük boyutlu gemiler için problem teşkil edebilir.

Yüklenen konteynırların sayısı limit kapasiteye gelmese bile konteynırların ağırlıkları toplam ağırlık ve stabilite limitlerine geldiği zaman kapasitenin üzerinde yükleme yapılamaz. Bu 35 tonluk iyileştirme sayesinde birkaç konteynır daha yükleme imkanı olur.

Maxsurf programının stabilite analizi modülü hesabına göre stabilite kriteri değerlerindeki iyileşme oranı çizelge 4.6'da görülmektedir. Zeminden ortalama 11,5 metre yükseklikte bulunan ambar kapaklarının ağırlığı 35 ton azaltılınca, tam yüklü halde düşey ağırlık merkezi konumu (Vcg) 8,128 m. den 8,12 m. ye düşer. Ağırlık merkezinin 8 mm. aşağı alınması ile çizelge 4.6'da görülen tüm stabilite kriterlerinde ortalama % 0.5 iyileşme olmaktadır.

Çizelge 4.6. Önerilen ambar kapağı kullanımının stabiliteye iyileştirme etkisi.

IMO kriteri	Mevcut kapak	Önerilen kapak	İyileşme oranı
4.9.2.1: 30° ye kadar alan (m•derece)	9,7626	9,8290	0,68%
4.9.2.1: 40° ye kadar alan (m•derece)	21,3071	21,4292	0,57%
4.9.2.2: 30° - 40° arası alan (m•derece)	11,5445	11,6002	0,48%
4.9.2.3: 30° ve üzeri Maksimum GZ (m)	1,439	1,447	0,56%
4.9.2.4: maksimum GZ değeri (m)	1,439	1,447	0,56%
4.9.2.5: GZ eğrisi altında kalan alan (m•derece)	60,7101	61,2307	0,86%

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Gemi inşaatında bilgisayarlı tasarım kullanımı, bir geminin her yönünü, bileşenlerini ve yapılarını tasarlama ve simülasyon yapma sürecinde büyük bir rol oynamaktadır. Geleneksel yöntemlerde, gemi tasarımı genellikle kâğıt üzerinde el ile yapılan çizimler ve deneme yanılma süreçleriyle gerçekleştirilirdi. Bu süreç hem zaman alıcıydı hem de maliyetli olabiliyordu. Ancak bilgisayarlı tasarımın gelişmesiyle birlikte, bu süreçler büyük ölçüde kolaylaştı ve hızlandı.

Literatürde diğer topoloji optimizasyonu analizleri genelde döküm, eklemeli imalat ya da talaşlı imalat yöntemlerine göre dizayn edilen tasarımlara göre yapılmıştır. Kaynaklı sac imalatı ürünlere yönelik sadece konstrüksiyonun kesit tasarımı üzerine topoloji optimizasyonu analizleri bulunmuştur. 3 boyutlu yapı olarak kabuk uzay çatı sistemleri üzerine, literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Gemi ambar kapağı gibi büyük ve çok bileşenli konstrüksiyonların tasarım optimizasyonu şekil ve boyut optimizasyonu yöntemleri ile yapılması yaygındır. Ambar kapağı tasarımında topoloji analizi uygulaması, kapağın sacdan kaynaklı imalat yöntemi açısından uygulanabilirliği zor gibi görünse de tasarıma yol göstericiliği ve yönlendirme imkanından dolayı uygulanabilirliği bu çalışmada denenmiştir.

Elde edilen bu %7'lik kapak ağırlığı tasarrufu ile sağlanabilecek kazanımları listelersek;

- Ambar kapağı malzeme miktarındaki 2,49 ton azalma ile bir kapak için 2116 \$ tasarruf sağlanmış olunur. Ancak yenilenen ambar kapağı konstrüksiyonunun imalat zorluğu ve kalınlığı azalan sacları sebebiyle, mevcut kapak için 1,7 \$/kg verilen teklif 1,8 \$/kg'a yükseltilmiştir. Yenilenen tasarım için yükselen birim işçilik fiyatına rağmen toplam işçilik tutarında 1022 \$ tasarruf sağlanmış

olunur. İlk kapakta 940 kg olan kaynak teli ağırlığı 782 kg'a düşmektedir. Bu da kaynak teli maliyetinde 214 \$ azalma anlamına gelmektedir. Bir kapak için toplamda 3.414\$ tasarruf edilirken geminin 14 adet tüm kapakları için toplamda 47.796 \$ maliyet tasarrufu yapılmış olunur. Eğer gemi işletmecileri için çoklu sayıdaki gemiler de göz önünde bulundurulursa maliyet tasarrufu daha çok önem arz edecektir.

- Sağladığı yakıt tasarrufu geminin yıllık ve toplam servis süresi düşünüldüğünde önemli meblağlara ulaşmaktadır. 1 kg/saat'lik yakıt tasarrufu geminin yıllık 6600 saatlik servis süresinde 6,6 ton tasarruf planlanmaktadır. 20 yıllık toplam servis ömründe 92.400 \$ yakıt tasarrufu gerçekleşeceği düşünülmektedir.
- Emisyon değeri iyileştirmeleri de kayda değer miktarlardadır. Özellikle feeder tipi gemilerin emisyon takibi açısından daha önemli deniz bölgelerinde seyir yaptığı düşünülürse, emisyon iyileştirmeleri daha fazla anlam ifade etmektedir.
- Bunlarla beraber iyileşen yük taşıma kapasitesi ve stabilite özellikleri de önemlidir.

Literatür araştırmalarında topoloji optimizasyonu ile yenilenen ve önerilen yeni tasarımların getirdiği ekonomikliğin, tasarımın uygulamasına ve eski tasarımın iptal edilebilmesine etkinliğinin çalışmaları da literatür çalışmalarında değinilmiştir. Çoğu çalışmada ilk yatırım maliyeti açısından tasarımın yenilenmesi verimli bulunurken [19] [20] [21] bazı çalışmalarda tasarımın yenilenmesi verimli bulunmamıştır [27] [28]. Ancak ambar kapağı imalatı için imalatçıların kullandığı özel bir döküm, kaynak, talaşlı imalat düzeneği olmadığı için yeni bir ilk yatırım maliyeti olmayacaktır. Yeni tasarımlar imalatçıların önüne yeni maliyetler çıkarmayacaktır. Yani yapılacak olan tüm tasarruf tamamen getiriye dönüşmüş olur.

Ambar kapağına benzer olarak kreyn, ekipman sabitleme konstrüksiyonu, köprü, kule gibi gemi bünyesinden bağımsız özel konstrüksiyonların da tasarımı topoloji optimizasyonu ile bu şekilde iyileştirilebilir. Konstrüksiyon kural kitaplarında ampirik formüller ile önerilen ölçülerin alternatifleri bulunup kural kitaplarındaki değerler ile karşılaştırılması yapılabilir.

Dünyada 2020 yılında toplam 34,8 milyar ton karbon salınımı olmuştur. Karbon salınımında Çin yüzde 31’lik pay ile lider ülke konumundadır. Karbon salınımında ikinci sırada yüzde 14’lük pay ile ABD yer almaktadır. Türkiye ise 392,8 milyon ton ile dünya karbon salınımında yüzde 1,1’lik paya sahiptir. [61] Sınırda Karbon Düzenlemesi Mekanizması (SKDM) pilot uygulaması emisyon raporlaması yükümlülüğüyle birlikte 1 Ekim 2023 tarihinde başlıyor. Türk ihracatçılarının, 2026 yılından itibaren devreye girecek olan SKDM’den etkilenmemek için ürünlerinin karbon emisyonlarını şimdiden hesaplaması ve emisyonları düşürücü önlemler alması gerekiyor. İlk etapta demir-çelik, gübre, alüminyum ve çimentoya uygulanacak SKDM, AB’ye ihraç edilen bütün ürünleri kapsayacak. 1 Ekim 2023 ile 31 Aralık 2025 tarihleri arasında mali yükümlülüğü olmayan bir süreç geçerli olacak. Bu tarihler arasında sadece raporlama zorunluluğu gerekmektedir. 1 Ocak 2026 tarihinden itibaren de karbon emisyonlarından dolayı oluşan mali yükümlülükler başlayacaktır [61]. Yakın gelecekte Gemi İnşa sanayi ürünlerinin de SKDM kapsamına girebilecek olması sebebiyle yapılan bu çalışma SKDM açısından da önem arz etmektedir.

Yapılan bu çalışmanın devamında tasarım yenilemesinin insan yorumlaması ve kararı ile değil de yazılım ile yapılması düşünülmektedir. Hazırlanacak olan model parametrik olarak hazırlanacaktır. Parça bileşenlerinin kalınlık, genişlik, yerleşim düzeni, birbirleri arasındaki mesafe, parça bileşenlerinin üzerlerindeki açıklıklar ve delikler gibi değerlerin hepsi değişken olarak tanımlanacak ve yardımcı yazılım ile değiştirilerek analizlerin tekrarlatılması düşünülmektedir. Von misses gerilme kriteri, kapağın elastik şekil değiştirme durumu, kapağın doğal frekansı ile birlikte IMO konstrüksiyon kuralları da optimizasyon esnasında göz önünde bulundurulacaktır.

KAYNAKLAR

1. Yılmaz, A. F., "Hollanda profillerinin kullanıldığı gemi yapısının yorulma analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2013).
2. "Denizcilik Sektör Raporu", İstanbul, (2023).
3. Mehmet ÖZKAL, F., "Topoloji eniyilemesi ve çubuk benzeşimi yöntemleri kullanılarak betonarme yapı elemanlarında en uygun donatı düzeninin belirlenmesi ve deneysel gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2012).
4. Özsolak, O., "Eklemeli İmalat Yöntemleri Ve Kullanılan Malzemeler", *International Journal Of Innovative Engineering Applications*, 3: 9–14 (2019).
5. Putra G., Kitamura M., and Takezawa A., "Structural optimization of stiffener layout for stiffened plate using hybrid GA", *International Journal Of Naval Architecture And Ocean Engineering*, 11 (2): 809–818 (2019).
6. Liu, Z., Cho, S., Takezawa, A., Zhang, X., and Kitamura, M., "Two-stage layout–size optimization method for prow stiffeners", *International Journal Of Naval Architecture And Ocean Engineering*, 11 (1): 44–51 (2019).
7. Putra, G. L., Kitamura, M., and Takezawa, A., "Structural optimization of stiffener layout for stiffened plate using hybrid GA", *International Journal Of Naval Architecture And Ocean Engineering*, 11 (2): 809–818 (2019).
8. Caprace, J. D., Bair, F., and Rigo, P., "Scantling multi-objective optimisation of a LNG carrier", *Marine Structures*, 23 (3): 288–302 (2010).
9. Caramatescu, A. and Mocanu, C. I., "Experimental and numerical evaluation of wave impact stress on a composite boat hull", *Materials Today: Proceedings*, 12: 440–445 (2019).
10. Sobey, A. J., Blake, J. I. R., and Sheno, R. A., "Optimisation of composite boat hulls using first principles and design rules", *Ocean Engineering*, 65: 62–70 (2013).
11. Rosén, A., Garne, K., Razola, M., and Begovic, E., "Numerical modelling of structure responses for high-speed planing craft in waves", *Ocean Engineering*, 217: (2020).
12. Stenius, I., Rosén, A., and Kuttenukeuler, J., "On structural design of energy efficient small high-speed craft", *Marine Structures*, 24 (1): 43–59 (2011).

13. Um, T. S. and Roh, M. Il, "Optimal dimension design of a hatch cover for lightening a bulk carrier", *International Journal Of Naval Architecture And Ocean Engineering*, 7 (2): 270–287 (2015).
14. Kendibilir, A. and Kefal, A., "Enhanced ship cross-section design methodology using peridynamics topology optimization", *Ocean Engineering*, 286 (P1): 115531 (2023).
15. Zuo, W., Chen, M. T., Chen, Y., Zhao, O., Cheng, B., and Zhao, J., "Additive manufacturing oriented parametric topology optimization design and numerical analysis of steel joints in gridshell structures", *Thin-Walled Structures*, 188 (June): 110817 (2023).
16. Wang, L., Du, W., He, P., and Yang, M., "Topology Optimization and 3D Printing of Three-Branch Joints in Treelike Structures", *Journal Of Structural Engineering*, 146 (1): (2020).
17. Yıldız Bozer, M., "Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen parçalarda rassal titreşim tabanlı topoloji optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2023).
18. Botsalı H., "Design for additive manufacturing of automotive components via topology optimization", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2022).
19. Nalbant, M. H., "Dövme yöntemi ile üretilmiş rotilli salıncak kolunun topoloji optimizasyonu ile tasarım iyileştirmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2021).
20. Top N., Şahin İ., and Gökçe H., "Eklemeli İmalat için Topoloji Optimizasyonu: El Freni Mekanizması Uygulaması", *Journal Of Selcuk-Technic*, (2019).
21. Erol B., "Uçak komponentlerinin bilgisayar destekli malzeme seçimi ve topoloji optimizasyonu ile tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2019).
22. Enginar, H. E., "Ağır taşıt jantının topoloji optimizasyonu yardımıyla optimum tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2014).
23. ESER M. A., "Topology optimization of slider-crank mechanism under dynamic loading", Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Science and Engineering of Hacettepe University*, Ankara, (2021).
24. Bal M. K., "Designing universal yoke structure of suspension and release system with topology optimization for fighter aircrafts", Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Science and Engineering of Hacettepe University*, Ankara, (2020).
25. Kılıçaslan A., "Topoloji optimizasyonu yöntemi ile ağırlığı azaltılmış, yeni bir araç taşıyıcı yüksek konteyner kavramsal tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2018).

26. Kiliç, A. E., "Redesign of drivetrain component of a shell eco marathon vehicle for additive manufacturing via topology optimization", Yüksek Lisans Tezi, *Piri Reis Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2020).
27. Özarpa C., Botsalı H., and Kınacı B. F., "Raylı Sistemlerde Kullanılan Cer Kancasının Topoloji Optimizasyonuna Uygunluğunun Değerlendirilmesi", *Demiryolu Mühendisliği*, (15): 1–12 (2022).
28. Bekler Y. B., "Konteyner vagonun ağırlığını azaltmaya yönelik şekil optimizasyonu uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
29. Çetin, F., "Topology design of vlasov beam sections", Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*, Ankara, (2019).
30. Şenel, B., "Topology optimization of a sandwich structural component against high impulse loadings", Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Atılım University*, Ankara, (2021).
31. Ay E., "Nose landing gear main fitting design with topology optimization", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2021).
32. Mancuso A., Saporito A., and Tumino D., "Topology Optimization Design of Internal Reinforcements in a Sailing Dinghy", *Lecture Notes In Mechanical Engineering*, 73–79 (2021).
33. Islam, M. S. and Paul, S. C., "Topology Optimization Of An Oil Tanker Bulkhead Subjected To Hydrostatic Loads", *Journal Of Naval Architecture And Marine Engineering*, 18 (2): 207–215 (2021).
34. Sekulski, Z., "Multi-objective topology and size optimization of high-speed vehicle-passenger catamaran structure by genetic algorithm", *Marine Structures*, 23 (4): 405–433 (2010).
35. Seo, K.-C., Gwak, J., and Park, J.-S., "Topology Optimization of the Decking Unit in the Aluminum Bass Boat and Strength Verification using the FEM-program", *Journal Of The Korean Society Of Marine Environment And Safety*, 24 (3): 367–372 (2018).
36. Vuijk, H. W., "Shape and Topology Optimized TSHD Midsection", Yüksek Lisans Tezi, *Technische Universiteit Delft*, Rotterdam, (2020).
37. "İnternet: International Convention for Safe Containers", <http://www.admiraltylawguide.com/conven/containers1972.html> (2023).
38. "İnternet: Feeder Tipi Konteynır Gemisi", <https://www.container-xchange.com/blog/author/shalkie/page/5/> (2023).

39. "İnternet: Konteynır Ölçüleri", <https://voltransvn.com/container-dimensions-metric/> (2023).
40. "İnternet: ULCV Tipi Konteynır Gemisi", <https://pixabay.com/photos/ship-container-ship-containers-sea-6560671/> (2023).
41. "İnternet: Um Tersanesi", <http://umdeniz.com.tr/tr/index.html> (2023).
42. "İnternet: Katlanır Tip Ambar Kapağı", <https://www.sms-sme.com/sub2-2.php> (2023).
43. "İnternet: Ponton Tip Ambar Kapağı", <https://www.shipserv.com/ShipServ/pages/profiles/306114/documents/SMS-SME-Company-Brochure.pdf> (2023).
44. Mirzendehtel, A. M. and Suresh, K., "Support structure constrained topology optimization for additive manufacturing", *CAD Computer Aided Design*, 81: 1–13 (2016).
45. Özkan Y., "Gemilerde yükleme/boşaltma esnasında mukavemet kontrolü için bir bilgisayar program paketi geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
46. "İnternet: Freeboard Mesafesi Kuralı", https://imorules.com/LL_CHIII.html (2023).
47. "İnternet: IMO 100 Metreden Büyük Konteynır Gemileri İçin Ek Stabilite Kuralları", **IMO International Rules** <https://imorules.com/GUID-195B8729-75E6-46E9-8805-5D12C937FD3E.html> (2023).
48. "İnternet: IMO Ambar Kapağı Konstrüksiyonuna Yönelik Kurallar", https://www.imorules.com/LRSHIP_PT4_CH8_11.html (2023).
49. "İnternet: IMO Ambar Kapağı Konstrüksiyonuna Yönelik Kurallar", https://www.imorules.com/LRSHIP_PT3_CH11_2.html (2023).
50. "İnternet: Gerdirme Fotoğrafı", http://techmarine.net/contents/03_business02/sub01.html (2023).
51. "İnternet: Konteynır Gemisi Fotoğrafı", <https://www.maritimebulletin.net/2020/07/31/containers-collapsed-on-board-of-container-ship-uae/> (2023).
52. OZDEMİR Y. H. and Çoşgun T., "Baş-Kıç Vurma ve Dalıp-Çıkma Hareketinin HAD Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi", *Gemi Ve Deniz Teknolojisi*, 0 (223): 92–116 (2023).
53. ÖZÜM S., "Hızlı teknelerde denizcilik parametrelerinin analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
54. "MAK M 43 C Technical Document", (2012).

55. Durmusoglu Y., Kocak G., Cengiz D., and Zincir B., "Energy Efficiency Analysis Of Pump Systems In A Ship Power Plant And A Case Study Of A Container Ship", *16 Th IAMU Annual General Assembly Opatija, Croatia*, (2015).
56. "İnternet: Fueleoil Fiyatları", <https://shipandbunker.com/ prices/ emea/ medabs/ tr-ist-istanbul> (2023).
57. "İnternet: Marpol Nox Sınırları", [https://www.imo.org/en/ OurWork/ Environment/Pages/ Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/ OurWork/ Environment/Pages/ Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx) (2023).
58. "İnternet: Marpol Sox Emisyon Sınırları", [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx) (2023).
59. Gilbert, P., Wilson, P., Walsh, C., and Hodgson, P., "The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach", *Marine Policy*, 75: 227–237 (2017).
60. "İnternet: Gemilerin Karbon Emisyon Azaltımı", <https://terrapass.com/blog/5-ways-the-shipping-industry-can-reduce-its-carbon-emissions/> (2023).
61. İMER-ERTUNGA, E. and SEYHUN, Ö. K., "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması Ve Türkiye'nin İhracatına Olası Etkileri", *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 13 (1): 1–13 (2022).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KONAL, ilk ve orta öğrenimini Giresun'da tamamladıktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Eğitimi aldı. Lisans eğitiminin ardından gemi inşa sektöründe sırasıyla saha mühendisi, dizayn mühendisi ve dizayn şefi olarak çalışmalarda bulundu. Kasım 2012 tarihinden itibaren Giresun Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.