

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR GEMİ YAPISININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE ANALİZİ**

Makine Müh. Özgür DEMİR

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Gemi İnşaatında Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları.....	2
1.2 Amaç	3
2. GEMİ KONSTRÜKSİYONU	5
2.1 Omurga.....	7
2.2 Postalar	7
2.3 Baş ve Kıç Bodoslama	7
2.4 Perde ve Tanklar	7
2.5 Gemilerin Dip ve Döşek Yapıları.....	7
2.6 Dış Kaplama	8
2.7 Güverte.....	8
3. GEMİ ANA BOYUTLARININ BELİRLENMESİ VE 3D CAD MODELİN OLUŞTURULMASI.....	10
3.1 Klas Kuruluşu Tanımı ve Model Gemi Ana Boyutlarının Belirlenmesi	10
3.2 Gemi 3D CAD Modelinin Oluşturulması	16
3.2.1 Gemi Burun ve Bulb Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması	19
3.2.2 Orta Gövde veya Ambar Bölümü CAD Modelinin Oluşturulması	21
3.2.3 Gemi Kıç Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması	26
3.2.4 Güverte Binası (Kaptan Köşkü) CAD Modelinin Oluşturulması.....	28
3.2.5 Burun ile Orta Gövde Arası Geçiş Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması	30
4. SONLU ELEMANLAR METODU	32
4.1 Sonlu Elemanlar Metodu Tarihsel Gelişimi.....	33
4.2 Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Genel Eleman Tipleri ve Müsaade Edilen Deformasyon Halleri.....	34
4.2.1 Üçgen Elemanlar	37
4.2.2 Dörtgen Elemanlar	40
5. GEMİ YAPISI SONLU ELEMANLAR AĞININ OLUŞTURULMASI	43

5.1	Gemi Burun ve Bulb Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	43
5.2	Orta Gövde veya Ambar Bölümü Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	47
5.3	Gemi Kıç Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	49
5.4	Güverte Binası (Kaptan Köşkü) Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	51
5.5	Burun ile Orta Gövde Geçiş Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	52
5.6	Gemi Yapısı Ana Montaj Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması.....	53
6.	YARI SİMETRİK MODEL İÇİN DOĞAL FREKANS ANALİZİ.....	57
7.	GEMİ YAPISI DOĞAL FREKANS ANALİZİ.....	64
8.	GEMİ YAPISI STATİK ANALİZLERİ.....	70
8.1	Gemi Yapısı Üzerinde Ağırlık Dağılımının Verilmesi.....	70
8.2	Sakin Su Durumu için Gemi Yüksüz Halde Yapısal Analiz.....	73
8.2.1	Basınç Yükünün Belirlenmesi.....	74
8.2.2	Sınır Şartlarının Verilmesi.....	76
8.2.3	Statik Analizin Çözdürülmesi ve Analiz Sonuçları.....	77
8.3	Sakin Su Durumu için Gemi Yüklü Halde Yapısal Analiz.....	87
8.3.1	Basınç Yükünün Belirlenmesi.....	87
8.3.2	Sınır Şartlarının Verilmesi.....	89
8.3.3	Statik Analizin Çözdürülmesi ve Analiz Sonuçları.....	89
9.	GEMİ YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI DEĞERLENDİRMESİ.....	101
9.1	Gemi Yapısı Doğal Frekans Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	101
9.2	Sakin Su Durumu için Gemi Yüksüz Halde Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	102
9.3	Sakin Su Durumu için Gemi Yüklü Halde Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	104
10.	SONUÇLAR.....	106
	KAYNAKLAR.....	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGE LİSTESİ

ρ	Yoğunluk
t	zaman
τ	Kayma gerilmesi
σ_{akma}	Akma Gerilmesi
$\sigma_{çekme}$	Çekme gerilmesi
s	Emniyet katsayısı
ε	Elastik modülü
ν	Poisson oranı
A	Alan
B	Genişlik
T	Su çekimi
D	Yükseklik
V	Deplasman hacmi
F_k	Kaldırma kuvveti
C_B	Blok katsayısı
C_L	Kaldırma katsayısı
C_D	Direnç katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi
CL	Center Line (Orta Eksen Çizgisi)
DWT	Deadweight Ton
GRT	Gross Ton
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
NASTRAN	NASA Structural Analysis
PATRAN	Preprocessor of NASTRAN

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kombine bünyesel konstrüksiyon	6
Şekil 2.2 Baş taraf konstrüksiyonu	9
Şekil 3.1 Model gemi boyuna vaziyet planı	15
Şekil 3.2 Gemi orta kesit görünüşü.....	16
Şekil 3.3 Gemi yapısı üzerinden alınmış bir sac parça	17
Şekil 3.4 Hollanda profilleri kesit atalet değerleri.....	18
Şekil 3.5 Extend ve Split işlemleri öncesi burun ambar tarafı sacı ile tank top saclarının görüntüsü	20
Şekil 3.6 Gemi yapısı üzerinden alınmış bir sac parça	20
Şekil 3.7 Burun ve bulb geometrisinin sonlu elemanlara ayırma işlemine hazır modeli.....	21
Şekil 3.8 7200 mm'lik alt montajın ana boyutları ile gösterimi.....	21
Şekil 3.9 7200 mm'lik alt montajı oluşturan döşek yapısının görünümü	22
Şekil 3.10 7200 mm'lik alt montajı oluşturan yan duvar veya borda yapısının görünümü	23
Şekil 3.11 Orta Gövde ile döşekler arasındaki braketler.....	23
Şekil 3.12 Döşekler üzerindeki buckling profilleri.....	24
Şekil 3.13 7200 mm'lik alt montajın sonlu elemanlara ayırmaya hazır hali.....	24
Şekil 3.14 Bulkhead yapısının görünüşü.....	25
Şekil 3.15 Sonlu elemanlara ayırmaya hazır orta gövde ambar yapısı görünüşü.....	26
Şekil 3.16 Gemi kık yapısı taşıyıcı elemanları	27
Şekil 3.17 Gemi kık yapısı üst taşıyıcı elemanları.....	27
Şekil 3.18 Gemi kık yapısı sonlu elemanlar ağı oluşturulmaya hazır 3D CAD modeli	28
Şekil 3.19 Üst yapıyı oluşturan enine ve boyuna elemanlar	29
Şekil 3.20 Katlar arası bölme saclarının montaj ortamına alınmış hali	29
Şekil 3.21 Dış sacları ile birlikte sonlu elemanlar ağı oluşturulmaya hazır üst yapı modeli ...	30
Şekil 3.22 Geçiş yapısı sonlu elemanlara ayırmaya hazır modeli	30
Şekil 3.23 Sonlu elemanlara ayırmaya hazır gemi ana montajı	31
Şekil 4.1 Elemanlar ve onları oluşturan nodlar	33
Şekil 4.2 Eleman geometrisinde müsaade edilebilir deformasyonlar	35
Şekil 4.3 Bir silindirik yüzey etrafındaki tipik eleman dağılımı	36
Şekil 4.4 Bir delikli geometride delik etrafındaki tipik eleman dağılımı.....	36
Şekil 4.5 İki boyutlu problemler	37
Şekil 4.6 Şekil fonksiyonları	38
Şekil 5.1 Parasolid parçaların MSC. SOFY programı içerisindeki görünüşü	44
Şekil 5.2 Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra elemanların kalite durumu.....	44
Şekil 5.3 MSC. SOFY montaj ortamında parçaların birbiri ile dikilmesi işlemi	45
Şekil 5.4 MSC. SOFY montaj ortamında parçaların birbiri ile dikilmesi işlemi	46
Şekil 5.5 Parçaların et kalınlıkları ve malzeme ID'lerinin verilmesi.....	46
Şekil 5.6 Sonlu elemanlara ayrılmış orta gövde taşıyıcı elemanları görünüşü	48
Şekil 5.7 Parçalara et kalınlığı ve malzeme ID'si verme işlemi.....	48
Şekil 5.8 Orta gövde sonlu elemanlar yapısı tamamlanmış hali	48
Şekil 5.9 Sonlu elemanlara ayrılmış kık yapısı taşıyıcı elemanları görünüşü	50
Şekil 5.10 Gemi kık yapısı sonlu elemanlar nihai modeli.....	50
Şekil 5.11 Güverte binası sonlu elemanlar modeli	51
Şekil 5.12 Geçiş yapısı sonlu elemanlar modeli.....	52
Şekil 5.13 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı alt montajların görünüşü	54
Şekil 5.14 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı	55
Şekil 5.15 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı	56
Şekil 5.16 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı	56

Şekil 6.1 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 1. modu	58
Şekil 6.2 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 2. modu	58
Şekil 6.3 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 3. modu	59
Şekil 6.4 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 5. modu	59
Şekil 6.5 Yarı simetrik model doğal frekans 6. ve 7. modları.....	60
Şekil 6.6 Gemi yapısı sonlu elemanlar ağını oluşturan montajlar	60
Şekil 6.7 Gemi yapısı sonlu elemanlar ağı.....	61
Şekil 6.8 Gemi kık yapısını güçlendirmek amacıyla oluşturulan elemanlar	62
Şekil 6.9 Gemi kık yapısı güçlendirilmesi	62
Şekil 7.1 Gemi yapısı doğal frekansı 1. modu.....	64
Şekil 7.2 Gemi yapısı doğal frekansı 2. modu.....	64
Şekil 7.3 Gemi yapısı doğal frekansı 3. modu.....	65
Şekil 7.4 Gemi yapısı doğal frekansı 4. modu.....	65
Şekil 7.5 Gemi yapısı doğal frekansı 5. modu.....	66
Şekil 7.6 Gemi yapısı doğal frekansı 6. modu.....	66
Şekil 7.7 Gemi yapısı doğal frekansı 7. modu.....	67
Şekil 7.8 Gemi yapısı doğal frekansı 8. modu.....	67
Şekil 7.9 Gemi yapısı doğal frekansı 9. modu.....	68
Şekil 7.10 Gemi yapısı doğal frekansı 10. modu.....	68
Şekil 8.1 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü	75
Şekil 8.2 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün programa girilmesi	76
Şekil 8.3 Gemi burun yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü	76
Şekil 8.4 Gemi yapısı Von-Misses ortalama gerilme dağılımı.....	77
Şekil 8.5 Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme bölgesi	78
Şekil 8.6 Gemi yapısı global deplasman dağılımı	78
Şekil 8.7 Gemi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni.....	79
Şekil 8.8 Gemi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni.....	79
Şekil 8.9 Gemi yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni.....	80
Şekil 8.10 Gemi ambar yapısı Von-Misses gerilme dağılımı	80
Şekil 8.11 Gemi ambar yapısı maksimum Von-Misses gerilme bölgesi	81
Şekil 8.12 Gemi ambar yapısı deplasman değerleri dağılımı.....	81
Şekil 8.13 Gemi ambar yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	82
Şekil 8.14 Gemi ambar yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	82
Şekil 8.15 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi	83
Şekil 8.16 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasman değerleri dağılımı.....	83
Şekil 8.17 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni	84
Şekil 8.18 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	84
Şekil 8.19 Gemi burun ve geçiş yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	85
Şekil 8.20 Gemi kık yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi	85
Şekil 8.21 Gemi kık yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni	86
Şekil 8.22 Gemi kık yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	86
Şekil 8.23 Gemi kık yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	87
Şekil 8.24 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü	88
Şekil 8.25 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün programa girilmesi	89
Şekil 8.26 Gemi yapısı Von-Misses ortalama gerilme dağılımı.....	90
Şekil 8.27 Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme bölgesi	90
Şekil 8.28 Gemi yapısı global deplasman dağılımı	91
Şekil 8.29 Gemi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni.....	91
Şekil 8.30 Gemi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni.....	92
Şekil 8.31 Gemi yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni.....	92
Şekil 8.32 Gemi ambar yapısı Von-Misses gerilme dağılımı	93

Şekil 8.33 Gemi ambar yapısı maksimum Von-Misses gerilme bölgesi	93
Şekil 8.34 Gemi ambar yapısı deplasman dağılımı	94
Şekil 8.35 Gemi ambar yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni	94
Şekil 8.36 Gemi ambar yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	95
Şekil 8.37 Gemi ambar yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	95
Şekil 8.38 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi	96
Şekil 8.39 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi	96
Şekil 8.40 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasman değerleri dağılımı.....	97
Şekil 8.41 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı maksimum deplasman değeri.....	97
Şekil 8.42 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni	98
Şekil 8.43 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	98
Şekil 8.44 Gemi burun ve geçiş yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	98
Şekil 8.45 Gemi kış yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi	99
Şekil 8.46 Gemi kış yapısı deplasman dağılımı	99
Şekil 8.47 Gemi kış yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni	100
Şekil 8.48 Gemi kış yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni	100
Şekil 8.49 Gemi kış yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni	100

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlardan bazıları	34
Çizelge 5.1 Burun yapısı için eleman istatistiği	47
Çizelge 5.2 Orta gövde ambar yapısı için eleman istatistiği	49
Çizelge 5.3 Gemi kış yapısı için eleman istatistiği.....	50
Çizelge 5.4 Güverte binası eleman istatistiği	52
Çizelge 5.5 Geçiş yapısı eleman istatistiği.....	53
Çizelge 5.5 Geçiş yapısı eleman istatistiği.....	55
Çizelge 6.1 Geçiş yapısı eleman istatistiği.....	61
Çizelge 6.2 Geçiş yapısı eleman istatistiği.....	63
Çizelge 7.1 Gemi doğal frekans analizi sonuçları	69
Çizelge 8.1 Malzeme fiziksel özellikleri.....	70
Çizelge 8.2 Gemi yapısı üzerindeki donanım ve tankların ağırlık dağılımları.....	71
Çizelge 8.3 Gemi yapısı ağırlık merkezi koordinatları.....	72
Çizelge 8.4 Gemi yapısı ağırlık merkezi koordinatları ve ağırlık değeri.....	73
Çizelge 9.1 Gemi doğal frekans analiz sonuçları	101
Çizelge 10.2 Sakin su durumu yüksüz hal için gemi yapısal analiz sonuçları.....	103
Çizelge 10.3 Sakin su durumu yüklü hal için gemi yapısal analiz sonuçları.....	105

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya konulmasında şahsıma yardımcı olan, ufkumun genişlemesini sağlayan, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli tez hocam Yrd.Doç. Dr. Cihan DEMİR Bey başta olmak üzere, beni böyle bir konuda çalışmaya sevk eden bilgi ve tecrübesini en üst seviyede bana aktaran ve huzurlu bir çalışma ortamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Tamer YILMAZ Bey'e teşekkürü bir borç bilir saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmanın her aşamasında emeği olan ve yardımlarını hiç esirgemeyen Ender KOÇ Bey nezdinde Ex-en Mühendisliğe, çalışmanın içerisinde kullanılmak üzere yaptıkları hesap ve tasarımlarından yararlandığım SEFT Shipbuilding& Engineering Firması ve Genel Müdür Semih ZORLU Bey'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Görev yerim olan Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'ne ve değerli hocalarına saygı ve şükranlarımı sunarım. Tez çalışması sırasında her türlü bilgi ve dokümanlarından faydalandığım Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü hocamız Yrd. Doç. Dr. İsmail BAYER Bey'e teşekkürü bir borç bilirim.

Zor dönemlerdeki arkadaşlığı ve çalışmanın hazırlanması sırasındaki yardımlarından dolayı Arş.Gör.Onur ALPAY' a ayrıca teşekkür ederim.

Mesai arkadaşım Arş.Gör. Yavuz Hakan ÖZDEMİR ve değerli hocam Arş.Gör. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR Bey'e göstermiş oldukları anlayış ve sabırlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenciliğimden beri benimle ilgilenen hocalarım Arş. Gör. Şaban ÇETİN Bey'e ve Arş. Gör. Muzaffer METİN Bey'e ve değerli meslektaşım Mak.Yük. Müh. Derya KARAKURT'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca destek ve sabırlarını esirgemeyen aileme ve tüm arkadaşlarıma saygı ve sevgilerimi sunarken teşekkürü de bir borç bilirim.

ÖZET

Gemi inşaa sanayindeki hızlı gelişmelere paralel olarak, gemi yapısal analizlerine olan talep artmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde 80 metre boyundaki ticari bir konteyner gemisine ait doğal frekans ve gerilme analizleri MSC. NASTRAN kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında analizi gerçekleştirilen gemi yapısı, uzun metal profiller taşıyacağı düşünülerek tasarlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gemi yapısının çok büyük ve uzun bir ambar yapısına sahip olması gerekmektedir. Tüm gemi boyunca sadece iki bulkhead kullanarak uygun gerilme değerlerini yakalamak son derece zor bir işlemdir. Diğer taraftan gemi yapısı eğilme bölgelerinde de uygun gerilme değerlerini sağlamak gerekmektedir.

3D yüzey CAD modeli, daha önceden hazırlanan DWG dosyalarına bağlı kalınarak SolidWorks 2007 programı ile tasarlanmıştır. Tüm uzatma kesme ve ayırma işlemleri de benzer şekilde SolidWorks 2007 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Benzer parçalar aynı alt montaj grupları içerisine ayrılmış ve sonlu elemanlar ağının oluşturulması için MSC. SOFY programına aktarılmışlardır. Tüm alt montajlar, sonlu elemanlara ayırma işlemi tamamlandıktan sonra dikilerek eleman kaliteleri arttırılmıştır. Sonlu elemanlar ağı oluşturulan model MSC. PATRAN programına aktarılarak sınır şartları uygulanmıştır. Ardından model dosyası, MSC. NASTRAN yazılımına doğal frekans ve iki yükleme koşulu için yapısal gerilme analizi çözdürülmek üzere aktarılmıştır.

Sonuç olarak; tüm değerlendirmeler yapılarak kritik bölgeler için iyileştirmeler ve modifikasyonlar önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: FEM, gemi yapısal analizi, doğal frekans, gerilme analizi

ABSTRACT

Besides the progress in the ship building industry, the demand to the ship structural analysis have been raising. In this master thesis 80 meters container trade ship's modal frequency and stress analysis was performed by using MSC.Nastran code. Special purpose of this ship was to carry very long metallic profiles. To achieve this purpose the ship was to have very long storage area. It was very difficult to provide suitable stress values with just two bulkheads along the whole ship. On the other hand stress values must be suitable limits in the bending area.

3D surface CAD model designed in SolidWorks according to firstly prepared DWG files. All extend, trim and split operations are performed in tools of SolidWorks software. Similar components are divided into sub assemblies and imported in MSC.Sofy mesher software for generation of surface mesh. After all sub assemblies are meshed these assemblies were merged and mesh quality improved. This mesh grid had imported into MSC.Patran and load - boundary conditions applied. Model file send to MSC.Nastran for modal frequency analysis and structural stress analysis for two loading cases.

Finally, all discussions were performed and for the critical stress areas some improvements and modifications are advised in this thesis.

Keywords: FEM, ship structural analysis, natural frequency, stress analysis

1. GİRİŞ

Gemi, önceden belirlenen bir görevin yapılabilmesi için tasarlanmış su üstünde veya su altında yüzebilen deniz araçlarıdır. Dünyadaki taşımacılığın büyük bir kısmının (DPT 2000 raporuna göre yaklaşık %95) deniz taşımacılığı ile gerçekleştirildiğini düşünürsek sağlam ve uzun ömürlü gemilerin yapılması son derece önemlidir. Dünyadaki teknolojik ve ekonomik gelişmeler ve yoğun rekabet, Dünya Deniz Ticaretini de etkilemiştir. Bütün bu gelişmelere paralel olarak gemilerin yapısı, tipi ve büyüklüğü değişmiş, hızı ve kapasitesi artmıştır.

Ülkemizde gemi inşa sanayinin temelleri Cumhuriyet döneminin başlarında atılmıştır. 1928 yılında Gölcük Tersanesinin kuruluş çalışmaları başlamış, 1942 yılına gelindiğinde ise tersane hizmete girmiştir. Türk Deniz Ticaret Filosunun ihtiyacı olan tonajlı gemilerin inşa edilebilmesi amacıyla, İstanbul'da 1939 yılında Pendik tersanesinin yapımı için çalışmalara başlanılmıştır. Cumhuriyet devrinde planlı dönemin 1963 yılında başlatılmasına kadar geçen süre içerisinde, yurtiçi tersanelerde çeşitli tip ve tonajlarda gemiler inşa edilmiştir.

Ağustos 2005 rakamları ile yaklaşık 1554 adet Uluslar arası Gemi Sicili ve Türk Milli Gemi Siciline kayıtlı gemiden oluşan toplam 5,4 milyon GRT'luk deniz ticaret filomuzun, %44 gibi bir kısmı 20 yaşın üzerindedir. Bunlardan özellikle 188 adetten oluşan 0,8 milyon GRT'luk tanker filomuzun gemi sayısı itibariyle 113 adedi gibi önemli bir bölümünün önümüzdeki yıllarda hurdaya çıkarılması ve yenilerinin yapılması veya satın alınması, ayrıca yaklaşık 300 adetten oluşan yakın sahil gemileri (koster) filomuzun da 5 yıllık bir süre içinde yeni teknolojilere göre dizayn edilip, modern teçhizatla donatılmış gemilerle yenilenmesi gerekmektedir (DPT Dokuzuncu Kalkınma Planı).

Artan gemi imalatı talebi ile ileri mühendislik hizmetleri de son derece önem kazanmaktadır. Bir gemi yapısının tasarlanması işleminden yürütülmesine kadar olan süreçte birçok teorik, nümerik ve deneysel hesaplamalar yapılır. Bunlardan bazıları olarak akışkanlar dinamiği hesapları, gemi global ve lokal yapısal mukavemet hesapları ile titreşim, şok ve gürültü analizleri sayılabilir.

Değişik yüklemeler ve sınır şartlarına bağlı olarak bir geminin mukavemet hesapları dizayn aşamasında yapılmalıdır. Bilgisayar teknolojisi ve sonlu elemanlar çözüm yöntemlerinin gelişmesi gemi yapısal analizlerinin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Sonlu Elemanlar Yöntemleri (FEM) kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan bir metodur. FEM metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk

çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmişlerdir. Turner (1956) tarafından yayınlanan makalede FEM metodunun ilk uygulama örneği verilmiş olup burada FEM metodu uçak kanatlarının gerilme analizinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır.

1.1 Gemi İnşaatında Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları

Mühendislik hizmeti almış bir sanayi yapısının rekabet gücünün olabilmesi için bu yapının emniyetli, ergonomik ve ekonomik olması gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarının ihtiyaçlara cevap verebilmesi ve birbirleriyle rekabet edebilmeleri ancak bu hususları göz önünde bulundurmalarıyla mümkün olabilir. Günümüzde ekonomik ve güvenilir dizayn yapabilmek için sayısal yöntemleri ve deneysel verileri kullanmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Gemi inşaatı sanayinde diğer sanayi dallarında olduğu gibi sonlu elemanlar yöntemi uygulamalarının birçok örneği görülmektedir.

Phelps 1997 yılında gemi yapısı mukavemet analizi için dalga yüklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile dalga yüksekliğine bağlı olarak yapıya etkiyecek olan basınç kuvvetinin tayini yapılmıştır.

1998 yılında Iwahashi ve diğerlerinin yaptığı bir çalışmada lokal olarak gemi yapısı incelenmiştir. Gemi yapısını oluşturan boyuna stifnerler ile bir adet bulkhead modellenerek sonlu elemanlar yönteminde uygun sınır şartları ile çözüm yapılmıştır. Yapı öncelikle mid-plane modellenmiş ve ardından katı modellenerek elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulama yapılmıştır.

2002 yılında Neşer G. tarafından yapılan çalışmada bir balıkçı gemi serisi için Türk Loydunun belirlediği ampirik formüllerle orta kesit elemanlarının yapısal analizi teorik olarak yapılmıştır.

2004 yılında yapılan International Symposium on Yacht Design and Production sempozyumunda Santos ve diğerleri (MDY 2004) yaptıkları çalışma ile gemi yapısının sonlu elemanlar analizi için gerekli yükleme ve sınır şartları prosedürünü gösteren bir çalışma sunmuşlardır.

Lokal olarak gemi yapısını inceleyen bir diğer çalışma Ivo Senyanovic ve diğerleri tarafından 2008 yılında yapılmıştır. Yapılan çalışmada gemi yapısı üzerindeki enine bulkhead yapısının konteyner gemisi üzerindeki yapısal etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile bulkhead yapısının

geminin burulması sonucu oluşan gerilmeleri büyük oranda azalttığı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Kazuhiro ve diğerleri 2008 yılında yaptıkları çalışma ile 5250 DWT' luk bir konteyner gemisi için yapısal analiz sonucunda gerilme değerlerini bulmuşlardır. Çalışmada; sınır şartları tanımlanırken gemi yapısı bir giriş sistemi gibi düşünülerek ön tarafındaki bulkhead en alt nodundan sadece boy doğrultusunda serbest bırakarak tutulmuş ve arka bulkhead alt nodundan ise tüm yönlerde tutularak sistemin serbestliği azaltılmıştır. Böylece gemi yapısının boy doğrultusunda uzaması serbest bırakılarak statik durum için yapısal analiz yapılmıştır. Bunun yanı sıra yapılan bu çalışmada sınır şartlarına sadık kalınarak, gemi yapısının doğal frekans analizi de çözdürülmüştür.

1.2 Amaç

Bu çalışmada gemi yapısı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmeye çalışılmıştır. Mühendisler tarafından kullanılan çok sayıda Sonlu Elemanlar ticari kodları mevcuttur. MSC. NASTRAN kodu bu çalışmada çözücü olarak kullanılmıştır. MSC.NASTRAN, Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanarak yapısal analizlerin gerçekleştirildiği ticari bir yazılımdır. Öncelikle gemi konstrüksiyon geometrisi SolidWorks 2007 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ardından sonlu elemanlara ayırma işlemi ticari bir yazılım olan MSC.SOFY programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MSC. SOFY programı yardımıyla istenen hassasiyeti verecek şekilde uygun ağ yapıları oluşturulmuştur. Gemi yapısına etki eden dış kuvvetler ve sınır şartları MSC. PATRAN programı kullanılarak sisteme girilmiştir.

Bu çerçevede sunulan çalışmada sırasıyla aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilmiştir.

1. Bölümde gemi yapıları üzerinde Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olan benzer çalışmalar incelenmiştir.
2. Bölümde gemi yapılarının sınıflandırılması yapılmış ve her tip gemiye örnekler verilerek detaylandırılmıştır.
4. Bölümde gemi yapısının CAD modeli oluşturulmuştur. Alt montajlar halinde gerçekleştirilen modelleme işlemi sırasında, üzerinde sonlu elemanlar analizi yapılabilecek uygun modelin elde edilmesine özen gösterilmiştir.
6. Bölümde sonlu elemanlara ayırma işlemi için hazır olan CAD model, alt montajlar halinde ele alınarak ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle gemi yapısı yarı simetrik oluşturulmuştur. Ardından tam gemi modeli kopyalanmak suretiyle çoğaltılarak analize hazır

hale getirilmiştir.

7. Bölümde yarı simetrik gemi yapısı üzerinde doğal frekans analizleri yapılarak varsa zayıf kalan bölgeler belirlenerek gemi yapısında güçlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

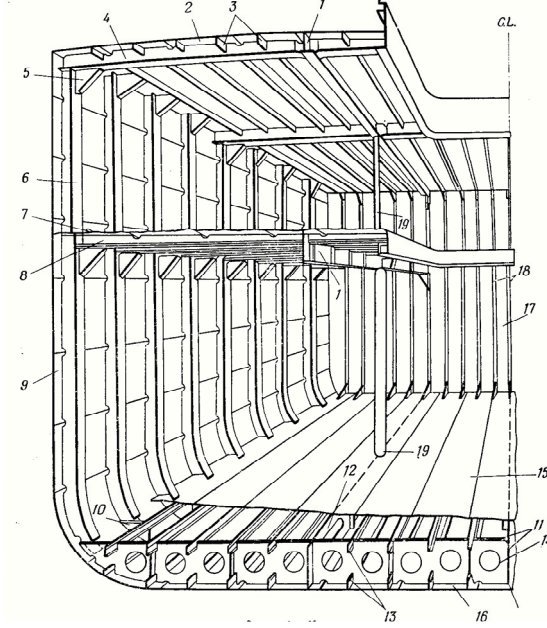
8. Bölümde komple gemi yapısı üzerinde frekans analizleri yapılarak doğal frekans modları ve frekans değerleri elde edilmiştir.

9. Bölümde komple gemi yapısı üzerinde sakin su durumu için öncelikle yüksüz durumda statik analizler gerçekleştirilmiştir. Gerilme ve yer değiştirme değerleri elde edilerek ardından tam yüklü durum için statik analizler yapılmıştır.

2. GEMİ KONSTRÜKSİYONU

Gemi konstrüksiyonu oluşturulurken dış yükler ve bünye yükleri etkisi altında yapının dağılmadan bütünlüğünü koruyabilmesi, bu yapının öngörülen yükler için yeterli mukavemete sahip olduğunu gösterir. Ancak hiçbir yapının dayanım sınırı, üzerine etkiyen bütün yükleri karşılamaya yetmez. Gemi yapısının mukavim olabilmesi için tasarım aşamasında çeşitli konstrüksiyon elemanları kullanılır. Bu elemanlar çeşitli tip ve boyutlarda olmaktadır. Konstrüktif elemanların boyut ve malzeme seçimini etkileyen en önemli parametre geminin çalışma koşullarıdır.

Gemi teknesi omurga, dış kaplama, güverte, perde, posta, bodoslama, kemere, stringer, dikme gibi pek çok sayıda elemanın birleşmesi sonucu oluşur. Bu elemanların yapıdaki kullanım sıklığı geometri ve malzemeleri teknenin emniyetini, dayanıklılığını, kullanım amaçlarını ve su geçirmezliğini doğrudan etkilerler. Gemi konstrüksiyon elemanlarını birincil ve ikincil olarak ayırmak mümkündür. Birincil elemanlar gemi gövdesinin tümünü veya önemli bir bölümünü etkileyen yüklere karşı geminin bünyesel bütünlüğünü sağlayan elemanlardır. Bu elemanlara örnek olarak gemi dış kaplaması (güverte, borda ve dip), tulaniler (merkez ve yan), döşekler (dolu ve boş), posta ve kemereler olarak verilebilir. İkincil elemanlar ise daha ziyade yerel yüklere karşı mukavemeti sağlayan elemanlardır. Ayrıca birincil elemanları destekleyerek onların devamlılığını da sağlarlar. Bu elemanlara örnek küçük teçhizat temelleri ve braketler gösterilebilirler. Geçmişten beri çelik gemilerde iki değişik konstrüksiyon sistemi kullanılmıştır; enine ve boyuna konstrüksiyon sistemleri. Enine sistemlerde dış kaplama belirli sıklıkta enine doğrultuda oluşturulan kemere, posta ve döşeklerden oluşan halkalarla desteklenmiştir. Gerekli boyuna mukavemet ise daha az sıklıkta kullanılan dip, borda ve güverte altı tulanileri ile sağlanmaya çalışılmıştır. Enine konstrüksiyon sistemlerine genel yük gemileri ile küçük ve orta boydaki konteyner gemilerinde rastlamak mümkündür.



Şekil 2.1 Kombine bünyesel konstrüksiyon

Ancak tüm bunlara rağmen günümüzde böyle kesin bir ayırım yapmak çok mümkün değildir. Artık pek çok ticari ve özel gemilerde kombine sisteme rastlamak mümkündür. Örneğin, bir tankerde yük tankları kısmi boyuna konstrüksiyon iken makine ön perdesinden kıça kadar enine konstrüksiyon kullanılmış olabilir (ÖZALP T. 1978).

Şekil 2.1 de kombine konstrüksiyon yapısına örnek verilmiştir. Burada numaralarıyla verilen elemanlar sırasıyla;

1-Derin Tülani	7-Gladora Güverte Kaplaması	13-Dip ve İç Dip Tülaneleri
2-Üst Güverte Kaplaması	8-Kemere	14-Dolu Döşek
3-Güverte Altı Tülaneleri	9-Borda Kaplaması	15-İç Dip Kaplaması
4-Derin Kemere	10-Sintine Braketi	16-Dip Kaplaması
5-Güverte Braketi	11-Merkez Omurga	17-Enine Perde
6-Posta	12-Yan Tülani	18-Perde Stifnerleri
		19-Puntel

Sırasıyla bir gemi konstrüksiyonunu oluşturan elemanları malzeme detayları ile birlikte inceleyelim.

2.1 Omurga

Orta ve büyük boy gemilerin yapımında levha omurga kullanılır. Levha omurga taban saclarının orta kısmını teşkil eder. Omurga sacları taban saclarından daha kalın ve daha dayanıklıdır.

2.2 Postalar

Postalar geminin kaburgalarını teşkil eder. Tekneye şekil verir ve su basıncına karşı dış kaplama saclarına mukavemet sağlar. Postaların şekilleri ve kesitleri gemi tipine ve büyüklüğüne göre değişir. Postalar eşit aralıklarla gemi boyunca sıralanır. Uç kısımlarda daha sıktır.

2.3 Baş ve Kıç Bodoslama

Gemi teknesinin baş ve uç kısımlarını teşkil eder. Baş bodoslama; omurganın baş tarafından başlar ve güverteye kadar devam eder. Eskiden dik olarak yapılan baş bodoslama son zamanlarda meyilli olarak yapılmaktadır. Baş bodoslama, lama demirden dikdörtgen kesitli olarak veya dökme çelikten imal edilir. Ayrıca sac levhaların elektrik kaynağı ile birleştirilmeleri sonucu da oluşturulabilirler. Kıç bodoslama ise gemi teknesinin kıç taraf ucunu meydana getirir. Yan duvar ve taban kaplamaları kıç bodoslamada birleşirler. Kıç bodoslamada dökme çelikten ve de kıvrılmış sacların elektrik kaynağıyla birleştirilmesinden meydana gelir.

2.4 Perde ve Tanklar

Gemi teknesini bölümlere ayıran enine ve boyuna duvarlara perde adı verilir. Bu perdeler gemi teknesine mukavemet verirler ve batma tehlikesine karşı emniyet sağlarlar. Makine ve kazan daireleri ambarlarda su geçmez perdelerle ayrılırlar. Yolcu gemilerinde de batma tehlikesine karşı kanun ve tüzüklere uygun olarak perdeler yapılır. Perdeler umumiyetle yatay olarak sıralanmış yüksek mukavemetteki çelik sacların birbirlerine eklenmeleri sonucunda yapılmışlardır. Bu perdelerin üzerine ise dikey olarak çelik profiller bağlanır.

2.5 Gemilerin Dip ve Döşek Yapıları

Kızakta veya havuzda bulunan veya bir kazada oturan gemide dış kaplamanın taban kısmı en çok zorlamaya maruz kalır. Suda yüzen bir gemide, en büyük su basıncını taban kısmı karşılar. Bu sebepten dolayı gemilerin taban kısımlarının kuvvetli malzemeden yapılması gerekir. Bu bölgelerin imalatında; yüksek mukavemetli, darbe dayanımı iyi olan çelik

malzemeler kullanılır. Saclardan yapılmış döşekler gemi tabanını takviye ederler. Özellikle döşekler enine olarak, gemi boyunca muntazam aralıklarla sıralanan sac malzemelerden yapılırlar. Küçük gemilerde taban tek kat sac (single-bottom) olarak yapılır. Orta büyüklükte ve büyük gemilerde taban çift kat yapılıdır (double-bottom).

Double-bottom döşeklerinin hepsi saclardan yapılabileceği gibi kısmen köşebent ve bayraklardan da yapılan açık döşek şeklinde de olabilir.

2.6 Dış Kaplama

Dış kaplama gemi teknesinin su geçmez ve basınçlara dayanıklı kabuğunu teşkil eder. Dış kaplama 2,5 metreye kadar genişlikte ve 10–12 metreye kadar uzunlukta, kalın, dayanımı yüksek olan sac malzemelerden yapılır. İki sıralı sacın birbirlerine bağlantılarına armuz, aynı sırada uç uca eklenen iki levhanın ekine sokra denir. Sokralar kaynakla birleştirilirler ancak armuzların birleştirilmesinde perçinde kullanılabilir. Sintine dönüm sacı yuvarlak eğimli olmakla birlikte bazen köşeli olarak da yapılabilir.

2.7 Güverte

Bir geminin en üstte bulunan devamlı güvertesi mukavemet güvertesi veya ana bağ güvertesidir. Bu güverte dış kaplama ile sağlam bir tarzda, stringer köşebendi vasıtasıyla, perçinle veya köşebentsiz olarak kaynakla birleştirilir. Günümüzde çoğunlukla kaynaklı birleştirme kullanılmaktadır. Dış kaplamaya bağlanan kenar sacına stringer sacı denir. Stringer sacı diğer güverte kaplama saclarından daha kalın yapılıdır. Stringer sacını dış kaplamaya stringer köşebendiyle bağlanır. Güverte kaplamaları ambar ağızları kadar ince yapılıdır. Ambar ağız köşelerine çift kat sac koyulur veya köşelere kalın sac parçalar alıştırılarak kaynak edilir. Küçük gemilerin güvertelerinin tamamen sac kaplanması lüzumsuzdur. Bu gemilerin ambar ağız kenarlarına dar levhalar ve çapraz sac şeritler bağlandıktan sonra güverte tamamen ağaç kaplanır.

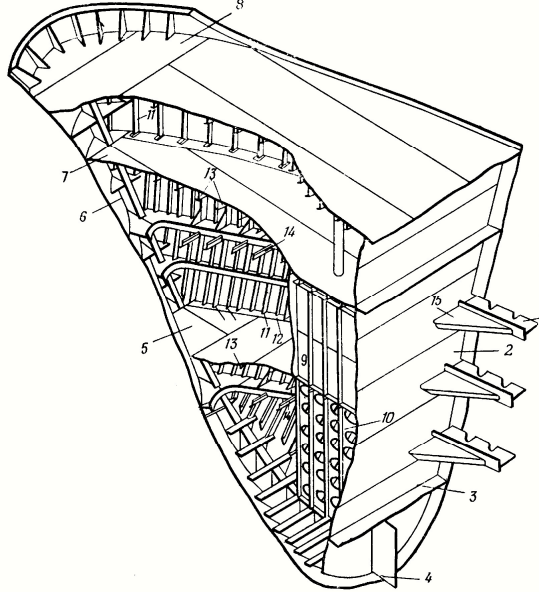
Tüm bu konstrüktif elemanların yanı sıra karşımıza çıkabilecek diğer yapı ve elemanlar aşağıda verildiği gibidir:

Baş kasara: Geminin baş tarafında fribordu yükselten bir üst binadır. Kasara güvertede geminin demirleme ve halat donanımı konuşlandırılır.

Kıç kasara: Kıçta aynı görevi gören bir üst yapıdır. Ancak modern ticaret gemilerinde üst yapılar kıçta olduğundan ayrı bir kıç kasara mevcut değildir.

Ara güverteler: Geminin en üst devamlı güvertesi altında kalan güvertelerdir. Görevine, göre gladora, platform gibi isimler alabilirler.

Güverte binaları: Personel ve yolcuların yaşam mahallerini oluşturan bu binaların en üst güvertesi seyir güvertesi veya köprü olarak bilinir ve geminin seyir sistemleri ile hertürlü elektronik donanımları burada bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Baş taraf konstrüksiyonu

Şekil 2.2’de görülmekte olan gemi baş tarafı konstrüksiyonunu oluşturan elemanlar sırasıyla aşağıdaki gibidir (ÖZALP T. 1978). ;

1-Borda stingeri	6-Bodoslama	11-Normal posta
2-Bas pik perdesi	7-Üst güverte	12-Ara posta
3-İç dip kaplama	8-Kasara güverte	13-Güverte kemeresi
4-Merkez omurga	9-Zincirlik	14-Ek kemereleler
5-Platform	10-Merkez açık perde	15-Braket

3. GEMİ ANA BOYUTLARININ BELİRLENMESİ VE 3D CAD MODELİN OLUŞTURULMASI

3.1 Klas Kuruluşu Tanımı ve Model Gemi Ana Boyutlarının Belirlenmesi

Klas kuruluşları; gemilerin plan, proje safhaları, inşaları, bakım, onarım çalışmaları, sigortalanmaları, periyodik yakıt sörveylerinin yapılması, belgelenmesi ve klaslanması ile ilgilenen kuruluşlardır. Önde gelenleri;

DNV: Det Norske Veritas- Norveç

BV: Bureau Veritas-Fransa

ABS: American Bureau of Shipping- Amerika

CCS: China Classification Society- Çin

GL: Germanischer Loyd- Almanya

KR: Korea Register of Shipping-Kore

LR: Llyod's Register of Shipping- İngiltere

RINA: Registro Italiano Navale- İtalya

RS: Russian Maritime Register of Shipping-Rusya

Yukarıda sayılan klas kuruluşları dünyanın en önde gelen gemi klas kuruluşlarıdır. Ülkemizde ise bu görevi Türk Loydu (TL) yerine getirmektedir.

Klas kuruluşlarının görevleri genel anlamda üçe ayrılabilir. Birinci görevi; gemi sahibinin yerine geminin yapıldığı tersaneyi denetlemektir. Geminin ilk sacının kesilmesinden denize inişine kadar hemen hemen tüm aşamalar, klas kuruluşunun kendi sistematığıne göre belirlediği denetim aşamalarından geçmek zorundadır. Tüm gemi planlarının loyd onayı alması, fiziksel üretim aşamalarının istatistiksel temellere dayanarak olabildiğince sağlıklı şekilde denetlenmesi klas kuruluşları tarafından yürütülen faaliyetlerdir.

Klas kuruluşunun ikinci bir görevi, gemiye yükünü verecek mal sahiplerine, gemi sahibi adına garanti vermektir. Üretim aşamasından sonra geminin yaşam süresince de o klas kuruluşunun klas işretini taşıyabilmesi için periyodik denetimlerden geçmesi gerekir.

Klas kuruluşunun üçüncü görevi geminin seyahat ettiği limanlara karşı gemiyi garanti etmektir. Günümüzde birçok ülke kendi klas kuruluşlarının oluşturduğu birliğe dahil olmayan klaslardan işaretli gemileri limanlarına sokmamaktadırlar. Loyd seçimi yapılırken, gemi yeni yapılmışsa yapıldığı tersanenin bulunduğu ülke, sefer durumuna göre belli bir hatta veya yüke göre çalışıp çalışamayacağı, loydun yaygınlığı ve denizcilik şirketinin loyd politikası önemlidir. Klas kuruluşları gemileri uluslararası sözleşmelere göre sertifikalandırır kendi kurallarına göre klaslar.

Klaslama (özel görev): Gemilerin emniyeti için kuralların geliştirilmesi ve bunların uygulanması için sörveylerin yapılması işlemidir.

Sertifikasyon (yasal görev): (Yasal hizmetler) Bayrak Devletlerinin yetkilerini devretmesiyle, denizde emniyet ve kirliliği önleme kurallarının uygulanması, sörveylerin yapılması ve sertifikaların düzenlenmesi işlemidir.

Klas kuruluşları kendi çıkardığı kurullarla yapılmak istenen geminin boyutlarını, mukavemet seviyelerini, titreşim gürültü seviyelerini belirlemiştir. Gemi tasarımcısı öncelikle klas kuruluşunu belirledikten sonra, tüm hesaplamalarını bu klas kuruluşunun kurallarına bağlı kalarak yapmak zorundadır. Tez çalışmamızda Türk Loydu'nun "Çelik Gemileri Klaslama Kuralları" benimsenerek tüm hesaplamalar yapılmıştır.

Gemi tasarlanmasında en önemli yeri gemi formunun belirlenmesi taşır. Gemi formu; geminin hangi hızlara çıkabileceğinden, su hattının ne olacağına kadar tüm parametreleri etkilemektedir. Bu nedenle bir geminin formu belirlenirken tüm CFD (Computational Fluid Dynamics) analizleri yapılmak zorundadır ve ayrıca varsa model deneyi ile bu hesapların doğrulanması sonuçların güvenilirliğini arttıracaktır. Çalışmamızda örnek alınan gemi yapısının tüm denizcilik hesapları MaxSurf ve Tribon yazılımları yardımıyla önceden yapılmıştır. Gemi inşaatında kullanılan genel tanım ve terimler;

Boyuna simetri düzlemi: Gemi boyunu iki simetrik parçaya ayıran düzleme denir.

Kaide hattı: Geminin taban düzleminin merkez düzlemle ara kesitine denir.

Dizayn su hattı düzlemi: Genelde omurga hattına paralel ve boy simetri eksenine yatayda dik olan bir düzlemdir. Omurgaya her zaman paralel olmayabilir.

En kesit (posta kesit): Hem boy simetri düzlemi hem de su hattı düzlemine dik olan düzlemdir.

Boyuna simetri eksenini veya merkez hattı: Bir geminin boy simetri düzleminin en kesit düzlemleri ile ara kesitine denir.

Su hattı düzlemi: Merkez hatta dik ve dizayn su hattı düzlemine paralel olan düzlemlerdir. Bu düzlemler genellikle merkez hatta göre simetriktirler. Su hattı düzlemlerinin omurga hattına paralel olması gerekmez.

Yüklü su hattı düzlemi veya dizayn su hattı düzlemi: Geminin dizayn edildiği su hattı düzlemine denir. Bu düzlem ile boy simetri düzleminin (merkez düzleminin) ara kesitine de dizayn su hattı (design waterline) denir.

Orta kesit: Gemi ortasındaki en kesittir.

Paralel gövde: Gemi orta kesitine paralel en kesitlerin sürekli olarak değişmeyen ve eşit kalan bölümüne denir. Bu gövdeye ait boyada paralel gövde boyu denir.

Su hattı boyu (L_{WL}): Geminin yüzdüğü su hattında, baş bodoslama ile kıç bodoslamanın su hattı ile kesiştiği noktalar arasındaki yatay uzaklıktır.

Tam boy (L_{oa}): Geminin başta ve kıçta en uç noktaları arasındaki uzaklıktır.

Su çekimi (Draft (T)): Geminin en kesit düzleminde, geminin taban düzleminde yüzdüğü su hattına kadar olan düşey mesafedir. Genellikle, aksi belirtilmedikçe gemi ortasındaki su çekimi verilir.

Çalışmamızda geminin ağırlık değerlerini belirtirken kullanacağımız;

Lightship; Geminin çelik tekne ağırlığı ile bünyesindeki donanımlarının toplamını Deadweight geminin tonajını yani alabileceği yük miktarını, Displacement (deplasman) ise geminin Lightship ağırlığı ile Deadweight ağırlıklarının toplamını ifade etmektedir.

Bir gemi yapısının ana boyutlarının oluşturulması için Türk Loydu'nun belirlediği boyutlandırma esaslı dizayn yükleri kullanılır (Türk Loydu Çelik Gemileri Klaslama Kuralları Bölüm 4). Günümüzde bu hesaplamalar denizcilik programları yardımıyla kolayca yapılmaktadır.

Tez çalışmasında örnek alınan gemi yapısının ana boyutları;

Lightship 1350 Ton

Deadweight 3120 Ton

Displacement 4470 Ton

Bunlara karşılık;

Gemi Boyu (L) : 80 m.

Gemi Geniřliđi (B) : 13 m.

Gemi Derinliđi (D) : 6.5m

olarak belirlenmiřtir.

Burada Boy (L): Yaz yüklü su hattında, baş bodoslamanın ön tarafından dümen bodoslamasının arka tarafına veya dümen bodoslaması yoksa dümen rodunun eksenine kadar olan uzunluktur.

Genişlik (B): Geminin en büyük kalıp genişliği (postaların dış kenarından ölçülen en büyük genişliktir).

Derinlik (H): Gemi L boyu ortasında, kaide hattından en üst devamlı güverteadaki kemerinin en üst kenarına kadar gemi bordasındaki düşey uzaklıktır.

Çektiđi Su (T): Gemi L boyu ortasında, kaide hattından yaz yüklü su hattı için fribord markasına kadar olan düşey uzaklıktır.

Posta Arası (a): Bir postanın marka hattından komşu postanın aynı tarafta kalan marka hattına kadar ölçülen uzaklıktır (TL Çelik Gemileri Klaslama Kuralları Bölüm 1).

Ele aldığımız geminin boy ve genişliğinden hareketle;

$$\frac{L}{B} = \frac{80}{13} = 6.15 \quad \frac{L}{D} = \frac{80}{6.5} = 12.3 \quad (3.1)$$

olarak bulunur.

$$\text{Çelik teknelerde yüksüz durumda } \frac{B}{T} = 3.5 \text{ olarak alınabilir.} \quad (3.2)$$

Çelik teknelerde yüklü durumda ise $\frac{B}{T} = 2.5$ olarak alınabilir. (3.3)

Bu durumda yüksüz durum için Su Çekimi (Draft); $T=3.71$ (m) ve yüklü durumda ise $T= 5.2$ (m) olarak hesaplanır.

Gemimizin teorik olarak su çekim hatları bu şekilde bulunmuş olur.

Gemi geometrisinin tam olarak tanımlanabilmesi için bazı boyutsuz katsayılar kullanılır. Bunlar, bir geminin gerçek boyutlarından söz etmeksizin formu hakkında, narin gemi, dolgun gemi gibi genel geometrik özelliklere sahip gruplara ayrılabilmesi ve bu özelliklere göre karşılaştırmalarının yapılabilmesini sağlarlar. Aşağıda bu hesaplamalara ait formüller ve baz aldığımız gemi yapısının narinlik katsayılarının hesaplanması verilmiştir.

Blok katsayısı (tekne narinlik katsayısı C_B): Geminin su altında kalan hacminin (V), geminin su çekimi (T), su hattı boyu (L_w) ve su hattı genişliğinden oluşan dikdörtgenler prizmasının hacmine oranıdır.

$$C_B = \frac{V}{L_w BT} \quad (3.4)$$

Gemimizin ortalama su altında kalan hacmi karşılık gelen draft değerine karşılık SolidWorks ve MSC. PATRAN programları yardımıyla bulunmuştur.

Yüklü durum için su altında kalan hacmimiz $V= 4615,66$ (m^3) olarak bulunur. Bu hacmin bulunması için gemi kabuk geometrimiz SolidWorks programı yardımıyla istenilen su hattı mesafesinden kesilerek hacim değeri okunmuştur. Bu işlemin doğrulanması için sonlu eleman yapısı MSC. PATRAN programına aktarılmış ve aynı değer elde edilmiştir.

Yüksüz durumda ölçülen su altı hacmi ise $V=3218.51$ (m^3) olarak hesaplanmıştır.

Tüm bu hacim değerlerine karşılık;

Yüklü durum için $T= 5.2$ m

$$C_B = \frac{V}{L_w BT} \quad C_B = \frac{4615.66}{5408} = 0.853 \quad (3.5)$$

olarak bulunur.

Yüksüz durum için ise $T= 3.71$ m

$$C_B = \frac{V}{L_w B T} \quad C_B = \frac{3218.51}{3858} = 0.834 \quad (3.6)$$

değeri elde edilir.

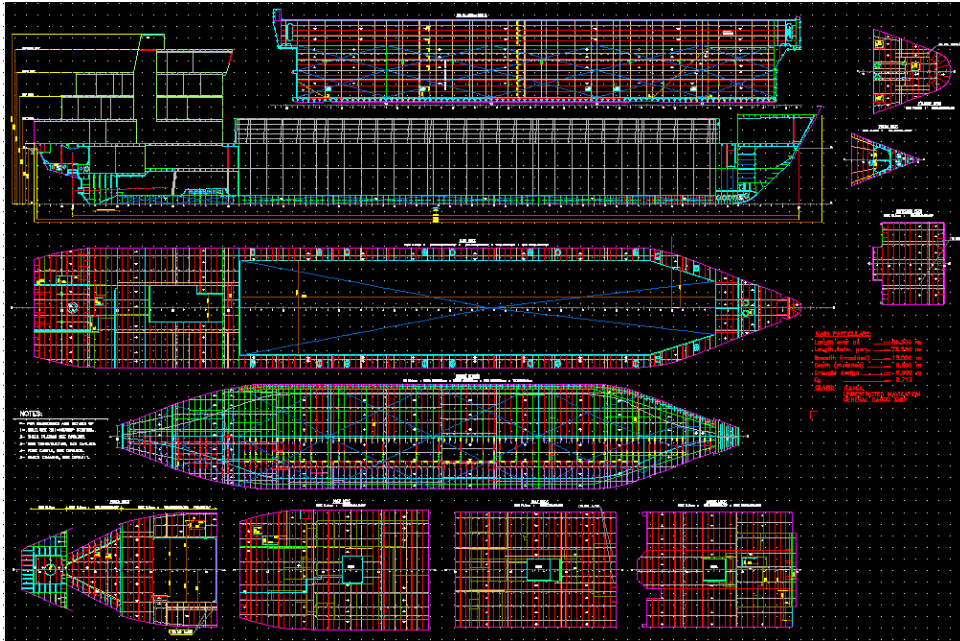
Aynı şekilde geminin boy katsayısı hesaplanmak istenirse;

$$C_L = \sqrt{\frac{L}{90}} \quad L < 90 \text{ m için} \quad (3.7)$$

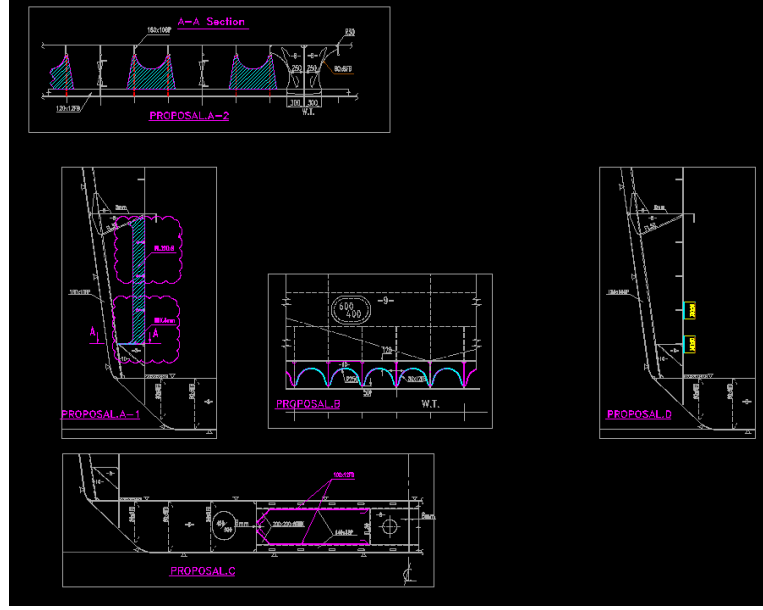
$$C_L = \sqrt{\frac{80}{90}} = 0.942 \quad (3.8)$$

olarak elde edilir.

Yapılan işlemler sonucu belirlenmiş olan ana boyutlara karşılık geminin genel bir boy vaziyet planı çıkarılmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de tez çalışmamızda kullanacağımız gemi yapısının AutoCAD çizimleri görülmektedir.



Şekil 3.1 Model gemi boyuna vaziyet planı



Şekil 3.2 Gemi orta kesit görünüşü

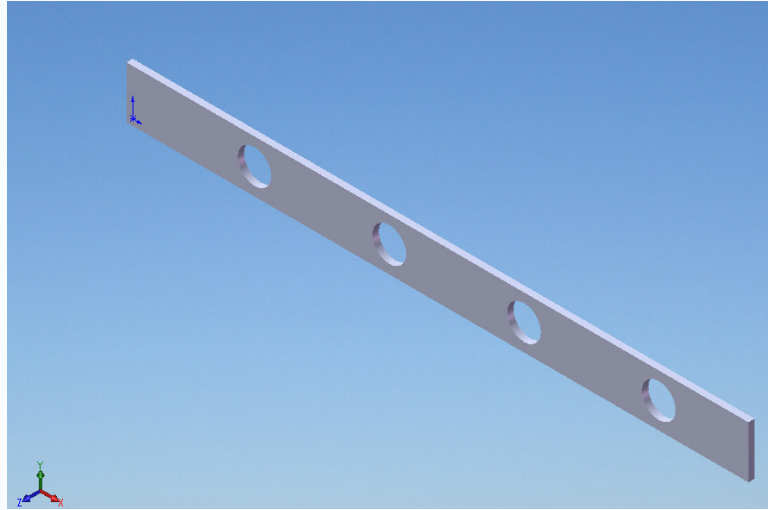
3.2 Gemi 3D CAD Modelinin Oluşturulması

Tasarım, genellikle uygulamalı mühendislik, mimari ve diğer yaratıcı işler çerçevesinde ele alınır ve hem bir isim hem bir fiil (tasarlamak) olarak kullanılır. "Tasarlamak" yeni bir obje (makina, bina, ürün vs) için bir plan yaratma ve geliştirme sürecine işaret eder. Modelleme ise; bir fiziksel yapı veya sürecin analitik veya sayısal olarak yeniden inşa edilmesidir. Bilgisayar destekli tasarım veya modelleme ise bu işlevlerin tümünün bilgisayar ortamında yapılması işine verilen isimdir. Bu çalışmada kullanılan geminin tasarımı aşamasında çeşitli örnek dizaynlar incelenmiştir. Ancak gemi yapısı tamamen özgün bir şekilde 3D CAD programları yardımıyla oluşturulmuştur. CAD kısaltması "Computer Aided Design" kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım veya dizayn anlamını taşır ve bu çalışma boyunca kısaca CAD olarak kullanılacaktır. SolidWorks, AutoCAD, Catia, Rhinoceros vs. ticari olarak kullanılan CAD programlarından bazıları olarak sıralanabilir. Gemi yapısının 3D modellenmesi sırasında SolidWorks 2007 SP 1.1 lisanslı programı kullanılmıştır.

CAD modellemesine başlamadan önce, dizayn aşamalarının fikren tasavvur edilmesi yani doğru ve planlı bir şekilde işlemlere başlanması ileriki aşamalarda yaşanacak sıkıntıları minimize edecektir. Bu bağlamda; yapılacak model eğer çok büyük ve birçok parçanın bir araya getirilmesiyle oluşan karmaşık bir montaj geometri ise ön hazırlık aşaması son derece önemlidir. Gemi yapısının sonlu elemanlara ayrılabilir şekilde modellenmesi tekrar tekrar analiz programlarından CAD programına dönüşü engelleyecektir. Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılacak olan gemi yapısının 3D modellenmesi işlemi uzun ve karmaşık bir süreç

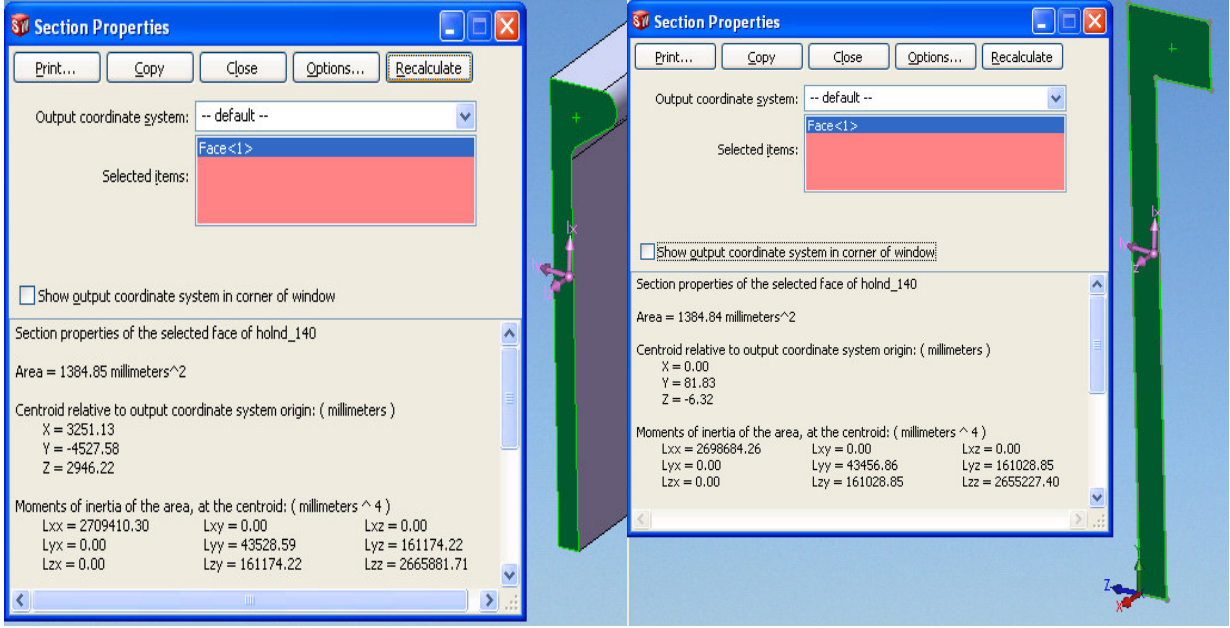
olmuştur. Önceden boyutları belirlenmiş ve denizcilik hesapları yapılmış olan konteyner gemi yapısı alt montajlar halinde modellenmiştir. Geminin boyutları Türk Loydu tarafından belirlenmiş kurallara bağlı kalınarak yapılan hesaplarla belli olduğundan herhangi bir şekilde ölçüler değiştirilmemiştir.

Bu çalışmada nihai model 4 alt montajın bir araya getirilmesi sonucu elde edilen ana montajdan oluşmaktadır. Alt montajların tüm elemanlarının 3D mid-plane yüzeyler halinde oluşturulması gerek sonlu eleman sayısının ve gerekse çözüm süresinin azalmasına neden olacağından tüm yapı bu şekilde modellenmiştir. Örnek olarak Şekil 3.3’de gemi yapısını oluşturan bir elemanın Solid Tet10 elemanlar ile modellenmesi sonucu 1130 eleman oluşmasına karşılık aynı parçanın mid-plane Shell Quad4 elemanlar ile modellenmesi sonucu ise aynı eleman boyutuna karşılık 180 eleman oluşmuştur. Buradan görüleceği üzere en ve boy oranına karşılık et kalınlığı çok küçük olan sac parçaların mid-plane modellenmesi sonlu elemanlar yöntemi açısından daha uygun olacaktır.



Şekil 3.3 Gemi yapısı üzerinden alınmış bir sac parça

Ancak burada akla gelebilecek bir diğer önemli soru şudur; gemi boyu boyunca uzanan ve Hollanda Profili adı verilen 1 boyutlu çizgisel elemanlar nasıl modellenecektir? Bu elemanlar diğer parçalarda olduğu gibi aynı anda birkaç parça ile temasta olduğundan mid-plane olarak modellenecektir. Yalnız dikkat edilmesi gereken husus; Hollanda Profilleri mid-plane yüzey olarak modellenirken, her yöndeki kesit atalet değerlerinin ve toplam yüzey alanlarının eşdeğer olması gerekmektedir.



Şekil 3.4 Hollanda profilleri kesit atalet değerleri

Şekil 3.4'de bir Hollanda Profil kesitinin toplam yüzey alanı ve her yöndeki kesit atalet değerleri görülmektedir. Hollanda Profilleri eşdeğer yüzey olarak modellendiğinde, aynı kesit alanına karşılık atalet değerleri başarı ile yakalanmıştır. Böylece gemi yapısı boyunca uzanan Hollanda Profillerini mid-plane yüzey olarak modelleyip, et kalınlıklarını da sonlu elemanlar programı içerisinde girmek teorik olarak uygun bir yöntemdir.

Tüm bu basitleştirmelere rağmen, sonlu elemanlarla ayırmaya uygun 3D CAD modelin oluşturulması çok daha zordur. 3D yüzeyler halinde yapının oluşturulmasının yanı sıra, sonlu elemanlara ayrılacak tüm yüzey parçaların eleman büyüklüğü önceden gözetilmeli ve buna uygun operasyonlar yapı üzerinde modelleme aşamasında gerçekleştirilmelidir.

Ayrıca; tüm gemi modeli merkez çizgisine (center line) göre yarı simetrik olduğundan ilk etapta geminin yarısı modellenip, daha sonra diğer yarısı bu modelden mirror edilerek kopyalanmıştır. Modelin oluşturulması sırasında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise; model üzerinde gereksiz detayların ortadan kaldırılması işlemidir. Örneğin; kaynak yapılmak üzere açılmış olan boşlukların CAD ortamında ortadan kaldırılması gerekmektedir. Sonlu elemanlar programlarında kaynak modellemesi yapılmamaktadır. Bunun yerine kaynağın rijit bağlantı sağladığı düşünülme suretiyle, kaynak bölgesindeki nodlar birbirleri ile dikilirler. Nodların dikim işleminin düşük toleranslarla yapılması eleman kalitesi açısından önem arz etmektedir. Birbiri ile temasta bulunan iki sac parçanın, temas noktalarında nodlarının tam olarak denk gelmesi için, parçalar üzerinde split işlemleri sonlu elemanlara ayırma işleminden önce yapılmış olmalıdır.

Gemi ana modelini oluşturan alt montajlar sırasıyla;

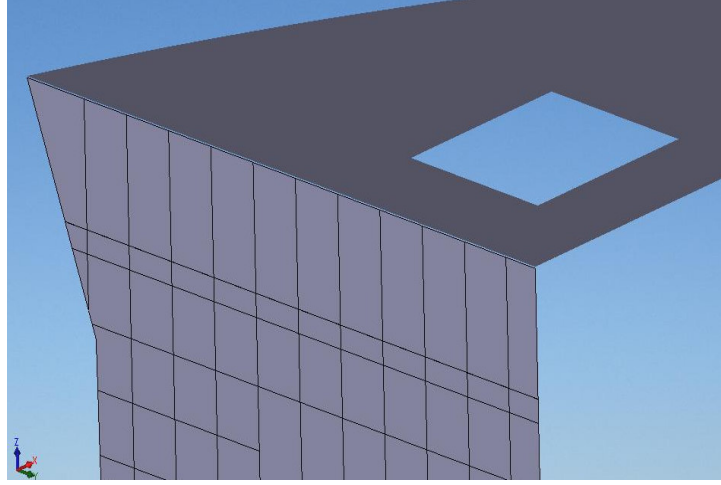
- a) Geminin burun ve bulb bölümü denilen ön kısmı
- b) Paralel gövde olan ve konteyner yüklerinin içine konulduğu orta gövde veya ambar bölümü
- c) Gemi kığı olarak bilinen arka kısım
- d) Güverte binası (kaptan köşkü)
- e) Burun yapısı ile orta gövde arası geçiş yapılarıdır.

3.2.1 Gemi Burun ve Bulb Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması

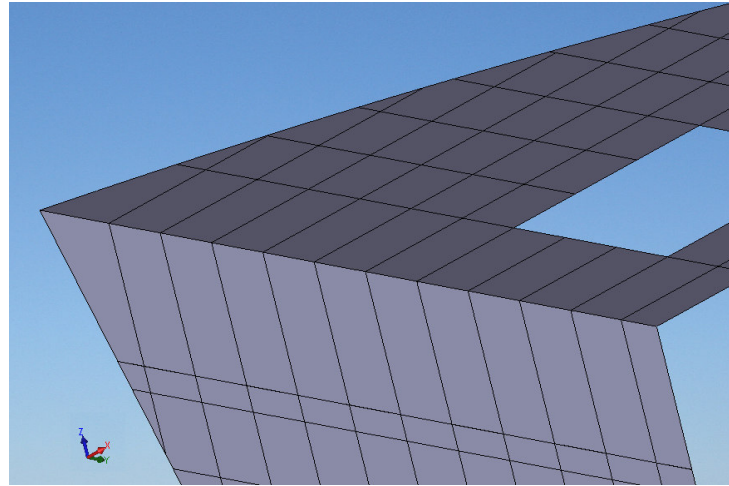
Bulb; gemilerin baş tarafında bulunan, gemi teknesinin daha hidrodinamik bir yapıya kavuşmasını sağlayan çıkıntıdır. Bu yapı ile geminin burun kısmı daha rijit bir hal alır ve gemi su içerisinde daha rahat bir şekilde ilerler. Ancak; yapı oldukça karmaşıktır ve çok sayıda elemanın bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır. Gemi yapısının sonlu elemanlara ayırmaya uygun CAD modelinin oluşturulması işlemine buradan başlanılmıştır. CAD geometri SolidWorks 2007 SP1.1 lisanslı programı kullanılarak oluşturulmuştur. Geminin burun yapısı ilk etapta 3D katı olarak modellenmiştir. Ölçüleri belli olan parçalar tek tek ayrı partlar halinde oluşturulmuş ve sonrasında bu partlar montaj (assembly) ortamına aktarılmışlardır. Tüm yapının katı modellenmesinin pahalı bir işlem olduğunun anlaşılmasının ardından, katı model MSC. Sofy programı yardımıyla 3D mid-plane yüzey haline getirilmiştir. Bu sırada parçaların et kalınlıklarından dolayı arada boşluklar oluşmuştur. Parçalar arasındaki boşlukların giderilmesi için, gerekli yerlerde uzatma (extend) işlemleri yapılmıştır. Tüm parçaların birbirine dokunduğundan emin olunduktan sonra, kesme (split) operasyonuna geçilmiştir. Bu işlem uzun sürmekle birlikte temas eden parçaların temas noktalarında, sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında node oluşması için mutlaka gereklidir.

Örneğin; sadece ambar tarafı enine perde sacı ile üst taraftaki güverte kaplaması veya üst tank top saclarını ele alalım. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi gemi burun güverte kaplama sacı (tank-top sacı) ile ambar tarafı iç perde sacı arasındaki boşluk mid-plane işlemi sırasında oluşmuştur. Bu boşluk nedeniyle; sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında, parçalar birbiri ile dikilemeyecektir veya dikilse bile eleman kalitesi bozuk olacaktır. Bu nedenle ilk olarak, geometriler arasındaki boşluğun CAD ortamında giderilmesi gerekmektedir. Ambar tarafındaki sacın extend edilip üst taraftaki sac ile teması sağlanmıştır. Ardından üst taraftaki tank top sacı ile ambar tarafı sacı arasında sonlu eleman düzgünlüğünün yani sürekliliğinin sağlanması amacıyla split işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede nodların dikim işlemi kolaylaştırılmıştır. Yani düşük toleransla birbirlerini tutmaları amaçlanmış ve gerçekte olduğu

gibi sonlu elemanlar modelinde de parçaların birbirine teması sağlanmıştır. Şekil 3.6'da extend ve split işlemleri tamamlanmış haldeki parçalar görülmektedir.

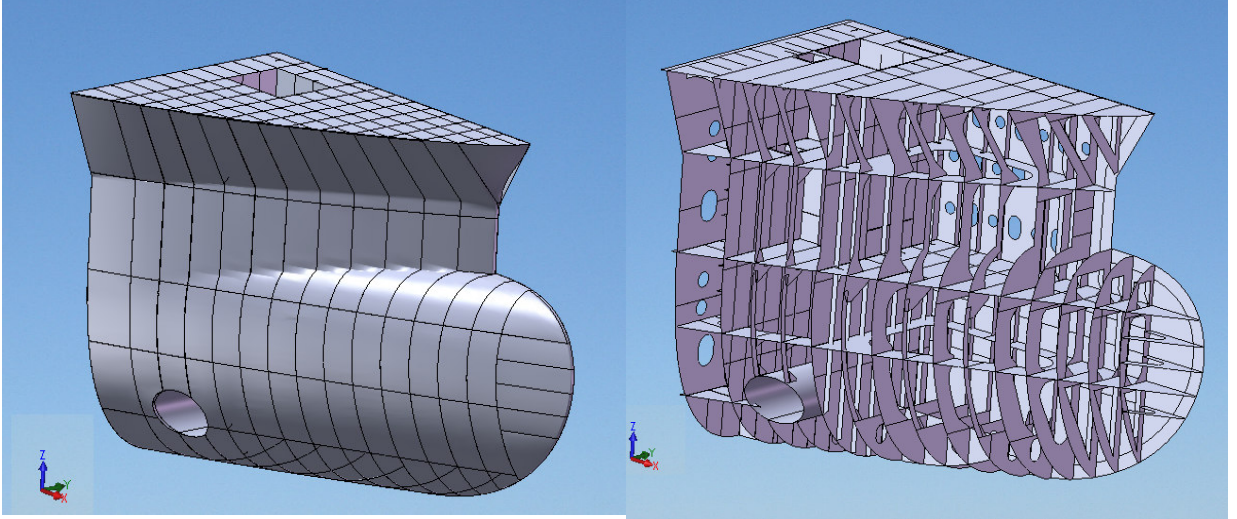


Şekil 3.5 Extend ve Split işlemleri öncesi burun ambar tarafı sacı ile tank top saclarının görüntüsü



Şekil 3.6 Gemi yapısı üzerinden alınmış bir sac parça

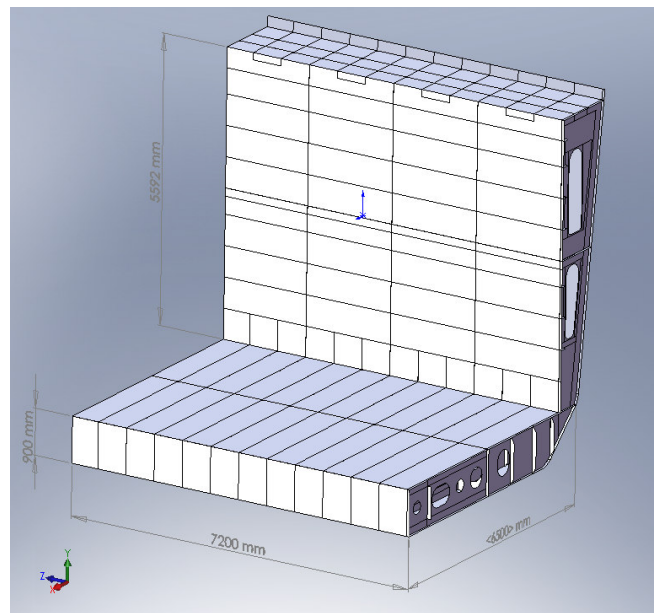
Ayrı ayrı modellenen parçalar montaj (assembly) ortamında bir araya getirilerek burun yapısı tamamlanmıştır. Böylelikle geminin sonlu elemanlar modelinin tamamını oluşturma yolunda bir alt montaj gerekli tüm işlemleri ile birlikte (sırasıyla mid-plane, extend ve split işlemleri) elde edilmiştir. Bu sayede sonlu elemanlara ayırma işleminde karşılaşılabilecek problemlerin önüne geometrik model oluşturulurken geçilmiştir.



Şekil 3.7 Burun ve bulb geometrisinin sonlu elemanlara ayırma işlemine hazır modeli

3.2.2 Orta Gövde veya Ambar Bölümü CAD Modelinin Oluşturulması

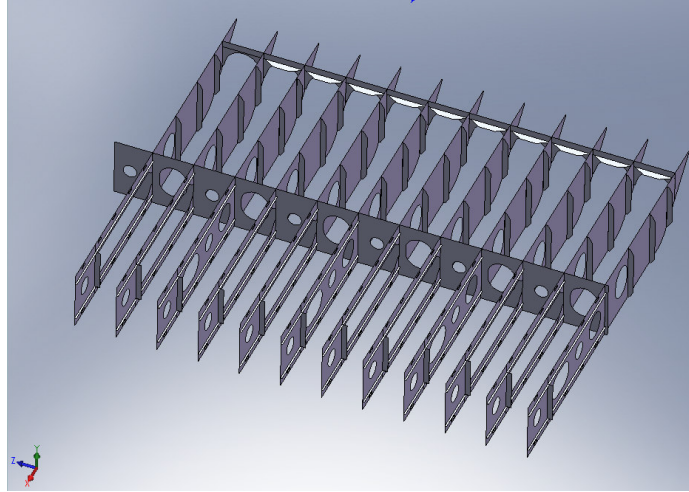
Orta gövde veya ambar denilen bölüm, geminin burun kısmından başlayarak kıç kısmına kadar uzanan oldukça uzun bir yapıdır. Daha önceden belirtildiği gibi gemi yapısı CL'a göre yarı simetrik olarak modellenmiştir. Geminin en kesitlerinin sürekli olarak, değişmeyen ve sabit kalan bölümüne paralel gemi gövdesi denilmektedir. Orta gövde paralel olarak uzandığı için 7200 mm'lik kısmı Şekil 3.8'de görüldüğü gibi modellenmiş ve tamamı bu alt montajdan kopyalanarak oluşturulmuştur. Bu kısımdaki her kesit, birbirinin geometrik bakımdan eş değeridir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında 7200 mm'lik bölüm öncelikle elemanlara ayrılmıştır ve orta gövde sonlu eleman modeli, bu yapıdan kopyalanarak elde edilmiştir.



Şekil 3.8 7200 mm'lik alt montajın ana boyutları ile gösterimi

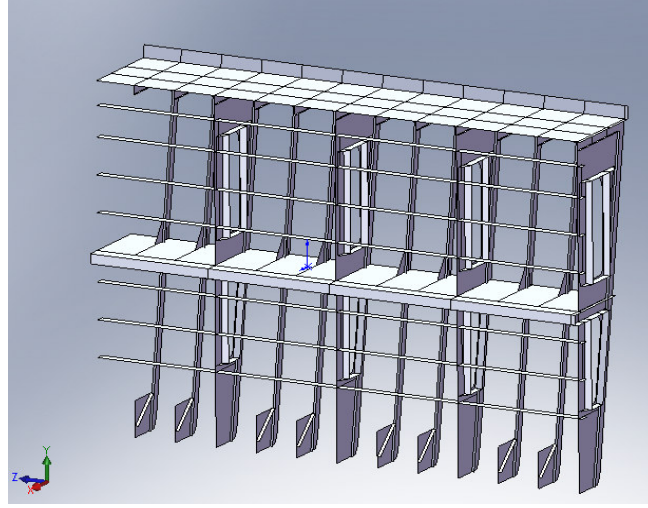
Modelleme sonunda toplam ambar uzunluğunun 43200 mm, yüksekliğinin 6400 mm ve CL'a göre genişliğinin 6500 mm olması istenmektedir. Uzunlukları 7200 mm olan 6 adet alt montaj bloğunun yan yana getirilmesiyle orta gövde yapısı elde edilmiştir. Orta gövde yapısını elde etmek için oluşturulan bu 6 alt montajda yine uzatma, kesme, basitleştirme gibi benzer tüm işlemler gerçekleştirilmiştir.

Alt montajların oluşturulması sırasında her bir alt montaj, dip yapısı ve yan duvar (borda) yapısı olmak üzere 2 kısma ayrılmıştır. Her bir parça (part), verilen ölçülere sadık kalınarak modellenmiştir. Oluşturulan bu part dosyaları montaj (assembly) ortamında bir araya getirilmiştir. Böylelikle hangi parçaların temasta olmaları gerektiği öngörülerek, extend ve split işlemleri gerçekleştirilmiştir.



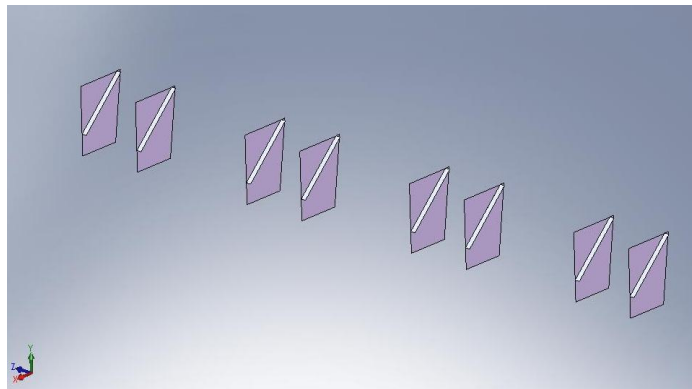
Şekil 3.9 7200 mm'lik alt montajı oluşturan döşek yapısının görünümü

Şekil 3.9'dan görüleceği üzere 7200 mm'lik modeli oluşturan dip veya döşek yapısı; sırayla partlar halinde modellenmiştir. Modelleme sırasında aynı gruba ait olan parçalar örneğin; dolu döşek adı verilen parçalar tek bir part dosyası içerisinde oluşturulmuştur. Sonrasında extend ve split gibi işlemlerin yapılabilmesi için bu partlar montaj ortamına alınmıştır. Ayrıca dip yapısının, dolu ve boş döşekler halinde modellenmiş olması bir takım avantajlar sağlamaktadır. Bu şekilde modelleme yapılarak, konteyner gemisi büyük oranda hafifletilmiş ve aynı zamanda burada oluşan hacim ile gemi için gerekli olan yakıt ve balast suyu alınması sağlanmıştır. Montaj (assembly) ortamında dip yapısı için gerekli olan extend ve split operasyonlarının tamamlanmasının ardından modelin diğer yarısını oluşturan yan duvar veya borda yapısının oluşturulması işlemine geçilmiştir.

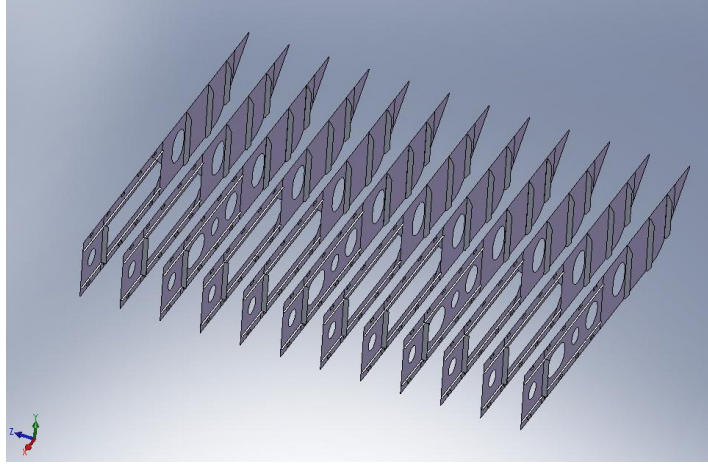


Şekil 3.10 7200 mm'lik alt montajı oluşturan yan duvar veya borda yapısının görünümü

7200 mm'lik alt montajı oluşturan dip veya döşek yapısı; tek tek parçalar halinde modellenmiştir. Şekil 3.10'da yan duvar veya borda yapısına ait görünüş bulunmaktadır. Yan duvar elemanları da dolu ve boş olarak modellenerek gemi yapısının tümü üzerinde hafifletme sağlanmıştır. Dip yapısında olduğu gibi braketler, tulaniler ve postalar ile stifnerler detaylıca modeldeki yerlerini almışlardır. Bu modelde dikkat edilecek olursa; gerek yan duvar yapısı ve gerekse diğer bölümlerde yanıl doğrultuda etkiyen zorlamalara karşılık, oluşan burulma etkisi göz önüne alınmış ve ana taşıyıcı saclar üzerinde buckling profilleri kullanılmıştır. Ayrıca yan duvar yapısı ile döşek yapısı arasında da uygun yerlere gerekli braketler konularak, buralarda gerilme yığılmalarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.11'de yan duvar ile döşek yapısı arasındaki braketler görülmektedir.

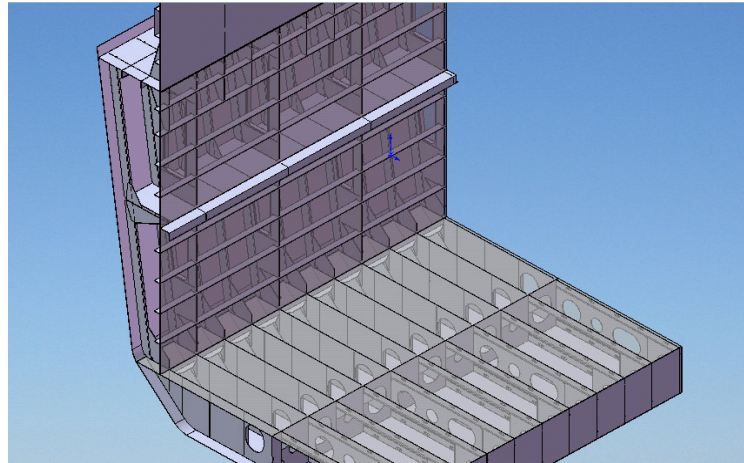


Şekil 3.11 Orta Gövde ile döşekler arasındaki braketler



Şekil 3.12 Döşekler üzerindeki buckling profilleri

Şekil 3.12’de döşekler üzerindeki buckling profilleri görülmektedir. Yan duvar ve dip yapılarının sonlu eleman modellerinin oluşturulmasının ardından bu yapılar tek bir alt montaj dosyası haline getirilmelidirler. Bunun için yeni bir montaj (assembly) ortamı oluşturulmuş ve dip ile borda yapıları bu yeni montaj içerisine alınmıştır. Böylelikle uzunluğu 7200 mm olan ilk alt montajımız elde edilmiştir. Şekil 3.13’te oluşturulan alt montajın detaylı gösterimi bulunmaktadır. Görüldüğü üzere tüm parçalar doğru bir şekilde koordinatlarına oturmuşlardır ve birbirleri ile temas halindedirler. Ayrıca; aralarında temas bulunan tüm parçalar düzgün bir şekilde birbirleri ile kesilmişlerdir ve bu sayede sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında kesişme noktalarında uygun nodların oluşturulması hedeflenmiştir.

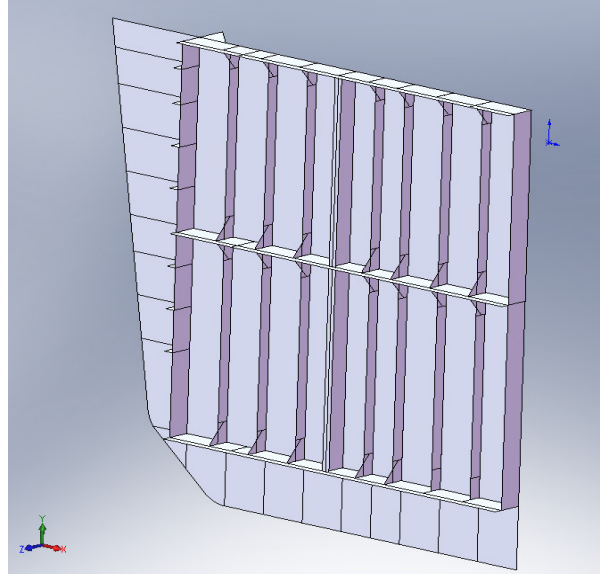


Şekil 3.13 7200 mm’lik alt montajın sonlu elemanlara ayırmaya hazır hali

Tüm bu işlemler sonunda, sonlu elemanlara ayırmaya uygun 3D CAD modelimiz hazır hale getirilmiştir. Bu aşamadan sonra paralel olarak uzanan ambar yapısının tamamının elde edilmesi işlemine geçilmiştir. 7200 mm’lik yapı toplamda 6 adet çoğaltılarak 43200 mm boyundaki ambar yapısı elde edilmiştir. Bu yapının her iki uç tarafına bulkhead adı verilen ara

bölme yapıları eklenmiştir.

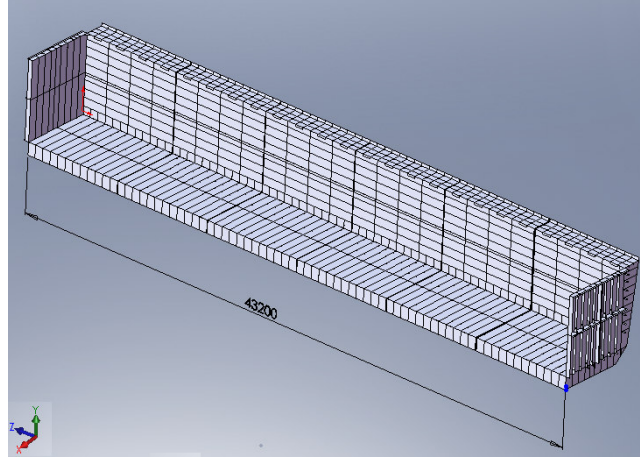
Bulkhead adı verilen yapılar, genel olarak enine saclar ile bunların üzerinde bulunan boyuna ve enine postalardan oluşmaktadır. Bulkhead yapıları, gemi ambarını bölmelere ayırmak için kullanılır.



Şekil 3.14 Bulkhead yapısının görünüşü

Şekil 3.14'de bulkhead yapısının 3D mid-plane CAD modeli görülmektedir. Modellediğimiz konteyner gemisi bu anlamda da çeşitli zorluklar taşımaktadır. Kullanımda olan konteyner gemilerinde genellikle ambar birkaç bölmeden oluşurken modellemekte olduğumuz bu gemi yapısı tek ambar ve tek ambar ağzından oluşmaktadır. Ambarın birkaç bölmeli olması, mukavemet açısından geminin daha iyi bir duruma gelmesini sağlarken, modellemekte olduğumuz tipteki gemiler özel amaçlarla kullanılabilirler. Örneğin bu tipteki gibi tek ambarlı bir gemi ile konteynerin yanı sıra tren rayı gibi özel yüklerde taşımak mümkündür.

Daha önce oluşturmuş olduğumuz orta gövde ve her iki uç kısımdaki bulkheadlerimizle birlikte ambar bölümü orta gövde yapısı elde edilmiş olur. Şekil 3.15'te sonlu elemanlara ayırmaya hazır orta gövde ambar yapısının 3D mid-plane yüzey CAD modeli gösterilmiştir. Ambar yapısının toplam uzunluğu 43200 mm.'dir.



Şekil 3.15 Sonlu elemanlara ayırmaya hazır orta gövde ambar yapısı görünüşü

3.2.3 Gemi Kıç Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması

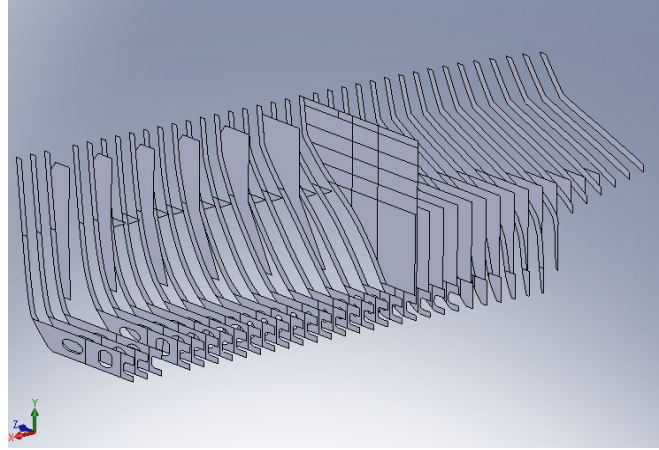
Gemi kıçı; makine dairesini de içinde barındıran karmaşık konstrüksiyona sahip bir yapıdır. Gemi ana makinesi, yardımcı makineler ve çok çeşitli sistemleri içerisinde barındıran bu karmaşık yapı, diğer bölgelere oranla daha rijit yapılmalıdır. Makine dairesinde çalışmakta olan donanımlar çok ciddi titreşim ve gürültü kaynakları olarak değerlendirilebilirler. Bu nedenle; makine dairesi yalıtımı düzgün yapılmalı ve titreşim açısından yapı doğru bir şekilde irdelenmelidir.

Gemi yapısı, CL'a göre simetrik olduğundan geminin kıç montaj yapısı da yine diğer montajlar gibi yarı simetrik modellenmiştir. Gemi kıç montajı, dip ve yan duvar (borda) yapısı ile gemi kıçı üst güverte yapısı olmak üzere 2 kısmın ayrı ayrı modellenerek bir araya getirilmesi sonucu elde edilmiştir.

Dip ve yan duvar yapısının oluşturulmasına başlamadan önce amaç ve formları aynı olan parçalar belirlenmiş ve bu yapıların ortak bir part dosyası içerisinde modellenmesi sağlanmıştır. Örneğin; Şekil 3.13'te görüldüğü gibi geminin yan duvarından başlayarak aşağı inen enine profiller ile döşek elemanları tek bir part dosyası olarak ele alınmıştır. Bu gruplandırma işlemi ile görev ve tanımları aynı olan parçaların montaj içerisinde rahat bir şekilde kontrolü mümkün olmaktadır. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında da aynı part dosyası içerisinde olan parçaların program içine alınması kolaylaşacaktır ve yine parçaların et kalınlığı, malzemesi gibi özellikleri tek seferde kolayca verilebilecektir.

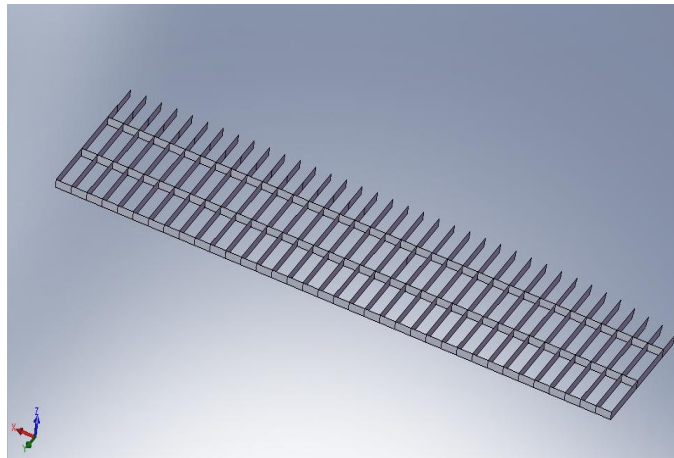
Dip yapısı döşek sistemi elemanları; dolu ve boş döşek olmak üzere 2 tiptedir. Görev ve benzerliklerine göre gruplandırılmış, ölçüleri önceden belli olan parçalar SolidWorks 2007

S.P 1.1 lisanslı programı yardımıyla modellenmişlerdir. Parçlar halinde modellenen parçalar montaj ortamına alınarak split ve extend işlemleri gerçekleştirilmiştir. Extend; temas etmesi gereken fakat etmeyen parçaların uzatılması işlemi ve split ise temasta olan parçaların yine birbirleri ile kestirilmesi işlemidir. Bu operasyonlarla yapılmak istenen; sonlu eleman düzgünlüğünün sağlanmasıdır. Ayrıca, montaj içerisinde tüm buckling profilleri ve braketler detaylı olarak yerlerini almışlardır.



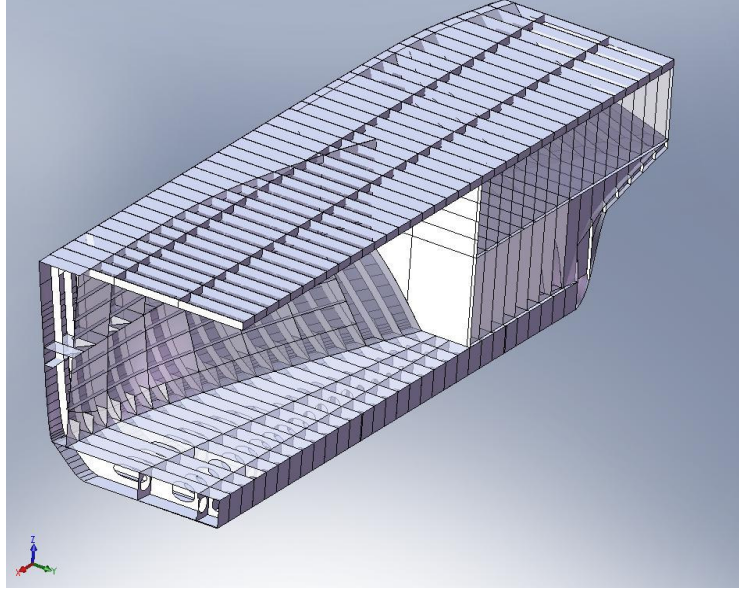
Şekil 3.16 Gemi kış yapısı taşıyıcı elemanları

Şekil 3.19’da görülen dip ve yan duvar yapısı sonlu elemanlara ayrılabilir CAD modeli hazırlandıktan sonra üst güverte yapısı elemanlarının oluşturulması işlemine geçilmiştir. Bu yapıda mevcut olan elemanlar yine görev tanımlarına ve yapılarına uygun olarak sınıflandırılmışlardır. Her bir part ayrı ayrı modellenerek tüm parçalar montaj ortamına aktarılmıştır. Temas halinde olan tüm parçalar birbirleri ile kesilerek, sonlu elemanlara ayırma işleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.17 Gemi kış yapısı üst taşıyıcı elemanları

Şekil 3.17’de gemi kış yapısı üst taşıyıcı elemanları 3D CAD modeli görülmektedir. Oluşturulan bu iki alt montaj (assembly) dosyaları Şekil 3.18’de görüldüğü üzere tek bir montaj dosyasında bir araya getirilmiş ve böylece gemi kış yapısı elde edilmiştir.



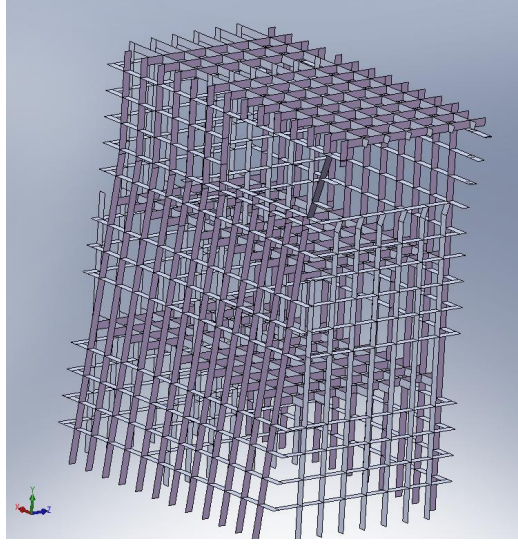
Şekil 3.18 Gemi kış yapısı sonlu elemanlar ağı oluşturulmaya hazır 3D CAD modeli

3.2.4 Güverte Binası (Kaptan Köşkü) CAD Modelinin Oluşturulması

Geminin en yüksek yapısı güverte binasıdır. Güverte binası; gemi hareketinin kontrol edildiği kaptan köşkü, personel ve yolcuların çalışma ile yaşam mahallerinden oluşur. Personel ve yolcuların yaşam mahallerini oluşturan bu binaların en üst güvertesi seyir güvertesi veya köprü olarak bilinir. Geminin seyir sistemleri ile her türlü elektronik donanımları burada bulunmaktadır.

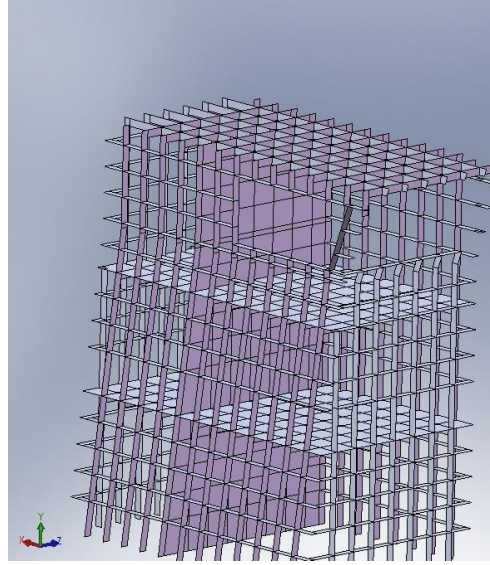
Birçok önemli faaliyetin yerine getirildiği ve insanların yaşam mahallerini teşkil eden bu yapı mukavemet açısından son derece yeter seviyede olmalıdır. Böylece gerek istenen mukavemet verileri açısından, gerekse titreşim seviyeleri açısından geminin en zayıf yapısı olma riskinden kurtulmuş olunur. Gemi üst yapısını oluşturan parçalar da aynen diğer yapıların oluşturulması işleminden önce olduğu gibi görev ve tanımlarına göre ayrılmışlardır. Her bir part kendi içerisinde modellenerek montaj ortamına aktarılmıştır.

Gemi üst yapısını tamamen saran enine ve boyuna elemanlar sınıflandırılarak modelleme işlemine başlanılmıştır. Bir örümcek ağını anımsatan yapı, elemanların ayrı ayrı modellenerek montaj ortamına alınması ile elde edilir. Montaj ortamında, birbirleri ile temas halinde olan tüm parçalar üzerinde gerekli kesme ve uzatma operasyonları yapılmıştır.

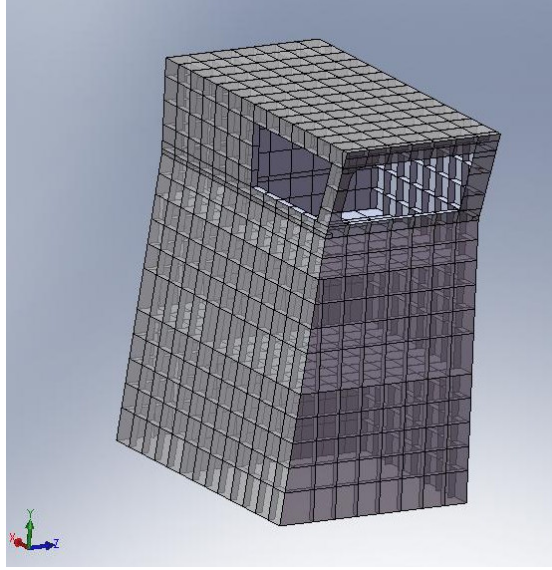


Şekil 3.19 Üst yapıyı oluşturan enine ve boyuna elemanlar

Şekil 3.19’da görüldüğü gibi, üst yapıyı oluşturan ana taşıyıcı elemanlar elde edilmiş olur. Artık sıra katlar arasındaki perdelerin oluşturulması işlemine gelmiştir. Katlar arasındaki perde saclar, ölçülerine sadık kalınarak modellenerek montaj ortamına aktarılmıştır. Ana taşıyıcı elemanlar ile temas halinde olduklarından gerekli kesme işlemleri bu parçalar üzerinde de yapılmıştır.



Şekil 3.20 Katlar arası bölme saclarının montaj ortamına alınmış hali

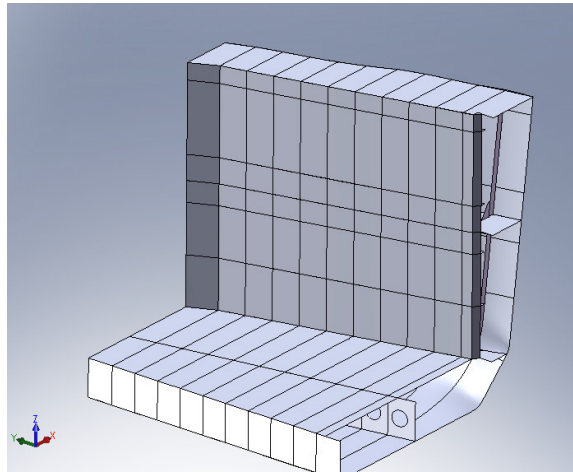


Şekil 3.21 Dış sacları ile birlikte sonlu elemanlar ağı oluşturulmaya hazır üst yapı modeli

Tüm yapının modellenmesi işleminin ardından üst yapı dış sacları yada borda sacları adı verilen saclar oluşturularak montaj ortamına alınmıştır. Gerekli operasyonların yapılmasının ardından sonlu elemanlara ayırmaya hazır üst yapı modeli Şekil 3.21’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

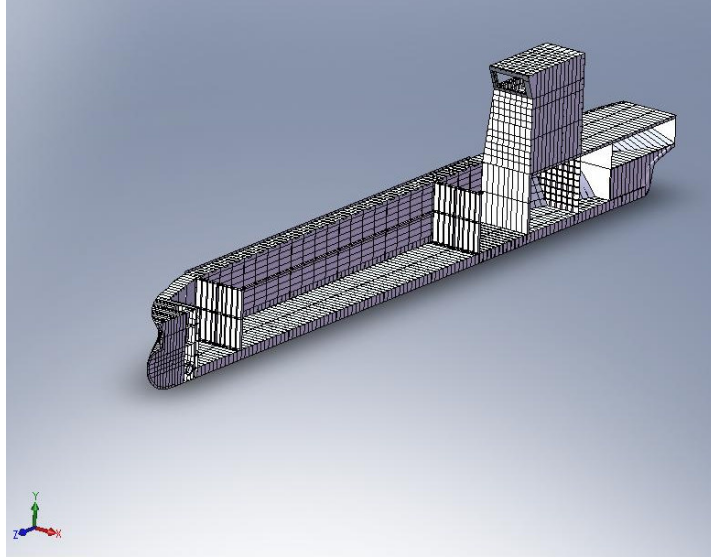
3.2.5 Burun ile Orta Gövde Arası Geçiş Yapısı CAD Modelinin Oluşturulması

Bir diğer alt montajımız ise burun yapısı ile orta paralel gövde yapısı arasındaki geçiş bölgesi geometrisidir. Aslında orta gövde ambar bölümünün bir parçası olan bu yapı ayrıca modellenerek bir alt montaj oluşturulmuştur. Amaç; iki bölge arasındaki zor geçişin daha düzgün şekilde verilmesidir. Ayrı ayrı parçaları modellenmiş olan bu yapı üzerinde gerekli tüm operasyonlar yapılarak sonlu elemanlara ayırmaya hazır CAD model elde edilmiştir.



Şekil 3.22 Geçiş yapısı sonlu elemanlara ayırmaya hazır modeli

Tüm bu alt montajların oluşturulmasının ardından; CL'a göre yarı simetrik olan ana montajımız için yeni bir montaj (assembly) ortamı oluşturulmuştur. Alt montajların bir araya getirilmesi sonucu Şekil 3.23'te görülen ana montaj elde edilmiş olur. Ancak, sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında her bir alt montaj üzerinde ayrı ayrı ayrıklaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23 Sonlu elemanlara ayırmaya hazır gemi ana montajı

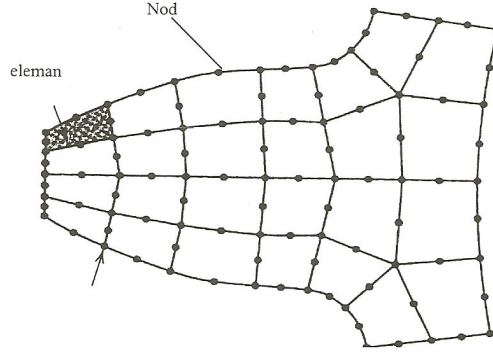
4. SONLU ELEMANLAR METODU

Mühendislikte karşılaşılan problemler fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılmaya çalışılır. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla ifade edilir. Pratikte karşılaşılan problemler ne kadar karmaşık olursa olsun ihtiyaçlara cevap verecek derecede matematik model elde edilmeye çalışılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak, her birinin kendi içinde incelenmesiyle sonucun bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metod ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Sonlu elemanlar metodunda genellikle karşılaşılan problemler kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen fiziksel problemlerdir. Örneğin; elastik cisim mekaniğinde aranan sonuç cismin yaptığı yer değiştirmedir. Bu ise gerilme ve yer değiştirmeler arasında kurulan ikinci dereceden bir kısmi diferansiyel denklemin çözümü ile elde edilir. Denklemler basit geometriler ve yükleme durumları için kesin sonuçlar elde edilecek şekilde çözülebilsede karmaşık problemlerde yaklaşık çözümlerin elde edilmesi kaçınılmaz hale gelir. Yaklaşık çözümler de genellikle potansiyel enerji ve varyasyonel yöntemleri kullanırlar.

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metodlardan üstün kılan başlıca unsurlar TOPÇU M. ve TAŞGETİREN S. tarafından şöyle sıralanmıştır:

- a) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- b) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- c) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- d) Sınır şartları kolayca uygulanabilir.



Şekil 4.1 Elemanlar ve onları oluşturan nodlar

Sonlu elemanlar metodunda yapı, birçok küçük elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler (Şekil 4.1). Bu şekilde cebirsel bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.











4.1 Sonlu Elemanlar Metodu Tarihsel Gelişimi

Modern sonlu elemanlar yönteminin izleri 1900'li yılların başına dayanmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır. Courant isimli bilim adamı "Sonlu Elemanlar" terimini kullanan kişi olarak tanınmıştır. Courant, 1940'lı yıllarda yaptığı çalışmada, burulma problemlerini araştırmak için parçalı polinom interpolasyonunu üçgensel alt bölgeler (elemanlar) üzerinde kullanmıştır. İlk gerçek kabuk elemanlar aksenal simetrik elemanlar olup, bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmişlerdir. Turner (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur.

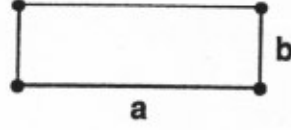
Sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanıldığı diğer önemli adım Boeing'in 1950'lerde uçak kanatlarını modellemek için üçgen gerilim elemanları kullanmasıyla atılmıştır. 1960'larda araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemini diğer mühendislik alanlarında kullanmaya başlamışlardır. Zienkiewicz ve Cheung 1967'de tamamen sonlu elemanları anlatan kitap yazmışlardır. Bu kitapla birlikte statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlanmıştır. Ayrıca Zienkiewicz ve Cheung Poisson denklemini ilk çözen kişilerdir. Genel amaçlı paket programların ortaya çıkması ise 1970'li yıllarda olmuştur. Günümüzde birçok alanda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

4.2 Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Genel Eleman Tipleri ve Müsaade Edilen Deformasyon Halleri

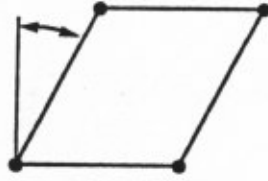
Çizelge 4.1 Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlardan bazıları

boyut	el. derece.	eleman şekli	eleman tipi
1D (eğri)	lineer		kiriş
	kuadratik		kiriş
	kübik		kiriş
2D (alan)	lineer		tabaka, kabuk
			
	Cubic		
3D (hacim)	lineer		
	kuadratik		

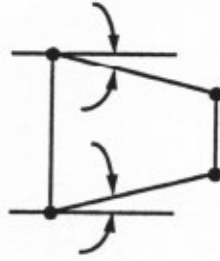
Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri en genel haliyle verilmiştir. İlk başlarda sonlu elemanlar yönteminin bütün işlemleri elle yapılmakta idi. Bu yüzden işlemler 10–100 eleman için yapılmaktaydı ve bu yüzden eleman sayısının azlığı sonuçların hassasiyetini kısıtlamaktaydı. Ancak teknolojinin gelişmesi ile günümüzde bu işlemler bilgisayarlara aktarılmış ve eleman sayıları milyon seviyelerine çıkarılmıştır.



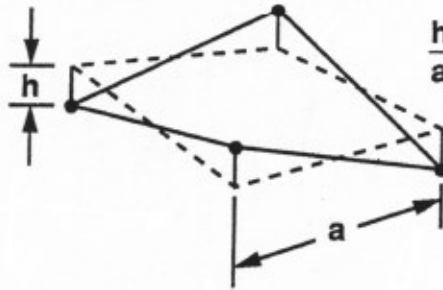
uzunluk oranı a/b için genelde
10:1 oranına kadar müsaade edilebilir.



açı $< 20^\circ-30^\circ$

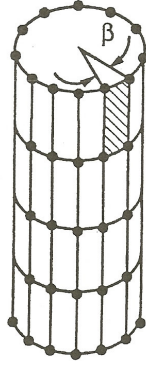


iki açıda $< 20^\circ-30^\circ$



genelde h/a oranı %5 den küçük olmalı

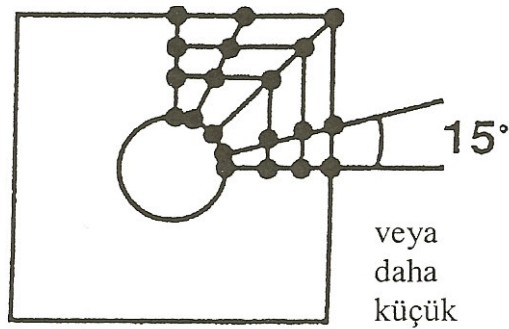
Şekil 4.2 Eleman geometrisinde müsaade edilebilir deformasyonlar



$\beta < 15^\circ$ 4 nodlu dörtkenarlı elemanlar için

$\beta < 30^\circ$ 8 nodlu dörtgen elemanlar

Şekil 4.3 Bir silindirik yüzey etrafındaki tipik eleman dağılımı



Şekil 4.4 Bir delikli geometride delik etrafındaki tipik eleman dağılımı

Eleman geometrisinde, müsaade edilebilen geometrik deformasyonlar ERGİN A.'nın 2000 yılında yaptığı bir çalışmada detaylı olarak verilmiştir. Eleman kalitesinin düzgünlüğü, doğru analiz sonuçları elde edilebilmesi için en az problemin fiziksel ve matematik modelinin doğru kurulması kadar önem arz eder. Bu nedenle sonlu elemanlara ayırma operasyonunun ardından eleman kaliteleri kontrol edilir.

Sonlu elemanlar problemlerinde bir diğer husus eleman tipinin tayinidir. Eleman tipi ve sayısı ne olmalıdır gibi soruların cevaplanması gerekir. Bu sorunun cevabı ancak analizi yapılacak yapının ve eleman tiplerinin tanınması ile mümkün olacaktır. Eleman sayısının yeter seviyelerde olup olmadığı yapılacak olan yakınsama analizi bir diğer adıyla “Convergence Analizi” ile kontrol edilebilir. Yüksek lisans çalışmasında genel itibari ile üçgen ve daha çok dörtgen elemanlar kullanıldığı için yalnızca bu elemanlara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.2.1 Üçgen Elemanlar

Genel olarak sonlu elemanlar formülasyonuna bakılacak olursa elemanlardaki yer değiştirme; yüzey kuvvetleri, yayılı kütle kuvvetleri ve tekil kuvvet bileşenleri (x,y) ile verilen koordinatın fonksiyonlarıdır. Yer değiştirme vektörü $\{u\}$,

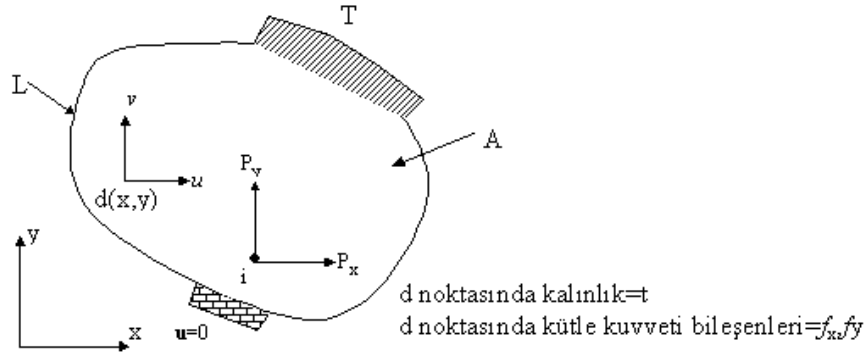
$$\{u\} = [u, v]^T \quad (4.1)$$

şeklinde verilir. Burada u ve v , deplasman vektörünün x , y doğrultularındaki bileşenleridir. Gerilme ve şekil değiştirme bileşenleri ise,

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}]^T \quad (4.2)$$

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}]^T \quad (4.3)$$

şeklinde olup σ , gerilme, ε ise birim şekil değiştirmedir. Şekil 1'de genel olarak gösterilen iki boyutlu problemdeki kütle kuvveti, yüzey kuvvet vektörü ve diferansiyel hacim,



Şekil 4.5 İki boyutlu problemler

$$\{f\} = [f_x, f_y]^T, \quad \{T\} = [T_x, T_y]^T, \quad dV = t \cdot dA \quad (4.4)$$

Burada f kütle kuvveti, T yüzey kuvveti, dV diferansiyel hacim, t ise z yönündeki kalınlıktır. Kütle kuvveti birim hacime düşen kuvvet, yüzey kuvveti ise birim yüzey alanına düşen kuvvet olarak alınır. Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi,

$$\{\varepsilon\} = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (4.5)$$

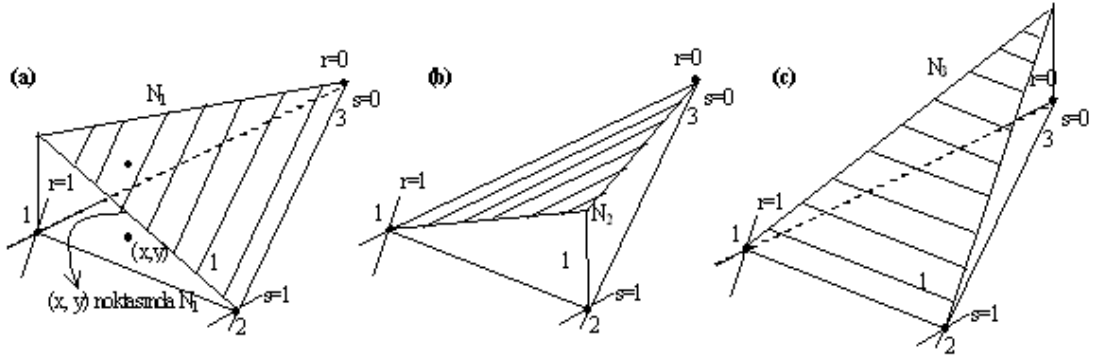
olarak bulunur. Gerilmeler ve şekil değiştirmeler arasındaki ilişki ise,

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (4.6)$$

olarak gösterilir. Burada D elastisite matrisidir.

Buraya kadar verilen formüller genel anlamda iki boyutlu bir elemanın sonlu elemanlar formülasyonudur. Aslında diğer tüm elemanlar için formüllerimiz aynı olmakla birlikte bazı değişiklikler gösterebilecektir. Genel mantık yukarıda özetlendiği gibidir. Bu formüllerden hareketle üçgen elemana ait en genel formülasyon aşağıda verildiği gibidir.

Üçgen elemanlarda seçilen şekil fonksiyonu eleman içinde şekil değiştirmeyi sabit olacak şekilde modelleme imkanı veriyorsa buna sabit şekil değişimli üçgen (*SŞDÜ*) eleman denir. Bir eleman içindeki herhangi bir noktanın yer değiştirmeleri, elemanın düğüm noktalarının yer değiştirmelerinden faydalanılarak hesaplanır. Bu da şekil fonksiyonları yardımıyla yapılabilir. *SŞDÜ* elemanda şekil fonksiyonları lineer fonksiyonlardır. 1, 2 ve 3 düğümlerine karşılık gelen N_1 , N_2 ve N_3 şekil fonksiyonlarıdır.



Şekil 4.6 Şekil fonksiyonları

Eleman içindeki yer değiştirmeler, bilinmeyen yer değiştirme alanının düğüm noktalarındaki değerleri ve şekil fonksiyonları kullanılarak

$$u = N_1 q_1 + N_2 q_2 + N_3 q_3 \quad (4.7)$$

$$v = N_1 q_4 + N_2 q_5 + N_3 q_6$$

(12a)'daki ilişki bir $[N]$ şekil fonksiyonu matrisi ile matris formunda,

$$\{u\} = [N] \cdot \{q\} \quad (4.8)$$

olarak yazılabilir. Şekil fonksiyonları matrisi ise,

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

dir. Üçgen bir eleman için x , y koordinatları aynı şekil fonksiyonları kullanılarak düğüm noktası koordinatları cinsinden ifade edilebilir. Yani,

$$x = N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 \quad y = N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 \quad (4.10)$$

Buradan hareketle Jacobien Matrisi;

$$[J] = \begin{bmatrix} x_{13} & y_{13} \\ x_{23} & y_{23} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

şeklinde bulunur. Jacobien matrisinin determinanı ise

$$\det[J] = x_{13}y_{23} - x_{23}y_{13} \quad (4.12)$$

şeklinde dir. Gerekli düzenlemelerin ardından şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi;

$$\varepsilon = \frac{1}{\det J} \left\{ \begin{array}{l} y_{23}q_1 + y_{31}q_3 + y_{12}q_5 \\ x_{32}q_2 + x_{13}q_4 + x_{21}q_6 \\ x_{32}q_1 + y_{23}q_2 + x_{13}q_3 \quad + y_{31}q_4 + x_{21}q_5 + y_{12}q_6 \end{array} \right\} \quad (4.13)$$

elde edilir. Matris formunda ise,

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\} \quad (4.14)$$

yazılabilir. Burada $[B]$; üç adet şekil değiştirme, altı adet düğüm yer değiştirmeleri ile ilişkisini belirleyen (3×6) 'lık eleman şekil değiştirme-deplasman matrisi olup

$$[B] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} y_{23} & 0 & y_{31} & 0 & y_{12} & 0 \\ 0 & x_{32} & 0 & x_{13} & 0 & x_{21} \\ x_{32} & y_{23} & x_{13} & y_{31} & x_{21} & y_{12} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

şeklinde elde edilir. Görüldüğü gibi $[B]$ matrisinin bütün elemanları düğüm koordinatlarından elde edilen sabit terimlerdir.

Ayrıca elemana ait rijitlik matrisi;

$$[k]_e = t_e A_e [B]^T [D] [B] \quad (4.16)$$

dir. Buradan genel rijitlik matrisine iç virtüel işlerin toplanmasıyla

$$\begin{aligned} \sum_e \int \{\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon(\phi)\} t_e dA &= \sum_e \{q\}^T [k]_e \{\Psi\} \\ &= \sum_e \{\Psi\}^T [k]_e \{q\} \\ &= \{\Psi\}^T [K] \{Q\} \end{aligned} \quad (4.17)$$

şeklinde bir geçiş yapılabilir.

Kuvvet ifadeleri, dış virtüel iş terimleri kullanılarak elde edilir. Burada deplasmanları ifade eden $\{u\}$ yerine $\{\phi\}$ kullanılmaktadır,

$$\int_e \{\phi\}^T \{f\} t dA = \{\Psi\}^T \{f\}_e \quad (4.18)$$

Varyasyonel formüldeki terimler,

$$\text{İç Virtüel İş: } \{\Psi\}^T [K] \{Q\} \quad (4.19a)$$

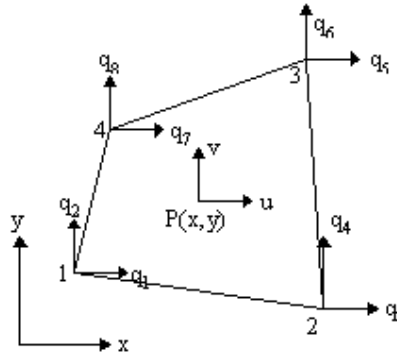
$$\text{Dış Virtüel İş: } \{\Psi\}^T \{F\} \quad (4.19b)$$

Şeklinde tüm sistem için elde edilir. Uygun bir deplasman fonksiyonu seçimi ile sınır şartlarının uygulanmasından

$$[K] \{Q\} = \{F\} \quad (4.20)$$

sonucuna ulaşılır.

4.2.2 Dörtgen Elemanlar



Şekil 4.7 Dört düğümlü dörtgen eleman

Genel formülasyonları benzer şekilde üçgen elemanlarda gösterildiği gibidir. Düğüm deplasmanları vektörü, $\{q\} = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8]^T$ dir. Eleman içindeki P noktasının deplasmanları ise, $\{u\} = [u(x, y), v(x, y)]^T$ şeklindedir.

$$1. \text{ düğümde } N_1=1, \quad 2, 3 \text{ ve } 4. \text{ Düğümde, } N_1=0 \quad (4.21)$$

olarak kısaca gösterilebilir. Buna göre, N_1 , $r=1$ ve $s=1$ kenarları boyunca sıfır olmak zorundadır.

$$N_I = c(1-r)(1-s) \quad (4.22)$$

Buradan hareketle şekil fonksiyonları bulunacak olursa;

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) \quad (4.23)$$

Diğer düğümler için de şekil fonksiyonları aynen benzer yoldan

$$N_2 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s), \quad N_3 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s), \quad N_4 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \text{ olarak bulunur}$$

Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi ise;

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (4.24)$$

Burada [A],

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

dir. Bu durumda;

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} = [G]\{q\} \quad (4.26)$$

yazılabilir ki burada [G],

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) & 0 \\ -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) & 0 \\ 0 & -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) \\ 0 & -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) \end{vmatrix} \quad (4.27)$$

şeklinde elde edilir. Şekil değiştirme ve yer değiştirmeler matris formunda $\{\varepsilon\} = [B]\{q\}$ olarak

verildiğinden $[B]=[A]/[G]$ olarak elde edilir. Diğer taraftan $\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\}$ olduğundan eleman içindeki gerilmeler,

$$\{\sigma\}=[D][B]\{q\} \quad (4.28)$$

olur. En genel halde sonlu elemanlar formülasyonları özetlendiği gibidir. TOPÇU M. ve diğerleri tarafından hazırlanan “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu” adlı kitapta Sonlu Elemanlar Yöntemine ait denklemler detaylıca verilmiştir.

5. GEMİ YAPISI SONLU ELEMANLAR AĞININ OLUŞTURULMASI

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemine sonuç elde etmek için uygulanabilecek sayısal bir işlemdir. Kararlı rejimli, değişken rejimli, lineer, lineer olmayan durumlar için gerilim (stress) analizi, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektromanyetizma problemlerinin analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilir. Modern sonlu elemanlar yönteminin izleri 1900'lü yılların başına kadar sürülebilir.

Sonlu Elemanlar Yönteminde (Finite Elements Method (FEM)); modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanırlar. Bu noktalara ise düğüm (node) adı verilir.

Sonlu elemanlara ayırma işlemi MSC.SOFY programı 2005 R1 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. MSC.SOFY programı dışarıdan Parasolid, UG part, IGES uzantılarında hazırlanmış model dosyalarını rahatlıkla alabilmekte ve MSC.NASTRAN programına doğrudan sonlu eleman ağı verebilmektedir. Sonlu elemanlara ayırma işleminin bu tarz bir program yardımıyla yapılması eleman kontrolünü artırmakta ve kaliteli daha düzgün sonlu eleman ağı üretimini sağlamaktadır. Tüm bu avantajları ve MSC.NASTRAN programına doğrudan input dosyası vermesi nedeniyle MSC.SOFY programı bu çalışmada kullanılmıştır.

Aynen CAD modelinin hazırlanmasında olduğu gibi sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında da modelimiz sırasıyla alt montajlar halinde programa alınmış ve sonlu elemanlara ayrılmıştır. Öncelikle burun yapısı ve sonrasında sırasıyla orta gövde ambar yapısı, gemi kış bölgesi ve üst bina sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.

5.1 Gemi Burun ve Bulb Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

CAD modelin oluşturulması işlemi sırasında olduğu gibi sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında da her bir alt montaj kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Alt montajları oluşturan parçalar MSC. SOFY programı içerisine parasolid .xt veya .xmt uzantısıyla alınmıştır.

SolidWorks 2007 programı yardımıyla oluşturulmuş olan sonlu elemanlara ayırmaya hazır CAD modeli, görev ve tanımları aynı olan elemanlar kendi içerisinde gruplandırılarak parasolid formatında kaydedilmiştir. Parasolid dosyaları sırasıyla MSC.SOFY programı içerisine alınarak verilen eleman boyutu değerlerine karşılık modellenmiştir ve kaydedildikten sonra bir sonraki parça dosyasına geçilmiştir. Örnek olarak; gemi burnunun alt kısmında bulunan boyuna elemanların sonlu elemanlara ayrılması işlemini inceleyelim.

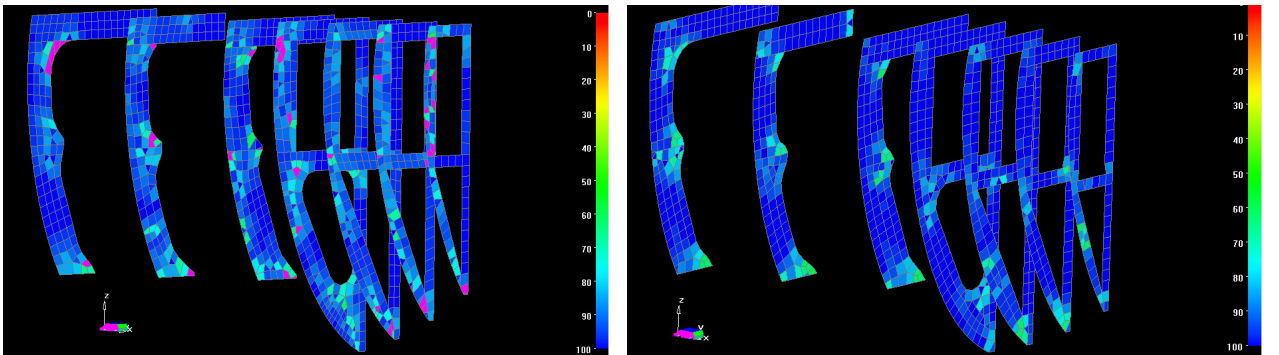
Öncelikle, sonlu elemanlara ayırmaya hazır CAD modeli oluşturulmuş, üzerinde tüm split ve

extend işlemleri yapılmış olan model parasolid olarak MSC. SOFY programı içerisine alınır.



Şekil 5.1 Parasolid parçaların MSC. SOFY programı içerisindeki görünüşü

Şekil 5.1’de Parasolid parçaların MSC.SOFY programı içerisindeki görünüşü verilmiştir. Uygun eleman boyutu belirlenerek parça üzerinde sonlu elemanlara ayırma işlemine geçilir. Bu parça için belirlenen eleman boyutu 100’mm dir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi, mümkün olduğunca belirlenen eleman boyutuna sadık kalınarak gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında, genellikle 4 düğüm noktalı Quad4 elemanların yanı sıra azda olsa 3 düğüm noktalı Tria3 elemanlarda kullanılmıştır. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sonunda, oluşturulan elemanların kalitesi son derece önemlidir. Bozuk elemanlar çözüm işlemine geçildiğinde problem oluşturacağından MSC. SOFY programı içerisinde elemanların kalitesine bakılmak zorundadır. Aksi takdirde çözücü programımız çözüm sonucu vermeyecektir veya eleman bozukluğundan dolayı gerçek değerlerden uzaklaşacaktır.



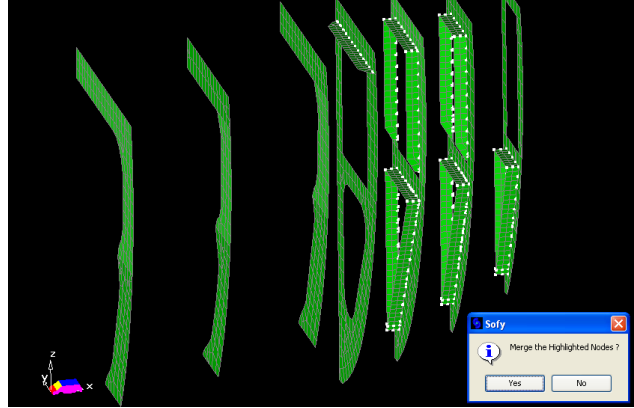
Şekil 5.2 Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra elemanların kalite durumu

Sonlu elemanlara ayırma işlemi sonunda eleman kalitesine bakılır. Şekil5.2’de pembe renkte olan elemanlar bozuk elemanları ifade etmektedir. Bozuk elemanların iyileştirilmesi gerekir. Bunun için “Enhance Quality” işlemi ile iyileştirmeleri programa otomatik yaptırmanın yanı sıra, bozuk elemanların split edilmesi bir diğer yöntemdir. Tüm elemanların iyileştirmelerinin

yapılmasının ardından havada kalan ve bir yere bağlı olmayan nodların temizlenmesi işlemi yapılır. Son olarak tekrar eleman kalitesine bakılır ve sonlu elemanlara ayrılan parça daha sonra montaj ortamına alınmak üzere kaydedilir. MSC. SOFY programının kendi dosya uzantısı .sof veya .sofy'dir.

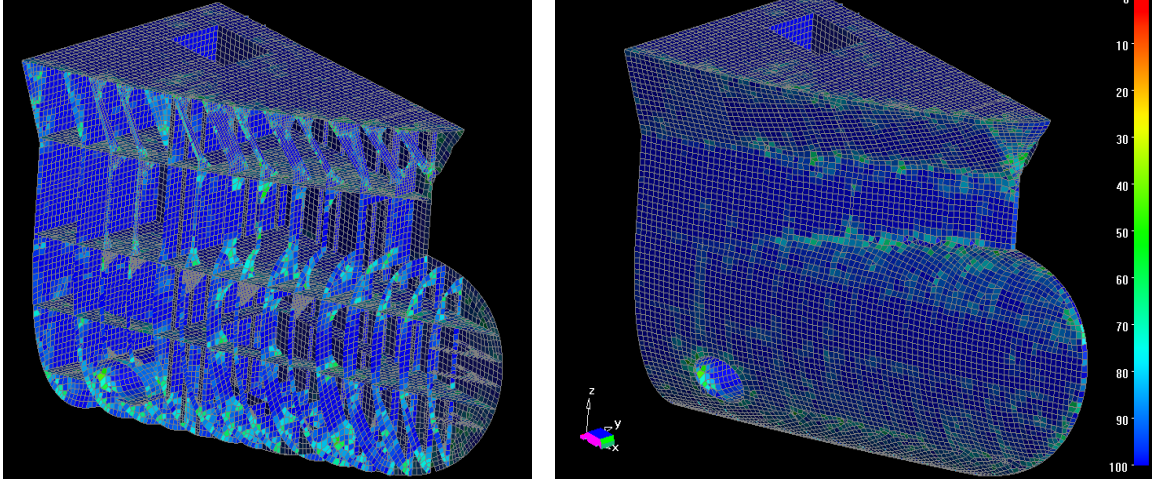
Benzer şekilde, burun yapısını oluşturan herbir parça grubu sonlu elemanlara ayrılır. Ardından eleman kalitelerine bakılarak ağ düzgünlüğü sağlanır. Bütün sonlu eleman dosyaları kısaca .sof dosyaları, ayrı ayrı kaydedilir ve herbir parçanın sonlu elemanlar ağı istisnasız aynı düzende oluşturulur. Burun yapısı sonlu eleman modelinin tamamlanması için, ayrı ayrı modellenen tüm parçaların bir araya getirilmesi işlemine geçilir.

CAD modelin hazırlanmasında olduğu gibi sonlu elemanlar ağının oluşturulması işleminde de parçalar sırasıyla sonlu elemanlara ayrıldıktan sonra bir montaj dosyası içerisinde bir araya getirilmelidirler. Bunun için yeni bir MSC.SOFY dosyası açılır ve sonlu eleman işlemleri tamamlanmış olan parçalar sırayla bu dosya içerisine alınır. Alınan her parçanın birbiri ile dokunan ve üst üste olan nodları dikilir. Bu işlem için "Merge Coincident Nodes" komutu kullanılır.



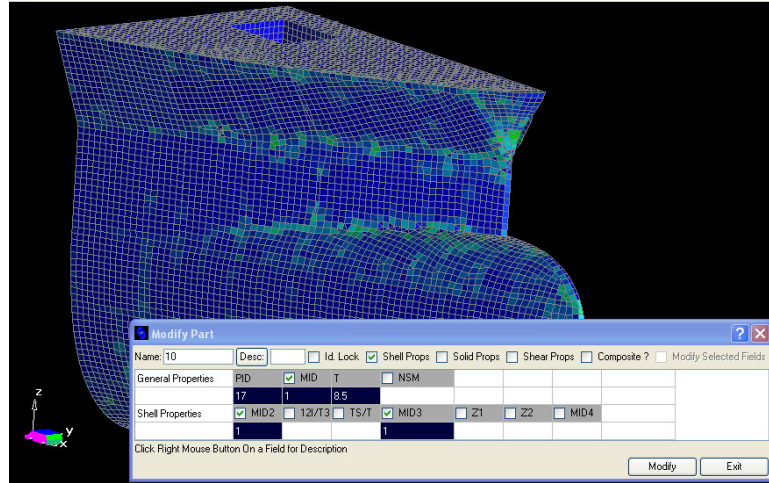
Şekil 5.3 MSC. SOFY montaj ortamında parçaların birbiri ile dikilmesi işlemi

Şekil 5.3'te parçaların MSC.SOFY programı içerisindeki dikim işlemleri görülmektedir. Her dikim işlemi sonunda, bir sonraki parçayı çağırılmadan önce, toplam eleman kalitesine bakılır. Eğer eleman kalitesi yeter seviyede ise bir sonraki parçanın çağırılması işlemine geçilir. Burada izlenmesi gereken adım sırası; içerideki parçalardan başlayarak dışarıdakilere doğru ilerlemek olmalıdır. Kısacası; içerideki parçaların dikim işlemleri yapıldıktan sonra en dıştaki kabuk elemanı montaj içerisine çağrılmalıdır. Aksi halde parçaları tam olarak göremeyeceğimiz için sağlıklı bir dikim işlemi gerçekleştirmemiz zorlaşacaktır. Şekil 5.4'te burun yapısı sonlu elemanlar modeli görülmektedir.



Şekil 5.4 MSC. SOFY montaj ortamında parçaların birbiri ile dikilmesi işlemi

Şekil 5.5'te her bir parçanın et kalınlıkları ve malzeme ID'leri MSC.SOFY parçası içerisinde verildiği görülmektedir. Böylece MSC. PATRAN içerisinde sadece tek bir malzeme tanımı yapmak yeterli olacaktır.



Şekil 5.5 Parçaların et kalınlıkları ve malzeme ID'lerinin verilmesi

Tüm bu işlemlerin tamamlanması ve et kalınlıkları ile malzeme tanımının yapılmasının ardından, burun yapısı sonlu eleman modeli elde edilmiş olur. Burun yapısı için toplamda yaklaşık olarak 44.000 Quad4 ve Tria3 elemanlar kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Burun yapısı için eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	44864	
Parts	=	38	
Shell	Elements =	44067	100.0%
CQUAD4	Elements =	42390	96.2%
CTRIA3	Elements =	1677	3.8%
Elements	=	44067	
BCSets	=	0	
ConnGroups	=	0	
Statistics For Other Entities in Current Model			

5.2 Orta Gövde veya Ambar Bölümü Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

Orta gövde yapısı paralel olarak düzgün bir şekilde ilerlediğinden dolayı, gerek CAD modelin oluşturulması ve gerekse sonlu elemanlar modelinin oluşturulması sırasında, aynı görev ve tanımda olan parçalar rahatlıkla sınıflandırılabilmişlerdir. Bu parçalar sırayla parasolid olarak MSC. SOFY programına aktarılmışlardır ve ardından sonlu eleman modelinin oluşturulması işlemine geçilmiştir.

Uygun eleman boyutu belirlendikten sonra, parçalara sonlu elemanlara ayırma işlemi uygulanmıştır. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması işlemi sırasında, çoğunlukla Quad 4 adını verdiğimiz 4 düğüm noktalı elemanlar kullanılmasının yanı sıra, program gerekli yerlerde Tria3 adını verdiğimiz üçgen elemanlarda kullanmıştır. Her bir parçanın sonlu elemanlara ayrılmasının ardından, eleman kalitesi kontrol edilerek bozuk elemanların yapı içerisinde kalmaması sağlanmıştır. Tüm parçalara bu işlemler uygulandıktan sonra, sonlu eleman montaj yapısı oluşturulması işlemine geçilmiştir.

Sonlu elemanlara ayırma işlemi tamamlanmış olan parçalar, sırayla montaj ortamına aktararak birbirleri ile temasta olan elemanların dikilmesi işlemine geçilmiştir. Parçaların birbiri ile temasta olan nodları yeter toleranslarla dikilmişlerdir. Bu sırada oluşan bozuk elemanlar yine otomatik olarak program yardımıyla veya split işlemleri sayesinde iyileştirilmişlerdir. Tüm parçaların birbiri ile düzgün bir şekilde dikilmelerinden sonra global olarak eleman kalitesine bakılmıştır. Nihayetinde bozuk elemanların kalmadığından emin olunarak Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi MSC. SOFY programı içerisinde parçalara et kalınlığı ve malzeme ID'si verme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2 Orta gövde ambar yapısı için eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	443594	
Parts	=	28	

Shell	Elements =	430716	100.0%
CQUAD4	Elements =	421842	97.9%
CTRIA3	Elements =	8874	2.1%

Elements	=	430716	

BCSets	=	0	

ConnGroups	=	0	

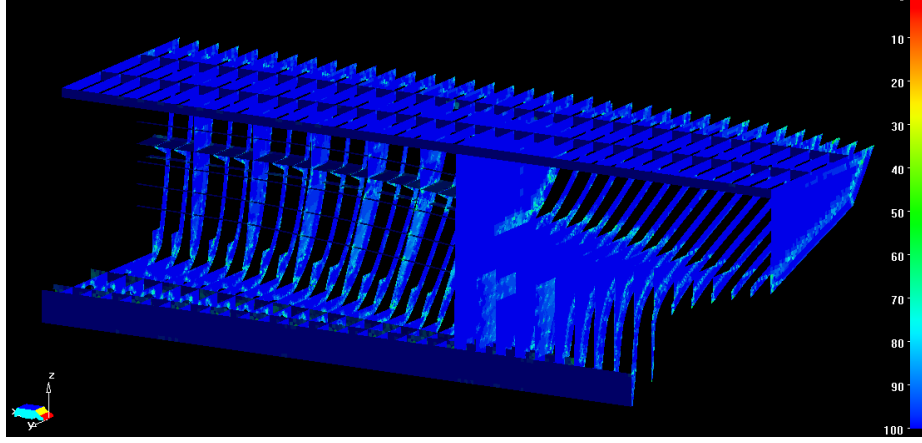
Statistics For Other Entities in Current Model			

Çizelge 5.2’de gövde yapısı oluşturulurken toplamda 430716 eleman kullanıldığı görülmektedir. Bu elemanların büyük çoğunluğu Quad4 adı verilen dört düğüm noktalı elemanlardır. Bunun yanı sıra Tria3 elemanlarda kullanılmıştır.

5.3 Gemi Kıç Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

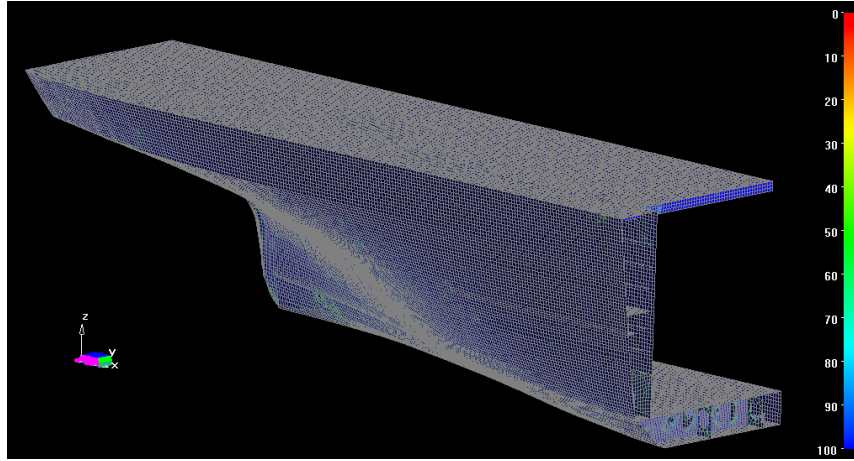
Gemi kıç yapısı, hem modelleme açısından hem de sonlu elemanlara ayırma işlemi açısından zor bir yapı olmakla birlikte; diğer montajlarda takip edilen yol kıç yapısı içinde geçerlidir. Kıç yapısını oluşturan elemanlar görev ve işlev açısından gruplandırılmış ve MSC. SOFY programı içerisine alınmıştır. Uygun eleman boyutu belirlenerek sonlu elemanlara ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında Quad 4 adını verdiğimiz elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca yer yer Tria3 adını verdiğimiz üçgen elemanlarda kullanılmıştır. Her bir parça üzerinde sonlu elemanlara ayırma işlemi sonrası, eleman kalitesi kontrol edilerek bozuk elemanlar iyileştirilmişlerdir. Tüm parçalara bu işlemler uygulandıktan sonra sonlu elemanlar montaj yapısı oluşturulması işlemine geçilmiştir.

Sonlu elemanlara ayırma işlemi tamamlanmış olan parçalar sırayla montaj ortamına aktararak temasta olan nodların dikilmesi işlemine geçilmiştir. Parçaların birbiri ile temasta olan nodları yeterli toleranslarla dikilmişlerdir. Bu sırada oluşabilecek bozuk elemanlara karşılık eleman kalite kontrolü sürekli yapılmıştır. Tüm parçaların birbiri ile düzgün bir şekilde dikilmeleri işleminden sonra, gemi kıç yapısı sonlu eleman modeli elde edilmiştir. Son olarak yapı bünyesinde hiçbir bozuk elemanın kalmadığından emin olunmuş ve MSC. SOFY programı içerisinde parçalara et kalınlığı ile malzeme ID’si verme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9 Sonlu elemanlara ayrılmış kık yapısı taşıyıcı elemanları görünüşü

Şekil 5.9'da Sonlu elemanlara ayrılmış kık yapısı taşıyıcı elemanları görülmektedir.



Şekil 5.10 Gemi kık yapısı sonlu elemanlar nihai modeli

Şekil 5.10'da gemi kık yapısı sonlu elemanlar nihai modeli görülmektedir.

Çizelge 5.3 Gemi kık yapısı için eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	180651	
Parts	=	23	

Shell	Elements =	182131	100.0%
CQUAD4	Elements =	178493	98.0%
CTRIA3	Elements =	3638	2.0%

Elements	=	182131	

BCSets	=	0	

ConnGroups	=	0	

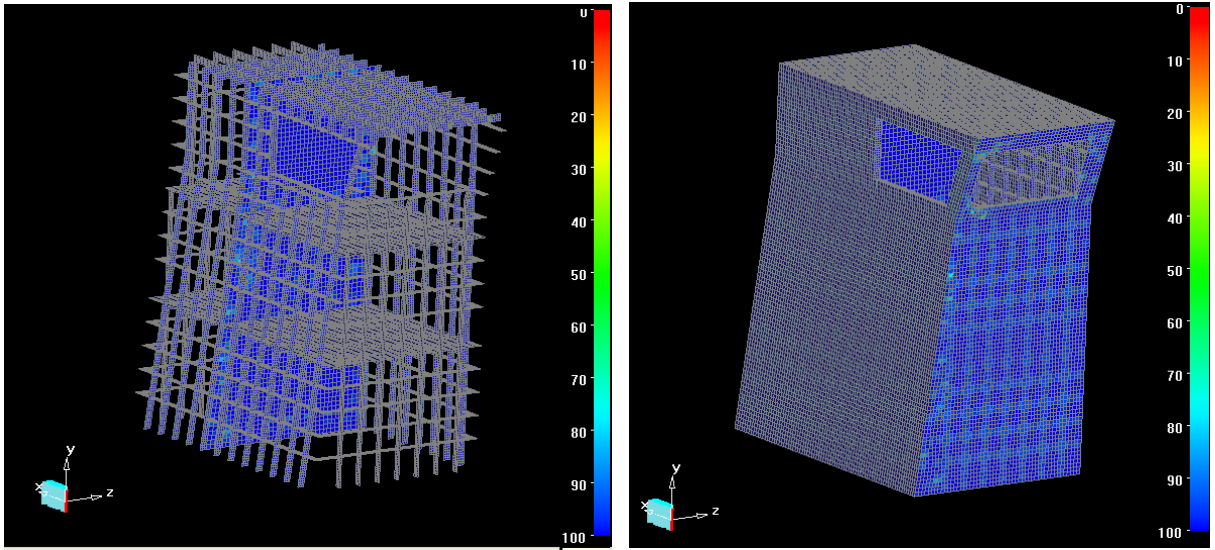
Statistics For Other Entities in Current Model			

Çizelge 5.3'ten görüldüğü üzere toplamda yaklaşık olarak; 182.131 elemanla kık yapısı sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.

5.4 Güverte Binası (Kaptan Köşkü) Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

Güverte binası ya da diğer bir deyişle üst bina sonlu elemanlar modelinin oluşturulması işlemi yine benzer olarak elemanların uygun şekilde sınıflandırılması ile başlayarak montaj yapının elde edilmesine kadar uzanır.

Güverte binasını oluşturan parçalar sırasıyla MSC. SOFY programı içerisine alınmış ve uygun eleman boyutlarına karşılık sonlu elemanlar sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Çoğunluğunu Quad4 elemanların oluşturduğu bu yapıda, eleman kalitesi kontrolleri her bir adım için gerçekleştirilerek bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Sonrasında sırasıyla; montaj ortamına alınan bu parçalar temasta oldukları her bir elemanın nodları ile uygun toleranslarda dikilmişlerdir. Birbirleri ile dikilen parçalar üzerinde bozuk elemanların kalmadığından emin olunduktan sonra diğer parçaların bu montaj ortamına alınmaları işlemine devam edilmiştir. Tüm parçaların montaj ortamına alınması ve dikim işlemlerini takiben güverte binası yapısı nihai sonlu eleman modeli elde edilmiştir. Son olarak yapı bünyesinde hiçbir bozuk elemanın kalmadığından emin olunmuş ve MSC. SOFY programı içerisinde parçalara et kalınlığı ile malzeme ID'si verme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.11 Güverte binası sonlu elemanlar modeli

Şekil 5.11'de güverte binası sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, eleman kaliteleri yeter seviyede olup güverte binası sonlu eleman modeli tüm elemanları ile birlikte oluşturulmuştur. Çizelge 5.4'te belirtildiği gibi güverte binası üzerinde toplamda 83.110 adet eleman bulunmaktadır. Bu elemanların 83.023 kadarı Quad4, 87 adeti ise Tria3 elemanlardır.

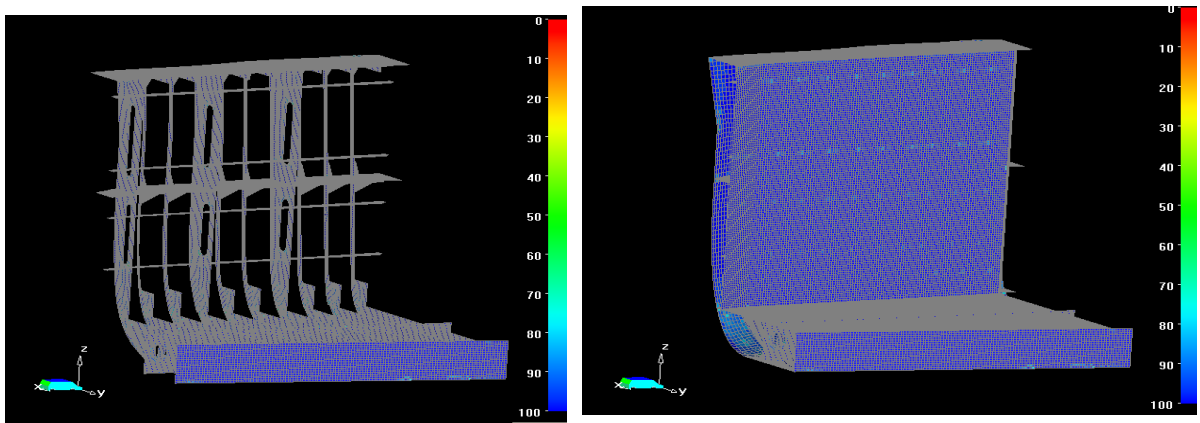
Çizelge 5.4 Güverte binası eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	87819	
Parts	=	25	
Shell	Elements =	83110	100.0%
CQUAD4	Elements =	83023	99.9%
CTRIA3	Elements =	87	0.1%
Elements	=	83110	
BCSets	=	0	
ConnGroups	=	0	
Statistics For Other Entities in Current Model			

5.5 Burun ile Orta Gövde Geçiş Yapısı Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

Burun ile orta gövde arasında kalan ve her iki yapının ortasında düzgün bir geçiş sağlamakla görevli bu bölümün sonlu eleman ağının oluşturulması işlemi, parçaların uygun bir şekilde gruplandırılıp parasolid olarak sonlu eleman programı içerisine alınmasıyla başlar.

Geçiş yapısını oluşturan parçalar sırasıyla, MSC. SOFY programı içerisine alınmış ve uygun eleman boyutlarına karşılık sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Quad4 elemanlar tercih edilmesine karşılık, azda olsa Tria3 elemanlar da kullanılmıştır. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında oluşturulan elemanların kalite kontrolleri her bir adım da gerçekleştirilerek bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Sırayla montaj ortamına alınan parçalar temasta oldukları her bir elemanın nodları ile uygun toleranslarda dikilmişlerdir. Birbirleri ile dikilmiş olan parçalar üzerinde bozuk elemanların kalmadığından emin olunduktan sonra diğer parçaların da montaj ortamına alınmaları sağlanmıştır. Tüm parçalar montaj ortamına alınarak birbirleri ile dikilip eleman kaliteleri kontrol edilmiştir. Böylece bu işlemler sonunda geçiş bölgesi sonlu eleman yapısı elde edilmiştir. Son olarak MSC. SOFY programı ile parçalara ait et kalınlığı ve malzeme ID'si verme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.12 Geçiş yapısı sonlu elemanlar modeli

Şekil 5.12’de geçiş yapısı sonlu elemanlar modeli detaylıca gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 Geçiş yapısı eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	94301	
Parts	=	11	
Shell	Elements =	92712	100.0%
CQUAD4	Elements =	91202	98.4%
CTRIA3	Elements =	1510	1.6%
Elements	=	92712	
BCSets	=	0	
ConnGroups	=	0	
Statistics For Other Entities in Current Model			

5.6 Gemi Yapısı Ana Montaj Sonlu Elemanlar Ağının Oluşturulması

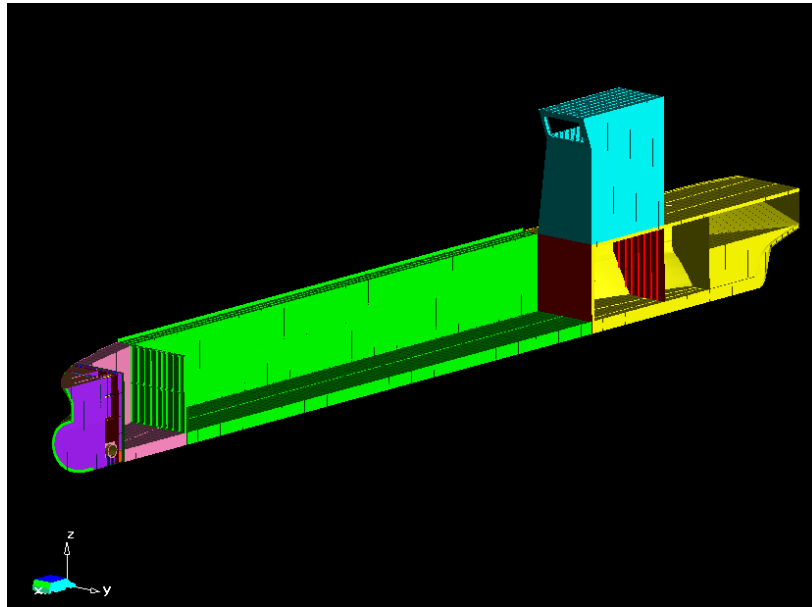
Buraya kadar yapılan tüm işlemler aslında, montaj sonlu eleman ağının oluşturulması için gerçekleştirilen basamaklardır. Asıl hedef; gemi yapımızın komple montaj sonlu eleman ağının oluşturulması işlemidir. Bunun için öncelikle gemi yapısı alt montajlara bölünerek 3D CAD modeli oluşturulmuştur. Gerekli uzatma, kesme gibi operasyonların ardından alt montajları oluşturan parçalar gruplandırılmak suretiyle sonlu elemanlara ayırma işleminin gerçekleştirileceği MSC. SOFY programına alınmıştır. Tüm parçalar üzerinde ayrı ayrı sonlu elemanlara ayırma işlemi gerçekleştirildikten sonra, alt montajların elde edilmesi için parçalar montaj ortamında bir araya getirilerek dikme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; birbirinden bağımsız 5 adet alt montaj sonlu eleman ağı elde edilmiştir. Artık sıra bu alt montajlarımızın bir araya getirilerek ana montaj sonlu eleman ağının oluşturulması işlemine gelmiştir.

Komple gemi yapısı montaj sonlu eleman ağının elde edilmesi işlemi için MSC.SOFY programı içerisinde yeni bir montaj ortamı oluşturulmuştur. Önceden sonlu eleman ağı oluşturulmuş olan burun yapısı, montaj ortamına alınmıştır. Ardından burun yapısı ile temasta bulunacak olan ambar yapısı ile geçiş yapısı montaj sonlu eleman ağı program içerisine alınmıştır. Sırasıyla geçiş yapısının tüm elemanları ile burun yapısı arasında temasta olanlar varsa dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Dikim işlemi sırasında düşük toleranslar yeterli olmuştur. Bunun nedeni; öncelikle 3D modelleme aşamasında tüm parça ve montajlarımız birbirleri ile referanslı oluşturulmuşlardır. Bu sayede montajlarımızın orijinleri aynı olmuştur ve montaj ortamında doğru yerlerine oturmuşlardır. Ayrıca boyut ve toleransları yeter seviyede olup birbirleri ile temas etmeleri sağlanmıştır. Bir diğer neden ise alt montajlarımızın sonlu elemanlara ayrılması işlemi sırasında, burundan başlayıp kış yapısına kadar uzanan

parçaların, aynı eleman boyutu kullanılmak suretiyle sonlu eleman yapısının oluşturulmasıdır. Tüm bu etkenler sayesinde komple modelin dikim işlemi sırasında düşük toleranslarla ve eleman kalitesini bozmadan ana montaj sonlu elemanlar montaj sonlu eleman ağına oluşturulmuştur.

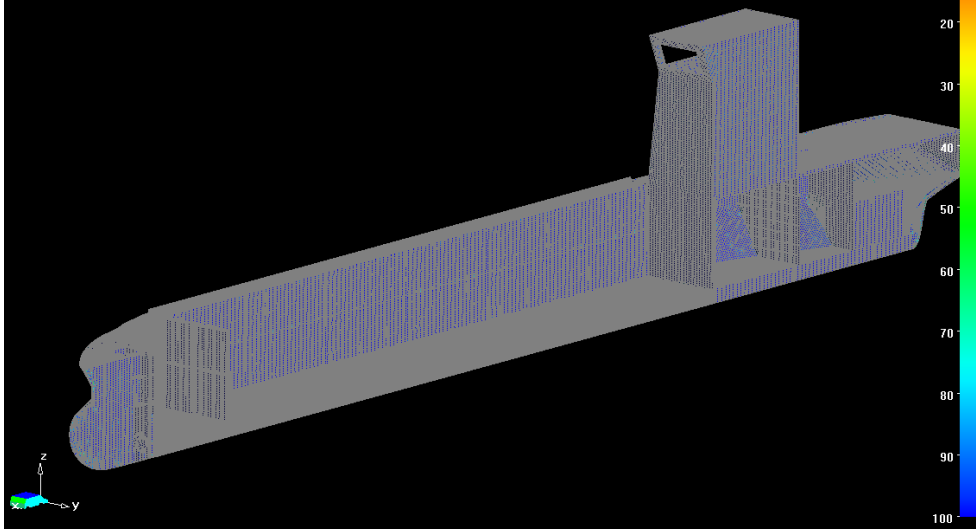
Burun ile geçiş bölgesi yapıları arasındaki tüm parçaların dikim işlemi gerçekleştirildikten sonra, elemanların kalite kontrol işlemleri yapılmıştır. Eleman kalite seviyeleri uygun değerlere getirilerek sırasıyla orta gövde yapısı montaj içerisine alınmıştır. Orta gövde yapısı için de benzer şekilde aynı işlemler yapılmıştır. Orta gövde yapısını oluşturan tüm parçalar montaj içerisine alınarak, geçiş bölgesi yapısına dikilmiştir ve kalite kontrol işlemleri yapılmıştır. Ardından gemi kıç yapısı ile orta gövde ambar yapısı arasındaki elemanların dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalite kontrol seviyeleri kontrol edilmiştir. Son olarak üst yapının yerini alması işlemine geçilmiştir. Bunun için üst yapı montaj içerisine aktarılmıştır.

Gemi üst yapısı sadece gemi kıç yapısı ile temas halindedir. Bu nedenle; görüntü üzerinde orta yapı, burun ve geçiş bölgesi sonlu eleman ağının bulunmasına ihtiyaç olmadığından bu yapılar yalnızca görüntüden kaldırılmışlardır. Böylece birbirine dokunan parçalar rahat bir şekilde görülebilecektir. Üst yapı ile kıç yapısı arasında gerekli olan tüm işlemler yerine getirilerek dikim işlemi yapılmıştır. Son olarak eleman kaliteleri kontrol edilmiştir.



Şekil 5.13 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı alt montajların görünüşü

Şekil 5.13'te yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı alt montajların görünüşü verilmiştir. Her bir renk bir alt montajı ifade etmektedir.



Şekil 5.14 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı

Sonuç olarak eleman kaliteleri düzgün yarı simetrik model için sonlu elemanlar sonlu eleman ağımız Şekil 5.14'te görüldüğü şekilde elde edilmiştir. Çizelge 5.5'te yapıda toplamda 128 part yani parça ve 841488 eleman bulunduğu gösterilmiştir. Bu elemanların %98.1'i 4 düğüm noktalı Quad4 elemanları olup sadece %1.9'u 3 düğüm noktalı Tria3 elemanlardır.

Çizelge 5.5 Geçiş yapısı eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities =	858574	
Parts	=	128	

Shell	Elements =	841488	100.0%
CQUAD4	Elements =	825543	98.1%
CTRIA3	Elements =	15945	1.9%

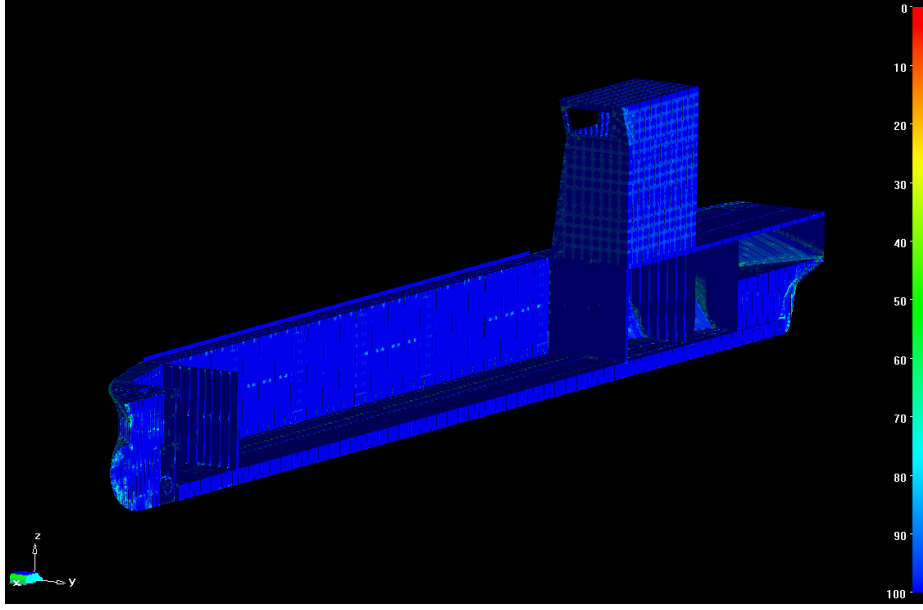
Elements	=	841488	

BCSets	=	0	

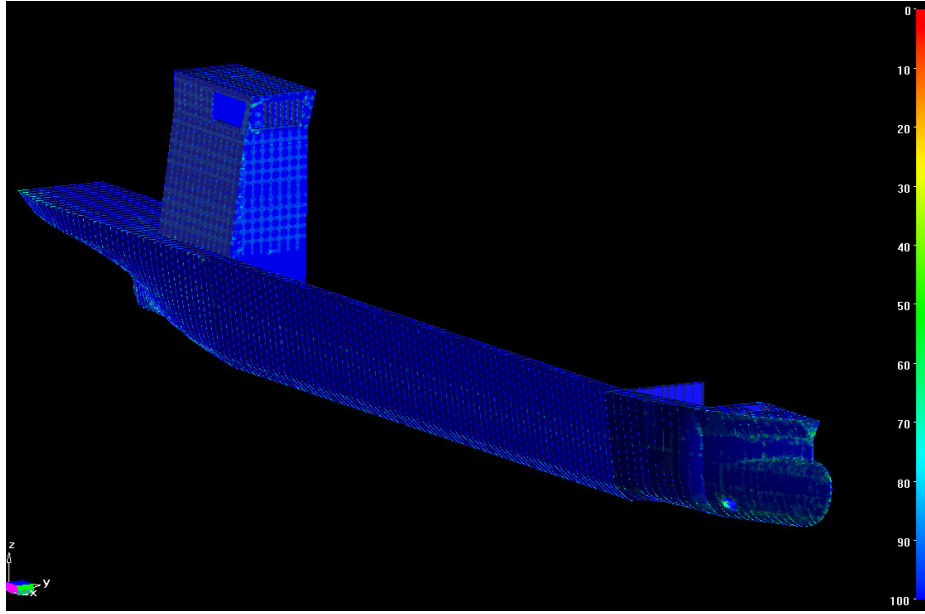
ConnGroups	=	0	

Statistics For Other Entities in Current Model			

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da yarı simetrik model sonlu eleman ağı gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, eleman kaliteleri yeter seviyede olup, yarı simetrik gemi yapısı sonlu eleman modeli tüm elemanları ile birlikte oluşturulmuştur.



Şekil 5.15 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı



Şekil 5.16 Yarı simetrik model sonlu elemanlar yapısı

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da görülen yarı simetrik modelin oluşturulmasının ardından tüm parçaların et kalınlıkları kontrol edilmiştir. Ayrıca varsa aynı parça adına sahip elemanların ID'leri düzeltilmiştir. Tüm bu işlemlerin ardından yarım gemi modeli için modal analiz yapılarak yapı üzerinde zayıf bölgenin ve birbirini tutmayan parçaların tayini amaçlanmıştır.

6. YARI SİMETRİK MODEL İÇİN DOĞAL FREKANS ANALİZİ

Yarı simetrik modelin frekans analizi; varsa birbirini tutmayan parçaların tayini ve gemi yapısı üzerinde zayıf kalan bölgelerin belirlenmesi için yapılmıştır. Frekans analizinden önce, kullanılan malzemenin fiziksel özelliklerinin MSC. PATRAN programı içerisine girilmesi gerekmektedir. Analizlerimiz sırasında kullanacağımız malzeme gemi inşa sanayinde yoğun olarak kullanılan St42 gemi imalat çeliğidir.

Kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri;

Malzeme Modeli : Lineer Elastik

Elastik Modülü : 210000 (Pa)

Poisson Oranı : 0.3

Yoğunluk : 7800E-12 (ton/mm³)

Property Name	Value
Elastic Modulus =	210000.
Poisson Ratio =	0.30000001
Shear Modulus =	
Density =	7800e-12
Thermal Expan. Coeff =	
Structural Damping Coeff =	
Reference Temperature =	

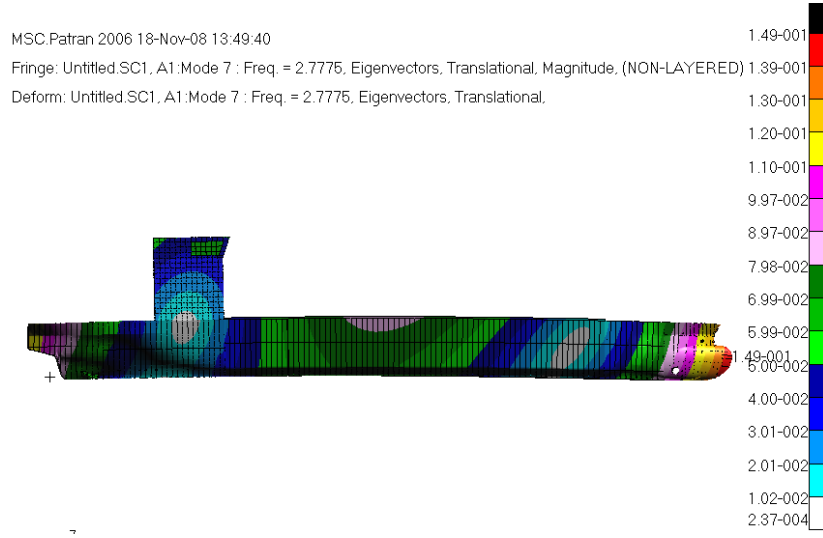
Temperature Dep./Model Variable Fields:

Current Constitutive Models:

Linear Elastic - [...] - [Active]

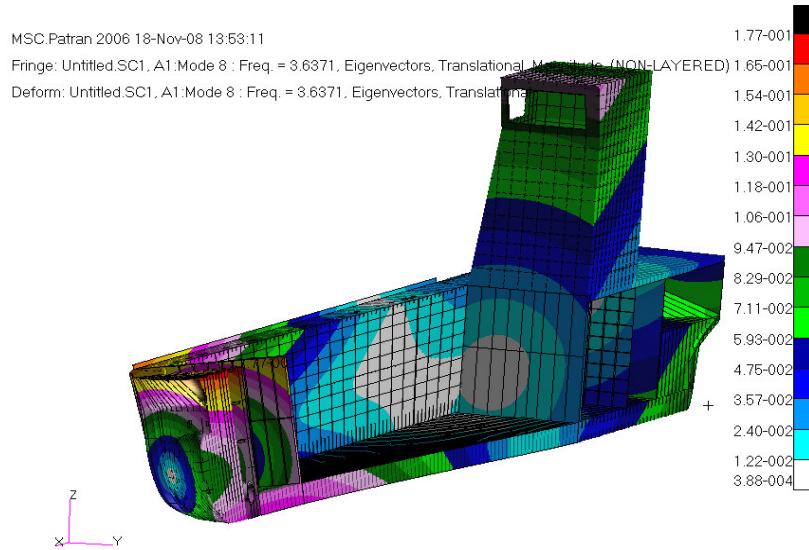
OK Clear Cancel

Analiz için gerekli olan tüm parametrelerin program içerisinde girilmesinin ardından model herhangi bir yerinden tutulmadan ve sınır şartı verilmeden modal analiz yaptırılmıştır. Çıkan sonuçlar görülmektedir.



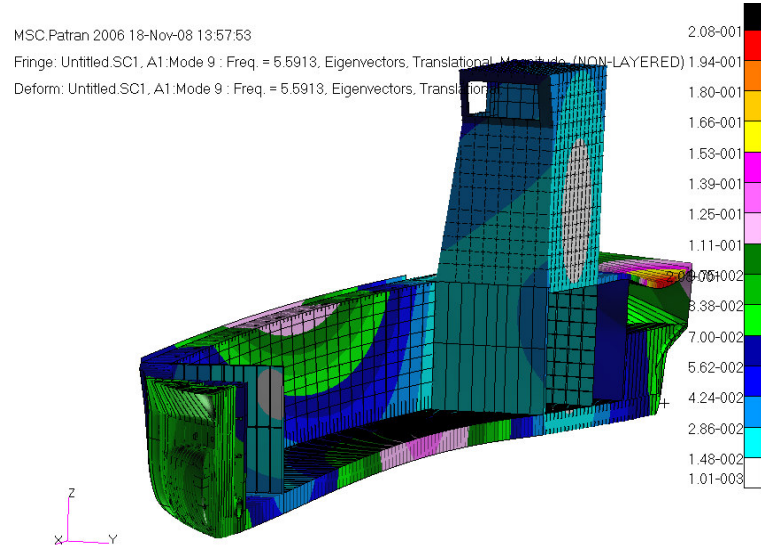
Şekil 6.1 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 1. modu

Şekil 6.1’de yarı simetrik model için doğal frekans analizi sonucu görülmektedir. Yarı simetrik model için doğal frekans analizi yapıldığında 1.mod 2.7775 Hz civarında eğilme modu olarak karşımıza çıkmaktadır.



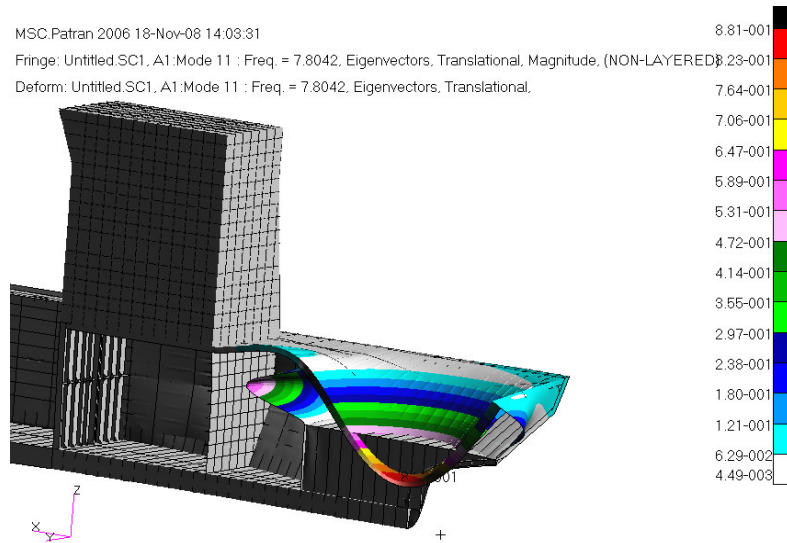
Şekil 6.2 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 2. modu

Şekil 6.2’de yarı simetrik model için doğal frekans analizi 2.mod sonucu görülmektedir. Yarı simetrik model için doğal frekans analizi yapıldığında 2.mod 3.6371 Hz civarında burulma modu olarak çıkmıştır.



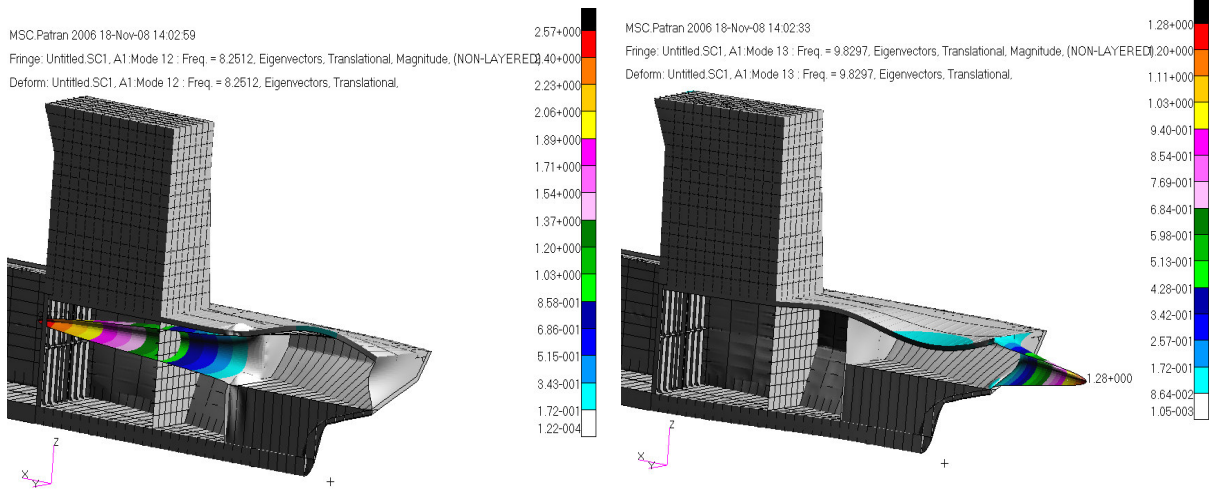
Şekil 6.3 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 3. modu

Şekil 6.3'te yarı simetrik model 3.modu görülmektedir. Yarı simetrik modelde 3.mod 5.5913 Hz civarında geminin yanal doğrultudaki hareketini göstermektedir. Bu mod ile de görüleceği üzere gemi 3. modundan itibaren kıç yapısının diğer bölgelere göre zayıf olduğu açığa çıkmaktadır.



Şekil 6.4 Yarı simetrik model doğal frekans analizi 5. modu

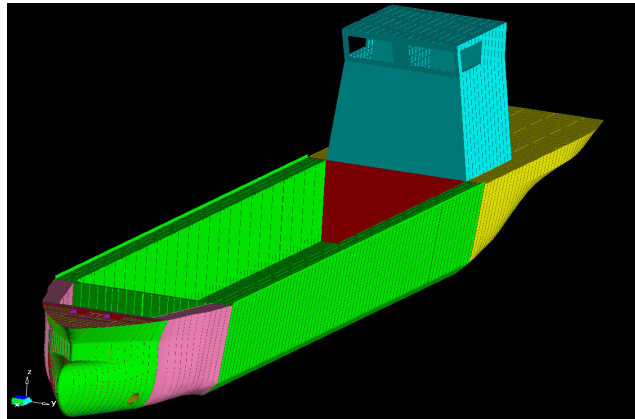
Şekil 6.4'te görüldüğü gibi gemi 5. modu 7.8042 Hz civarındadır ve bu mod ile artık kıç yapısının güçlendirilmesi gerekliliği açıkça gözükmemektedir. Gemi kıç yapısının güçlendirilmesi ile hem titreşim anlamında ve hem de yapısal anlamda gemi daha emniyetli bir hal alacaktır.



Şekil 6.5 Yarı simetrik model doğal frekans 6. ve 7. modları

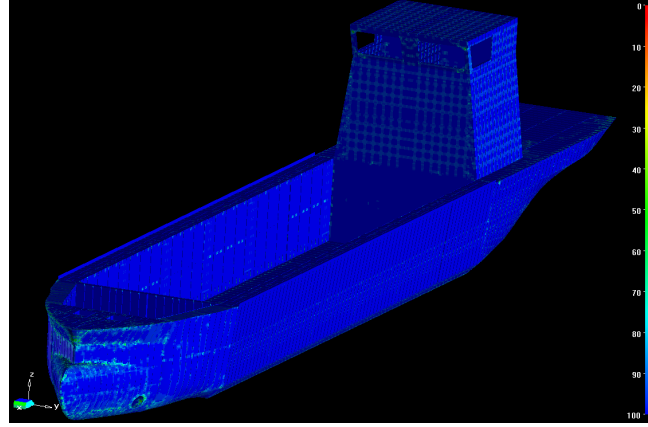
Şekil 6.5'te yarı simetrik model için doğal frekans 6. ve 7. modları görülmektedir. Gemi 6. modu 8.2512 Hz ve 7. mod ise 9.8297 Hz civarındadır. Analiz sonucunda elde edilen tüm bu şekillerden de görüldüğü üzere gemi kış bölgesindeki bulkhead sacı ile gemi kış borda saclarının her ikisi yapısal elemanlarla takviye edilmelidir. Bu sacların ikisi de oldukça büyük saclardır ve yeterli derecede desteklenmedikleri takdirde geminin lokal frekansları olarak karşımıza çıkacaklardır. Güçlendirme işlemi ile hem rezonans bölgesinden çıkılacak ve hem de yapısal anlamda daha emniyetli bir durum elde edilecektir.

Gemi kış yapısı üzerinde yeterli iyileştirmeler yapılmadan önce modelin diğer yarısının kopyalanmak suretiyle oluşturulması işlemine geçilmiştir. Bu işlem MSC.SOFY programı içerisinde yapılmıştır. Center line (CL) çizgisine göre simetrik olan gemi yapısı diğer yarısı kopyalanarak oluşturulmuştur. Gemi orta eksen çizgisi boyunca birbiri ile dikilmesi gereken nodların dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin ardından eleman kalitelerine bakılarak yapı içerisinde bozuk elemanların düzeltilmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.6 Gemi yapısı sonlu elemanlar ağını oluşturan montajlar

Şekil 6.6'da gemi yapısı sonlu elemanlar ağını oluşturan montajlar görülmektedir. Montaj üzerinde her bir renk ayrı bir alt montajı göstermektedir.



Şekil 6.7 Gemi yapısı sonlu elemanlar ağı

Şekil 6.7'de gemi yapısı sonlu elemanlar ağı görülmektedir. Eleman kaliteleri yeter seviyede olup montaj analize hazırdır.

Çizelge 6.1 Geçiş yapısı eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities = 1671195		
Parts	= 256		

Shell	Elements = 1639663	100.0%	
CQUAD4	Elements = 1607931		98.1%
CTRIA3	Elements = 31732		1.9%

Elements	= 1639663		

BCSets	= 0		

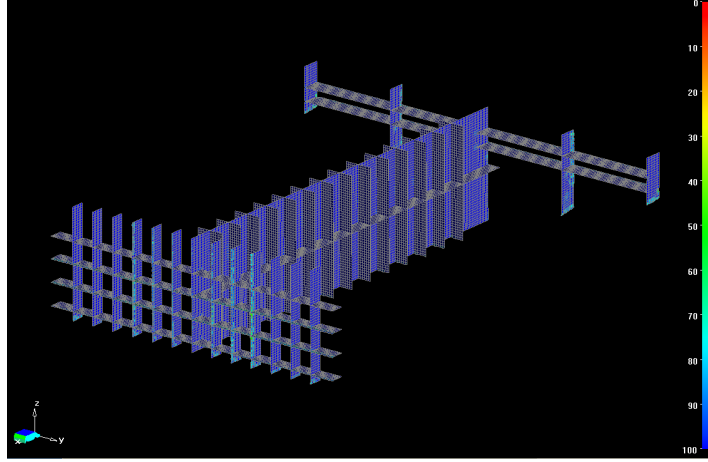
ConnGroups	= 0		

Statistics For Other Entities in Current Model			

Çizelge 6.1 ile komple gemi yapısı içerisinde 1639663 eleman bulunduğu ve bunların %98.1'ini Quad4 tipi dört düğüm noktalı dörtgen elemanlar olduğu anlaşılmaktadır. Yapı içerisinde 256 adet değişik tipte parça grubu bulunmaktadır.

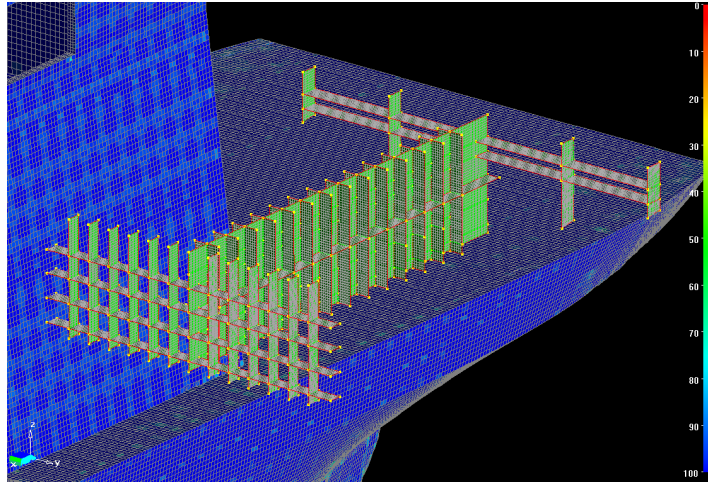
Sonuç olarak; elde edilen gemi modeli analizlerde kullanılacak olan nihai modelimiz olacaktır. Ancak daha önceden yarı simetrik model için yaptığımız frekans analizinde gemi kış yapısının güçlendirilmesine karar verilmişti. Bu doğrultuda gemi kış yapısı üzerindeki saclar boyuna ve enine postalar ile güçlendirilmiştir. Bu elemanların çizim işlemi yine Solidworks programı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan parçaların et kalınlıkları aynı olduğundan dolayı tüm parçalar tek seferde tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar ağı MSC. Sofy programı yardımıyla oluşturulduktan sonra elde edilen yapı, komple gemi yapısı içerisine

aktarılarak dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak; yapıda oluşan bozuk elemanlar düzeltilmiş ve nihai model elde edilmiştir.



Şekil 6.8 Gemi kıç yapısını güçlendirmek amacıyla oluşturulan elemanlar

Şekil 6.8’de gemi kıç yapısını güçlendirmek amacıyla tasarlanan ve CAD modeli hazırlandıktan sonra, sonlu elemanlar ağı oluşturulan yapı görülmektedir.



Şekil 6.9 Gemi kıç yapısı güçlendirilmesi

Şekil 6.9’da üzerinde frekans ve lineer statik analizlerimizi yapacağımız sonlu elemanlar modelimiz gösterilmiştir. Bu işlemlerden sonra yapı içerisinde 257 adet değişik grupta parça ve 1669676 eleman bulunmaktadır. Bu elemanların %98.1’i dört düğüm noktalı Quad4 elemanlardır.

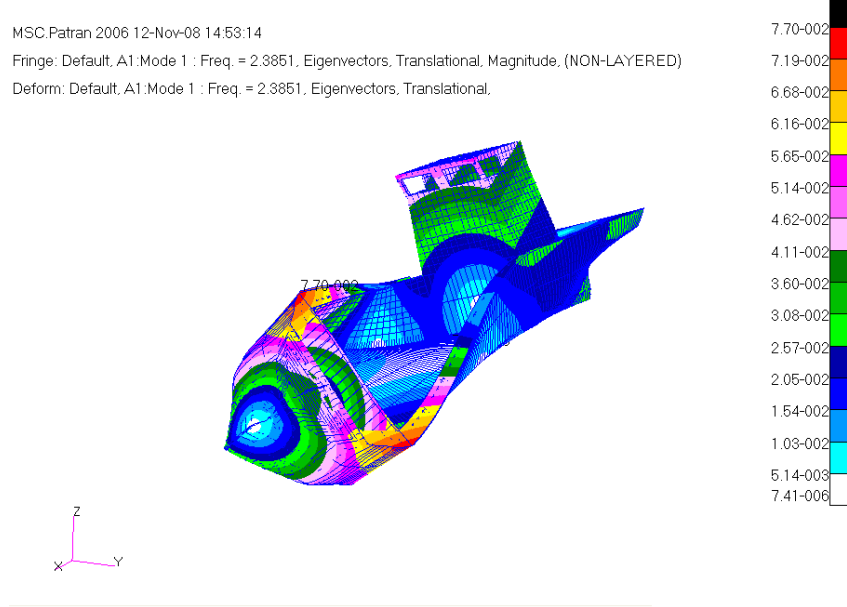
Çizelge 6.2 Geçiş yapısı eleman istatistiği

Statistics			
Statistics For Current Scene			
GRID	Entities = 1701533		
Parts	= 257		
Shell	Elements = 1669676	100.0%	
CQUAD4	Elements = 1637906		98.1%
CTRIA3	Elements = 31770		1.9%
Elements	= 1669676		
BCSets	= 0		
ConnGroups	= 0		
Statistics For Other Entities in Current Model			

Bu aşamadan sonra artık model oluşturulması işlemi sona ermiş olup, komple gemi yapısı için öncelikle doğal frekansların belirlenmesi amacıyla modal analiz yapılacak ve arkasından sakin su için yüklü ve yüksüz durumlarda lineer statik gerilme analizleri gerçekleştirilecektir.

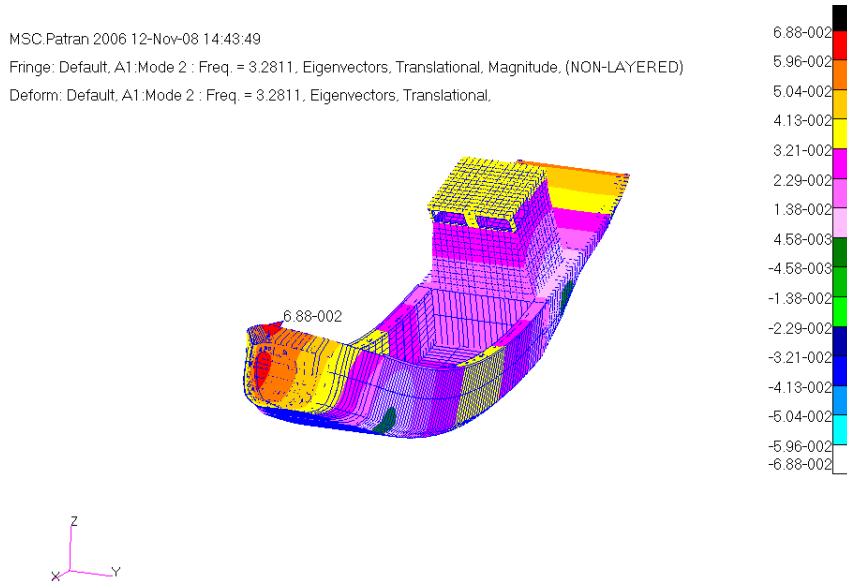
7. GEMİ YAPISI DOĞAL FREKANS ANALİZİ

Şekil 7.1'de verilen ilk doğal frekans geminin burulma frekansıdır. Gemi doğal frekansı 1.modu 2.3851 Hz civarındadır.



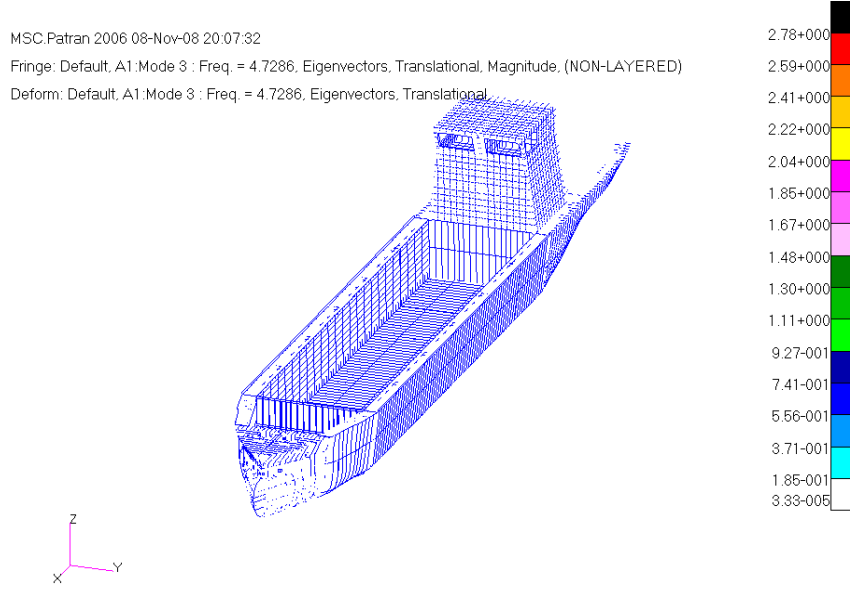
Şekil 7.1 Gemi yapısı doğal frekansı 1. modu

Şekil 7.2'de görülen ikinci doğal frekans geminin eğilme frekansıdır. Gemi doğal frekansı 2.modu 3.2811 Hz civarındadır.



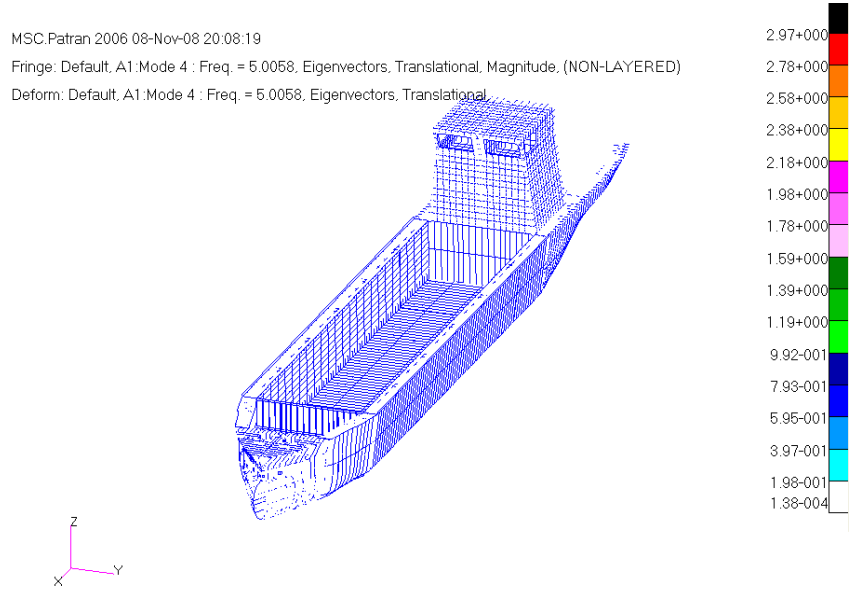
Şekil 7.2 Gemi yapısı doğal frekansı 2. modu

Üçüncü frekans geminin lokal frekansıdır ve Şekil 7.3'te gösterilmiştir. 1.lokal frekans geminin 3.modunda 4.7286 Hz civarında çıkmıştır.



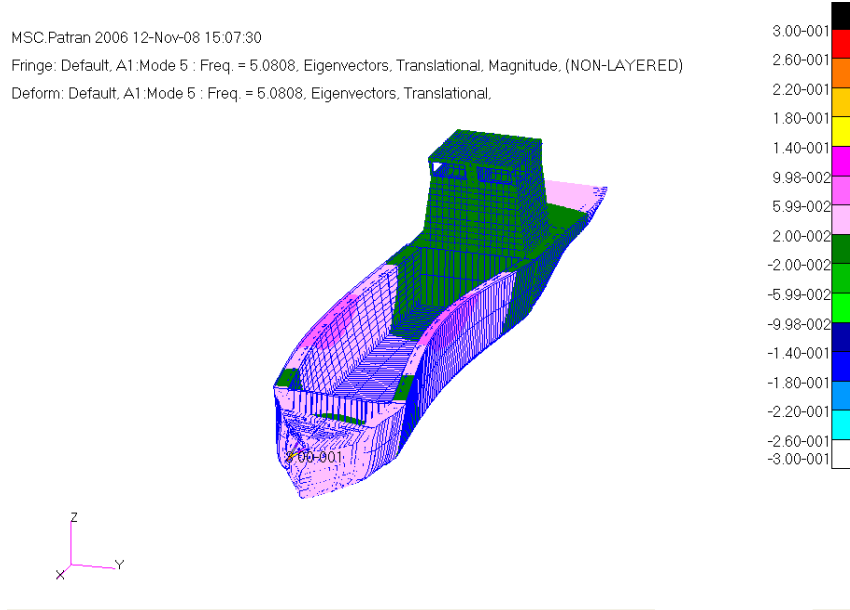
Şekil 7.3 Gemi yapısı doğal frekansı 3. modu

Şekil 7.4'te görülen dördüncü frekans yine geminin lokal frekansıdır. 2.lokal frekans geminin 4.modunda 5.0058 Hz civarında çıkmıştır.



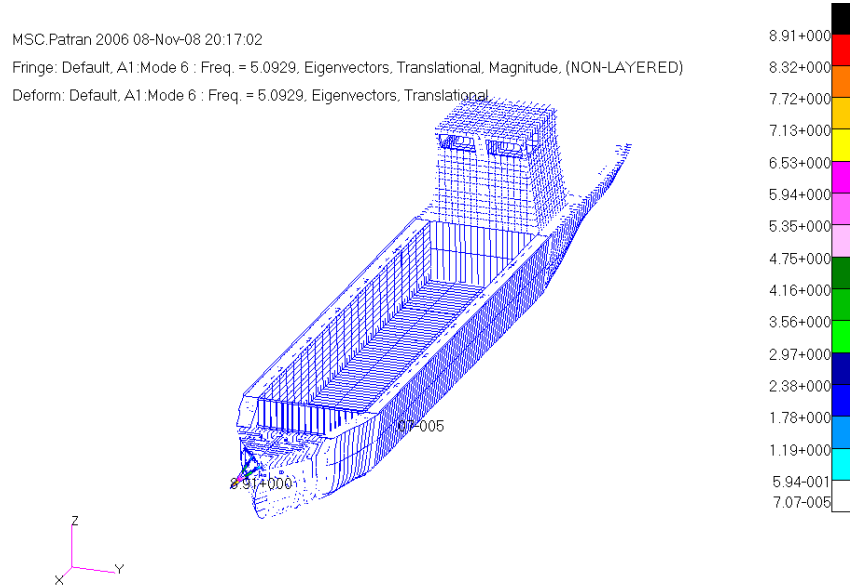
Şekil 7.4 Gemi yapısı doğal frekansı 4. modu

Beşinci doğal frekans geminin yalpa frekansıdır. Şekil 7.5'ten gemi doğal frekansı 5.modu 5.0808 Hz civarında olduğu anlaşılmaktadır.



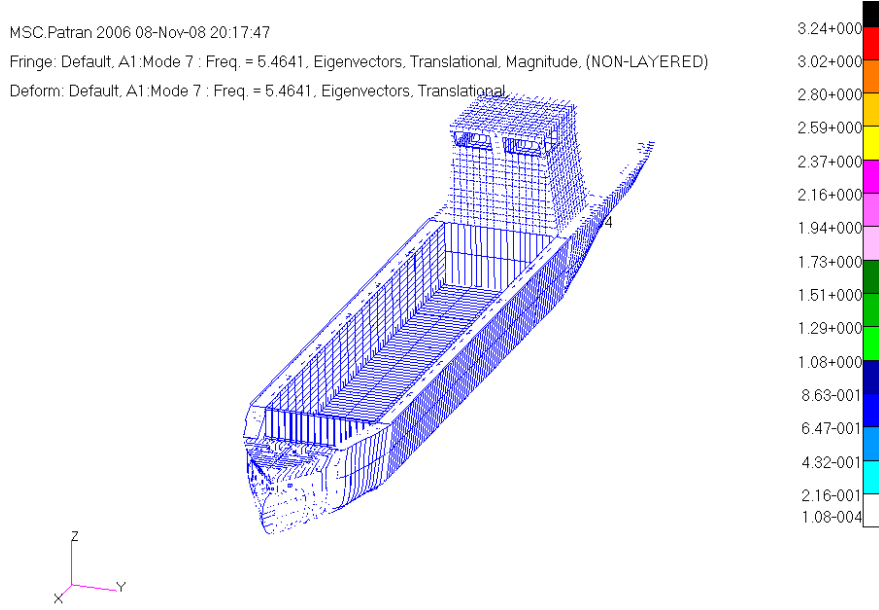
Şekil 7.5 Gemi yapısı doğal frekansı 5. modu

Şekil 7.6'da görülen altıncı frekans geminin lokal frekansıdır. 3.lokal frekans geminin 6.modunda 5.0929 Hz civarında çıkmıştır.



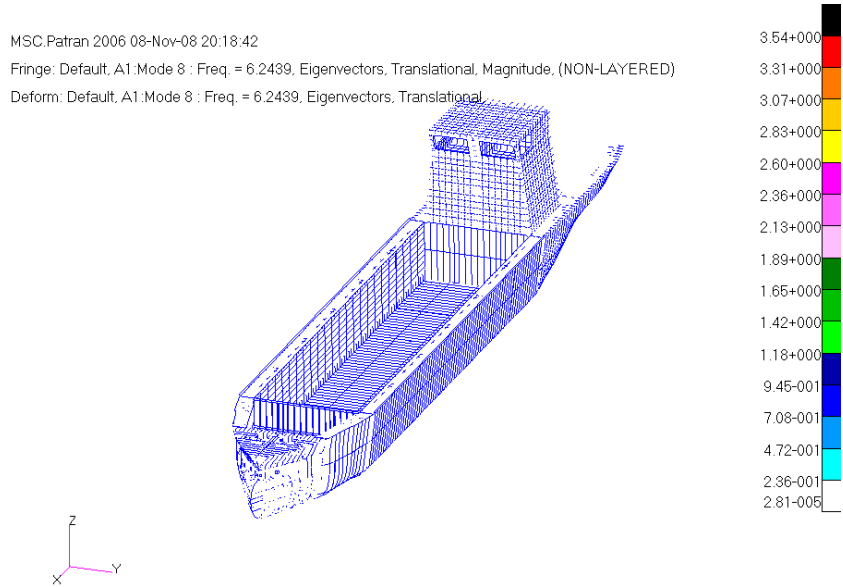
Şekil 7.6 Gemi yapısı doğal frekansı 6. modu

Şekil 7.7'de görülen yedinci frekans geminin lokal frekansıdır. 4.lokal frekans geminin 7.modunda 5.4641 Hz civarında çıkmıştır.



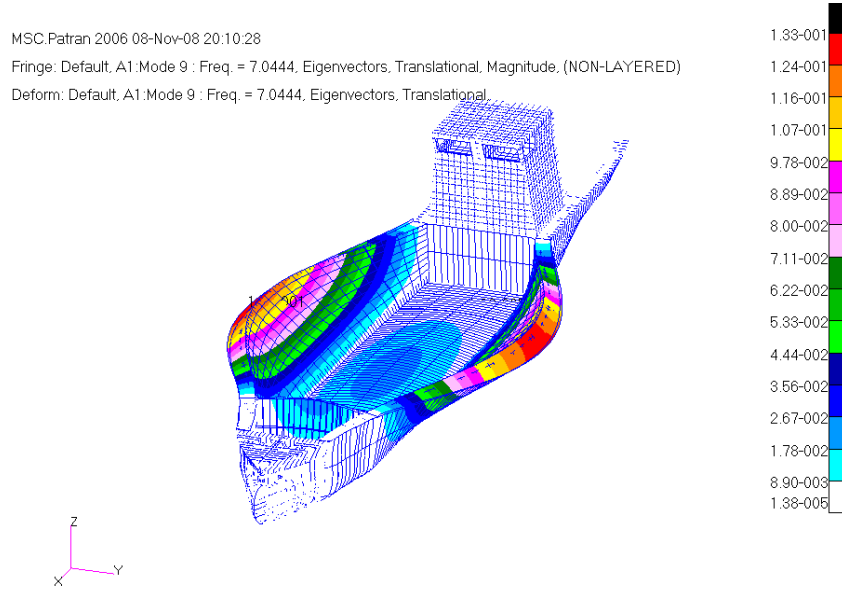
Şekil 7.7 Gemi yapısı doğal frekansı 7. modu

Sekizinci frekansta benzer şekilde geminin lokal frekansıdır. 5.lokal frekans geminin 8.modunda 6.2439 Hz civarında çıkmıştır.



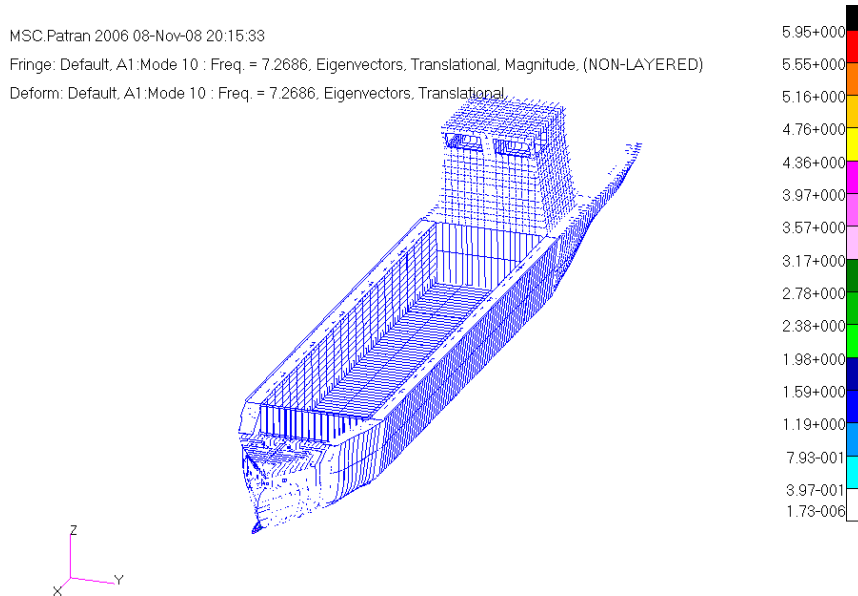
Şekil 7.8 Gemi yapısı doğal frekansı 8. modu

Dokuzuncu doğal frekans geminin ambar yapısı kapaklanma frekansıdır. Gemi doğal frekansı 9.modu 7.0444 Hz civarındadır. Şekil 7.9'da gemi yapısı doğal frekans 9.modu görülmektedir.



Şekil 7.9 Gemi yapısı doğal frekansı 9. modu

Şekil 7.10'da gösterilen onuncu frekans geminin lokal frekansıdır. 6.lokal frekans geminin 10.modunda 7.2686 Hz civarında çıkmıştır.



Şekil 7.10 Gemi yapısı doğal frekansı 10. modu

Çizelge 7.1 Gemi doğal frekans analizi sonuçları

MOD	FREKANS (Hz)	MOD ŞEKLİ
1	2.3851	Burulma Frekansı
2	3.2811	Eğilme Frekansı
3	4.7286	Lokal Frekansı
4	5.0058	Lokal Frekansı
5	5.0808	Yalpa Frekansı
6	5.0929	Lokal Frekansı
7	5.4641	Lokal Frekansı
8	6.2439	Lokal Frekansı
9	7.0444	Ambar Yan Duvar Eğilme Frekansı
10	7.2686	Lokal Frekansı

Gemi yapısı için yapılan doğal frekans analiz sonuçları Çizelge 7.1 de verilmiştir. Toplamda 10 adet mod için yapılan analizde ilk mod 2.3851 Hz civarında ortaya çıkmıştır. İlk mod; gemi yapısının burulma modudur. Doğal frekans analizinin ardından gemi yapısı için statik analizlere geçilmiştir.

8. GEMİ YAPISI STATİK ANALİZLERİ

8.1 Gemi Yapısı Üzerinde Ağırlık Dağılımının Verilmesi

Gemi yapısı statik analizlerini gerçekleştirebilmek için sonlu elemanlar modelimiz MSC. PATRAN programı içerisine aktarılmıştır. MSC. PATRAN yazılımı kullanılarak sınır şartları ve malzeme özellikleri gibi bir takım değerler girilmiş ve çözüm MSC. NASTRAN programına yaptırılmıştır. Modelin aktarılması işlemi sırasında herhangi bir problem yaşanmamıştır. Gemi yapısı için statik analizler 2 senaryo düşünülerek yapılmıştır. Birinci senaryo; gemi sakin sudayken ve yüksüz durum yani balast durum halidir. İkinci senaryo ise; gemi sakin suda iken ambar bölmesinde 3000 ton konteyner yükü bulunması halidir.

Gemi modelimiz MSC. PATRAN programı içerisine aktarıldıktan sonra öncelikle model için malzeme tanımı yapılması gerekmektedir. Kullanılan gemi imalat çeliğinin fiziksel özellikleri program içerisinde doğru bir şekilde girilmiştir.

St42 çelik malzemenin fiziksel özellikleri;

Malzeme Modeli : Lineer Elastik

Elastik Modülü (ϵ) : 210000 Pa

Poisson Oranı (ν) : 0.3

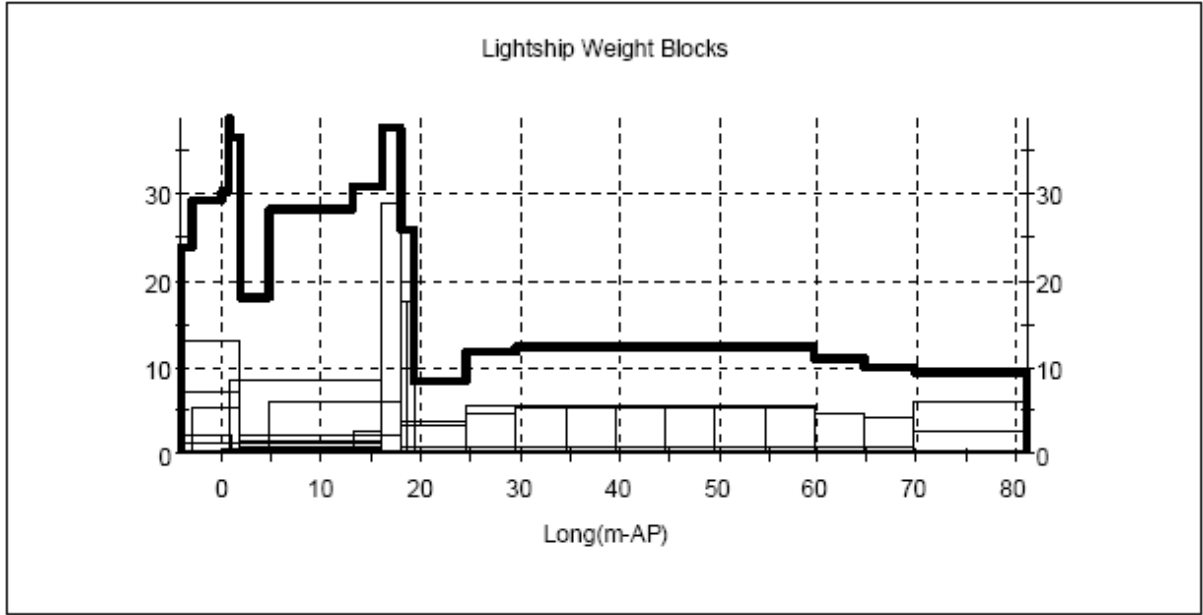
Yoğunluk (ρ) : 7800E-12 ton/mm³

Çizelge 8.1 Malzeme fiziksel özellikleri

Constitutive Model: Linear Elastic	
Property Name	Value
Elastic Modulus =	210000.
Poisson Ratio =	0.30000001
Shear Modulus =	
Density =	7800e-12
Thermal Expan. Coeff =	
Structural Damping Coeff =	
Reference Temperature =	

Malzeme değerleri girildikten sonra gemi yapısı üzerindeki ağırlık dağılımının düzgün bir şekilde yapılması gerekmektedir. Gemi yapısı donanımlarının ve tankların dağılımı SEFT Shipbuilding& Engineering firması tarafından çeşitli ticari yazılımlar kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 8.2 Gemi yapısı üzerindeki donanım ve tankların ağırlık dağılımları



No.	Name	Magnitude	Center	Extents			No.	Name	Magnitude	Center
		Weight MT	LCG m-AP	Aft m-AP	Fwd m-AP	Weight MT			LCG m-AP	
1	AP	41.9	1.200A	4.200A	1.800F	36	Coating and Rust Prevent	13.1	38.450F	
2	FP	68.2	75.350F	69.600F	81.100F	37	Steering Gear	10.5	1.680A	
3	DB1	21.0	21.300F	18.000F	24.600F	38	Safety and Fire Fighting	26.2	6.000F	
4	DB2	23.6	27.100F	24.600F	29.600F	39	Heating,Ventilation	7.9	9.000F	
5	DB3	26.2	32.100F	29.600F	34.600F	40	Stairs,Ladders etc.	1.1	9.000F	
6	DB4	26.2	37.100F	34.600F	39.600F	41	Miscellaneous Outfitting	13.1	9.000F	
7	DB5	26.2	42.100F	39.600F	44.600F	42	Carpentry	7.9	9.000F	
8	DB6	26.2	47.100F	44.600F	49.600F	43	Furniture and Upholstery	10.5	9.000F	
9	DB7	26.2	52.100F	49.600F	54.600F	44	Floors and deckcovering	2.6	9.000F	
10	DB8	26.2	57.100F	54.600F	59.600F	45	Galley and Laundry outfi	21.0	9.000F	
11	DB9	23.1	62.100F	59.600F	64.600F	46	Inside Lighting incl. Sw	5.2	9.000F	
12	DB10	21.0	67.100F	64.600F	69.600F	47	Nautical Installation an	7.9	14.700F	
13	SD1	23.6	21.300F	18.000F	24.600F	48	Other Electrical Install	2.6	8.100F	
14	SD2	27.3	27.100F	24.600F	29.600F	49	Main Propulsion Installa	10.5	8.100F	
15	SD3	27.3	32.100F	29.600F	34.600F	50	Main Shaft and Propeller	0.5	0.900F	
16	SD4	27.3	37.100F	34.600F	39.600F	51	Electrical Power Generat	0.5	9.000F	
17	SD5	27.3	42.100F	39.600F	44.600F	52	Heat Generation Hot wat	31.5	9.000F	
18	SD6	27.3	47.100F	44.600F	49.600F	53	Compressed Air System	5.2	10.500F	
19	SD7	27.3	52.100F	49.600F	54.600F	54	Fuel Oil System	6.3	10.500F	
20	SD8	27.3	57.100F	54.600F	59.600F	55	Lubrication Oil System	5.2	10.500F	
21	SD9	23.6	62.100F	59.600F	64.600F	56	Cooling Water System	1.6	10.500F	
22	SD10	21.0	67.100F	64.600F	69.600F	57	Exhaust Gas System	4.2	10.500F	
23	SS	131.1	8.400F	0.600F	16.200F	58	Outfitting Engine RoomW	1.6	10.500F	
24	ER_M1	26.2	11.400F	4.800F	18.000F	59	Bilge, Ballast, Deckwash	1.6	37.200F	
25	ER_M2	78.6	11.400F	4.800F	18.000F	60	Sounding and Deaeration	3.2	37.200F	
26	MD	26.2	38.450F	4.200A	81.100F	61	Sanitary System	1.1	37.200F	
27	GRAIN BHD1	10.5	18.300F	18.000F	18.600F	62	Systems Filling	6.3	37.200F	
28	GRAIN BHD2	10.5	18.900F	18.600F	19.200F					
29	FC	31.5	75.350F	69.600F	81.100F					
30	HATCH COVERS	41.9	43.800F	18.000F	69.600F					
31	Mooring Equipment aft	78.6	1.200A	4.200A	1.800F					
32	Hatch Cover Crane	52.4	17.100F	16.200F	18.000F					
33	Mooring Equipment fore	2.6	75.350F	69.600F	81.100F					
34	Outfitting Holds	10.5	43.800F	18.000F	69.600F					
35	Stern and Rudder	26.2	0.660A	3.130A	1.800F					

Çizelge 8.2'de gemi yapısı üzerinde mevcut olan donanım ve tankların ağırlık dağılımı verilmiştir.

Çizelge 8.3 Gemi yapısı ağırlık merkezi koordinatları

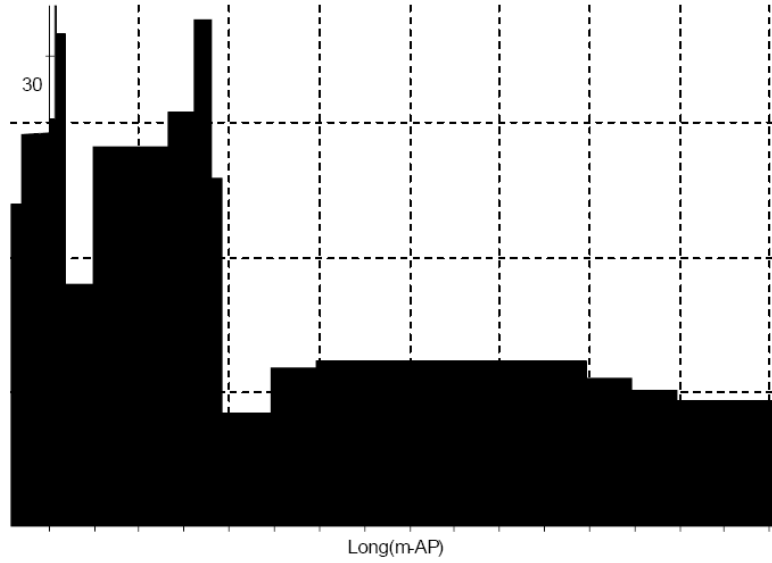
LIGHTSHIP SUMMARY**Lightship**

Name	Magnitude	Center			FS
	Weight	LCG	VCG	TCG	
	MT	m-AP	m-BL	m-CL	m-MT
Lightship	1,350.3	29.067F	5.718	0.000	---
Constant	0.0	0.000	0.000	0.000	---
TOTALS	1,350.3	29.067F	5.718	0.000	---

Lightship Distribution

Name	Magnitude	Center
	Weight	LCG
	MT	m-AP
Weight Ordinates	0.0	38.400F
Weight Blocks	1,350.3	29.068F
TOTALS	1,350.3	29.068F

AP



Gemi yapısının çelik tekne ağırlığı yaklaşık olarak 500 ton civarındadır. Çizelge 8.3'te yapı üzerindeki donanım ve tankların ağırlığı ile birlikte toplam ağırlığın yani gemi yüksüz durumda iken lightship ağırlığının 1350 ton olması gerektiği görülmektedir. Ayrıca ağırlık merkezinin yeri Çizelge 9.2'de belirtildiği gibi boy doğrultusunda burundan 29.067 m. yükseklik doğrultusunda ise 5.718 m. uzaklıkta olmalıdır.

Gemi modelimizin malzeme özellikleri daha önceden girildiği için program içerisinde ağırlık merkezinin koordinatlarını öğrenmek mümkündür. Buradan hareketle verilen ağırlık merkezi

koordinatlarını ve ağırlık değerini model üzerinde mass eleman adını verdiğimiz boyutsuz kütle elemanları ile yakalamak mümkündür. Ayrıca uygun yerlerde yoğunluk değerini değiştirmek literatürdeki bir diğer yöntemdir. Bu çalışmada her iki yöntemde kullanılmıştır.

Çizelge 8.4 Gemi yapısı ağırlık merkezi koordinatları ve ağırlık değeri

Mass Properties Display						
Summary Display of Center of Gravity, Principal Inertias, Radii of Gyration, Mass, and Volume						
	CG(CID 0)	CG(CID 0)	I-Principal	Radii of Gyr.	Mass	Volume
1	3.250E+004	3.250E+004	6.751E+011	2.246E+004	1.338E+003	7.460E+010
2	2.605E-001	2.605E-001	6.704E+011	2.238E+004		
3	3.938E+003	3.938E+003	3.733E+010	5.281E+003		

Expanded Cell Value

Mass Property Display Option

Mass, CG, Principal Inertias, and Others

Inertia Tensor

Inertia Tensor at CG

Principal Directions in User-Specified Frame

Principal Directions in Ref. Cartesian Frame

Cancel

Sonuç olarak ağırlık değeri %0.88 farkla 1338 ton olarak bulunmuştur. Ayrıca boy doğrultusunda ağırlık merkezinin yeri %4.3 farkla 32.5 m. olarak bulunmuştur. Yükseklik doğrultusunda 3.938 m. olarak elde edilmiştir.

8.2 Sakin Su Durumu için Gemi Yüksüz Halde Yapısal Analiz

Gemi yapısı üzerinde ağırlık dağılımının yapılması işleminin ardından model statik analiz yapmaya uygun haldedir. Bundan sonra yapılacak olan sınır şartları ve yük değerlerinin doğru bir şekilde verilerek analizin çözdürülmesi işlemidir. Statik analiz zamana bağlı olmayan bir analiz tipidir. Deformasyonların ve yer değiştirmelerin sabit ve yavaşça değiştiği varsayılır. Eğer en düşük doğal frekansın 1/3 ünden daha düşük titreşim frekansı varsa bu durumda problem “quasi statik” sanki statik kabul edilir. Yani atalet değerleri hesap edilir ve birer statik yük gibi sisteme uygulanarak yapı statik olarak analiz edilir.

SAVCI M. (1988) yaptığı çalışmada gemilerin boyuna mukavemetinin hesaplanması için gerekli iç ve dış yükleri tanımlamıştır. Gemi yapısına gerçek hayatta etki eden yükler dış yükler ve iç yükler olmak üzere 2 kısma ayrılabilir. Bu yükler arasında en önemlileri; geminin ağırlık dağılımı ile sephiye kuvvetleri arasındaki farktan kaynaklanan yüklerdir. Ticaret gemileri ambarlarına yüklenen değişik yükler ile hareket edeceğinden, geminin her draft durumu için sephiye kuvveti dağılımı değişecektir ve iki kuvvet dağılımının ortaya çıkaracağı

kesme kuvvetleri ile eğilme momentleri de değişecektir. Bir gemi yapısının, yükleme sonucu baş ve kıç tarafı su içine meyilli hal almışsa ve bundan dolayı orta gövde yükselmişse buna sarkma (hogging) bunun aksi hale ise çökme (sagging) adı verilir. Tüm bu yüklerin dışında gemiye etkileyen başka yüklerde vardır. Bu yükler dinamik yüklerdir. Gemiler deniz suyu içerisinde yüzerken dalgalar ve rüzgarların dinamik etkileri altında kalırlar. Dinamik yüklere bağlı lokal olarak büyük yükler oluşabilir. Bu nedenle gemi yapısı üzerinde baş vurma (slamming) ve güverte üzerini su basması olayları yaşanabilir. Tüm bu olaylar yüzünden baş civarındaki levhaların çatlaması, darbe sonucu güverte borda saclarında plastik deformasyonlar yaşanabilir.

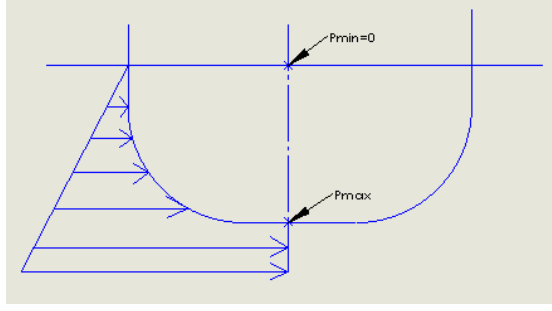
Ayrıca gemi içerisinde ve dışındaki sıcaklık farklılıklarından dolayı gemi bünyesi veya bir bölümünde termal gerilmeler görülebilir.

Statik halde gemi yapısına etki eden en önemli dış kuvvet basınç yüküdür. Bunun dışında yerçekimi ivmesi sisteme etkileyen bir diğer kuvvet değeridir. Bu çalışmada deniz etkisinden kaynaklanan dış basınç kuvveti ve gemi ağırlık dağılımı göz önünde bulundurularak statik analizler gerçekleştirilmiştir. Gemi tam yük halindeyken bu değerlere ilave olarak kargo konteyner yükü modele etki ettirilmiştir.

8.2.1 Basınç Yükünün Belirlenmesi

Sakin su durumu için statik analiz yaparken öncelikle sınır şartlarının ve basınç yükünün belirlenmesi gerekir. Statik analizler sırasında izlenen yol; geminin yüzme şartından dolayı ağırlığı ile kaldırma kuvvetini eşitleyecek olan basınç dengesi dağılımını bulmaktır. Başlangıçta yol göstermesi açısından geminin belirli bir su hattı yüksekliği için su altı hacmi kabaca Solidworks 2007 programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu yüksekliğe karşılık gelen basınç değeri hesaplanmıştır. Ardından gemi herhangi iki nodundan tüm yönlerde tutularak statik analiz yapılmış ve tutulan nodlardaki tepki kuvvetlerinin düşey doğrultudaki bileşenleri toplamının, gemi ağırlığına eşit olduğu durum bulunmaya çalışılmıştır. Kaldırma kuvveti ile gemi ağırlığının eşit olduğu denge durumunu yakalayabilmek için bir dizi statik analiz yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda; gemi yapısının yüksüz hal için su hattı yüksekliği 3710 mm. olduğu durumda gemi ağırlığı ile yapıya etkileyen kaldırma kuvvetinin eşit olduğu görülmüştür. Bu analiz sonucunda gemimizin yüksüz durumu için su hattı 3710 mm. olarak elde edilmiştir.



Şekil 8.1 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü

$$F_k = Vb \cdot \rho_s \quad F_k = G_{gemi} \quad (8.1)$$

$$\rho_s = 10^{-6} \quad (\text{ton/mm}^3) \quad (8.2)$$

$$\rho_{\text{çelik}} = 7800^{-12} \quad (\text{ton/mm}^3) \quad (8.3)$$

$$P_{\text{max}} = h \times \rho \quad (8.4)$$

Yüksüz durum için draft yüksekliğimiz 3710 mm olarak bulunmuştu. Buradan hareketle;

$$P_{\text{max}} = h \times \rho = 3710 \times 10^{-6} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (8.5)$$

olarak bulunur.

$$P_{\text{max}} - h \times \rho = P \quad (8.6)$$

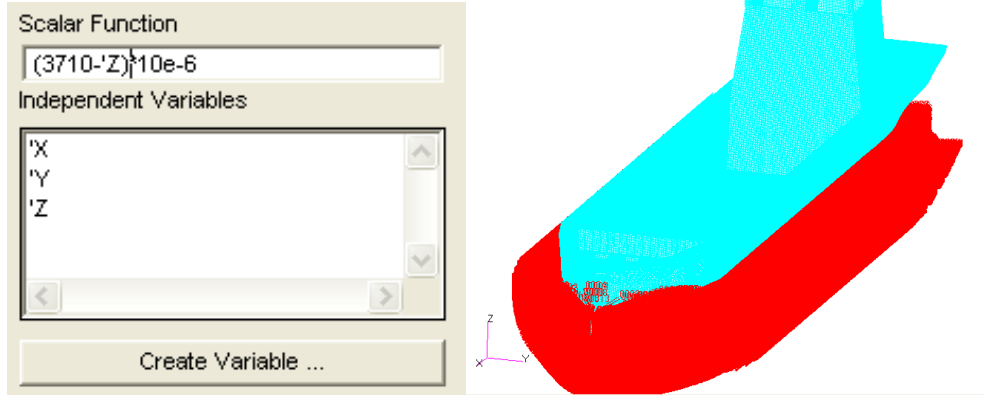
formülü ile;

P_{min} için 0 değerini ve P_{max} için $P_{\text{max}} = 3710 \times 10^{-6}$ değerlerini elde edebiliriz.

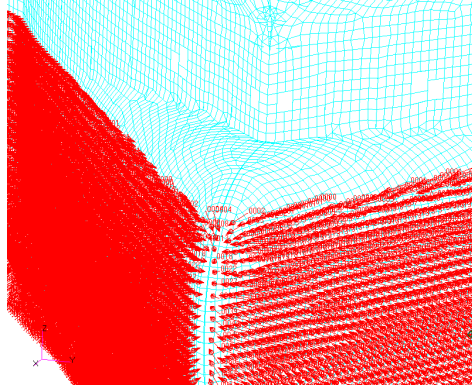
Uygun değerleri yerlerine koyarak aşağıdaki yüksekliğe bağlı basınç formülünü elde ederiz.

$$3710 \times 10^{-6} - z_0 \times 10^{-6} = P \quad (8.7)$$

Burada z_0 gemimizin en alt noktasından su seviyesine olan mesafedir. Elde edilen bu formülasyon ile MSC. PATRAN içerisinde field olarak basınç yükünü gemi dış borda sacına dolayısıyla taşıyıcı elemanlarımıza etki ettirebiliriz.



Şekil 8.2 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün programa girilmesi



Şekil 8.3 Gemi burun yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü

Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'te gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün fonksiyon olarak MSC.PATRAN yazılımı içerisine girilmesi ve buna karşılık gemi bordasına etkiyen basınç dağılımı görülmektedir.

8.2.2 Sınır Şartlarının Verilmesi

Sakin su durumu statik analizi için, sınır şartlarının verilmesi gerekir. Statik analizler sırasında; geminin yüzme şartından dolayı ağırlığı ile kaldırma kuvveti eşitlenmiş olduğundan, gerçekte gemi hiçbir noktasından tutulmadan yüzmektedir. Bu çalışmada gerçek yüzme şartını programa verdiğimizden, gemi yapımız üzerinde herhangi bir yerden modelimizin tutulmasına gerek yoktur. Ancak statik analizin bir gerekliliği olarak yapının 6 yöndeki serbestliğini bir şekilde kısıtlamamız gerekmektedir. Bu işlem MSC. NASTRAN programının sağladığı bir kolaylık olan 'Inertia Relief' komutu ile yaptırılmıştır. 'Inertia Relief'; kuvvet dengesinin olduğu durumlarda çalışan bir sistem üzerinde artık moment ve kuvvet dengesini sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Program en az hareket eden nodu kendisi bularak o nod üzerinde moment ve kuvvet dengesini sağlamaktadır. Detaylı bilgi

için NASTRAN dokümantasyonundan faydalanılabilir. MSC.PATRAN programı içerisinde 'Inertia Relief' için kullanılacak nod seçilmelidir. Ancak en az hareket edecek ve gerilmenin minimum olduğu nodu önceden bulmak her zaman mümkün değildir. Bu nedenle programın, nodu kendisinin seçmesi amacıyla MSC. NASTRAN'ın input dosyası olan .bdf dosyası içerisindeki kod üzerinde birtakım değişiklikler yapmak gerekmektedir. Bu işlemlerin ardından tam olarak kuvvet dengesi sağlanmış olacaktır.

8.2.3 Statik Analizin Çözdürülmesi ve Analiz Sonuçları

Yerçekimi ivmesi, basınç ve sınır şartlarının doğru bir şekilde programa girilmesinin ardından çözüm işlemine geçilmiştir. MSC. PATRAN programının hazırlamış olduğu .bdf uzantılı dosya MSC. NASTRAN programı içerisine aktarılarak çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

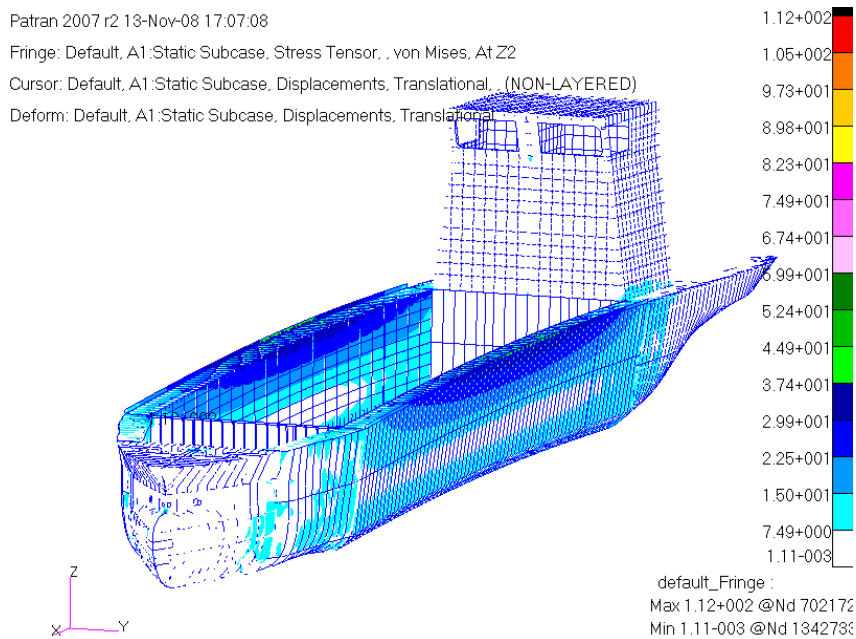
Çözüm işlemi için kullanılan bilgisayar özellikleri;

SUN WORKSTATION

Dual-Core AMD Opteron

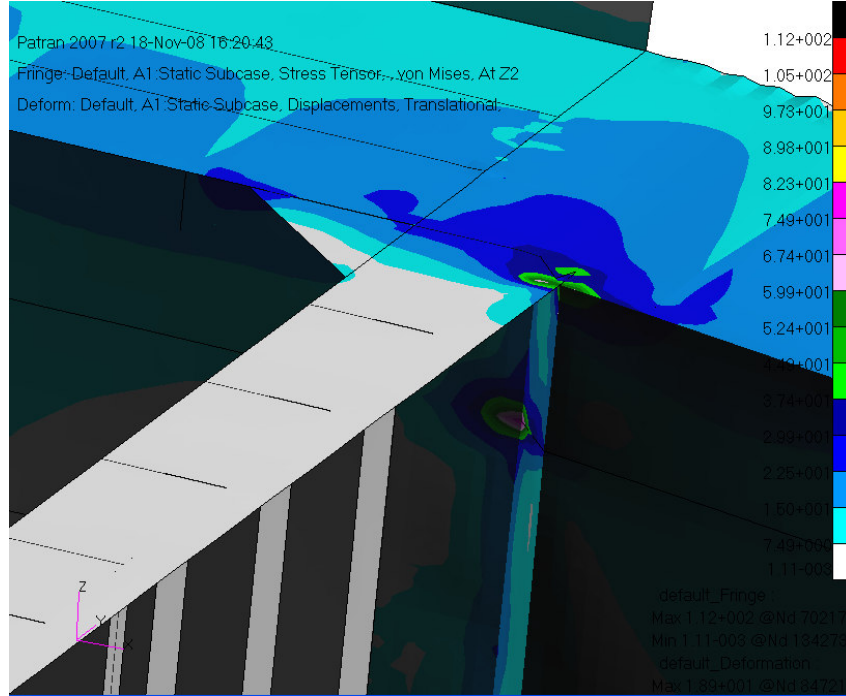
2 işlemci 4 çekirdek 2.60 GHz 8 GB RAM

Analiz toplamda 15 saat 32 dakika 20 saniyede çözüme ulaşmıştır. Analiz sonucunda elde edilen stres ve deformasyonlar aşağıda verildiği gibidir. Gerilme ve deformasyon gösterimleri 50 kat abartılıdır. Verilen gerilme değerleri Von-Misses ortalama gerilme dağılımına göre hesaplanmış değerlerdir.

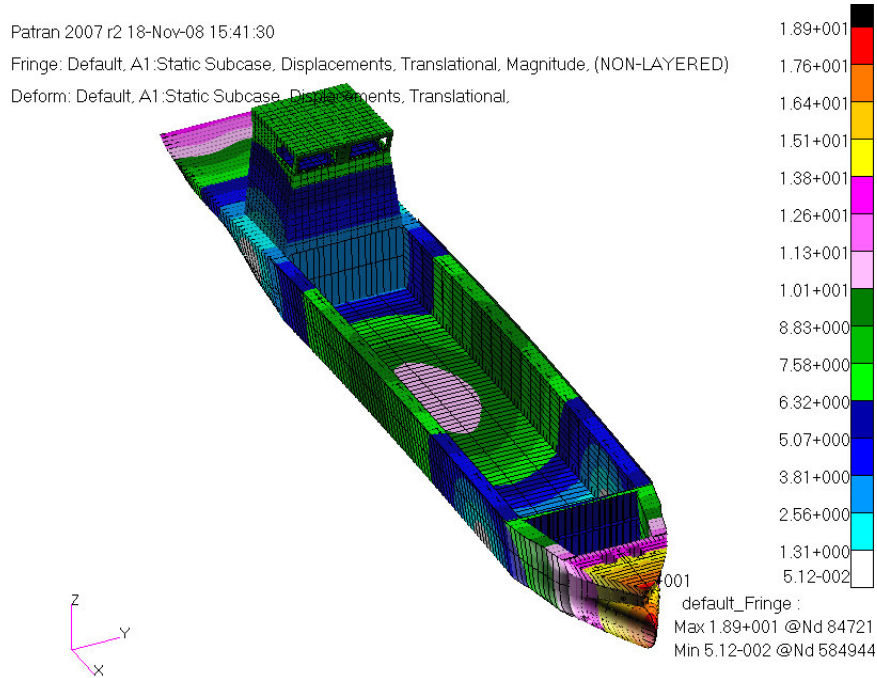


Şekil 8.4 Gemi yapısı Von-Misses ortalama gerilme dağılımı

Şekil 8.4'te görüldüğü gibi gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme 112 MPa civarındadır. Genel itibari ile gerilme değerleri düşüktür. Maksimum gerilmenin meydana geldiği yer ise ön taraftaki bulkhead ile gemi yapısı yan duvarının birleşim bölgesidir.

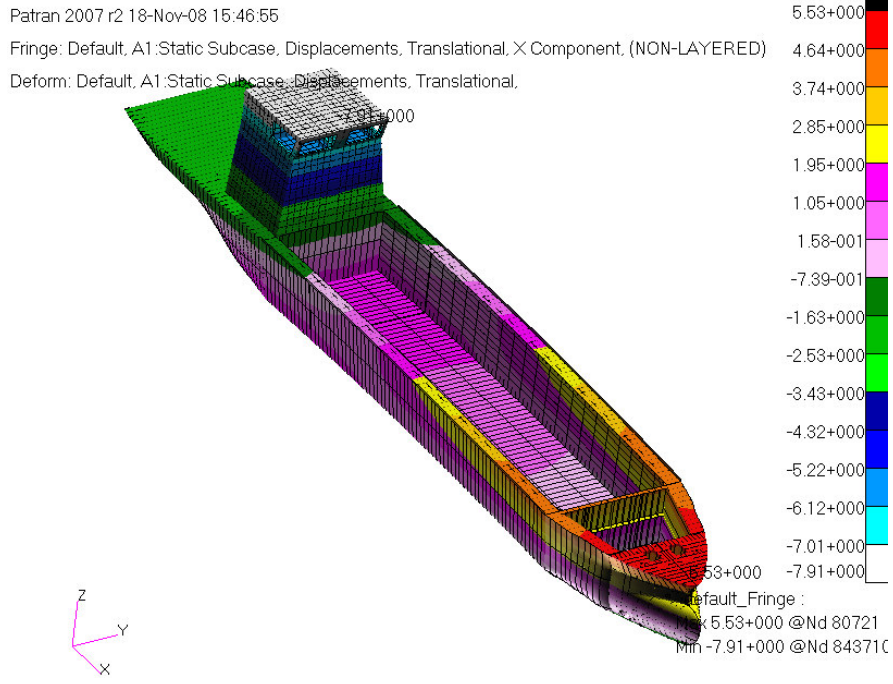


Şekil 8.5 Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme bölgesi



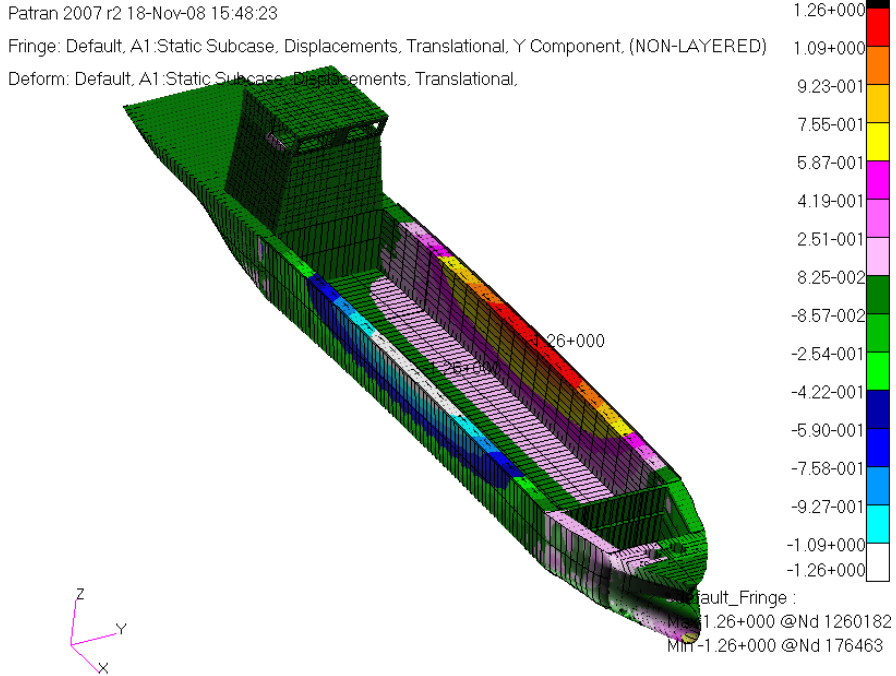
Şekil 8.6 Gemi yapısı global deplasman dağılımı

Şekil 8.6'da gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, deformasyon dağılımı görülmektedir. Maksimum deplasman değeri 18.9 mm ile gemi burun yapısı üzerinde meydana gelmiştir.



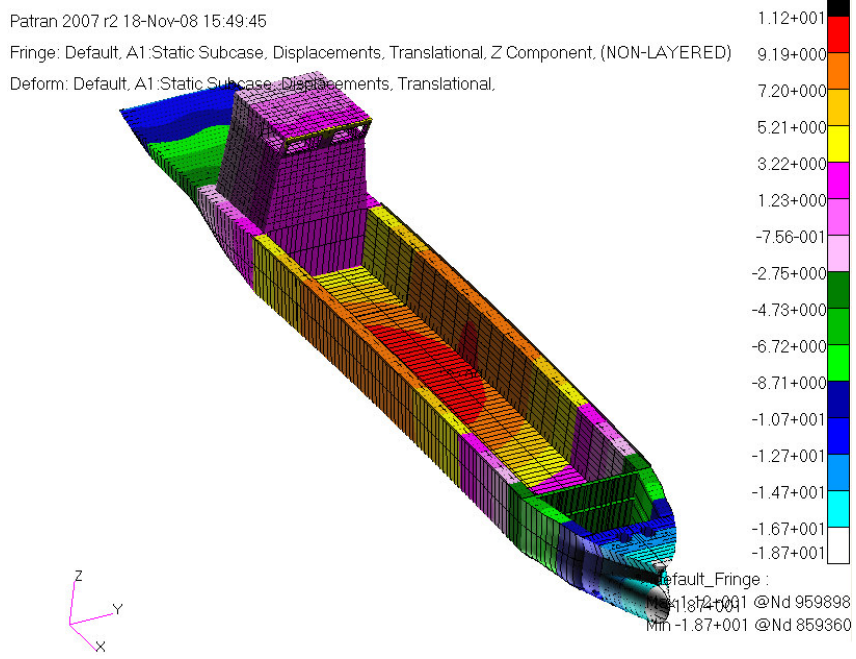
Şekil 8.7 Gemi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni

Şekil 8.7'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, deformasyon boyuna yöndeki (X) bileşeni görülmektedir.



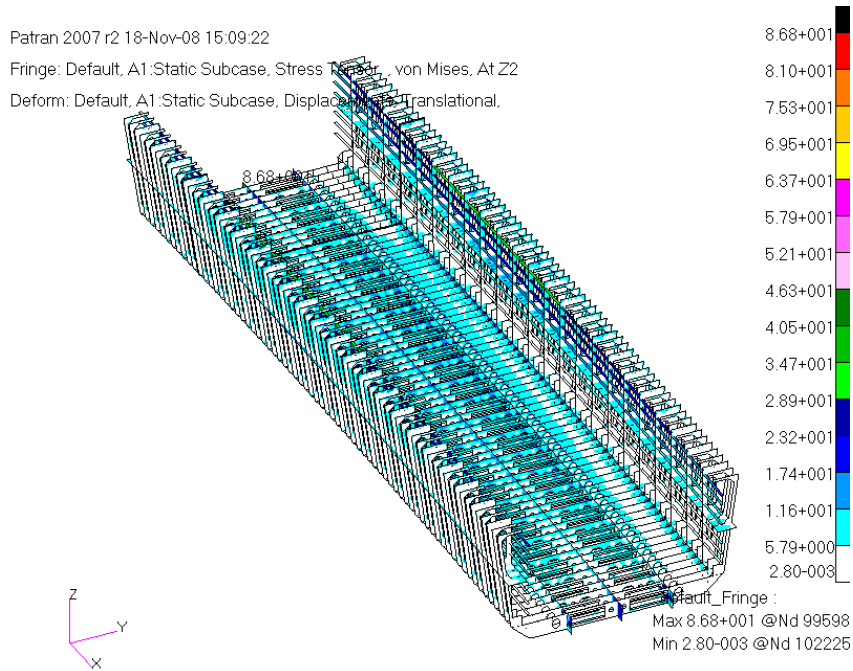
Şekil 8.8 Gemi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni

Şekil 8.8'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, deformasyon transversal yöndeki (Y) bileşeni görülmektedir.



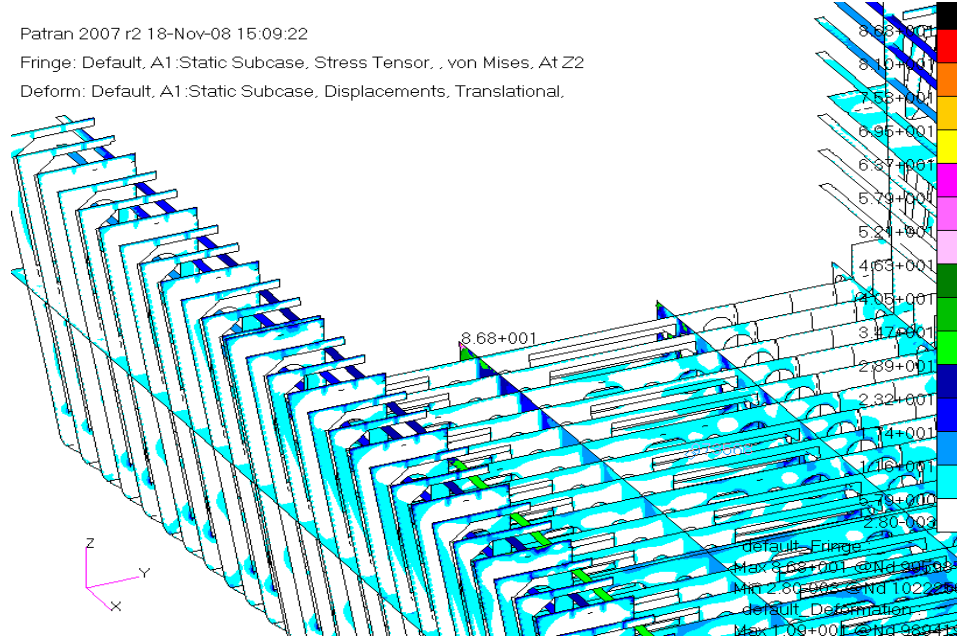
Şekil 8.9 Gemi yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

Şekil 8.9'da gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, deformasyon yükseklik yönündeki (Z) bileşeni görülmektedir. Gemi yapısı üzerinde oluşan, global gerilme ve yer değiştirme gösterimleri yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Yapı üzerinde maksimum gerilme 112 MPa civarındadır. Gemi yapısı deplasmanı ile ilgili şekillerden maksimum değer 18.9 mm olduğu görülmüştür. Detaylandırmak gerekirse öncelikle ambar yapısını ele alalım.



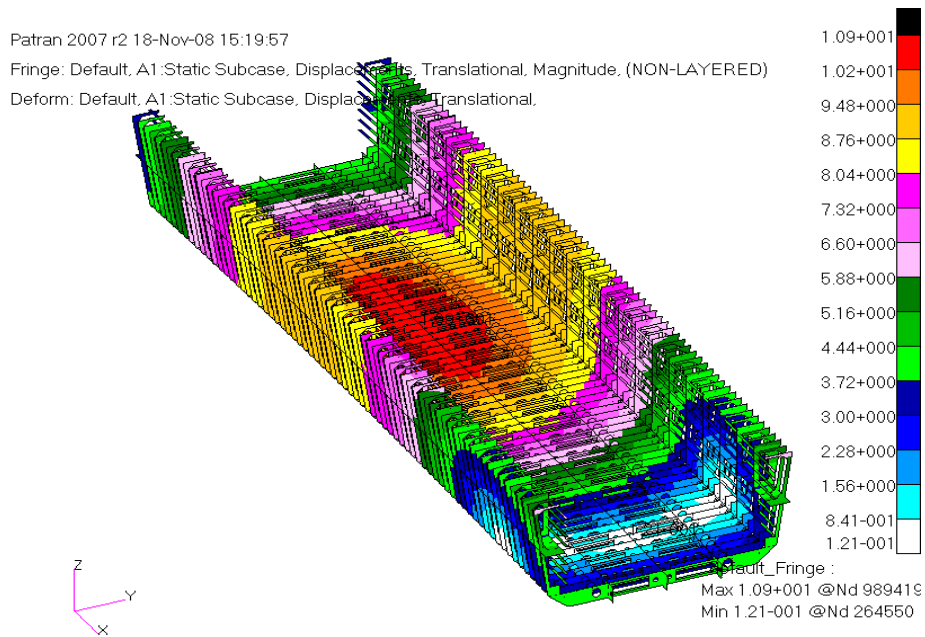
Şekil 8.10 Gemi ambar yapısı Von-Misses gerilme dağılımı

Şekil 8.10'da gemi ambar yapısı üzerindeki gerilme dağılımı verilmiştir. Gemi ambar yapısı üzerinde maksimum gerilme birincil elemanlar olan döşek yapısı üzerinde oluşmuştur. Gemi ambar yapısının, arka taraftaki bulkhead ile birleştiği bölgede 86.8 MPa değeri ile maksimum ortalama gerilme gözlenmiştir.

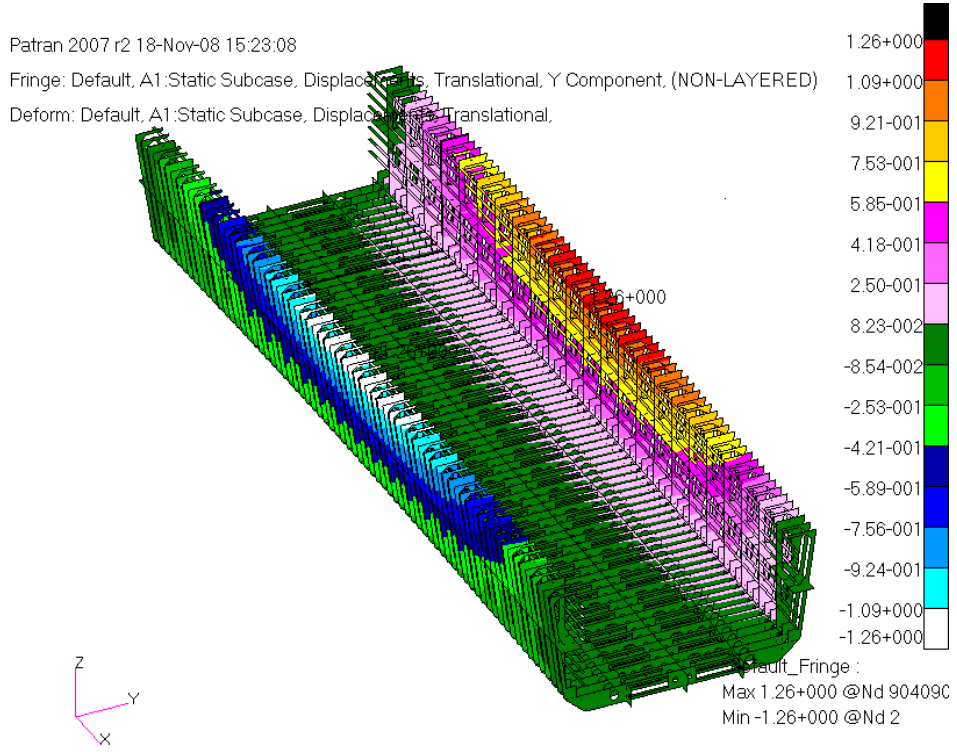


Şekil 8.11 Gemi ambar yapısı maksimum Von-Misses gerilme bölgesi

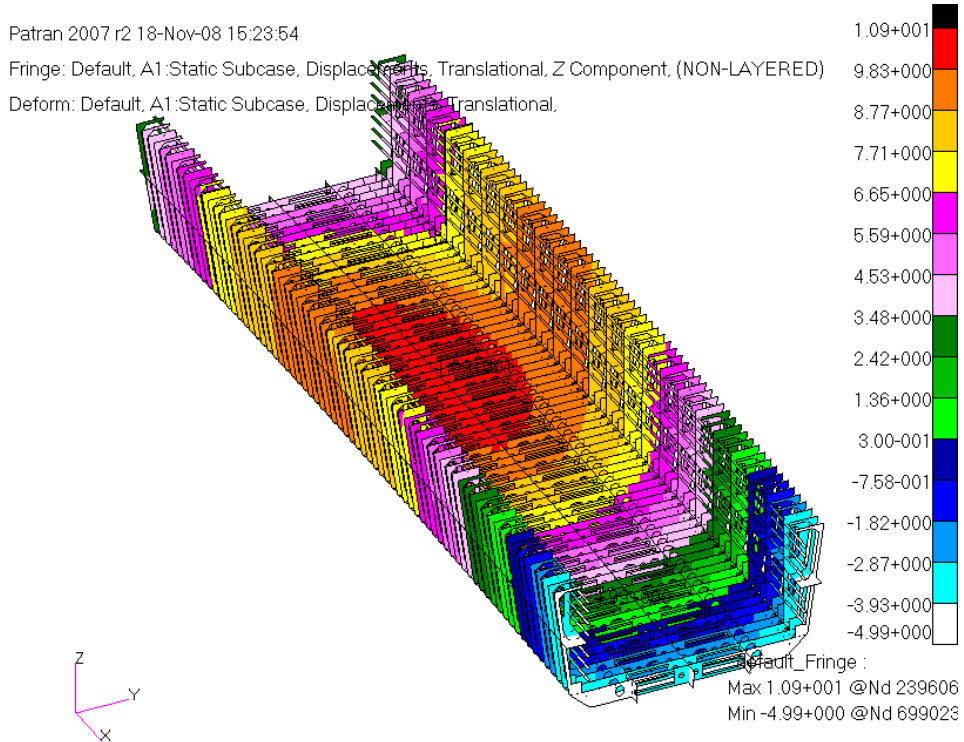
Şekil 8.11'de gemi ambar yapısı üzerinde oluşan maksimum gerilmenin birincil elemanlar olan döşek yapısı üzerinde olduğu görülmektedir. Gemi ambar yapısının, arka taraftaki bulkhead ile birleştiği bölgede 86.8 MPa değeri ile maksimum ortalama gerilme gözlenmiştir.



Şekil 8.12 Gemi ambar yapısı deplasman değerleri dağılımı



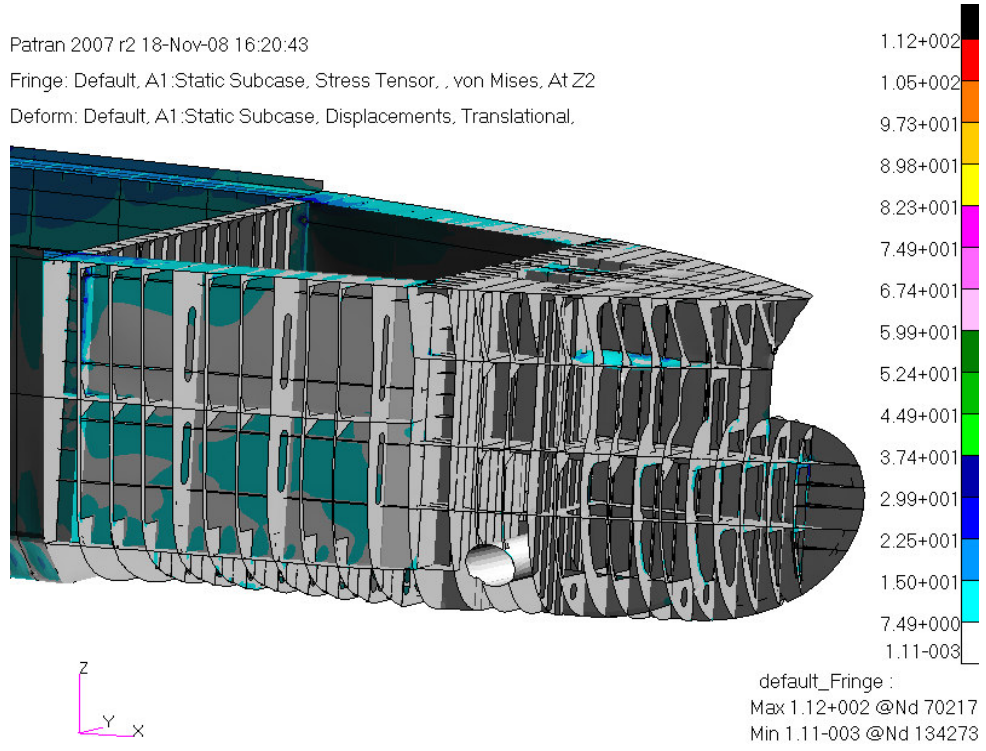
Şekil 8.13 Gemi ambar yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni



Şekil 8.14 Gemi ambar yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

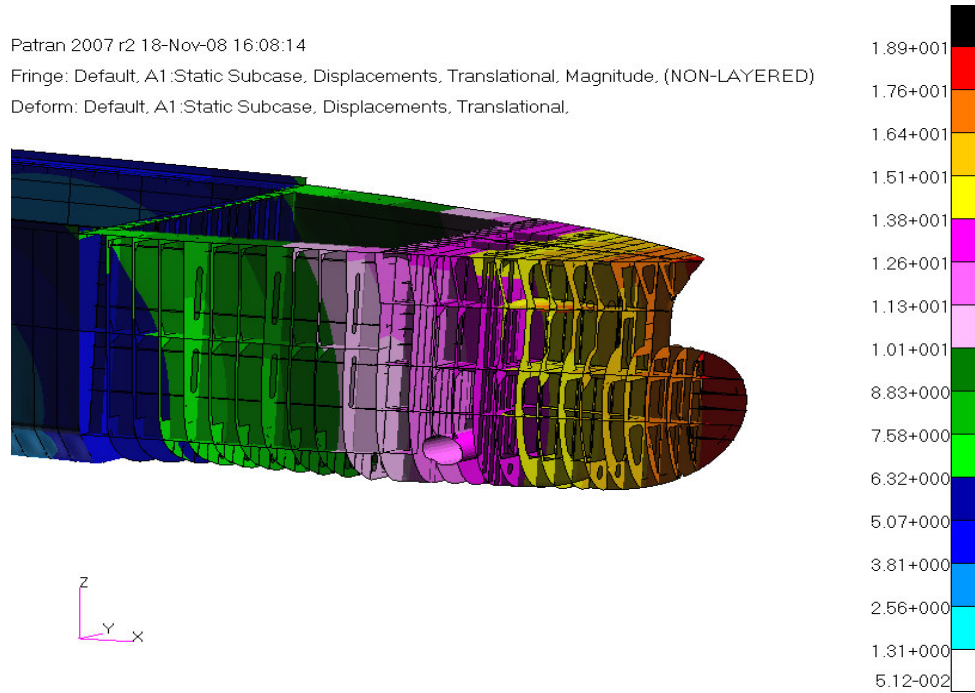
Şekil 8.12, Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımları ve bileşenleri görülmektedir. Ambar yapısı üzerinde maksimum deplasman değeri 10.9 mm civarındadır.

Gemi yapısı burun ve geçiş bölgesinin detaylandırılması aşağıda verilmiştir.

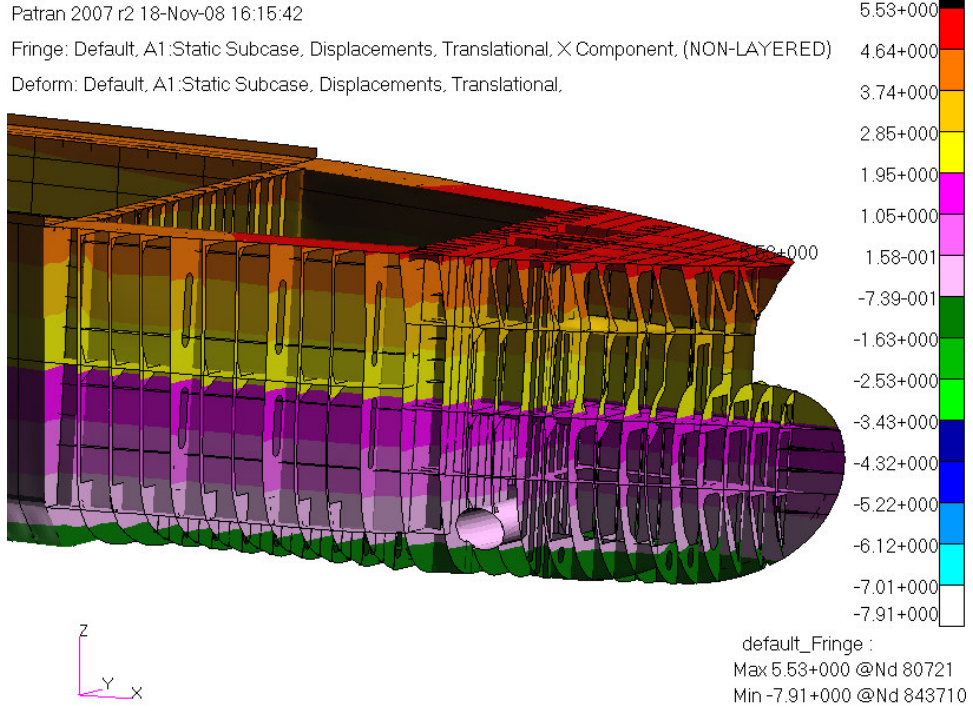


Şekil 8.15 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi

Şekil 8.15'te gemi burun ve geçiş yapısı üzerinde oluşan Von-Misses ortalama gerilme dağılımı görülmektedir. Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı üzerinde maksimum gerilme 112 MPa civarındadır.

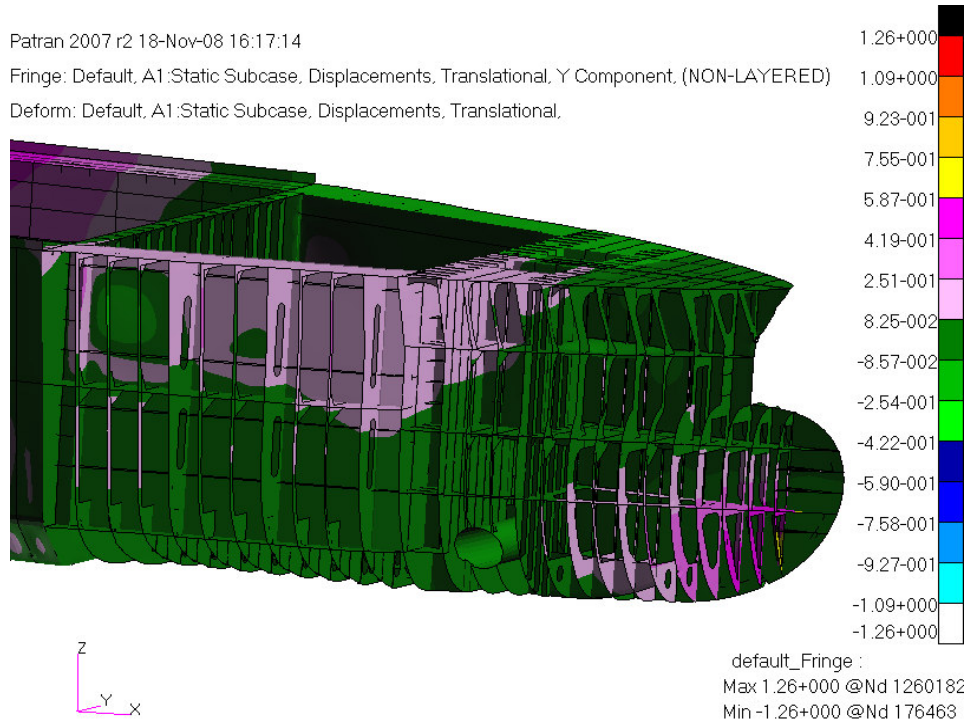


Şekil 8.16 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasman değerleri dağılımı



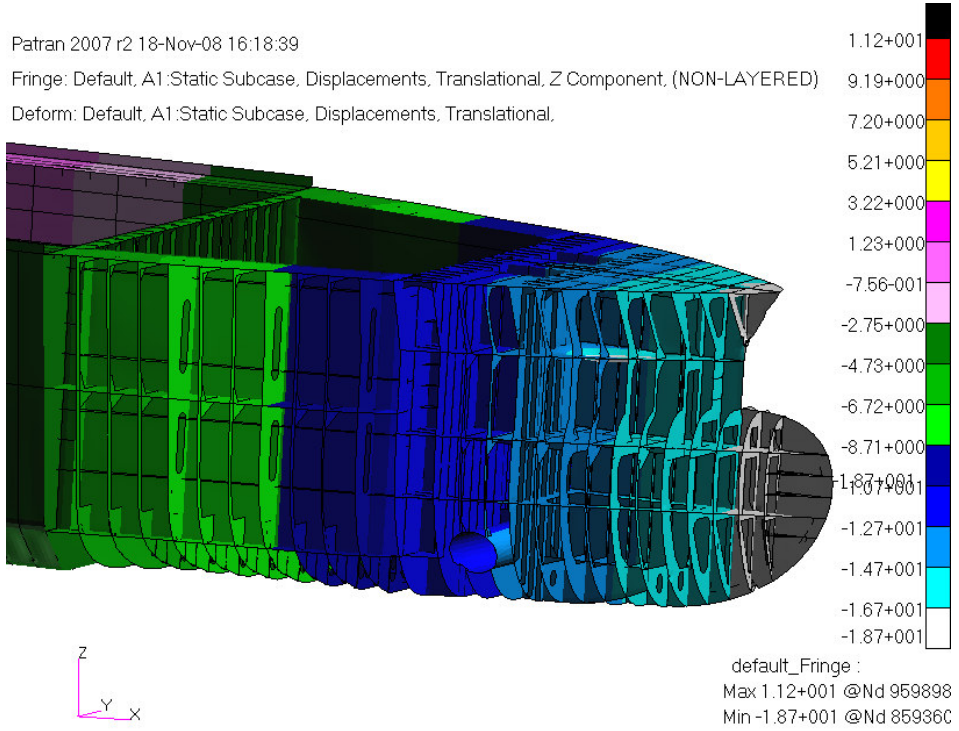
Şekil 8.17 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni

Şekil 8.17'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımı boyuna yöndeki (X) bileşeni görülmektedir.



Şekil 8.18 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni

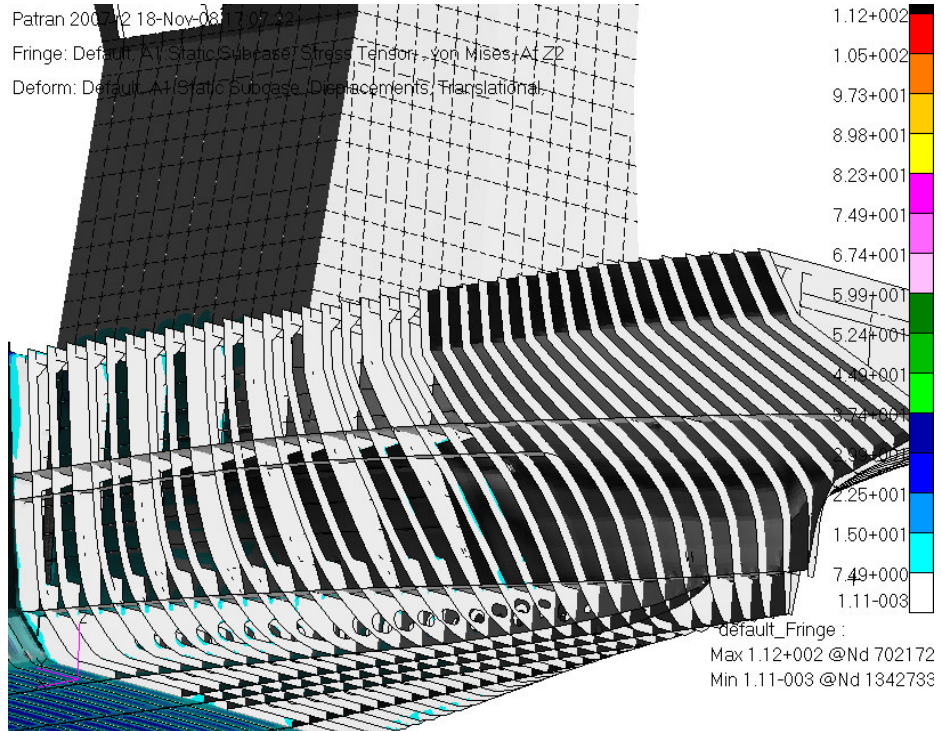
Şekil 8.18'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımı transversal yöndeki (Y) bileşeni görülmektedir.



Şekil 8.19 Gemi burun ve geçiş yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

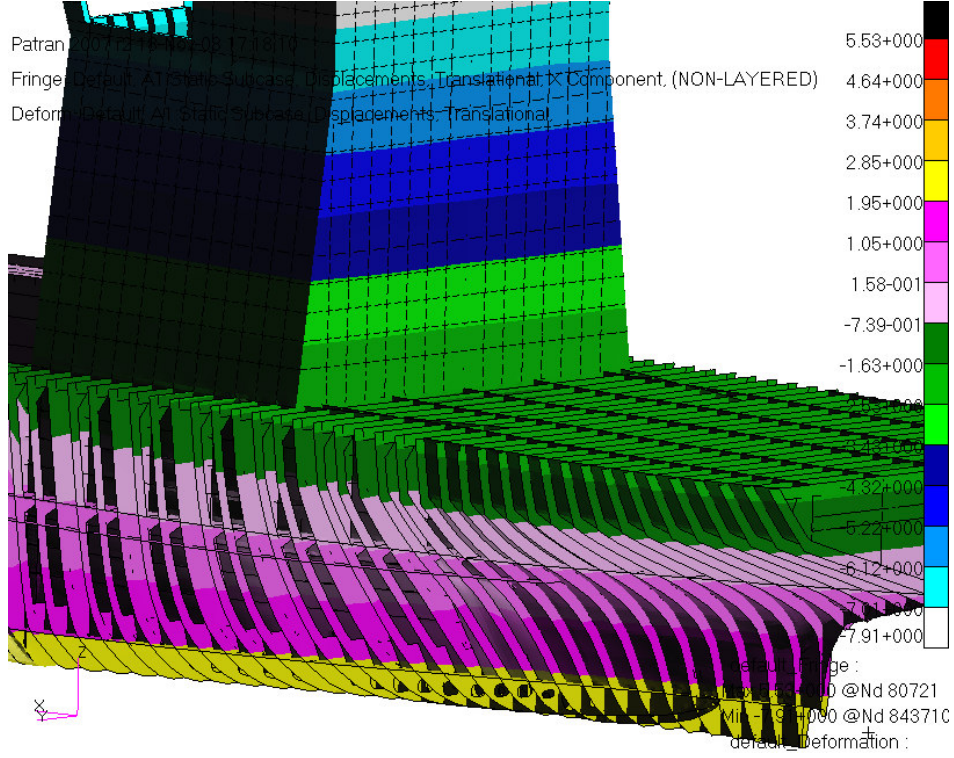
Şekil 8.19'da gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık oluşan deformasyon dağılımı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni görülmektedir.

Gemi yapısı burun ve geçiş bölgelerinin ardından kış yapısını inceleyecek olursak;

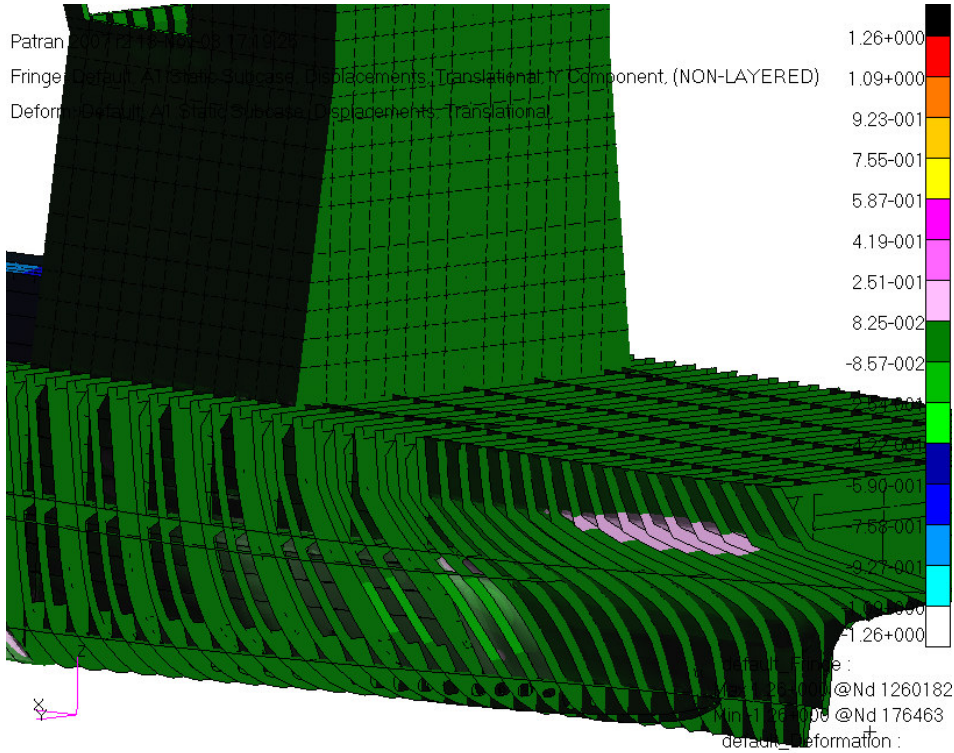


Şekil 8.20 Gemi kış yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi

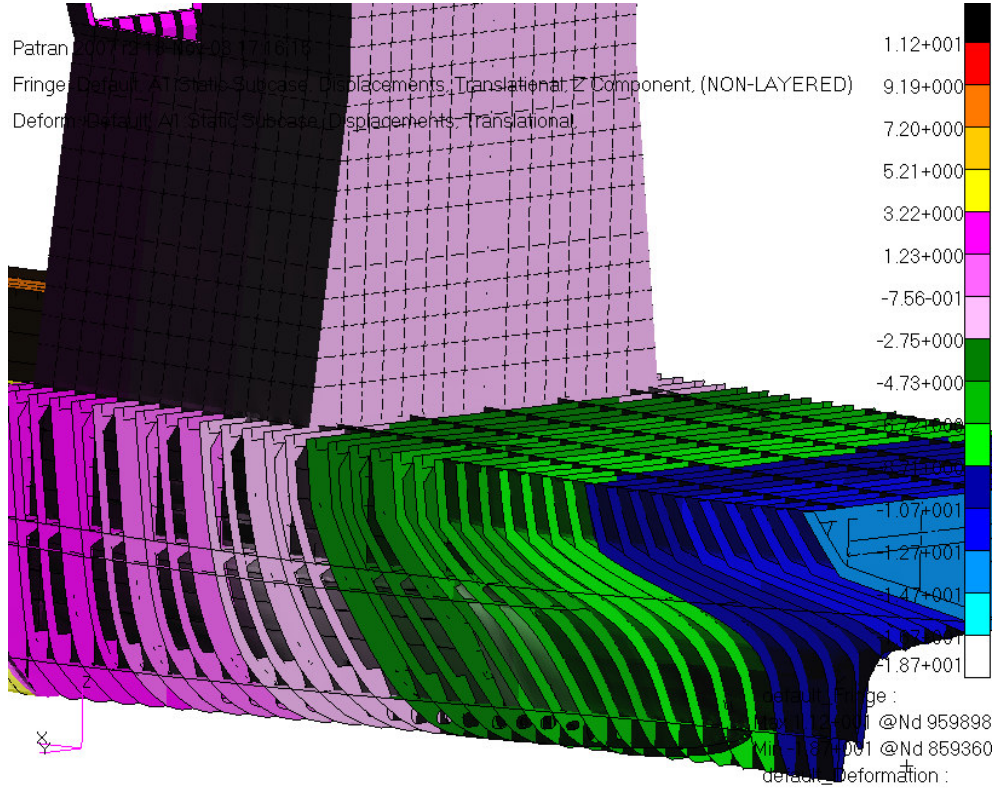
Şekil 8.20’de gemi kıç yapısı üzerinde oluşan Von-Misses ortalama gerilme dağılımı görülmektedir. Gemi kıç yapısı üzerinde gerilme değerleri ortalama olarak 15 MPa ile 20 MPa arasında değişmektedir.



Şekil 8.21 Gemi kıç yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni



Şekil 8.22 Gemi kıç yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni



Şekil 8.23 Gemi kıç yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

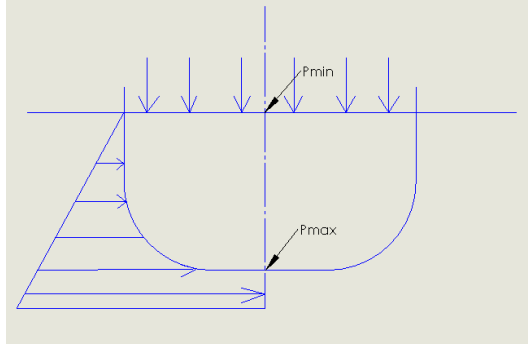
Şekil 8.21, Şekil 8.22 ve Şekil 8.23'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımları ve bunların bileşenleri görülmektedir.

8.3 Sakin Su Durumu için Gemi Yüklü Halde Yapısal Analiz

Gemi yapısına etki eden en önemli dış kuvvet basınç yüküdür. Bunun dışında, yerçekimi ivmesi sisteme etkiyen bir diğer kuvvet değeridir. Deniz etkisinden kaynaklanan dış basınç kuvveti ve gemi ağırlık dağılımına ek olarak yüklü durumda geminin ambarına aldığı konteyner yükünün, modele yayılı yük olarak etki ettirilmesi gerekmektedir. Yüksüz durumdan farklı olarak; ambar bölmesine geminin taşıma kapasitesi olan 3000 Ton'luk konteyner yükü tatbik ettirilmiştir.

8.3.1 Basınç Yükünün Belirlenmesi

Yapılan ön analizler sonucunda, gemi yapısının yüklü hal için su hattı yüksekliği 5200 mm. olduğu durumda gemi ağırlığı ile yapıya etkiyen kaldırma kuvvetinin eşit olduğu görülmüştür. Bu analiz sonucunda gemimizin yüklü durumu için su hattı 5200 mm. olarak elde edilmiştir.



Şekil 8.24 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükü

$$Fk = Vb.\rho_s \quad Fk = G_{gemi} \quad (8.8)$$

$$\rho_s = 10^{-6} \quad (\text{ton/mm}^3) \quad (8.9)$$

$$\rho_{çelik} = 7800^{-12} \quad (\text{ton/mm}^3) \quad (8.10)$$

$$P_{max} = h \times \rho \quad (8.11)$$

Yüksüz durum için draft yüksekliğimiz 5200 mm olarak bulunmuştu. Buradan hareketle;

$$P_{max} = h \times \rho = 5200 \times 10^{-6} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (8.12)$$

olarak bulunur.

$$P_{max} - h \times \rho = P \quad (8.13)$$

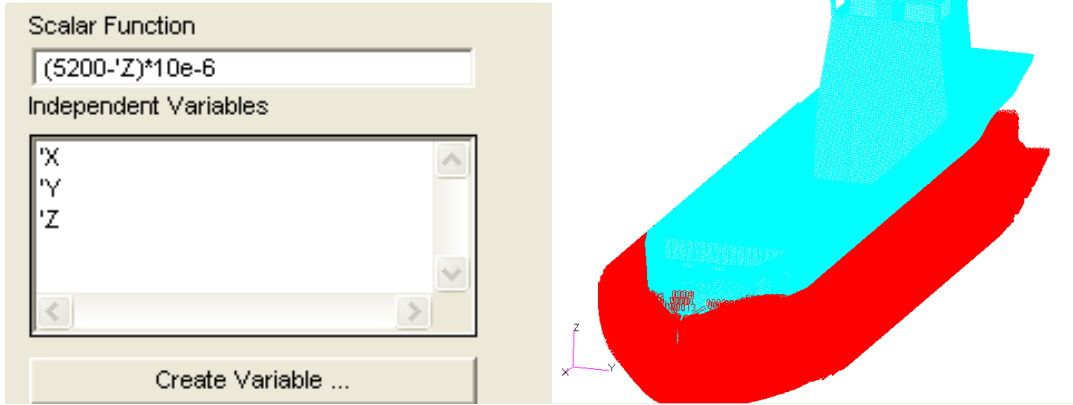
formülü ile;

P_{min} için 0 değerini ve P_{max} için $P_{max} = 5200 \times 10^{-6}$ değerlerini elde edebiliriz.

Uygun değerleri yerlerine koyarak aşağıdaki yüksekliğe bağlı basınç formülünü elde ederiz.

$$5200 \times 10^{-6} - z_0 \times 10^{-6} = P \quad (8.14)$$

Elde edilen dış basınç formülasyonu ile basınç yükü field olarak gemi dış borda sacına dolayısıyla taşıyıcı elemanlara etki ettirilmiştir.



Şekil 8.25 Gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün programa girilmesi

Şekil 8.25'de gemi yapısına etkiyen hidrostatik basınç yükünün fonksiyon olarak MSC.PATRAN yazılımı içerisine girilmesi ve buna karşılık gemi bordasına etkiyen basınç dağılımı görülmektedir.

8.3.2 Sınır Şartlarının Verilmesi

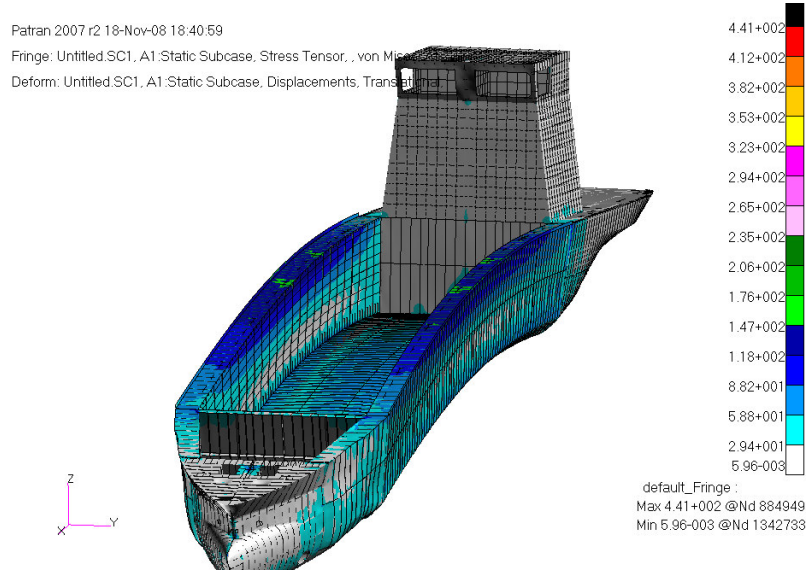
Yüksüz durumda olduğu gibi, gemi ağırlığı ile gemiye etkiyen kaldırma kuvveti eşitliğinden hareket edilerek, kuvvet dengesi sağlanmış ve yüklü durumda statik analiz çözdürülmüştür. Yüzme şartından hareketle gemi yapımız herhangi bir yerden tutulmadan sadece kuvvet dengesi sağlanarak analize geçilmiştir. 'Inertia Relief' komutu yüksüz durumda olduğu gibi yüklü durumda da kuvvet dengesinin sağlanması amacıyla kullanılmıştır.

8.3.3 Statik Analizin Çözdürülmesi ve Analiz Sonuçları

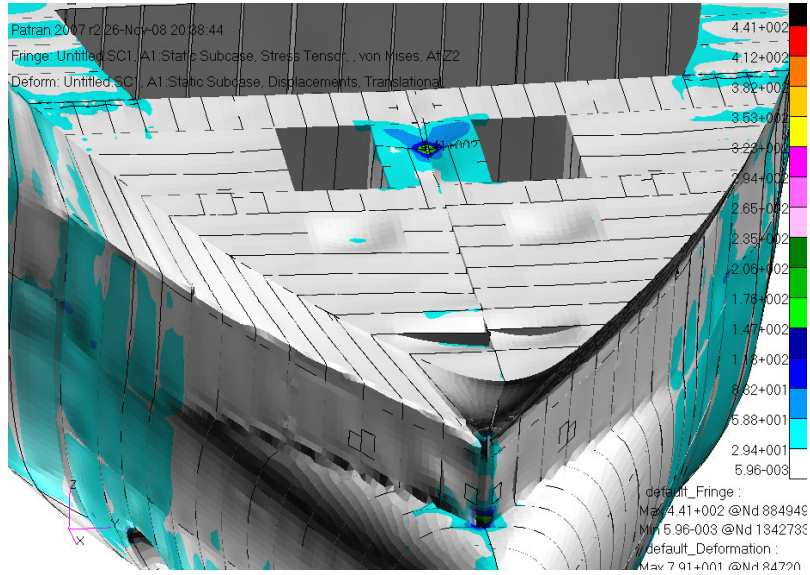
Yerçekimi ivmesi, basınç ve sınır şartlarının doğru bir şekilde programa girilmesinin ardından çözüm işlemine geçilmiştir. MSC. PATRAN programının hazırladığı .bdf uzantılı dosya MSC. NASTRAN programı içerisine aktarılarak çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Analiz toplamda 11 saat 9 saniyede çözdürülmüştür. Analiz sonucunda elde edilen stres ve deformasyonlar aşağıda verildiği gibidir.

Gemi yapısı üzerinde gösterilen tüm gerilme ve deformasyonlarda, 50 kat ölçeklendirme yapılmak suretiyle abartılı gösterimler kullanılmıştır. Gemi üzerinde maksimum gerilme burun yapısı üzerinde meydana gelmiştir.

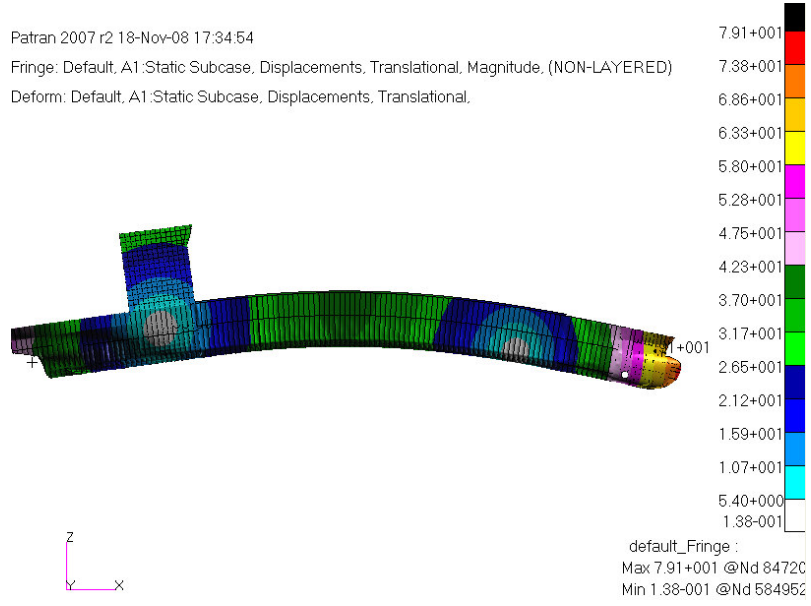


Şekil 8.26 Gemi yapısı Von-Misses ortalama gerilme dağılımı



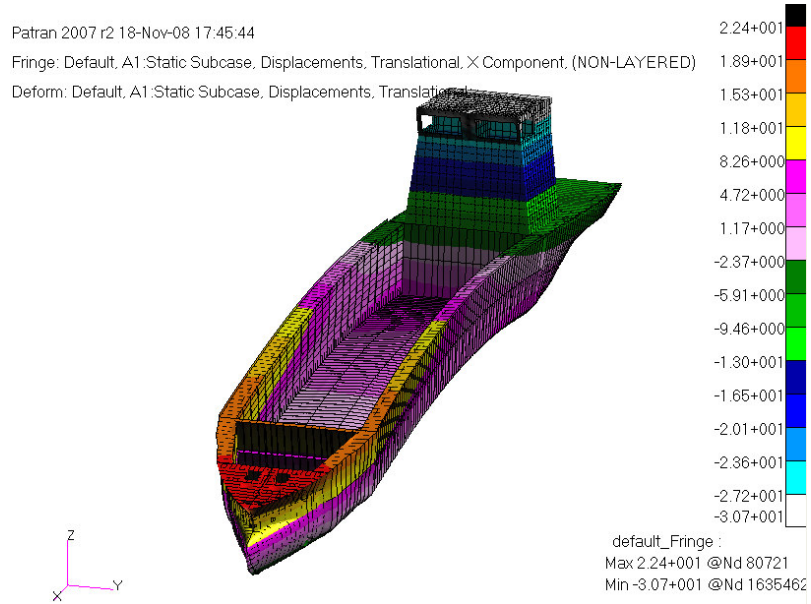
Şekil 8.27 Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme bölgesi

Şekil 8.26'da gemi yapısı üzerinde oluşan Von-Misses gerilme dağılımı verilmiştir. Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme değeri burun bölgesinde meydana gelmiştir. Şekil 8.27'de lokasyonu gösterilen maksimum değer yaklaşık 442 MPa civarındadır. Deplasman değerlerini inceleyecek olursak;



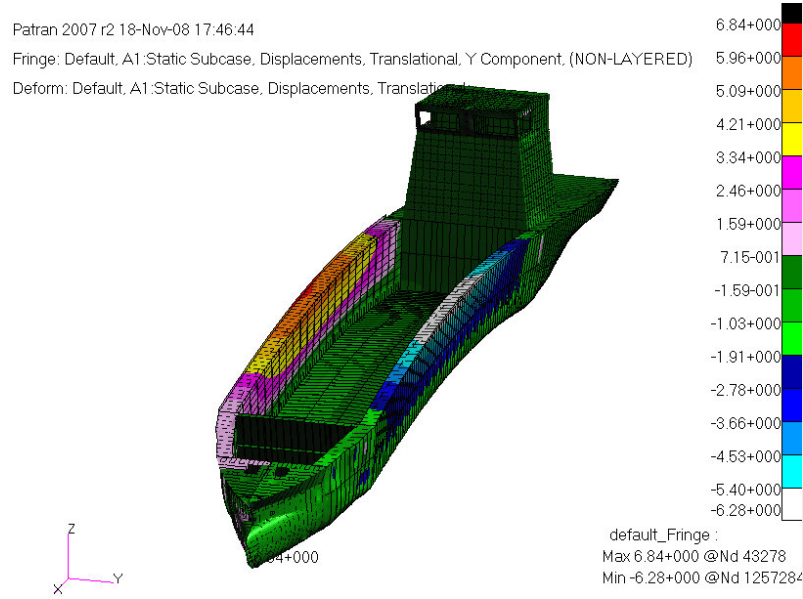
Şekil 8.28 Gemi yapısı global deplasman dağılımı

Şekil 8.28’de görülen maksimum deplasman değeri, burun yapısı üzerinde meydana gelmiştir. Maksimum deplasman değeri yaklaşık olarak 79.1 mm civarındadır.

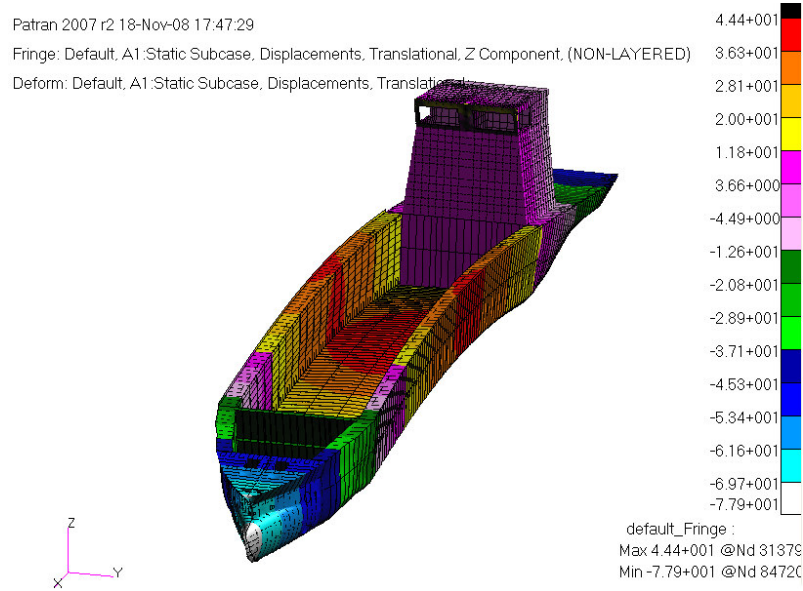


Şekil 8.29 Gemi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni

Şekil 8.29’da gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık oluşan deformasyon dağılımı boyuna yöndeki (X) bileşeni görülmektedir.



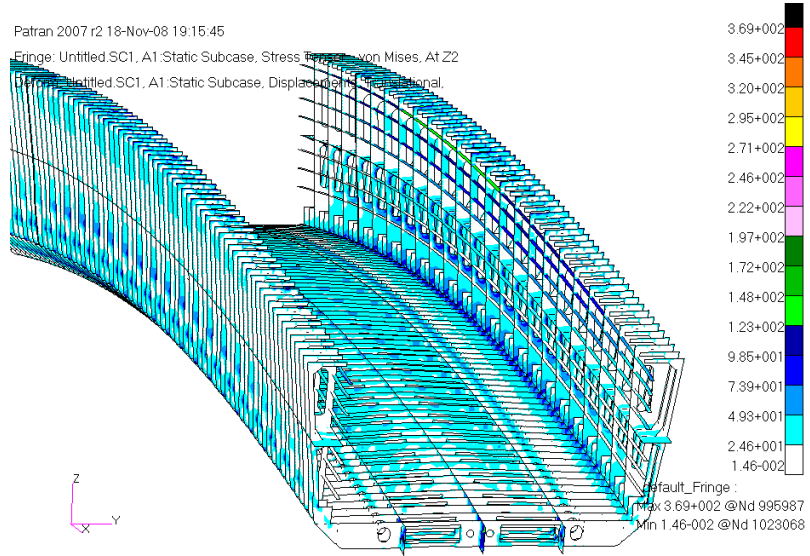
Şekil 8.30 Gemi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni



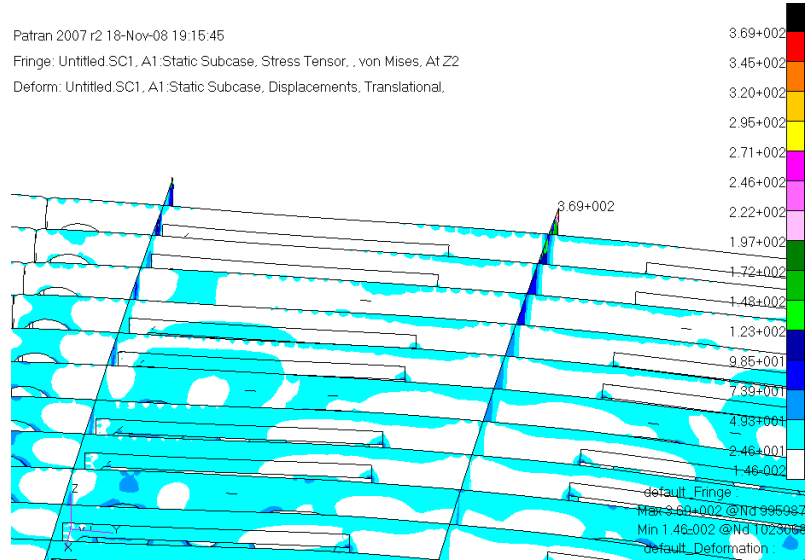
Şekil 8.31 Gemi yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

Şekil 8.30 ve Şekil 8.31'de sırasıyla gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık oluşan deformasyon dağılımı transversal (Y) yöndeki ve yükseklik yönündeki (Z) bileşenleri görülmektedir.

Gemi yapısı üzerindeki global gerilme ve yer değiştirme gösterimleri yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Yapı üzerinde maksimum gerilme 442 MPa civarındadır. Deplasman ile alakalı şekillerden maksimum değer 79.1 mm olduğu görülmüştür. Detaylandırmak gerekirse öncelikle ambar yapısını ele alalım.

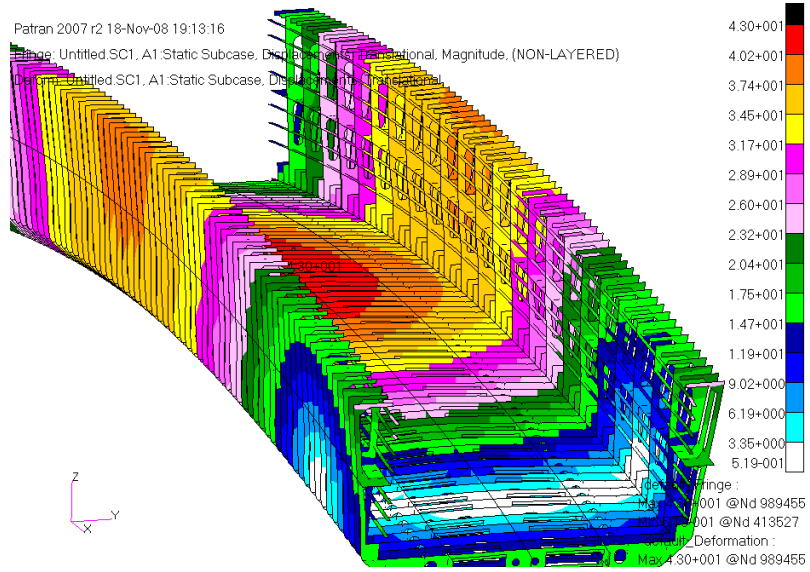


Şekil 8.32 Gemi ambar yapısı Von-Misses gerilme dağılımı



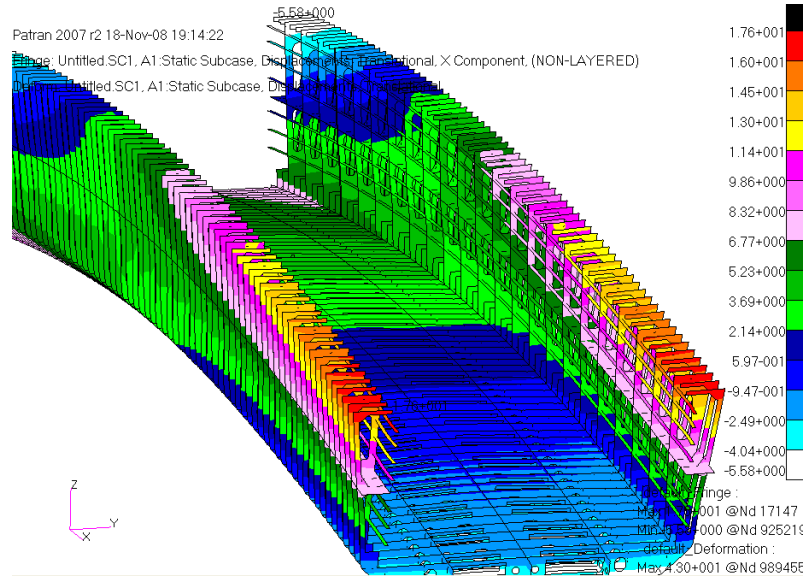
Şekil 8.33 Gemi ambar yapısı maksimum Von-Misses gerilme bölgesi

Şekil 8.32’de gemi ambar yapısı Von-Misses gerilme dağılımı verilmiştir. Ambar yapısı üzerinde maksimum gerilme, yüksüz halde olduğu gibi arka bulkhead ile ambar yapısının birleşme bölgesinde meydana gelmiştir. Şekil 8.33’de görülen maksimum gerilme değeri olarak yaklaşık 369 MPa civarındadır.



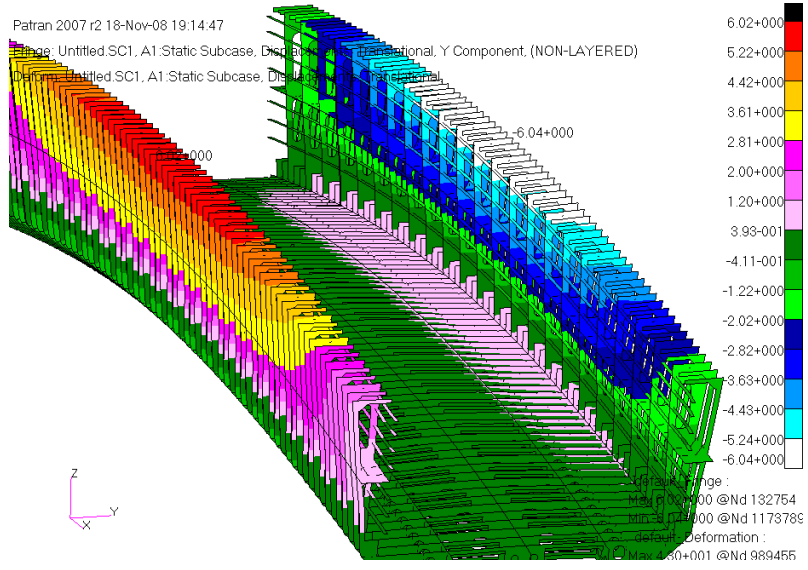
Şekil 8.34 Gemi ambar yapısı deplasman dağılımı

Şekil 8.34’de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık ambar yapısı üzerinde oluşan deformasyon dağılımı görülmektedir. Ambar yapısı üzerinde maksimum deplasman değeri yaklaşık olarak 43 mm. civarındadır.

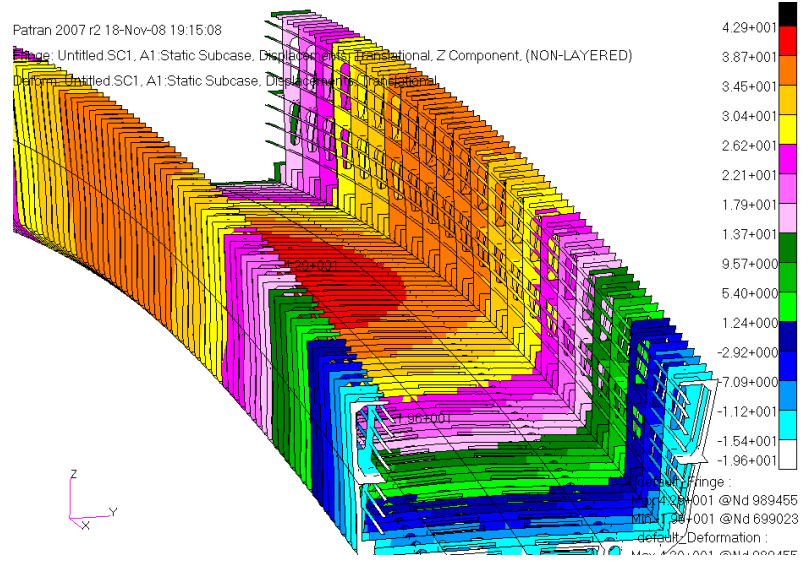


Şekil 8.35 Gemi ambar yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni

Şekil 8.35’de ambar yapısı üzerinde oluşan boyuna (X) yöndeki deformasyon dağılımı görülmektedir.



Şekil 8.36 Gemi ambar yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni

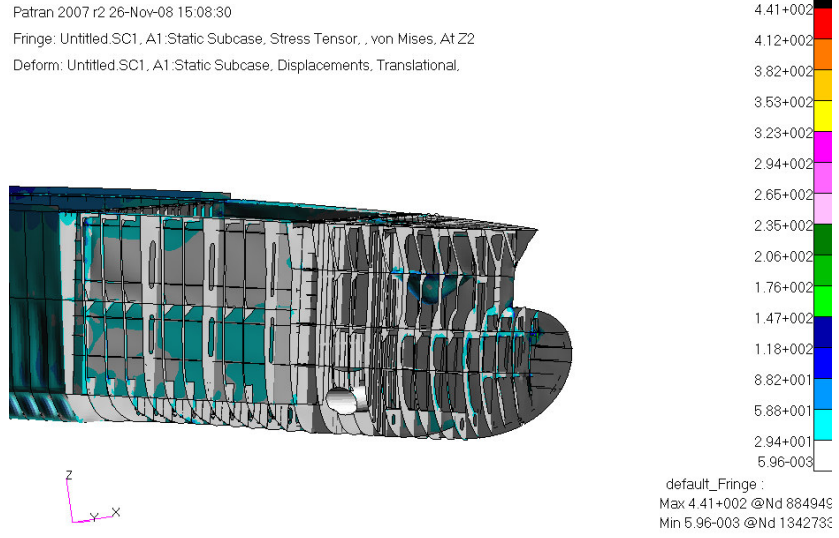


Şekil 8.37 Gemi ambar yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

Şekil 8.36 ve Şekil 8.37’de sırasıyla gemi yapısına etkileyen kuvvetlere karşılık oluşan deformasyon dağılımı transversal (Y) yöndeki ve yükseklik (Z) yönündeki bileşenleri görülmektedir.

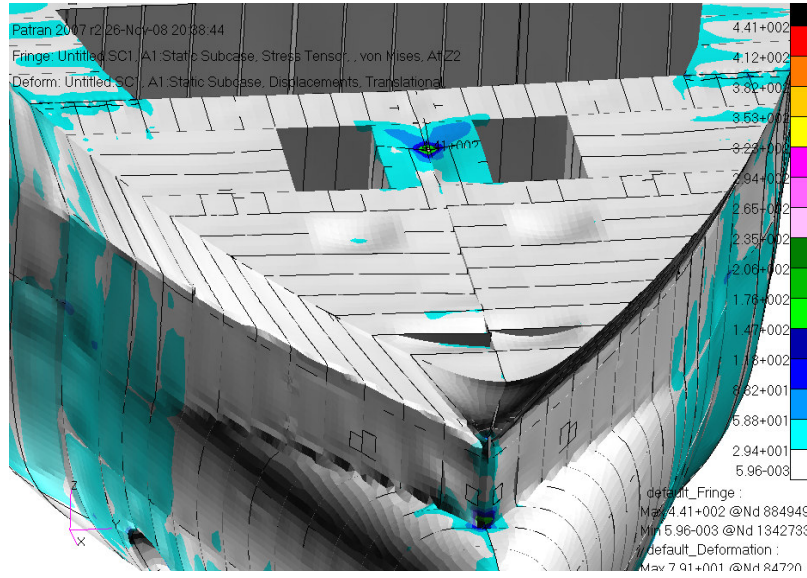
Gemi ambar yapısı üzerinde meydana gelen deformasyon ve gerilme değerleri yukarıdaki şekillerde detaylıca verilmiştir.

Yüklü durumda gemi burun ve geçiş yapısını detaylıca incelersek;



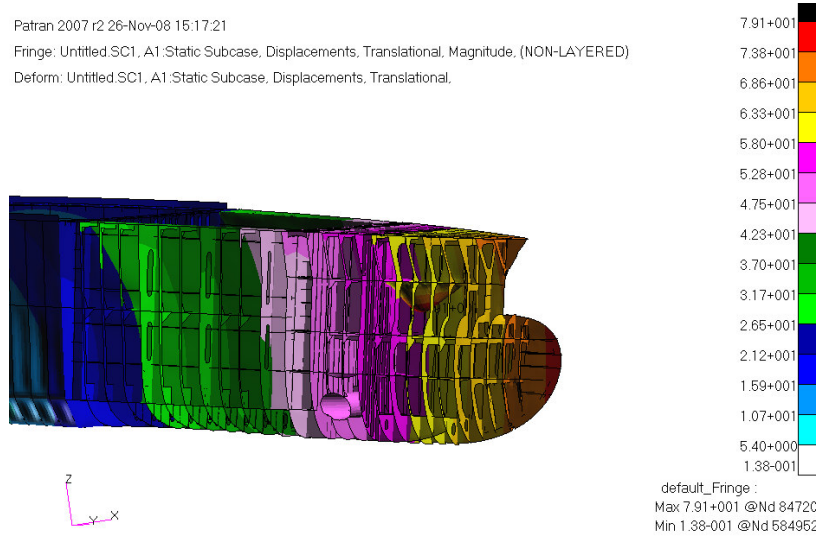
Şekil 8.38 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi

Şekil 8.38’de gemi burun ve geçiş yapısı üzerinde Von-Misses ortalama gerilme dağılımı verilmiştir. Gemi yapısı üzerinde maksimum gerilme değeri 441 MPa ile burun yapısı üzerinde görülmüştür.



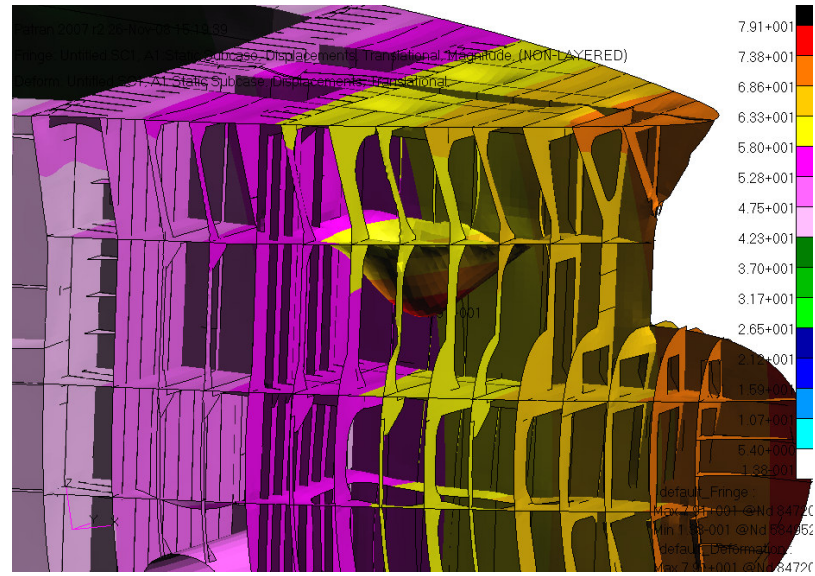
Şekil 8.39 Gemi burun ve geçiş yapısı Von-Misses ortalama gerilmesi

Şekil 8.39’da burun ve geçiş yapısı üzerinde oluşan maksimum gerilme bölgesi görülmektedir.



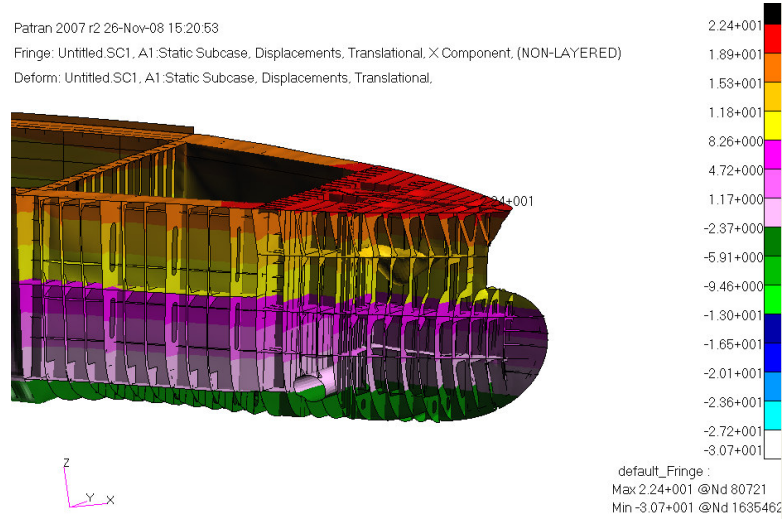
Şekil 8.40 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasman değerleri dağılımı

Şekil 8.40'da gemi burun ve geçiş yapısı üzerinde oluşan deplasman değerleri dağılımı verilmiştir. Gemi burun ve geçiş yapısı üzerinde maksimum deplasman değeri 79.1 mm ile burun yapısı üzerinde oluşmuştur.

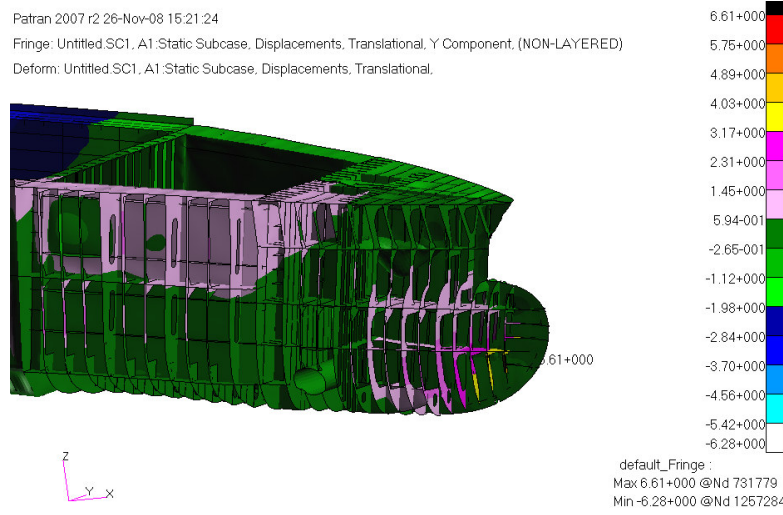


Şekil 8.41 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı maksimum deplasman değeri

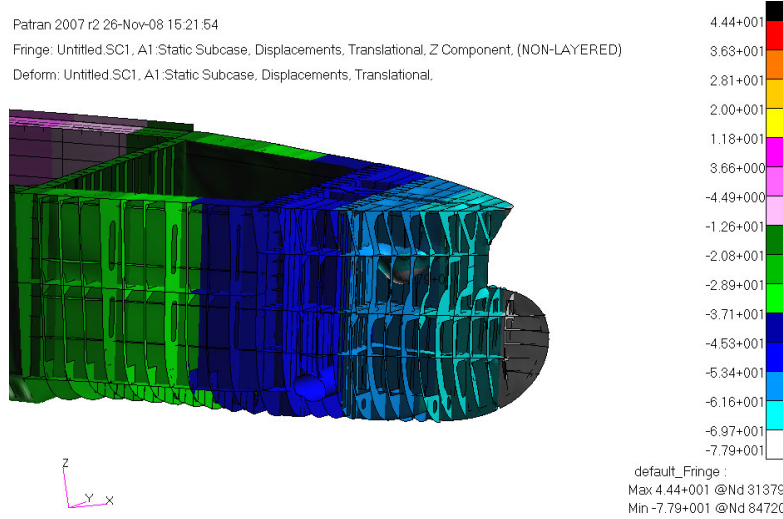
Şekil 8.41'de gemi burun yapısı ve geçiş bölgesi yapısı üzerinde maksimum deplasmanın olduğu bölge gösterilmiştir. Gemi burun yapısı üzerinde maksimum deplasman, ara bölme saclarından birinde gözlenmiştir. Bu sacın yeteri derecede yapısal elemanlarla desteklenmesi sonucu, yer değiştirmelerin azaltılması mümkündür.



Şekil 8.42 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni



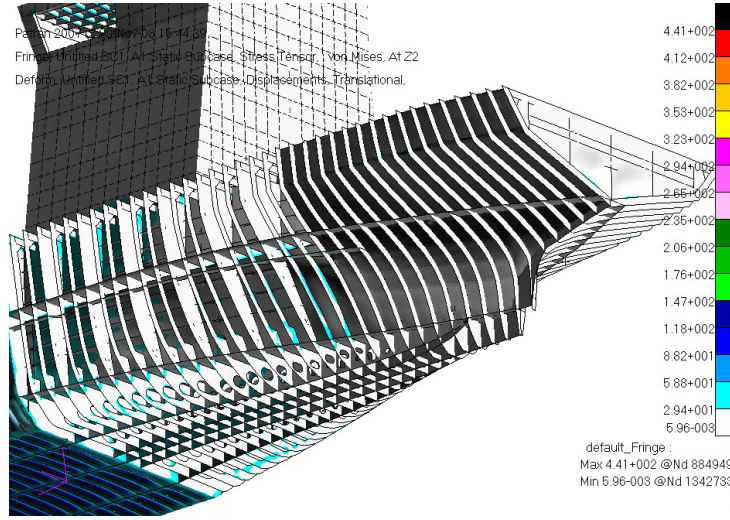
Şekil 8.43 Gemi burun ve geçiş bölgesi yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni



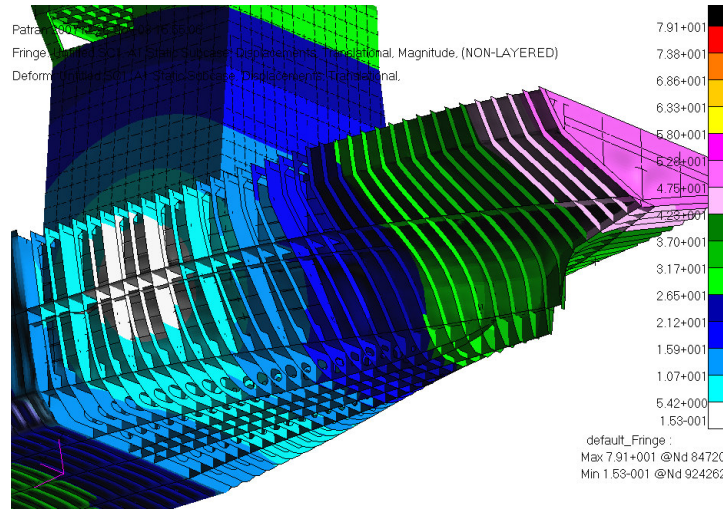
Şekil 8.44 Gemi burun ve geçiş yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

Şekil 8.42, Şekil 8.43 ve Şekil 8.44'de gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımları ve bileşenleri görülmektedir.

Gemi kıç yapısını inceleyecek olursak;

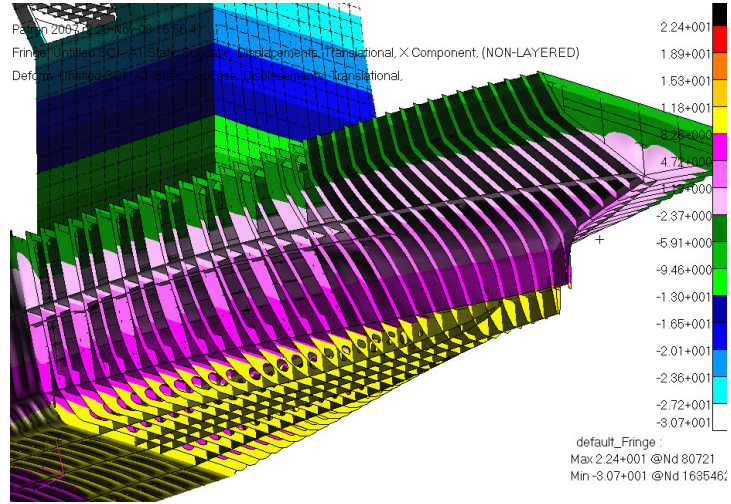


Şekil 8.45'de gemi kıç yapısı üzerinde Von-Misses ortalama gerilme dağılımı verilmiştir. Gemi kıç yapısı üzerinde yüksek gerilmeler oluşmamaktadır.

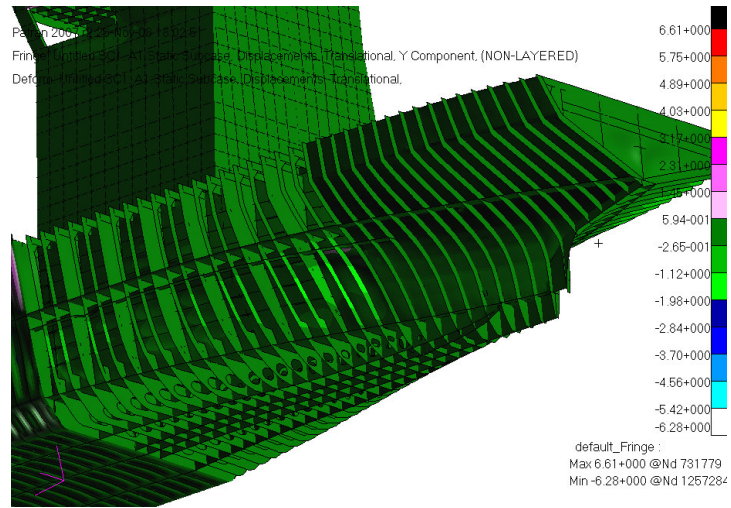


Şekil 8.46'da gemi kıç yapısı üzerinde oluşan deplasman değerleri dağılımı verilmiştir. Kıç yapısı üzerinde maksimum deplasman değeri yaklaşık olarak 58 mm. civarındadır.

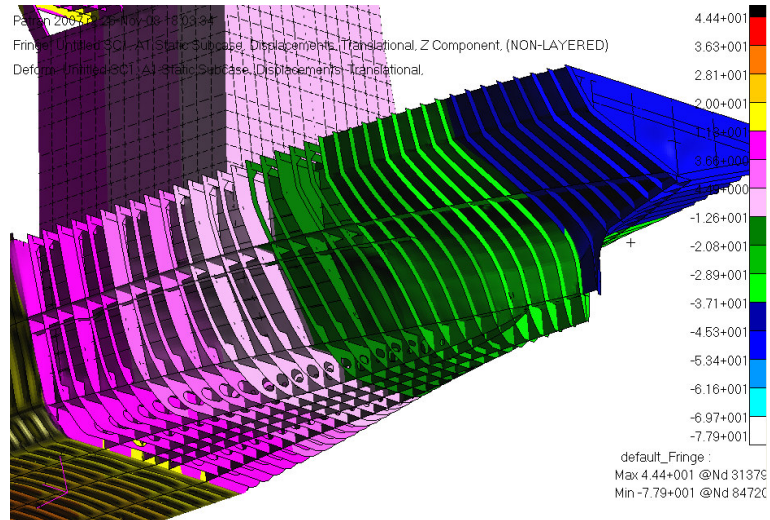
Şekil 8.47, Şekil 8.48 ve Şekil 8.49'da gemi yapısına etkiyen kuvvetlere karşılık, oluşan deformasyon dağılımları ve bileşenleri görülmektedir.



Şekil 8.47 Gemi kıç yapısı deplasmanı boyuna yöndeki (X) bileşeni



Şekil 8.48 Gemi kıç yapısı deplasmanı transversal yöndeki (Y) bileşeni



Şekil 8.49 Gemi kıç yapısı deplasmanı yükseklik yönündeki (Z) bileşeni

9. GEMİ YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI DEĞERLENDİRMESİ

9.1 Gemi Yapısı Doğal Frekans Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Büyük kütleli cisimlerin doğal frekans değerleri küçüktür. Analizini gerçekleştirdiğimiz gemi yapısı bu sınıfa dahil edilebilir. Global olarak elastik davranışın baskın olduğu düşük modlarda ana yapı için, burulma ve eğilme hareketleri gözlemlenmektedir. Bu tür davranışlardan yapı için zayıf bölgelerin tespit edilmesi ve önlem alınması mümkündür. Eğilme modunda, geminin boyu ve eni arasında yapılacak değişiklikler frekansın yukarı ötelenmesi için yeterli olacaktır. Tek ambar olarak yapılan gemi yapısı burulma direnci yönünden zayıf gözükmektedir. Geminin karakteristiğini bozmayacak şekilde aralara yükleme sonrası konulacak traversler burulma yönünden frekansı yukarı öteleyecektir.

Çizelge 9.1 Gemi doğal frekans analiz sonuçları

MOD	FREKANS (Hz)	MOD ŞEKLİ
1	2.3851	Burulma Frekansı
2	3.2811	Eğilme Frekansı
3	4.7286	Lokal Frekansı
4	5.0058	Lokal Frekansı
5	5.0808	Yalpa Frekansı
6	5.0929	Lokal Frekansı
7	5.4641	Lokal Frekansı
8	6.2439	Lokal Frekansı
9	7.0444	Ambar Yan duvar Eğilme Frekansı
10	7.2686	Lokal Frekansı

Lokal frekanslar geminin burun ve kış kısmında ortaya çıkmakta olup birbirlerine yakın değerlerdedir. Yapının o bölgelerde güçlendirilmesi bir çözüm olacaktır.

9.2 Sakin Su Durumu için Gemi Yüksüz Halde Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Gemi yapısı statik analizlerinin ilki, geminin sakin su durumu için yüksüz haldeki yapısal analizidir. Elde edilen gerilme değerlerinin doğru olabilmesi, analiz öncesinde yapılan ve modele girilen parametrelerin doğruluğuna bağlıdır. Gemi yapısı yüksüz haldeki statik analizi yapılmadan önce; modelin ağırlık merkezi yeri işletme şartlarına uygun olarak, sisteme ek kütle koyulması ve bazı lokasyonlarda yoğunluk artırımına gidilmesi ile doğru bir şekilde elde edilmiştir (Çizelge 9.4). Ardından yapıya etkiyen dış kuvvetler girilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

Gemi yapısı için kullanılan malzeme St42 Grade A gemi imalat çeliğidir. Malzemenin fiziksel ve mukavemet özellikleri aşağıdaki gibidir;

St42 malzemenin fiziksel özellikleri;

Malzeme Modeli : Lineer Elastik

Elastik Modülü : 210000 (Pa)

Poisson Oranı : 0.3

Yoğunluk : 7800E-12 (ton/mm³)

St42 malzemenin mukavemet özellikleri;

Akma Gerilmesi (σ_{akma}) : 250 MPa

Çekme Gerilmesi ($\sigma_{çekme}$) : 410-500 MPa

Uzama Yüzdesi : %23

Analiz sonucunda global olarak tüm gemi üzerinde en yüksek gerilme değeri 112 MPa civarında gözlenmiştir. Bu değer malzemenin akma gerilmesi değerinin oldukça altındadır. Maksimum gerilmenin olduğu yer ise; ön bulkhead yapısı ile gemi yan duvarının birleştiği lokasyondur. Oluşan maksimum gerilme değeri, malzememizin akma gerilmesi sınırının altında olduğu için yapı emniyetlidir. Ancak yinede bu değer bölgenin güçlendirilmesi ile iyice azaltılabilir. Ayrıca birleşim noktasındaki keskin uç yuvarlatılarak gerilme yığılmasının önüne geçilmesi de mümkündür (Şekil 9.5).

Analiz sonucunda maksimum deplasman değeri 18.9 mm olarak gemi burun yapısı üzerinde

meydana gelmiştir. Gemi yapısına global olarak bakıldığında, kütle dağılımının en yoğun olduğu bölge burun yapısı olduğu için, maksimum yerdeğiştirme burada gerçekleşmiştir (Şekil 9.6).

Gemi yapısı yüksüz durum için yapılan analizden ambar yapısı üzerinde maksimum gerilme değerinin 86.8 MPa civarında olduğu gözlenmiştir. Ambar yapısı üzerinde oluşan maksimum değer, döşekteki taşıyıcı elemanlar üzerindedir. Gemi ambar yapısının arka bulkhead ile birleştiği bölgede oluşan maksimum gerilme değerini azaltmak için; bölgenin braketler ile desteklenmesi faydalı olacağı gibi yapının o bölgede kalınlaştırılması da bir diğer çözüm olabilecektir (Şekil 9.10).

Gemi burun yapısı üzerinde maksimum gerilme değeri 112 MPa civarındadır. Bu değer yapı üzerinde oluşan maksimum gerilme değeridir. Ön bulkhead yapısı ile gemi yan duvarının birleştiği bölgede oluşan maksimum değer dışında, burun yapısı üzerinde ciddi bir gerilme yığılması gözlenmemiştir (Şekil 9.15).

Gemi kış yapısı üzerinde benzer şekilde yüksek gerilme değerleri gözlenmemiştir. Okunan gerilme değerleri ortalama olarak 15 MPa ile 20 MPa arasında değişmektedir. Gemi kış yapısı da gerilme açısından oldukça emniyetlidir (Şekil 9.20).

Çizelge 10.2 Sakin su durumu yüksüz hal için gemi yapısal analiz sonuçları

Gerilmenin Oluştugu Bölge	Max Deplasman Değeri (mm)	Max Gerilme Değeri (MPa)	Emniyet Durumu (s)
Ön Bulkhead	5	112	2.2
Ambar Yapısı	10.9	86.8	2.8
Burun Yapısı	18.1	22.5	11.1
Kış Yapısı	5.3	15	16.6

Gemi yapısı üzerinde sakin su durumu yüksüz hal için yapılan analizlere göre; yapı tüm bölgelerde gerilme açısından emniyetlidir.

9.3 Sakin Su Durumu için Gemi Yüklü Halde Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sakin su durumu için, gemi yüklü halde iken yapılan analiz sonuçlarına göre; gemi yapısı üzerinde en yüksek gerilme değeri 441 MPa civarında gözlenmiştir. Bu değer malzememizin akma dayanımının üzerinde, kopma dayanımının ise altındadır. Maksimum gerilmenin olduğu yer ise; burun bölgesi en üst dış kaplama sacı (güverte sacı) CL çizgisi üzerindedir. Oluşan maksimum gerilme değeri tekillikten kaynaklanmıştır. Gemi yapısına, bu bölgede etkiyen bir yükleme durumu söz konusu değildir (Şekil 9.27).

Deplasman değerlerine bakıldığında, maksimum 79.1 mm değeri gözlenmiştir. Bu değer yer değiştirme bileşke değeridir ve gemi burun yapısı üzerinde meydana gelmiştir. Burun yapısı üzerinde, yapısal olarak yeterince desteklenmemiş olan bir sac bloğu, hareket ederek maksimum deplasman değerini oluşturmuştur. Sac bloğun yapısal elemanlar ile daha fazla desteklenmesi maksimum yer değiştirmeyi düşürecektir. Bunun yanı sıra; burun yapısına global olarak bakıldığında 73.8 mm. deplasman değerinin mevcut olduğu görülmektedir. Diğer bölgelere oranla, kütle dağılımının yoğun olduğu bölge burun yapısı olduğu için maksimum deplasman değeri burada oluşmaktadır (Şekil 9.29).

Gemi yapısı yüklü durum için yapılan analiz sonucunda; ambar yapısı üzerinde maksimum gerilme değerinin 369 MPa civarında olduğu gözlenmiştir. Ambar yapısı üzerinde oluşan maksimum değer, yüksüz durumda olduğu gibi döşek taşıyıcı elemanları üzerinde oluşmuştur. Gemi ambar yapısının, arka bulkhead ile birleştiği bölgede oluşan maksimum gerilme değerini azaltmak için bölgenin yapısal elemanlar ile daha fazla desteklenmesi gerekmektedir (Şekil 9.33).

Gemi burun yapısı üzerinde maksimum gerilme değeri 441 MPa civarındadır. Bu değer daha önce belirttiğimiz gibi yapı üzerinde oluşan maksimum gerilme değeridir. Burun bölgesi üst kaplama sacı (güverte sacı) CL çizgisi üzerinde oluşan bu değer dışında, burun yapısı üzerinde ortalama olarak gerilme değerlerinin 80 MPa ile 90 MPa arasında değiştiği gözlenmiştir (Şekil 9.38).

Gemi kış yapısı üzerinde yüksek gerilme değerleri gözlenmemiştir. Ortalama olarak 60 MPa ile 80 MPa arasında değişmektedir. Gemi kış yapısı gerilme açısından oldukça emniyetlidir (Şekil 9.45).

Çizelge 10.3 Sakin su durumu yüklü hal için gemi yapısal analiz sonuçları

Gerilmenin Oluştığı Bölge	Max Deplasman Değeri (mm)	Max Gerilme Değeri (MPa)	Emniyet Durumu (s)
Ön Bulkhead	4.72	147	1.7
Ambar Yapısı	43	369	Emniyetsiz
Burun Yapısı	79.1	441	Emniyetsiz
Kıç Yapısı	52.8	88.2	2.8

Gemi yapısı sakın su durumu yüklü hal için yapılan analizlere göre; yapı üzerinde bazı bölgelerin gerilme değerleri, kullanılan malzemenin akma sınırının üzerindedir.

10. SONUÇLAR

Doğal frekans açısından düşünüldüğünde; global olarak elastik davranışın baskın olduğu düşük modlarda ana yapı için, burulma ve eğilme hareketleri gözlemlenmektedir. Eğilme modunda, geminin boyu ve eni arasında yapılacak değişiklikler frekansın yukarı ötelenmesi için yeterli olacaktır. Tek ambar olarak yapılan gemi yapısı burulma direnci yönünden zayıf gözükmemektedir. Geminin karakteristiğini bozmayacak şekilde aralara yükleme sonrası konulacak traversler burulma yönünden frekansı yukarı öteleyecektir. Lokal frekanslar geminin burun ve kıç kısmında ortaya çıkmakta olup birbirlerine yakın değerlerdedir. Yapının o bölgelerde güçlendirilmesi bir çözüm olacaktır.

Gemi yapısı statik analizlerinin ilki, geminin sakin su durumu için yüksüz haldeki yapısal analizidir. Analiz sonucunda global olarak tüm gemi üzerinde en yüksek gerilme değeri 112 MPa civarında gözlenmiştir. Bu değer malzemenin akma gerilmesi değerinin oldukça altındadır. Maksimum gerilmenin olduğu yer ise; ön bulkhead yapısı ile gemi yan duvarının birleştiği lokasyondur. Oluşan maksimum gerilme değeri, malzememizin akma gerilmesi sınırının altında olduğu için yapı emniyetlidir. Ancak yine de bu değer bölgenin güçlendirilmesi ile iyice azaltılabilir. Ayrıca birleşim noktasındaki keskin uç yuvarlatılarak gerilme yığılmasının önüne geçilmesi de mümkündür. Gemi yapısı yüksüz durum için yapılan analizden ambar yapısı üzerinde maksimum gerilme değerinin 86.8 MPa civarında olduğu gözlenmiştir. Ambar yapısı üzerinde oluşan maksimum değer, döşekteki taşıyıcı elemanlar üzerindedir. Gemi ambar yapısının arka bulkhead ile birleştiği bölgede oluşan maksimum gerilme değerini azaltmak için; bölgenin braketler ile desteklenmesi faydalı olacağı gibi yapının o bölgede kalınlaştırılması da bir diğer çözüm olabilecektir. Gemi burun yapısı üzerinde maksimum gerilme değeri 112 MPa civarındadır. Bu değer yapı üzerinde oluşan maksimum gerilme değeridir. Ön bulkhead yapısı ile gemi yan duvarının birleştiği bölgede oluşan maksimum değer dışında, burun yapısı üzerinde ciddi bir gerilme yığılması gözlenmemiştir. Gemi kıç yapısı üzerinde benzer şekilde yüksek gerilme değerleri gözlenmemiştir. Okunan gerilme değerleri ortalama olarak 15 MPa ile 20 MPa arasında değişmektedir. Gemi kıç yapısı da gerilme açısından oldukça emniyetlidir. Gemi yapısı üzerinde sakin su durumu yüksüz hal için yapılan analizlere göre; yapı tüm bölgelerde gerilme açısından emniyetlidir.

Sakin su durumu için, gemi yüklü halde iken yapılan analiz sonuçlarına göre; gemi yapısı üzerinde en yüksek gerilme değeri 441 MPa civarında gözlenmiştir. Bu değer malzememizin akma dayanımının üzerinde, kopma dayanımının ise altındadır. Maksimum gerilmenin

oluştugu yer ise; burun bölgesi en üst dış kaplama sacı (güverte sacı) CL çizgisi üzerindedir. Oluşan maksimum gerilme değeri tekillikten kaynaklanmıştır. Tekilliğin sebebi; bu bölgede dikim işlemi sırasında elemanlardan bir veya birkaçının bozulması olabilir. Bozuk elemanların düzeltilmesi tekilliği ortadan kaldıracaktır. Burun yapısı üzerinde, yapısal olarak yeterince desteklenmemiş olan bir sac bloğu, hareket ederek maksimum deplasman değerini oluşturmuştur. Sac bloğun yapısal elemanlar ile daha fazla desteklenmesi maksimum yer değiştirmeyi düşürecektir. Bunun yanı sıra; burun yapısına global olarak bakıldığında 73.8 mm. deplasman değerinin mevcut olduğu görülmektedir. Diğer bölgelere oranla, kütle dağılımının yoğun olduğu bölge burun yapısı olduğu için maksimum deplasman değeri burada oluşmaktadır. Ambar yapısı üzerinde oluşan maksimum değer, yüksüz durumda olduğu gibi döşek taşıyıcı elemanları üzerinde oluşmuştur. Gemi ambar yapısının, arka bulkhead ile birleştiği bölgede oluşan maksimum gerilme değerini azaltmak için bölgenin yapısal elemanlar ile daha fazla desteklenmesi gerekmektedir. Gemi kış yapısı üzerinde yüksek gerilme değerleri gözlenmemiştir. Ortalama olarak 60 MPa ile 80 MPa arasında değişmektedir. Gemi kış yapısı gerilme açısından oldukça emniyetlidir.

KAYNAKLAR

- Argyis, J.H. ve Kelsey, S., (1960) "Energy Theorems and Structural Analysis, Butterworths"
- Clough, R.W., (1960) "The Finite Element in Plane Stress Analysis, Proc. 2nd A.S.C.E. Conf. On Electronic Computation, Pittsburgh, Pa., 345-378"
- DPT (2000) "Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Gemi İnşa Sanayi ve Rekabet Edebilirlik Özel İhtisas Komisyonu Raporu"
- DPT (2007) "Devlet Planlama Teşkilatı Dokuzuncu Kalkınma Planı Gemi İnşa Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu"
- Ergin A., Bayraktarkatal E., Ünsan Y., (2000) "Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları, Türk Loydu Vakfı ve İ.T.Ü Gemi İnş.ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Seminer Kitabı"
- Hrennikof, A., (1941) "Solution of Problems in Elasticity by the Framework Method, Journal of Applied Mechanics, 169-175"
- Iwahashi Y., Sumi Y., Hu T., Paetzold H., Wu C.C., Jang C.D., Rigo P., Nie W., Kawano H., (1998) "Finite Element Comparative Study of Ship Structural Detail"
- Kazuhiro I., Yao T., Moan T., (2008) "Structural Response of a Ship in Severe Seas Considering Global Hydroelastic Vibrations, Marine Structures, Elsevier"
- McHenry, D., (1943) "A Lattice Analogy for the Solution of Plane Stress Problems, Journal of Inst. Civil Eng., Vol.21, 59-82"
- Neşer G., (2002) "Çelik Malzemeyle İnşa Edilmiş Bir Balıkçı Gemisi Serisinin Türk Loydu Kurallarıyla Boyutlandırılmış Ortakesit Elemanlarının Yapısal Analizi, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi"
- Özalp T., (1978) "Özel Gemilerin Yapısı, İ.T.Ü Kütüphanesi"
- Özalp T., (1984) "Gemi Mühendisliğine Giriş, İ.T.Ü Kütüphanesi"
- Phelps B.P., (1997) "Determination of Wave Loads for Ship Structural Analysis, Defense Science and Technology Organization"
- Santos M.F., Santos M.J., Duarte F., Soares C.G., (2004) "Finite Element Analysis of a 30ft One-off Racer-Cruiser Yacht, International Symposium on Yacht Design and Production"

Savcı M., (1962) “Gemilerin Boyuna Mukavemeti, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul”

Savcı M., (1980) “Gemi Kirişleri Mukavemeti, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul”

Senjanovic I., Tomasevic S., Rudan S., Senjanovic T., (2008) “Role of Transverse Bulkheads in Hull Stiffness of Large Container Ships, Engineering Structures, Science Direct”

Topçu M., Taşgetiren S., (1998) “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, PAÜ Mühendislik Fakültesi, Ders kitapları Yayın No: 007”

Turner, M.J., Clough, R.W., Martin, H.C. ve Topp, L.T., (1956) “Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures, J. Aero. Sci., Vol. ‘3, 805–823”

Türk Loydu, (2000) “Çelik Gemileri Klaslama Kuralları, Cilt A Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları”

Zienkiewicz, O.C., Irons, B.M. ve Nath, B., (1966) “Natural Frequencies of Complex, Free or Submerged Structures by the Finite Element Methods, Proc. Symp. Vibration in Civil Eng. Butterworths, 83-93”

Zienkiewicz, O.C., (1977) “The Finite Element Method, 3.Baskı McGraw-Hill Book Company”

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.05.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1996-2000 Orhan Cemal Fersoy Lisesi (Y.D.A)

İngilizce Hazırlık 2001-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi İngilizce Hazırlık

Lisans 2002-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,
Makine Teorisi ve Kontrol Programı,

Çalıştığı kurum

Araştırma Görevlisi 2006- YTÜ, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisliği Bölümü