T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR TANKERİN ORTA KESİT BOYUTLANDIRMASI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNE DAYALI BOYUNA MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ

NURBAKİ BAYKUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAAT VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
YARD. DOÇ. DR. İSMAİL BAYER

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR TANKERİN ORTA KESİT BOYUTLANDIRMASI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNE DAYALI BOYUNA MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ

Nurbaki BAYKUT tarafından hazırlanan tez çalışması 29.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yard. Doç. Dr. İsmail BAYER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yard. Doç. Dr. İsmail BAYER

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Gemiler çalışma süreleri boyunca hayatta kalabilmek için en önemli 2 unsur ile mücadele ederler, bunlar; mukavemet ve stabilite konularıdır. Dizayn aşamasında iken mukavemet ve stabilite hesapları çok dikkatli bir şekilde gerçekleştirilir. Mukavemet konusundaki hesaplar geminin hayatta kalmasını doğrudan etkilediği gibi ekonomik unsurlarla da birebir ilişkilidir.

Yanlış veya eksik mukavemet hesapları gemide derin çatlaklar, yarıklar oluşmasına ya da geminin kırılmasına neden olabilir. Böyle bir durum gemi çalışma ömrünü doldurmadan kullanılamaz hale gelmesine yahut çok büyük masraflar ile onarılmasına neden olur. Bu durum armatörün ekonomik olarak zarar görmesi demektir. Gemi hasarları sadece ekonomik değil aynı zamanda ekolojik olarak da bir tehdittir. Bir ULCC'dan (çok büyük petrol tankeri) denize karışabilecek petrol çevre için ölümcül tehdit oluşturur. En kötü senaryoda ise geminin batmasına ve can kayıplarına dahi neden olabilir.

İyi bir yapısal dizayn ise geminin tüm operasyon hayatı boyunca taşıyacağı çelik tekne ağırlığını yani lightship ağırlığını önemli ölçüde düşürebilir; bu da gemi her yaptığı seferde daha fazla yük taşıyabilmesine olanak verir. Diğer yandan gereksiz ağır gemi, fazladan yakıt sarfiyatı nedeniyle ek bir masrafa ve ilk inşa süresinde gereksiz malzeme kullanımı nedeniyle ilk yatırım maliyetinin yükselmesine neden olacaktır.

Mühendislere düşen görev güvenli çalışma koşullarını sağlayan en hafif ve en ucuz gemiyi tasarlamaktır. Bu noktada mühendislerin olmazsa olmazı optimizasyon konusu devreye girmektedir. Günümüz gelişmiş bilgisayar ve programlama teknolojileri ile optimizasyon işlemi nispeten kolaylaşmıştır.

Bu çalışmada gemi inşaat sektörünün olmazsa olmazı mukavemet hesaplarının gerçekleştirilmesinin yanı sıra sonlu elemanlar paket programı Ansys'in sektörde nasıl uygulandığı ve bunun ötesinde başka hangi fiziksel modelleme yöntemleriyle birlikte matematiksel modelleme yöntemlerinin uygulanabileceği gösterilmiştir.

Bu tez çalışması boyunca, Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki tez danışmanım, karakterine ve kişiliğine büyük saygı beslediğim Sayın Yard. Doç. Dr. İsmail BAYER'e, aradaki onca mesafeye rağmen yanımda olduğunu her an hissettirdiği, ne zaman bir konuda sıkışsam çare buluğu, hiçbir zaman yardımlarını esirgemediği için gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tezi, Erasmus programı ile 10 aylık süre zarfında bulunduğum Technical University of Lisbon, Instituto Superior Tecnico'da tamamlanmıştır. 10 aylık eğitim süresince tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen bölüm başkanı Prof. Carlos Soades Guares'e; burada derslerini büyük bir ilgi ve hayranlıkla takip ettiğim Prof. Yordan GARBATOV'a, sıkıştığım, tıkandığım her an bıkmadan yardımcı olduğu için bir teşekkürü borç bilirim.

Instituto Superior Tecnico'da doktora sonrası çalışmaları ile akademik kariyerine devam eden Dr. Ahmet Sinan ÖKTEM'e, memleket hasreti çektiğimiz her an maddi, manevi ve akademik çalışmalarımda da destek olduğu için çok teşekkür ederim.

Lizbon'da bulunduğum ilk günden itibaren tüm kahrımı çeken, bende özel bir yere sahip olan Ana Lucia Cardoso Pereira'ya sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2011

Nurbaki BAYKUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ Viii

KISALTMA LİSTESİ Xii

ŞEKİL LİSTESİ Xiii

ÇİZELGE LİSTESİ XVi

ÖZET XiX

ABSTRACT XXi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

DNV KURALLARINA GÖRE ORTA KESİT BOYUTLANDIRMASI 4

2.1 Temel Parametreler 5
2.1.1 Korozyon Payları 7
2.1.2 Malzeme faktörü 8
2.1.3 İvmeler 10
2.2 Burkulma Kontrolüne Giriş 12
2.2.1 Levhaların Burkulma Hesabı 12
2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı 14
2.3 Profillerin Dizaynı 16
2.3.1 Bulplı Profillerin Dizaynı 16
2.3.2 T Profillerin Dizaynı 18
2.4 Dip Yapıları 22
2.4.1 Levha Omurga 24

2.4.2 Dip ve Sintine Kaplaması 25
2.4.2.1 Dip ve Sintine Kaplaması Burkulma Hesabı 26
2.4.3 İç Dip 27
2.4.3.1 İç Dip Kaplaması Burkulma Hesabı 28
2.4.4 Döşek ve Dip Boyuna Tülani 29
2.4.4.1 Boyuna Tülanilerin Burkulma Hesabı 30
2.4.5 Dip Boyuna Postaları 30
2.4.5.1 Dip Boyuna Postaları Burkulma Hesabı 32
2.4.6 İç Dip Boyuna Postaları 34
2.4.6.1 İç Dip Boyuna Postaları Burkulma Hesabı 35
2.4.7 Boyuna Tülani ve Döşek Postaları 37
2.4.7.1 Boyuna Tülani Postaları Burkulma Hesabı 38
2.5 Borda Yapıları 39
2.5.1 Borda kaplaması 41
2.5.1.1 Şiyer Levhası 41
2.5.1.2 Borda Kaplaması Burkulma Hesabı 43
2.5.2 İç Cidar Kaplaması 43
2.5.2.1 İç Cidar Kaplaması Burkulma Hesabı 45
2.5.3 Stringer ve Derin Postalar 46
2.5.3.1 Boyuna Stringerlerin Burkulma Hesabı 47
2.5.4 Borda Boyuna Postaları 48
2.5.4.1 Borda Boyuna Postaları Burkulma Hesabı 51
2.5.5 İç Cidar Boyuna Postaları 52
2.5.5.1 İç Cidar Boyuna Postaları Burkulma Hesabı 54
2.5.6 Stringer ve Derin Posta Destek Postaları 56
2.5.6.1 Boyuna Stringer Destek Postaları Burkulma Hesabı 58
2.6 Güverte Yapıları 59
2.6.1 Güverte Kaplaması 61
2.6.1.1 Güverte Kaplaması Burkulma Hesabı 62
2.6.2 Güverte Altı Boyuna Tülanileri ve Enine Derin Kemereler 63
2.6.2.1 Güverte Altı Boyuna Tülanileri Burkulma Hesabı 66
2.6.3 Güverte Boyuna Postaları 67
2.6.3.1 Güverte Boyuna Postaları Burkulma Hesabı 68
2.7 Boyuna Perde Yapıları 70
2.7.1 Boy Perdesi Kaplaması 72
2.7.1.1 Boy Perdesi Kaplaması Burkulma Hesabı 73
2.7.2 Yatay ve Düşey Perde Stringerleri 74
2.7.2.1 Boyuna Perde Stringeri Burkulma Hesabı 76
2.7.3 Boy Perdesi Yatay Stifnerleri 77
2.7.3.1 Boy Perdesi Stifnerleri Burkulma Hesabı 78
2.8 Nihai Mukavemet (Ultimate Strength) 80
2.8.1 Mars 2000 ile Modelleme 84
2.8.2 Nihai Mukavemet Sonuçları 86
2.9 Orta Kesit Mukavemet Modülü Hesabı 89

BÖLÜM 3

BOYUNA MUKAVEMET 92

3.1 Ağırlık Hesabı 95
3.1.1 Boş Tekne Ağırlığı (Lightweight) 97
3.1.1.1 Makine Ağırlığı 97
3.1.1.2 Üst Yapı Ağırlığı 99
3.1.1.3 Çelik Tekne Ağırlığı 100
3.1.1.4 Donanım Ağırlığı 103
3.1.2 Deadweight 106
3.1.2.1 Mürettebat ve Erzak Ağırlığı 107
3.1.2.2 Temiz su Kapasitesi 108
3.1.2.3 Yakıt kapasitesi 109
3.1.2.4 Balast Ağırlığı 110
3.1.2.5 Kargo Ağırlığı 111
3.2 Ağırlık Merkezi Hesabı 112
3.3 Deplasman Hesabı 115
3.3.1 Gemi Formu ve Ofset Tablosu 115
3.3.2 En Kesit Alanları ve En Kesit Alan (Bonjean) Eğrileri 117
3.3.3 LCB ve Trim Hesabı 123
3.4 Sakin Su Durumu 128
3.4.1 Sakin Su Durumu Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı 133
3.5 Dalgalı Durumlar 135
3.5.1 Dalga Çukuru Durumu 137
3.5.1.1 Dalga Çukuru Durumunda Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı 141
3.5.2 Dalga Tepesi Durumu 144
3.5.2.1 Dalga Tepesi Durumunda Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı 148
3.6 DNV Boyuna Mukavemet Kuralları 150
3.6.1 Sakin Su Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları 150
3.6.2 Dalgalı Durumdan Kaynaklanan Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları 154
3.7 İzin Verilebilir Maksimum Gerilme 159

BÖLÜM 4

ANSYS İLE GLOBAL MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ 163

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Ansys'in Temelleri 163
4.1.1 Bir Boyutlu Analizler 167
4.1.2 İki boyutlu analizler 171
4.2 Ansys Analizi 173
4.2.1 Modelin Oluşturulması 173
4.2.2 Mesh (Ağ) Yaratma 179
4.2.3 Sınır Koşulları 180
4.2.4 Çözüm ve Sonuçlar 187

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 196
KAYNAKLAR 198

EK-A

ORTA KESİT PLANI 200

EK-B

ENDAZE PLANI 202

EK-C

TANK YERLEŞİM PLANI 204

EK-D

POSTA VE TANK ALANLARI 206

EK-E

TANK YERLEŞİMİ ve HACİMLERİ 208

EK-F

HİDROSTATİK ÖZELLİKLER 210

EK-G

ORTA KESİT MUKAVEMET MODÜLÜ HESAP TABLOSU 211
ÖZGEÇMİŞ 216

SİMGE LİSTESİ

∇	Gemi hacmi
Φ	Eğrilik
Δ	Gemi deplasmanı
a_l	Boyuna ivmelenme
a_p	Baş-kıç vurma ivmesi
a_r	Yalpa hareketi ivmesi.
a_t	Enine ivmelenme
a_v	Düşey ivme.
a_v	Düşey ivmelenme
a_x	İleri-geri öteleme ivmesi
a_y	Yan öteleme/savrulma ivmesi
a_z	Dalıp çıkma ivmesi
b	Yük merkezinden tankın üst köşe noktasına olan en uzak çapraz mesafe
b_b	Tankın bordaları arası mesafe
b_e	Etkin genişlik
b_t	Tank üst noktasında tank genişliği
C_w	Dalga katsayısı
d	Yapıda herhangi bir noktanın tarafsız eksene uzaklığı
d_{dib}	Dibin tarafsız eksene uzaklığı
$d_{güv}$	Güvertenin tarafsız eksene uzaklığı
d_{TE}	Elemanın ağırlık merkezinin tarafsız eksene olan uzaklığı
DW	Deadweight
Dwt	Deadweight ton
E	Malzemenin elastisite modülü. (çelik için 2.06 10^5 N/mm^2)
f	Friboard mesafesi(m)
f_1	Malzeme faktörü
f_{2b}	Tarafsız eksenin altını için gerilme faktörüdür
f_{2d}	Tarafsız eksenin üstü için gerilme faktörüdür
g	Yer çekimi ivmesi
g_0	Yerçekimi ivmesi
H	Metre cinsinden tankın yüksekliği
h_0	Yük merkezinden su hattına olan düşey uzaklık
h_b	Yük merkezinden minimum dizayn su hattına olan uzaklık
h_{db}	İç dip yüksekliği

h_p	Yük merkezinden tank hava firarının en üst noktasına düşey uzaklık
h_p	Yük merkezinden hava firarın tepe noktasına kadar olan dikey mesafe
h_s	Yük merkezinden tankın en üst noktasına düşey uzaklık
h_s	Metre olarak yük merkezinden tank tavanına kadar olan dikey mesafe
h_{TE}	Tarafsız eksenin referans noktasına olan uzaklığı
I_A	burkulmanın olması muhtemel yöndeki atalet momenti
I_{TE}	Enine tarafsız eksene göre minimum kural orta kesit atalet momenti
I_{top}	Sistemin tarafsız eksenine göre olan toplam atalet momenti
k	Burkulma hesabında bir katsayı
k_a	Plaka kenar oranı düzeltme katsayısı
K_{sm}	Sakin su orta kesit dizayn eğilme momentini gemi boyuna dağıtma katsayısı
K_{sq}	Sakin su orta kesit dizayn kesme kuvvetini gemi boyuna dağıtma katsayısı
K_{wm}	Dalgalı durum için dizayn eğilme momentini gemi boyuna dağıtma katsayısı
K_{wqn}	Dalgalı durumda, negatif orta kesit dizayn kesme kuvvetini gemi boyuna dağıtma katsayısı
K_{wqp}	Dalgalı durumda, pozitif orta kesit dizayn kesme kuvvetini gemi boyuna dağıtma katsayısı
l	Postanın desteklenmeyen boyu.
L_1	Gemi boyuna (L) eşittir; ancak 300 metreden büyük alınmasına gerek yoktur
l_b	Enine perdeler arası mesafe
L_c	Paralel gövde boyu
L_{er}	Makinde dairesi boyu
l_t	Tank tavanının boyu
LW	Lightweight
M_{so}	Sakin su orta kesit dizayn eğilme momenti
M_{sw}	Sakin su durumu için hesaplanan eğilme momenti
$M_{sw, Hog}$	Sakin su, sarkma durumu için dizayn eğilme momenti
$M_{sw, Sag}$	Sakin su, çökme durumu için dizayn eğilme momenti
M_w	Dalgalı durum için orta kesit dizayn eğilme momenti
$M_{w,c,hog}$	Dalga tepesinde, sarkma durumu için dizayn eğilme momenti
$M_{w,c,sag}$	Dalga çukurunda, çökme durumu için dizayn eğilme momenti
$M_{w,hog}$	Dalga tepesinde, sarkma durumu için hesaplanan eğilme momenti
$M_{w,sag}$	Dalga çukurunda, çökme durumu için hesaplanan eğilme momenti
N_{eff}	Ana makinenin efektif gücü
P_{bw}	Balast ağırlığı
P_c	Kargo ağırlığı
P_{eq}	Donanım ağırlığı
P_{fo}	Yakıt ağırlığı
P_{fw}	Tatlı su ağırlığı
P_{hull}	Çelik tekne ağırlığı
P_m	Makine ağırlığı
P_{sc}	Mürettebat ve erzak ağırlığı
P_{ss}	Üst yapı ağırlığı

Q_{so}	Sakin su orta kesit dizayn kesme kuvveti
Q_{sw}	Sakin su orta kesit hesaplanan kesme kuvveti
$Q_{sw, Hog}$	Sakin su, sarkma durumu için dizayn kesme kuvveti
$Q_{sw, Sag}$	Sakin su, çökme durumu için dizayn kesme kuvveti
$Q_{w,c,hog}$	Dalga tepesinde, sarkma durumu için dizayn kesme kuvveti
$Q_{w,c,sag}$	Dalga çukurunda, çökme durumu için dizayn kesme kuvveti
$Q_{w,hog}$	Dalga tepesinde, sarkma durumu için hesaplanan kesme kuvveti
$Q_{w,sag}$	Dalga çukurunda, çökme durumu için hesaplanan kesme kuvveti
Q_{wn}	Dalgalı durumda negatif orta kesit dizayn kesme kuvveti
Q_{wp}	Dalgalı durumda pozitif orta kesit dizayn kesme kuvveti
R	Sintine dönümü yarıçapı
s	Posta arası mesafe.
S	Tülanin desteklenmeyen boyu
t_{bur}	Burkulma kontrolüne göre kural kalınlığı (mm)
t_f	Fleç kalınlığı
t_k	Korozyon katsayısı (mm).
t_{kf}	Flenç için korozyon katsayısı
t_{kw}	Profil gövdesi için korozyon katsayısı
t_{lok}	Lokal gereksinimler hesabına göre kural kalınlığı (mm).
T_M	Orta kesit minimum dizayn draftı
t_{min}	Minimum kural kalıklığı (mm).
T_p	Baş-kıç vurma periyodu
T_R	Yalpa periyodu
$t_{seç}$	Kural kalınlığı baz alınarak seçilen levha kalınlığı (mm)
t_w	Porfil gövdesi kalınlığı
w_k	Profiller için korozyon katsayısı
y	Yük merkezinin simetri ekseninden uzaklığı
Y_b	Burulma hesabında elemanın yük merkezinin simetri ekseninden uzaklığı, Y_b=y
Z	Mukavemet modülü
z	Yük merkezinin kaide hattından uzaklığı
Z_0	Enine tarafsız eksene göre minimum kural orta kesit mukavemet modülü
z_a	Hangisi alakalı ise kaide hattının veya güvertenin yük merkezine olan dikey uzaklığı
Z_b	Burulma hesabında elemanın yük merkezinin kaide hattından uzaklığı, Z_b=z
Z_{dip}	Dibe göre mukavemet modülü
Z_g	Elemanın ağırlık merkezinin referans noktasına uzaklığı
$Z_{güv}$	Güverteye göre mukavemet modülü
z_n	Hangisi alakalı ise kaiden hattından veya güverteden tarafsız eksene olan dikey uzaklık (m)
ε	Gerinim, birim şekil değiştirme
η	burkulmada stabilite katsayısı
θ	Baş-kıç vurma açısı
ρ	Yoğunluk
σ	Normal yönündeki izin verilebilir gerilme (N/mm^2)

σ_{el}	İdeal elastik (Euler) burkulma gerilmesi
$(\sigma_{em})_{YMÇ}$	Yüksek mukavemetli çelik için emniyetli gerilme değeri
$(\sigma_{em})_{NMÇ}$	Normal mukavemetli çelik için emniyetli gerilme değeri
σ_f	Malzemenin minimum akma gerilmesi
σ_{kr}	Kritik burkulma gerilmesi
$\sigma_{yük}$	Hesaplanan gerçek basma gerilmesi
ϕ	Yalpa açısı
Ψ	Levha üzerine gelen büyük ve küçük basma gerilmelerinin arasındaki doğrusal değişimi oranı
ω	Profil gövdesi alanı

KISALTMA LİSTESİ

ABS	American Bureau of Shipping
BV	Bureu Veritas
DNV	Det Norske Veritas
DOF	Degree of Freedom
GL	Germanischer Lloyd
IACS	International Association of Classification Societies
IST	Instıtuo Superior Tecnico
LR	Loyd Register
NMÇ	Normal mukavemetli çelik
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
ULCC	Ultra Large Crude Carrier
YMÇ	Yüksek mukavemetli çelik

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Boyutlandırmada kullanılan farklı malzemelerin konumları 9
Şekil 2.2 Gemi üzerindeki ivmelenmelerin görünümü [5]. 10
Şekil 2.3 Burkulma gerilmesi düzeltme katsayısı [6]. 12
Şekil 2.4 Bulblı profil örneği. 16
Şekil 2.5 T profil örneği 18
Şekil 2.6 $\left(\frac{l}{h}\right)_{\min}$ oranı için minimum değerler. 19
Şekil 2.7 Eğilmeden sonraki yarıçap 81
Şekil 2.8 Moment eğrilik grafiği [10] 82
Şekil 2.9 Moment gerilme arasındaki ilişki [10] 83
Şekil 2.10 Yapının 2 boyutlu modeli ve postaların görünümü 86
Şekil 2.11 Mars 2000'e göre orta kesite etki eden kuvvet ve moment değerleri 87
Şekil 2.12 Nihai (ultimate) eğilme moment taşıma kapasitesi 88
Şekil 2.13 Moment-eğrilik grafiği 88
Şekil 3.1 Sakin su durumunda kaldırma kuvveti ve ağırlığın şematik gösterimi 94
Şekil 3.2 Dalga tepesi durumu (sarkma) ve dalga çukuru durumu (çökme) 94
Şekil 3.3 Ağırlığın yamuktan düzgün yayılı yüke çevrimi 96
Şekil 3.4 Makine ağırlığının şematik gösterimi 97
Şekil 3.5 Efektif ana makine gücü [11] 98
Şekil 3.6 Makine ağırlığı dağılım grafiği 99
Şekil 3.7 Üst yapı ağırlığının şematik gösterimi 99
Şekil 3.8 Üst yapı ağırlığı dağılım grafiği 100
Şekil 3.9 Çelik tekne ağırlığının şematik gösterimi 101
Şekil 3.10 Çelik tekne ağırlığı dağılım grafiği 103
Şekil 3.11 Donanım ağırlığının şematik gösterimi 104
Şekil 3.12 Donanım ağırlığı dağılım grafiği 105
Şekil 3.13 Boş tekne ağırlığı dağılım grafiği 106
Şekil 3.14 Mürettebat ve erzak ağırlığı dağılımının şematik gösterimi 107
Şekil 3.15 Mürettebat ve erzak ağırlığı dağılım grafiği 108
Şekil 3.16 Temiz su ağırlığı dağılım grafiği 109
Şekil 3.17 Yakıt ağırlığı dağılım grafiği 110
Şekil 3.18 Balast ağırlığı dağılım grafiği 111
Şekil 3.19 Kargo ağırlığı dağılım grafiği 112

Şekil 3.20 Deadweight dağılım grafiği 112
Şekil 3.21 Toplam ağırlık dağılım grafiği 115
Şekil 3.22 En kesitleri görünümü. 117
Şekil 3.23 Trim ve Bonjean eğrilerine bir örnek 118
Şekil 3.24 Bonjean alan eğrileri 121
Şekil 3.25 LCB ve trim hesabı 124
Şekil 3.26 MS Excel Çözücüsü 128
Şekil 3.27 Sakin su durumunda su hatları 130
Şekil 3.28 Sakin su durumu deplasman dağılımı 133
Şekil 3.29 Gemi boyunca, gemiye etkiyen kuvvet dağılımı 135
Şekil 3.30 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı 135
Şekil 3.31 Dalga çukuru durumunda su hatları 139
Şekil 3.32 Dalga çukuru durumunda kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı . 143
Şekil 3.33 Dalga tepesi durumunda su hatları 146
Şekil 3.34 Dalga tepesi durumunda kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı .. 150
Şekil 3.35 Sakin su eğilme momenti kural diyagramı 153
Şekil 3.36 Sakin su kesme kuvveti kural diyagramı 154
Şekil 3.37 Dalgadan kaynaklanan eğilme momenti kural diyagramı 158
Şekil 3.38 Dalgadan kaynaklanan kesme kuvveti kural diyagramı 158
Şekil 4.1 Pratik mühendislik problemlerinin SEY modelleri [13]. 165
Şekil 4.2 Sistemin, alt elemanlara (elements) ve düğüm noktalarına (nodes) bölünmesi 166
Şekil 4.3 Tek boyutlu durum için sonlu elemanlar yaklaşımı [15] 166
Şekil 4.4 Tek boyutlu elemanın yay modeli [13] 167
Şekil 4.5 Tek eksenli analizin denk rijidliğe modellenmesi [12] 168
Şekil 4.6 Bir çubuk elemanın, eleman ve düğüm noktalarına bölünmesi [12] 170
Şekil 4.7 SEY ile hesaplanan gerilme ve gerçek gerilme değeri [14] 170
Şekil 4.8 İki boyutlu sonsuz küçük elastik yapının gerilme durumu [16] 171
Şekil 4.9 İki boyutlu bir sisteme etkiyen sınır koşulları [16] 172
Şekil 4.10 Shell 93 element [17] 174
Şekil 4.11 Profil-levha alanları 175
Şekil 4.12 Keypoint numaraları ve alanların görünümü 178
Şekil 4.13 Eleman boyunun posta arası mesafe kadar oluşunun şematik gösterimi [4] 179
Şekil 4.14 Farklı açılardan mesh görünümü 180
Şekil 4.15 Farklı açılardan mesh görünümü 180
Şekil 4.16 ABS tanker 3-D modeli [19] 181
Şekil 4.17 Yük alanı şematik gösterimi 185
Şekil 4.18 Derin T birleşimlerde “Shear Lag Effect”e neden olan A, yük alanı 186
Şekil 4.19 Sınır koşullarının görünüm 186
Şekil 4.20 Yapının boyuna yer değiştirmesi 189
Şekil 4.21 Yapının toplam yer değiştirmesi 189
Şekil 4.22 Von Mises gerilmeleri yandan görünüşü 190
Şekil 4.23 Von Mises gerilmeleri perspektif görünüşü 190
Şekil 4.24 Güvertede boy yönünde (z) normal gerilme değerleri 191

Şekil 4.25 Güvertede en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri 192
Şekil 4.26 Bordada boy yönünde (z) normal gerilme değerleri 192
Şekil 4.27 Bordada en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri 193
Şekil 4.28 Dipde boy yönünde (z) normal gerilme değerleri 194
Şekil 4.29 Dipte en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri .. 194

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Tanker ana boyutları. 4
Çizelge 2.2 Korozyon payları, t_k. 8
Çizelge 2.3 Boyutlandırmada kullanılan malzeme özellikleri ve konumları 8
Çizelge 2.4 Genel ivmelenmeler 10
Çizelge 2.5 Yalpa hareketi ve ivmesi 11
Çizelge 2.6 Baş-kıç vurma hareketi ve ivmesi 11
Çizelge 2.7 Bileşik ivmeler 11
Çizelge 2.8 "η" katsayısının gemi bölümlerine göre değeri 13
Çizelge 2.9 Atalet momenti örnek hesap tablosu 15
Çizelge 2.10 Yükseklik-kalınlık, genişlik-kalınlık oranları 19
Çizelge 2.11 Dip elemanları için dizayn yükleri 23
Çizelge 2.12 Lokal gereksinimlere göre dip ve sintine levhaları 25
Çizelge 2.13 Dip ve sintine sac levhaları burkulma hesabı 26
Çizelge 2.14 İç dip basınçları 27
Çizelge 2.15 Lokal gereksinimlere göre iç dip levhaları 28
Çizelge 2.16 İç dip levhaları burkulma hesabı 28
Çizelge 2.17 Tülani ve döşek basınçları 29
Çizelge 2.18 Lokal gereksinimlere göre tülani ve döşek levhaları 29
Çizelge 2.19 Boyuna tülani burkulma hesabı 30
Çizelge 2.20 Dip boyuna postaları 31
Çizelge 2.21 Dip postaları için X-eksenine göre atalet momenti 32
Çizelge 2.22 Dip postaları için Y-eksenine göre atalet momenti 33
Çizelge 2.23 Dip postaları burkulma hesabı 33
Çizelge 2.24 İç dip boyuna postaları 35
Çizelge 2.25 İç dip postaları için atalet momenti 35
Çizelge 2.26 İç dip postaları burkulma hesabı 36
Çizelge 2.27 Boyuna tülani ve döşek postaları 37
Çizelge 2.28 Boyuna tülani postaları için atalet momenti 38
Çizelge 2.29 Tülani postalarının burkulma hesabı 38
Çizelge 2.30 Borda elemanları için dizayn yükleri 40
Çizelge 2.31 Borda kaplaması basınçları 42
Çizelge 2.32 Lokal gereksinimlere göre borda ve şiyer levhası 42

Çizelge 2.33 Borda levhaları burkulma hesabı 43
Çizelge 2.34 İç cidar basınç tablosu 44
Çizelge 2.35 Lokal gereksinimlere göre iç cidar levhaları 45
Çizelge 2.36 İç cidar levhaları burkulma hesabı 45
Çizelge 2.37 Lokal gereksinimlere göre stringer ve derin postalar 47
Çizelge 2.38 Boyuna stringerlerin burkulma hesabı 48
Çizelge 2.39 Borda boyuna postaları basınç tablosu 49
Çizelge 2.40 Borda boyuna postaları 50
Çizelge 2.41 Borda postaları için atalet momenti 51
Çizelge 2.42 Borda postalar burkulma hesabı 51
Çizelge 2.43 İç cidar boyuna postaları basınç tablosu 52
Çizelge 2.44 İç cidar boyuna postaları 53
Çizelge 2.45 İç cidar boyuna postaları için atalet momenti 55
Çizelge 2.46 İç cidar boyuna postaları burkulma hesabı 55
Çizelge 2.47 Lokal gereksinimlere göre stringer ve derin posta destek postaları 57
Çizelge 2.48 Stringer destek postaları için atalet momenti 58
Çizelge 2.49 Strigner postalarının burkulma hesabı 58
Çizelge 2.50 Güverte elemanları için dizayn yükleri 59
Çizelge 2.51 Lokal gereksinimlere göre güverte levhaları 61
Çizelge 2.52 Güverte levhaları burkulma hesabı 62
Çizelge 2.53 Tülani ve derin kemere basınçları 64
Çizelge 2.54 Güverte altı tülanileri ve enine derin kemereler 64
Çizelge 2.55 Güverte altı 2. tülani için atalet momenti ve mukavemet modülü hesabı 65
Çizelge 2.56 Güverte altı tülanilerinin burkulma hesabı 66
Çizelge 2.57 Güverte boyuna postaları 67
Çizelge 2.58 Güverte boyuna postaları için atalet momenti 68
Çizelge 2.59 Güverte boyuna postalarının burkulma hesabı 69
Çizelge 2.60 Perde elemanları için dizayn yükleri 70
Çizelge 2.61 Boy perdesi kaplaması basınçları 72
Çizelge 2.62 Lokal gereksinimlere göre boy perdesi levhaları 73
Çizelge 2.63 Boy perdesi levhaları burkulma hesabı 73
Çizelge 2.64 Yatay ve düşey stringer basınçları 75
Çizelge 2.65 Yatay ve düşey stingerler 75
Çizelge 2.66 Perde boyuna stingerlerinin burkulma hesabı 77
Çizelge 2.67 Boy perdesi yatay stifnerleri 77
Çizelge 2.68 Boy perdesi stifnerleri için atalet momenti 79
Çizelge 2.69 Boy perdesi stifnerleri burkulma hesabı 79
Çizelge 2.70 Mars 2000 modelleme koordinatları 84
Çizelge 2.71 Mars 2000 hesabına göre değişen levha kalınlıkları ve postalar 87
Çizelge 2.72 Dip ve güverteye göre orta kesit mukavemet modülleri 89
Çizelge 2.73 Mars ve DNV hesaplarının karşılaştırılması 91
Çizelge 3.1 Çelik tekne ağırlık dağılım katsayıları 101
Çizelge 3.2 Çelik tekne ağırlık dağılım değerleri 102
Çizelge 3.3 Blok blok çelik tekne ağırlık dağılım tablosu 102
Çizelge 3.4 Donanım ağırlığı dağılım değerleri 104

Çizelge 3.5 Blok blok donanım ağırlığı dağılım tablosu 104
Çizelge 3.6 Temiz su hesap tablosu 108
Çizelge 3.7 Yakıt kapasitesi hesap tablosu 109
Çizelge 3.8 Boyuna ağırlık merkezi hesabı 113
Çizelge 3.9 Ofset tablosu 116
Çizelge 3.10 En kesit alanları (m^2) 118
Çizelge 3.11 En kesit alan oranları 120
Çizelge 3.12 Bonjean eğrileri denklem katsayıları 122
Çizelge 3.13 Gerçek su hattı belirleme tablosuna örnek 125
Çizelge 3.14 En kesitleri alan hesabı tablosuna örnek 126
Çizelge 3.15 MS Excel çözücü tablosu 127
Çizelge 3.16 Çözücü verileri 129
Çizelge 3.17 Sakin su için su hatları hesabı 129
Çizelge 3.18 Sakin su durumu için en kesitleri alan hesabı 131
Çizelge 3.19 Sakin su durumu için deplasman ve LCB hesabı 132
Çizelge 3.20 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti 133
Çizelge 3.21 Çözücü verileri 138
Çizelge 3.22 Dalga çukuru için su hatları hesabı 138
Çizelge 3.23 Dalga çukuru için en kesitleri alan hesabı 140
Çizelge 3.24 Dalga çukuru için deplasman ve LCB hesabı 141
Çizelge 3.25 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti 142
Çizelge 3.26 Çözücü verileri 144
Çizelge 3.27 Dalga tepesi için su hatları hesabı 144
Çizelge 3.28 Dalga tepesi için en kesitleri alan hesabı 146
Çizelge 3.29 Dalga tepesi için deplasman ve LCB hesabı 148
Çizelge 3.30 Kesme kuvveti ve eğilme momenti 148
Çizelge 3.31 Eğilme momenti diyagramı dalga çukuru kural değerleri 151
Çizelge 3.32 Eğilme momenti diyagramı dalga tepesi kural değerleri 151
Çizelge 3.33 Kesme kuvveti diyagramı dalga çukuru kural değerleri 151
Çizelge 3.34 Kesme kuvveti diyagramı dalga tepesi kural değerleri 152
Çizelge 3.35 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri 152
Çizelge 3.36 Dalgalı durum eğilme momenti diyagramı dalga çukuru kural değerleri 155
Çizelge 3.37 Dalgalı durum eğilme momenti diyagramı dalga tepesi kural değerleri 155
Çizelge 3.38 Dalgalı durum kesme kuvveti diyagramı dalga çukuru kural değerleri. 155
Çizelge 3.39 Dalgalı durum kesme kuvveti diyagramı dalga tepesi kural değerleri .. 156
Çizelge 3.40 Dalgadan kaynaklanan kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri .. 156
Çizelge 3.41 Tekneye etki eden eğilme momenti değerleri 159
Çizelge 3.42 Güverte ve dipteki maksimum gerilme değerleri 161
Çizelge 3.43. Normal mukavemetli çelik bölgesi maksimum gerilme değerleri 162
Çizelge 4.1 Kullanılan çeliğin malzeme özellikleri 174
Çizelge 4.2 Modellenen denk kalınlıklar ve “Real Constant” numarası 176
Çizelge 4.3 Moment-kuvvet dönüşümünde gerekli değerler 183
Çizelge 4.4 Ansys sonuçları ile kiriş teorisi sonuçlarının karşılaştırması..... 195

ÖZET

BİR TANKERİN ORTA KESİT BOYUTLANDIRMASI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNE DAYALI BOYUNA MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ

Nurbaki BAYKUT

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail BAYER

Bu tezin amacı, gemi inşaatı hesaplamalarında uyulması gereken mühendislik prensipleri, kuralları ve proje denetim kurumları olan Loyd kuralları temel alınarak, bir tankerin çalışma hayatı boyunca karşılaşabileceği durumlar ön görülerek, teknenin sıfırdan yapısal dizaynı yapılması ve mukavemet hesaplarının gerçekleştirilmesidir.

Bu çalışmada bir tankerin yapısal konfigürasyonu ortaya çıkarılmıştır. Bu konfigürasyon baz alınarak Norveç Klas Kuruluşu'nun (DNV) boyutlandırma kurallarına göre orta kesit mukavemet elemanları boyutlandırılmış, burkulma kontrolü yapılmıştır. Fransız Klas Kuruluşu'nun (BV) yazılımı olan Mars 2000 ile nihai mukavemet (ultimate strength) kontrolü yapılmıştır.

Boyuna mukavemet hesaplamalarını gerçekleştirebilmek için, paket programı Maxsurf ile bir tanker dizaynı yapılmış ve endazesi çıkarılmıştır. Kargo durumu göz önüne alınarak ağırlık dağılımı yapılmış ve boyuna mukavemet hesapları gerçekleştirilmiştir. Gemi boyunca eğilime momenti ve kesme kuvveti dağılımı elde edilmiştir.

Orta kesiti boyutlandırılan tankerin paralel gövde geometrisinin yapısal dengi Ansys'de modellenmiş ve kargo durumuna göre elde edilen eğime momenti ve kesme kuvveti modele uygulanarak sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi sonuçları ile loyd kurallarından elde edilen değerler arasındaki ilişki

gösterilmiştir. Böylece sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet değerlendirmesi tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Orta kesit boyutlandırma, DNV (Norveç Klas Kuruluşu), burkulma, nihai mukavemet, boyuna mukavemet, sonlu elemanlar, Ansys.

ABSTRACT

GLOBAL STENGTH ASSESSMENT OF A TANKER BASED ON FINITE ELEMENT METHOD

Nurbaki BAYKUT

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. İsmail BAYER

The aim of the thesis is to create the structural design of a ship and to perform strength calculations based on engineering principles, rules in naval architecture and on classification rules of class societies by considering the probable conditions which ship may confront in her operating life.

In this study, configuration of a tanker is created. According to classification rules of Det Norske Veritas (DNV), scantling of midship section is proceded based on that cconfiguration, buckling control is checked. According to Mars 2000 which is developed and released by Bureu Veritas (BV) class society, checking in terms of ultimate strength is performed.

In order to perform longitudinal strength estimation, a tanker ship is designed and lines plan is formed by commercial software Maxsurf. Weight distribution is estimated by considering cargo condition and longitudinal strength calculations are performed. Bending moment and shear force distribution are obtained.

Structural equivalent of middle part of the scantling tanker is modeled. Finite element analysis is performed by applying bending moment and shear force obtained from cargo condition. Relation between Finite Element Model results and values obtained

from classification rules of DNV are achieved. Hence, strength assessment is completed by last step, FEM.

Key words: Scantling of midship, DNV (Det Norske Veritas), buckling, ultimate strength, longitudinal strength, finite element, Ansys.

BÖLÜM 1

1 GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Klas kuruluşları bulundukları ülkenin vatandaşları tarafından kurulan ancak hükümete bağlı olmayan, özel kuruluşlardır. Gemilerin ve açık deniz yapılarının inşa ve denizde seyir durumları ile ilgili teknik standartlar tespit ederler ve bu standartların korunmasını sağlarlar [1].

İlk olarak İngiliz klas kuruluşu, Register Society ismi ile 1760'da Londra'da kurulmuştur. Hemen ardından günümüzdeki ismi olan Lloyd's Register (LR) ismini almıştır.

İngiliz tüccarlar, gemi sahipleri ve kaptanlar toplanırlardı. Bu toplantılarda pazarlıklar, anlaşmalar yapılır ve sefere gidişlerde alınan riskler ve kazançlar hakkında konuşulurdu. Bu toplantılar zarfında gemilerin güvenliği ve sigortalanması da gündeme gelmeye başladı. Zamanla, sigortalama için gemilerin kalitesini değerlendirecek bir yola ihtiyaç duyuldu. Böylelikle, 1764 yılında Lloyd's Register tarafından "Register of Ships" yayınlandı.

Fransız klas kuruluşu, Bureau Veritas (BV) 1828'de Antwerp'te, İtalyan klas kuruluşu Registro Italiano Navale (RINA) 1861'de Genoa'da kuruldu. 6 yıl sonra, Alman klası Germanischer Lloyd (GL) 1867'de, Nippon Kaiji Kyokai (Class NK) 1899'da kurulmuştur.

Norveç klas kuruluşu Det Norske Veritas (DNV), can, mal ve çevre güvenliği amaçları ile 1864 yılında Norveç'te doğmuştur. Norveç yük gemilerinin teknik durumlarını değerlendirmek ve denetlemek için kurulmuştur. DNV kendisini risk yönetimi için servis

sağlayıcısı olarak tanımlar. DNV, Lloyd's Register ve American Bureau of Shipping (ABS) ile birlikte klas kuruluşları içerisinde 3 büyük kuruluştan biridir [2].

Klas kuruluşları malzeme ve bilgisayar teknolojilerindeki yeniliklere göre bazı kuralların değişimine veya yeni kurallara ihtiyaç duymuşlardır. Daha önce perçinle birleştirme yöntemi gemilerde kullanılmasına rağmen, bugünkü teknoloji içerisinde perçin geçerliliğini yitirmiştir. Böylelikle klaslar da perçinleme kuralları yerine kaynak ile ilgili daha gelişmiş yöntemler öne sürmek durumunda kalmışlardır.

Malzeme teknolojisinde değişimler olduğu gibi analiz yöntemlerinde de yeni metotlar ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden biri de Sonlu Elemanlar Yöntemidir (SEY). SEY ilk defa 1950'li yıllarda havacılık endüstrisinde uçakların kanatlarındaki gerilme analizi için kullanılmıştır. İlk sonlu elemanlar terimi (Finite Element) 1960 yılında Clough isimli bilim adamı tarafından kullanılmıştır [3]. 1970'li yıllarda metot özel bilgisayarlarda kendine uygulama alanı bulmuştur. 1980'li yıllara girerken mikro bilgisayarların gelişmesiyle metodun uygulaması genişlemiştir 1990'lı yıllar gelindiğinde ise büyük ölçekli yapıların analiz edilmesi mümkün olmuştur [3]. Bu yöntemin etkinliği ve birçok alana uygulanabilme avantajından gemi inşaat sektörü de faydalanmıştır. Ticari paket programlarının gelişimi ve yaygınlaşması ile birlikte sonlu elemanlar yöntemi, gemilerin yapısal dizaynlarında da pratik olarak uygulanmaya başlamıştır. Klas kuruşları da buna karşılık bası kurallar öne sürmüş, kendi deneyim ve önerilerini paylaşmışlardır [4].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, gemi inşaatı hesaplamalarında uyulması gereken, proje denetim kurumları olan klas kuruluşlarından DNV kuralları temel alınarak, bir tankerin orta kesit boyutlandırılması, burkulma ve nihai mukavemet'e göre kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Gemiler elde olmayan nedenlerden veya öngörülemeyen sebeplerden dolayı zorlama kuvvetlerini karşılayamayarak yapısal bozulmaya, göçmeye uğrayabilirler. Geleneksel hesap yöntemleri yapısal bozulmaya başladıktan sonra sistemin kalan dayanımı için öngörüde bulunamazlar. Gerçekte ise bir yapı yapısal bozulmaya başladıktan sonra tümüyle kopma/kırılma gerçekleşinceye kadar bir yük taşıma kapasitesi olacaktır.

Herhangi bir nedenden ötürü yapısal bozulmaya başlayan geminin yapısal bozulma sonrası mukavemet değerinin bilinmesi ihtiyaç anında hayati önem taşır. Bu amaçla gemilerin nihani mukavemetinin hesabına gerek duyulur.

Boyutlandırma ve kontrol aşamalarının ardından sonlu elemanlar programı Ansys ile kargo durumunda orta kesite gelen kuvvetler ile analiz yapılmıştır. Bu analiz ile DNV boyutlandırma kuralları sonucu elde edilen sac kalınlıkları ve profil modüllerinin, geminin gerçek çalışma koşullarında karşı koymak zorunda olduğu kuvvetlere karşı yeterli dayanıma sahip mi, yoksa aşırı dayanıklı mi sorusuna daha gerçekçi ve somut bir cevap bulunması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

DNV ve diğer birçok köklü klas kuruluşlarının boyutlandırmaya yönelik kullanmış olduğu yöntemler genelde doğrudan yaklaşım ve deneyimlere dayalı ampirik formülasyonlardır. Uygun, yetkin kişilerin kullanımı altında, sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar kabul edilmektedir.

Günümüzdeki imkânlarla ampirik formüller ile kısıtlanmaktan ziyade optimizasyona yatkın çalışmalar ile gemi boyutlandırması yapmak çok daha makuldür. Burada, boyuna mukavemet hesabından elde edilen gemi üzerine etki eden kuvvetlerin sonlu elemanlar yönteminde nasıl modelleneceği ortaya konmuştur. DNV formüllerine göre boyutlandırılan teknenin, SEY analizi sonuçları incelenmiş ve boyutlandırmada ne gibi optimizasyonlara gidilebileceği ortaya konmuştur.

BÖLÜM 2

2 DNV KURALLARINA GÖRE ORTA KESİT BOYUTLANDIRMASI

Ana boyutları aşağıda verilen tankerin orta kesit yapısal elemanları Norveç Klas Kuruluşunun (DNV), Bölüm 3, Başlık 1, 100 metre ve üstü teknelerin yapısal dizaynı başlığına göre boyutlandırılmıştır.

Çizelge 2.1 Tanker ana boyutları.

L (m)	192.00
B (m)	27.00
D (m)	13.78
T (m)	10.42
C_b	0.747
R (Sintine Dönümü Yarı Çapı) (m)	4.5

Boyutlandırma akışı dip, borda, güverte ve boyuna perde yapısı olarak gitmektedir. Her bir ana bölüm yapısında tek tek her bir alt bölüm yapısı incelenir (dip yapısında; dış dip yapısı, iç dip yapısı, dip postaları vs). Önce bulunduğu bölüme ait sac levhalar lokal gereksinimlere göre boyutlandırılır ve burkulmaya göre kontrol yapılır. Daha sonra bulunduğu alt bölüm yapısındaki postalar boyutlandırılır ve burkulma kontrolleri yapılır.

Boyutlandırmada lokal gereksinimler için kurallar, boyutlandırılan yapısal elemana ait alt bölümlerde verilecektir; ancak burkulma kontrolü ile ilgili genel hususlar giriş niteliğinde Bölüm 2.2 Burkulma Kontrolüne Giriş başlığı altında verilecektir.

Boyutlandırmaya dip kaplama ve dip destek elemanları ile başlanacaktır; ancak boyutlandırmaya geçmeden evvel, tüm boyutlandırma işlemleri boyunca zaman zaman gereksinim duyulacak temel bazı, katsayılar, değerler DNV kuralları Bölüm 3, Başlık 1, Kısım 3, 4 ve 5'e göre hesaplanacaktır. Gereksinim duyulabilecek, nispeten daha özel katsayılar geçtiği bölümde verilecektir.

2.1 Temel Parametreler

Sıvı yoğunluğu (ρ) t/m^3 olarak alınır ve 1.025 t/m^3'den daha az alınmaz.

Yerçekimi ivmesi (g_0) ise yaklaşık 10 m/s^2 olarak alınır.

$$\Delta = LBTC_b\rho = 41359\,(t) \tag{2.1}$$

İlerideki işlemlerde gerek duyulacağı için deadweight ton (DWT) aşağıdaki formül yardımıyla elde edilebilir.

$$\Delta = \frac{(DWT + 250)}{0.775} \tag{2.2}$$

O halde, (2.1) ve (2.2) denklemlerinden DWT 31800 ton olarak bulunur.

Sınırsız sefer için dalga katsayısı aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$C_W = C_{WU} = 10.75 - \left[(300 - L)/100\right]^{3/2} = 9.268 \tag{2.3}$$

Sakin su çökme durumu için orta kesit dizayn eğilme momenti,

$$M_S = M_{SO,sag} = -0.065C_{WU}L^2B(C_B + 0.7) = -901296\,(kNm) \tag{2.4}$$

Sakin su sarkma durumu için orta kesit dizayn eğilme momenti,

$$M_S = M_{SO,hog} = C_{WU}L^2B(0.1225 - 0.015C_B) = 1066501\,(kNm) \tag{2.5}$$

Dalga çukurunda, çökme durumu için orta kesit dizayn eğilme momenti,

$$M_W = M_{WO,sag} = -0.11\alpha C_W L^2B(C_B + 0.7) = -1525270\,(kNm) \tag{2.6}$$

Dalga tepesinde, sarkma durumu için orta kesit dizayn eğilme momenti,

$$M_W = M_{WO,hog} = 0.19\alpha C_W L^2 B C_B = 1360065\,(kNm) \tag{2.7}$$

Minimum kural orta kesit mukavemet modülü,

$$Z_O = \frac{C_W}{f_1} L^2 B(C_B + 0.7) = 9975608\,(cm^3) = 9.97\,(m^3) \tag{2.8}$$

Burada, f_1 malzeme faktörüdür. Takip eden başlıkta tanımlanmıştır.

Minimum kural orta kesit atalet momenti,

$$I_{TE} = 3C_W L^3 B(C_B + 0.7) = 7.987\ 10^9\ (cm^4) = 7.98\,(m^4) \tag{2.9}$$

Boyutlandırma süresince, tarafsız eksenin konumuna bağlı bazı parametrelere gerek duyulacaktır. Bu nedenle gerçek atalet momenti ve orta kesit mukavemet modülü bilinmediği halde, yaklaşık olarak tarafsız eksenin konumu belirlenmelidir.

DNV'nin minimum gereksinimlerinden yola çıkarak, tarafsız eksenin güverteye olan uzaklığı (2.10) formülüyle, kaide hattına olan uzaklığı ise (2.11) formülü ile yaklaşık olarak bulunabilir. Minimum kural gereksinimlerinden tarafsız eksenin güverteye olan uzaklığını bulurken faydalanılır. Çünkü tarafsız eksen dibe daha yakın olur, bu nedenle güverte için mukavemet modülü daha düşük olacaktır. Buradan yola çıkarak minimum kural orta kesit modülünün güverteye ait olduğu varsayılabilir.

$$d_{güv} = \frac{I_{TE}}{Z_O} = 8.01\,(m) \tag{2.10}$$

$$d_{dip} = D - d_{güv} = 5.77\,(m) \tag{2.11}$$

Dip için mukavemet modülü,

$$Z_B = \frac{I_{TE}}{d_{dip}} = 13833433\,(cm^3) = 13.83\,(m^3) \tag{2.12}$$

Orta kesitte minimum dizayn draftı tankerler için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_M = 2 + 0.02L = 5.84\,(m) \tag{2.13}$$

L_1 gemi boyuna (L) eşittir; ancak 300 metreden büyük alınmasına gerek yoktur. O halde buradaki çalışmada,

$$L_1 = L = 192\,(m) \tag{2.14}$$

P_0 kuru yük gemilerinin balast tankları için 15, diğer kısımlarda 25 alınır. O halde burada,

$$P_0 = 25\,(kN/m^2) \tag{2.15}$$

Levha kenar oranı düzeltme katsayısı (k_a) aşağıdaki formülden bulunur. Maksimum 1, minimum 0.72 alınmalıdır.

$$k_a = 0.72 < (1.1 - 0.25s/l)^2 < 1.0 \tag{2.16}$$

H, tank yüksekliği yük tankı için ise 12.38 metredir.

2.1.1 Korozyon Payları

Gemiler çalışma hayatı boyunca korozyona maruz kalmaktadır ve bu süreçte çelik yapısal elemanları zamanla incelir ve görevlerini ilk günkü durumu kadar yerine getirememiş olurlar.

Tüm klas kuruluşları bu incelmeyi göz önüne alarak, hesaplanan gerçek değere bir korozyon payı artırımında bulunurlar. Bu şekilde, uzun bir zamandan sonra korozyon nedeniyle levha veya profil kalınlıkları, mukavemet modülleri azalmış olsa dâhi yeterli değere inmiş olabileceğini, gemi çalışma hayatı sonuna kadar yapısal olarak halâ güvende kalabileceğini beklerler. Ancak, gerçekte pek beklenildiği gibi olmaz, belirli aralıklarla gerçekleştirilen yıllık sörveylerde sac kalınlık kontrolü yapılmak ve kural kalınlığından ince sac levhalar varsa değiştirilmek zorundadır. Diğer yandan, dizayn aşamasında eklenen korozyon payı (t_k) gemi ömrünce yeterli olmasa da, gemiye sac değişimini zorunlu kılmadan uzun yıllar sörvey geçirmesine yardımcı olur.

Profiller için ise aşağıdaki formül ile verilen katsayı kullanılır. Flençli ve bublı profiller için korozyon katsayısı sırası ile (2.17) ve (2.18)'de verilmiştir.

$$w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf}) \tag{2.17}$$

$$w_k = 1 + 0.06 t_{kw} \quad (2.18)$$

Burada, t_{kw} ve t_{kf} profil gövdesi ve flenci için korozyon katsayılarıdır. Çizelge 2.2'den profilin bulunduğu bölgeye göre seçilir.

Çizelge 2.2 Korozyon payları, t_k.

	Tank / ambar bölgeleri	
	Tank ya da ambar tavanından 1.5 metre aşağısına kadar olan bölge	Diğer bölgeler
Balast tankları (mm)	3,0	1,5
Sıvı kargo tankları (mm)	2,0	1,0
Kuru yük ambarları (mm)	1,0	1,0

2.1.2 Malzeme faktörü

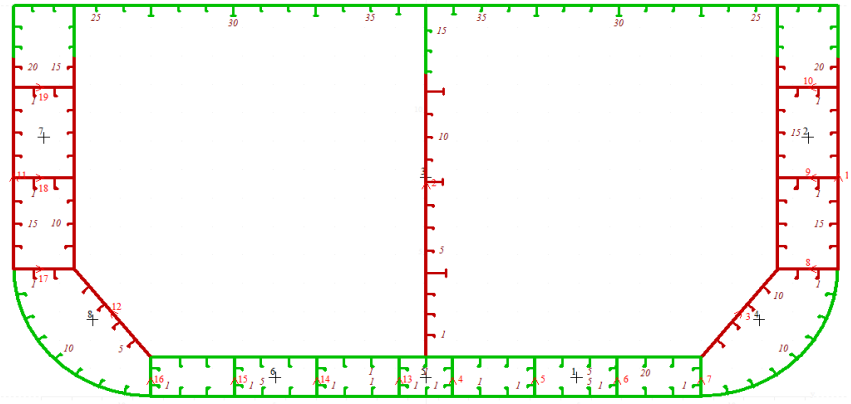
Orta kesit boyutlandırma süresince farklı akma gerilmelerine sahip iki tür çelik kullanılacaktır. Kullanılan çelik türleri, konumları, malzeme faktörü aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.3 Boyutlandırmada kullanılan malzeme özellikleri ve konumları

Konum	Tipi	Akma gerilmesi (MPa)	f_1
Dip	NV-36	355	1.39
Güverte	NV-36	355	1.39
Dip-güverte arası	NMÇ (normal mukavemetli çelik)	235	1.00

Çizelge 2.3 Boyutlandırmada kullanılan malzeme özellikleri ve konumları (devam)

Yüksek mukavemetli çelik (YMÇ) bölgesi	Bölge yüksekliği
Dip	1400 (mm)
Güverte	1800 (mm)



Şekil 2.1 Boyutlandırmada kullanılan farklı malzemelerin konumları

Şekil 2.1'de görülen yeşil bölgeler yüksek mukavemetli çeliği temsil etmektedir f_1=1.39, kırmızı bölge ise normal mukavemetli çeliği temsil etmektedir. Şekilde görüldüğü gibi boyutlandırılan kaplama levhaları ve destek elemanları postalar aynı malzeme türünden boyutlandırılmalıdır.

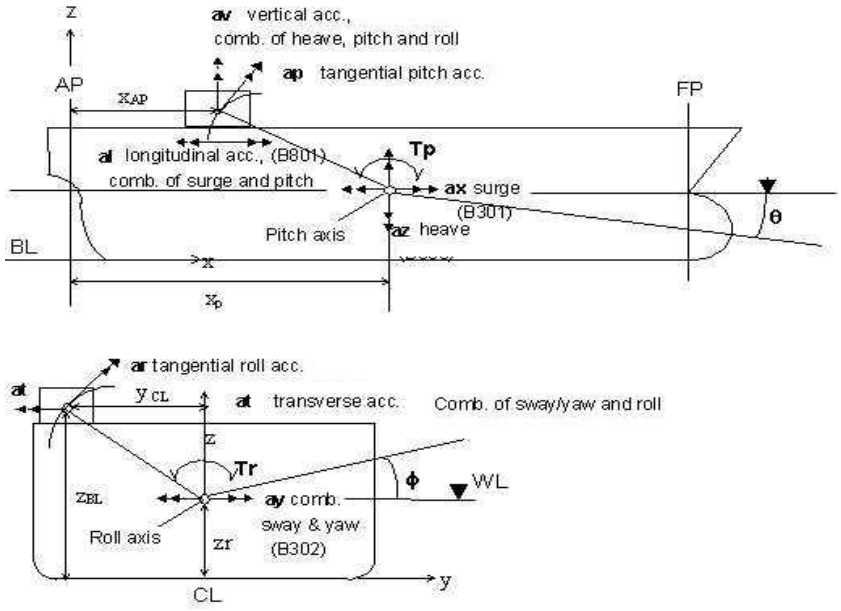
EK A'dan da görüleceği gibi levha yerleşimine göre güverteden dibe doğru uygun bir alan belirlenir. Bu alan bordalarda 1800 mm, boyuna perdede ise 2380 mm olarak bulunmuştur. Dip ise çift dip yüksekliğine kadar yüksek mukavemetli çelik (YMÇ) olarak belirlenmiştir; ancak sintine dönümünde iki farklı malzeme özelliklerine sahip çeliğin yan yana kaynak edilmesinden kaçınmak için tüm sintine bölgesi (4500 mm) YMÇ olarak belirlenmiştir.

DNV'ye göre boyutlandırma işlemleri, yukarıda verilen bilgiler ve YMÇ yerleşimi göz önüne alınarak yapılacaktır. Diğer taraftan, orta kesit mukavemet modülü kural kontrolü ve Bölüm 3'te izin verilebilir gerilme dağılımı hesaplarında yüksek mukavemetli çelik konumlarına ayrı bir önem vermek gerekmektedir. İlgili bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.1.3 İvmeler

Şekil 2.2'de boyuna ve enine kesit üzerinden, gemi üzerindeki ivmelenmelerin görünümü verilmiştir ve ivme değerleri Çizelge 2.4'den

Çizelge 2.7'ye kadar olan tablolarda sunulmuştur.



Şekil 2.2 Gemi üzerindeki ivmelenmelerin görünümü [5].

Çizelge 2.4 Genel ivmelenmeler

Genel İvmelenme	a_0	0.310	m/s^2
	C_v	0.200	
	C_{v1}	0.800	
Dalıp çıkma ivmesi	a_x	0.537	m/s^2
Yan öteleme/savrulma ivmesi	a_y	0.931	m/s^2
Dalıp çıkma ivmesi	a_z	2.514	m/s^2

Çizelge 2.5 Yalpa hareketi ve ivmesi

Teğetsel (Tangential) yalpa ivmesi	a_r	0.005	m/s^2
Yalpa açısı	ϕ	0.056	rad
Yalpa periyodu	T_R	54.560	s
	k_r	9.450	
Kütle merkezinden dönme eksenine, olan uzaklık	R_R	6.890	m
	z	6.890	m

Çizelge 2.6 Baş-kıç vurma hareketi ve ivmesi

Teğetsel (Tangential) baş-kıç vurma ivmesi	a_p	0.454	m/s^2
Baş-kıç vurma açısı	θ	0.104	rad
Baş-kıç vurma periyodu	T_p	7.887	s
Kütle merkezinden dönme eksenine, olan uzaklık	R_P	6.890	m
	z	6.890	m

Çizelge 2.7 Bileşik ivmeler

Düşey ivmelenme	a_v	2.909	m/s^2
Enine ivmelenme	a_t	1.089	m/s^2
Boyuna ivmelenme	a_l	1.585	m/s^2

2.2 Burkulma Kontrolüne Giriş

2.2.1 Levhaların Burkulma Hesabı

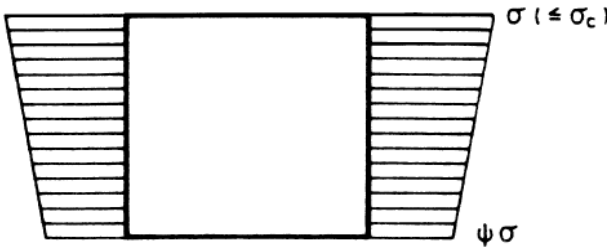
Sac levhalar için ideal elastik burkulma gerilmesi (2.19) denklemi ile hesaplanır.

$$\sigma_{el} = 0.9kE\left(\frac{t-tk}{1000s}\right)^2 \ (N/mm^2) \tag{2.19}$$

Burada E malzemenin elastisite modülüdür; k ise boyuna postalı levhaların burkulma kontrolü için (2.20) formülü ile hesaplanır.

$$k = k_l = \frac{8.4}{\psi + 1.1} \ , (0 \le \Psi \le 1) \tag{2.20}$$

Ψ, levha üzerine gelen, birbirine göre göreceli büyük ve küçük basma gerilmelerinin arasındaki doğrusal değişim oranıdır.



Şekil 2.3 Burkulma gerilmesi düzeltme katsayısı [6].

Levha üzerine gelen kritik basma gerilmesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_{kr} \ge \frac{\sigma_a}{\eta} \tag{2.21}$$

$$\sigma_a = \sigma_{yük} = \frac{M_s + M_w}{I_{TE}}(z_n - z_a)10^5 \tag{2.22}$$

Burada, M_s sakin su için orta kesit eğilme momenti, M_w dalga durumu için orta kesit eğilme momenti, I_{TE} tarafsız eksene göre atalet momenti (cm^4), z_n kaide hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık, z_a yük merkezinin kaide hattından olan düşey uzaklıktır. M_s, M_w, I_{TE} bu bölüm başında hesaplanmış idi, M_s+M_w mutlak toplamı büyük olan sonuç alınır. η Çizelge 2.8'den alınır.

Çizelge 2.8 “η” katsayısının gemi bölümlerine göre değeri

1.0	Güverte, tek dip ve boyuna stifnerlenmiş borda için
0.9	Dip, iç dip ve enine stifnerlenmiş borda için
0.8	Kabul edilebilir yük basıncının geldiği yerel bölgelerde
1.0	Aşırı yük basıncının geldiği yerel bölgelerde

$\sigma_{el} < \frac{\sigma_f}{2}$ ise;

$$\sigma_{kr} = \sigma_{el} \tag{2.23}$$

$\sigma_{el} > \frac{\sigma_f}{2}$ ise;

$$\sigma_{kr} = \sigma_f \left(1 - \frac{\sigma_f}{4\sigma_{el}} \right) \tag{2.24}$$

Burada, σ_f malzemenin minimum akma gerilmesidir (N/mm^2).

Burkulma kontrolü yapmak, burkulmaya göre güvenli kalınlık değerini bulmak için şu adımlar takip edilir.

- (2.19) formülü ile ideal elastik basma-burkulma gerilmesi hesaplanır.
- (2.21) formülü yardımı ile kritik burkulma gerilmesi hesaplanır.
- Eğer $\sigma_{el} \geq \sigma_{kr}$ ise lokal gereksinimlerden bulunan kalınlık, burkulmaya göre de güvenlidir denir. İşlem burada kesilebilir.
- Eğer $\sigma_{el} < \sigma_{kr}$ ise lokal gereksinimlerden bulunan kalınlık, burkulmaya göre güvenli değildir. Bu durumda güvenli kalınlık hesaplanır.
- Gerekli levha kalınlığını bulmak için önce $\sigma_{el} < \frac{\sigma_f}{2}$ veya $\sigma_{el} > \frac{\sigma_f}{2}$ koşulları araştırılır ve duruma göre (2.23), (2.24) denklemlerine başvurulur.
- Kritik gerilme değeri (σ_{kr}) baz alınarak, olması gereken minimum σ_{el} hesaplanır.

- σ_{el}'nin hesaplandığı (2.19) formülünden, bu kez gerekli levha kalınlığı (t) hesaplanır.

2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı

Boyuna posta için ideal elastik burkulma gerilmesi (2.25) denklemi ile hesaplanır.

$$\sigma_{el} = 0.001E\frac{I_A}{Al^2}\,(N/mm^2) \tag{2.25}$$

Burada, E elastisite modülü, A profilin en kesit alanı, l desteklenmeyen boy, I_A ise burkulmanın olması muhtemel yöndeki atalet momentidir. I_A hesaplanırken postaya eşlik eden levhanın 0.8 kat posta arası mesafe kadar levha genişliği flenç genişliği olarak hesaba dâhil edilir.

Sadece profil üzeriden hesap yapıyor olsaydık, profilin y (enine) eksenine göre başlangıç momenti x (boyuna) eksenine göre atalet momentinden çok daha küçük olurdu ($I_y < I_x$). Denklem (2.25)'den de anlaşılacağı gibi I_A'nın küçük olması ideal elastik basma-burkulma gerilmesini (σ_{el}) düşürür, diğer bir değişle burkulmanın gerçekleşmesi yüksek bir olasılık kazanmış olur. $I_y < I_x$ ise y ekseninde burkulma gerçekleşmesi beklenirdi ve sadece y ekseni baz alınıp, bu eksene göre burkulmaya karşı güvenlik sağlamak yeterli olacaktı.

Diğer taraftan, yukarıda belirtildiği gibi posta arası mesafenin 0.8 katı kadar levha genişliği profilin flenç genişliği olarak eşlik etmektedir. O halde sadece profilin atalet momenti değil, profil ve levhanın toplam atalet momentleri hesaplanmalıdır. Çizelge 2.9 A ve I_A hesaplanmalarına örnek olarak verilmiştir. Levhanın kendi üzerine atalet momenti düşünüldüğünde y yönündeki atalet momenti çok çok büyük olacaktır ($I_x << I_y$). Toplamda x (boyuna) eksenine göre atalet momenti y eksenine göre atalet momentinden küçük olacaktır $(I_A)_x < (I_A)_y$. Atalet momentlerinin durumu daha iyi anlaşılması amacıyla Dip Boyuna Postaları Burkulma Hesabı'nda iki (x ve y) yöndeki atalet momentleri de hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.9 Atalet momenti örnek hesap tablosu

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3) (Axh)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**i (cm^4) ($A*d^2$)**
profil						
Levha						
Σ	Toplam Alan		Alanın 1. Momenti Toplamı	Başlangıç Atalet Momenti Toplamı		Alanın 2. Momenti Toplamı

Burada; A, elemanın kesit alanı; h, elemanın ağırlık merkezinin referans noktasına uzaklığı; S, alanın birinci momenti; I, kendi üzerine göre atalet momenti; d, elemanın ağırlık merkezinin tarafsız eksene uzaklığı; i alanın ikinci momenti (elemanın tarafsız eksene göre atalet momenti).

Tarafsız eksenin referans noktasına olan uzaklığı;

$$h_{TE} = \frac{\sum S}{\sum A}(cm) \tag{2.26}$$

$$I_{Top} = \sum I + \sum i \quad (cm^4) \tag{2.27}$$

Boyuna stifnerlerin üzerine gelen kritik basma gerilmesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_{kr} \geq \frac{\sigma_a}{\eta} \tag{2.28}$$

Burkulma kontrolü yapmak, burkulmaya göre güvenli $\frac{I_A}{A}$ oranını bulmak için şu adımlar takip edilir.

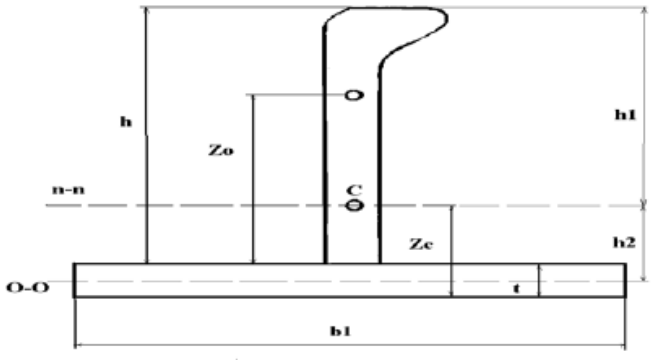
- (2.25) formülü ile ideal elastik basma-burkulma gerilmesi hesaplanır.
- (2.28) formülü yardımı ile kritik burkulma gerilmesi hesaplanır.

- Eğer $\sigma_{el} \geq \sigma_{kr}$ ise lokal gereksinimlerden bulunan profil yani seçilen profilin atalet momenti, burkulmaya göre de güvenlidir denir. İşlem burada kesilebilir.
- Eğer $\sigma_{el} \leq \sigma_{kr}$ ise lokal gereksinimlerden bulunan profil, burkulmaya göre güvenli değildir. Bu durumda güvenli $\frac{I_A}{A}$ oranı yani yeni bir profil hesaplanır.
- Gerekli profili bulmak için önce $\sigma_{el} < \frac{\sigma_f}{2}$ veya $\sigma_{el} > \frac{\sigma_f}{2}$ koşulları araştırılır ve (2.23), (2.24) denklemlerine başvurulur.
- Kritik gerilme değeri (σ_{kr}) baz alınarak, olması gerek minimum σ_{el} hesaplanır.
- σ_{el}'nin hesaplandığı (2.25) denkleminden, bu kez gerekli $\frac{I_A}{A}$ oranı hesaplanır. Bu oranı sağlayan profil seçilir.

2.3 Profillerin Dizaynı

Boyutlandırma süresince hesaplanacak olan posta ve derin elemanların mukavemet modüllerini karşılayan profil seçilecektir. Bu işlemi hızlandırmak ve mühendislik yaklaşımıyla anlamlandırmak için bulblı profillerin (Hollanda profil, HP) ve T profillerin dizayn adımları Bölüm 2.3.1 ve Bölüm 2.3.2 verilmiştir.

2.3.1 Bulplı Profillerin Dizaynı



Şekil 2.4 Bulblı profil örneği.

Profil ve eşlik eden levhanın toplam kesit alanları F, tarafsız eksene göre başlangıç momenti I, mukavemet modülü Z'dir.

Toplam kesit alanını biraz daha açarsak;

$$F = f + b_e t \tag{2.29}$$

Burada, f profilin kesit alanı, b_e eşlik eden levhanın etkin genişliği, t ise levhanın kalınlığıdır.

Eldeki karakteristik verilerle, Çizelge 2.9'daki yaklaşım ile sistemin birinci momenti, tarafsız eksene göre başlangıç momenti ve diğer gerekli hesaplamalar bulunabilir. Benzer terimleri, tanımları burada tekrarlamaya gerek yoktur. Tüm bu işlemlerden sonra,

$$Z_{\min} = \frac{I}{d_{maks}} \tag{2.30}$$

Formülü ile minimum gerekli mukavemet modülü elde edilir. Buradaki d_{max} Şekil 2.4'deki h_1'e tekabül eder, yani sistemin ağırlık merkezinden yapının en uzak noktasına olan uzaklık.

Tüm bu adımlardan sonra, gerekli olacak posta modülüne karşılık profil bulunup seçilebilir; ancak gerekli minimum mukavemet modülünü sağlayan profili bulmak ve seçmek her zaman kolay olmayabilir ya da optimum modül hesaplanamayabilir. Gerekli modülden çok daha fazla mukavemet modülüne sahip bir profil seçilebilir ki tamamen gereksiz ve mühendislik disiplini dışındadır.

Diğer taraftan, yapılan çalışmalar ile bu işlemleri çok daha kolaylaştıran ve kısa süreye indiren bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bunun için 2 farklı katsayı ortaya konmuştur [7].

$$C_w = \frac{f}{\sqrt[3]{Z^2}} \tag{2.31}$$

$$C_I = \frac{f}{\sqrt{I}} \tag{2.32}$$

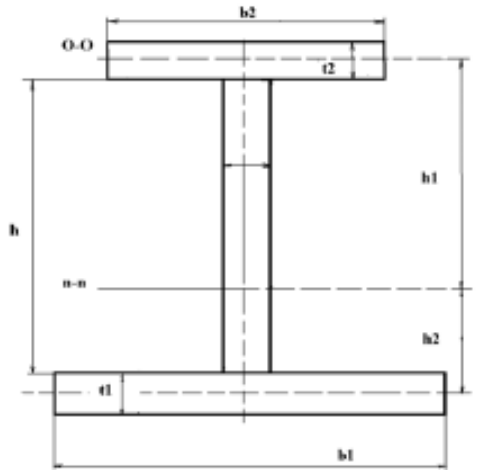
C_w ve C_I katsayıları ne kadar küçükse, stifnerli panel dizaynı o kadar iyidir. Tabii ki burada gerekli minimum mukavemet modülünü sağlama kriteri vardır. Optimum bir bulblı profil dizaynı için C_w ve C_I katsayıları sırası ile 0.68 ve 0.45 olarak hesaplanmıştır [7].

$$f = 0.68\sqrt[3]{Z^2} \tag{2.33}$$

Sonuç olarak postalar için gerekli minimum mukavemet modülü bilindiğinde (2.33)'den profilin alanı bulunabilir. Kesit alanı bilinen profil de mevcut bulblı profil (HP) tablolarından kesit alanına göre seçilebilir.

2.3.2 T Profillerin Dizaynı

Dizayn edilecek T-profil eğilme momenti, kesme kuvveti, burkulma ve korozyon gibi durumlara karşı yeteri derece kuvvetli olmalıdır; diğer taraftan minimum ağırlık ve üretim kolaylığı gibi gereksinimleri de karşılamalıdır.



Şekil 2.5 T profil örneği

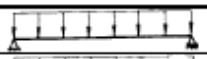
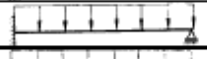
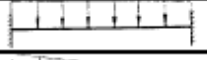
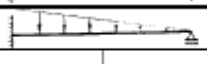
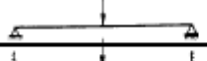
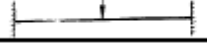
Burada, $b_e=b_1$ eşlik eden levhanın etkin genişliği, $t=t_1$ ise levhanın kalınlığıdır, dolayısıyla eşlik eden levhanın alanı $f_e=b_e t_e$'dir. b_2 flenç genişliği, t_f ise levhanın kalınlığıdır, dolayısıyla flenç alanı $f_2=b_2 t_f$'dir. h gövde levhasının yüksekliği, t_w ise gövde levhasının kalınlığı ve alanı ise $\omega=ht_w$'dur.

Alanların hesabından sonra, alanların birinci momenti, atalet momenti ve diğer gerekenler yukarıda anlatılan klasik yöntem ile hesaplanır.

Dizayn edilen profil, profil ve eşlik eden levha sisteminin mukavemet momenti, gerekli minimum mukavemet momentinden büyük veya eşit olursa kabul edilebilir. Ayrıca T-profil gövde levhası alanı da aşağıdaki gereksinimi sağlamalıdır.

$$\omega \geq \frac{Q_{max}}{0.85\tau_{req}} \tag{2.34}$$

Eşlik eden levhanın, alın levhasından (flenç) geniş olduğu varsayımı doğrultusunda, aşağıda Şekil 2.6'da verilen tabloda T profil gövde levhasının "minimum boy-yükseklik oranı" $\left(\frac{l}{h}\right)_{min}$ için minimum değer alınırsa, eğilme momentine karşı yeterli olan profil, kesme kuvvetine karşı da yeterli olduğunu garanti eder. Hemen hemen her durumda eşlik eden levha, flençten çok daha büyüktür. Bu nedenle, sadece aşağıdaki tabloda verilen değerleri sağlamak yeterli olur.

No	Load	f_2/ω				
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1		5.3	6.7	8.1	9.4	10.8
2		6.7	8.4	10.1	11.7	13.4
3		8.0	10.1	12.1	14.2	16.1
4		8.0	10.1	12.1	14.2	16.1
5		2.7	3.4	4.1	4.7	5.4
6		5.3	6.7	8.1	9.4	10.8

Şekil 2.6 $\left(\frac{l}{h}\right)_{min}$ oranı için minimum değerler.

Ayrıca, T-profil gövdesi ya da flenç stabilitesinin, durağanlığının bozulmasını engellemek için diğer bir değişle burkulmaya karşı önlem almak için seçilen çelik malzemeye bağlı olarak gövdesi için yükseklik-kalınlık, flenç için ise genişlik-kalınlık oranını sağlamak gerekmektedir.

Çizelge 2.10 Yükseklik-kalınlık, genişlik-kalınlık oranları

$\sigma_{y,}$ MPa	200	240	300	350	400	500	600
$(h/t_w)_{maks}$	65	60	53	49	46	41	38
(b_2/t_f)	41	37	33	31	29	26	23

Bulblı profillerde olduğu gibi T profilleri de mukavemet modülünün veya başlangıç momentinin bilinmesi durumlarına göre 2 farklı yaklaşımla dizayn edilebilir; ancak T-profil dizayn adımları bulblı profillere nazaran biraz daha uzun ve detaylı olduğundan bu çalışmadaki durum göz önüne alınarak sadece mukavemet modülünün bilinmesi durumuna karşı dizayn adımları tanıtılacaktır [7].

- Durum 1:

$(h/t_w)_{maks}$ için maksimum izin verilebilir değer Çizelge 2.10'den alınır, korozyon kayıpları da göz önüne alınarak gövdenin minimum kalınlığı $(t_w)_0$ seçilir. Bu duruma göre mukavemet modülü hesaplanır.

$$W_0 = \frac{2}{3}\left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max}(t_w)_0 \tag{2.35}$$

Eğer bulunan değer gerekli minimum mukavemet modülünden büyük ya da eşit ise gövdenin'in yüksekliği aşağıdaki gibi bulunur.

$$h = \frac{1.7}{1+\frac{f_2}{\omega}}\sqrt{\frac{W_{req}}{(t_w)_0}} \le \frac{l}{\left(\frac{l}{h}\right)_{\min}} \tag{2.36}$$

$\left(\frac{l}{h}\right)_{\min}$ değeri Şekil 2.6'dan alınır. Minimum ağırlığa göre dizayn edilecek T-profil için $\left(\frac{f_2}{\omega}\right) = (0.3-0.6)$ olmalıdır. Gövde yüksekliği ve kalınlık belirlendikten sonra alanı, $\omega = h(t_w)_0$ olarak hesaplanır. Flenç ise,

$$f_2 = \omega\left(\frac{f_2}{\omega}\right) \tag{2.37}$$

Gerekli olan minimum flenç alanı da bulunduktan sonra, bu alanı oluşturan kalınlık ve genişliğin belirlenmesi gereklidir. Çizelge 2.10'daki gereksinimi sağlayacak şekilde seçilmelidir.

$b_2 t_2 = f_2$;

$$\frac{b_2}{t_2} \le \left(\frac{b_2}{t_2}\right)_{\max} \tag{2.38}$$

- Durum 2:

Eğer mukavemet modülü ilk durumda sağlanamadı ise ve aşağıdaki denklem sağlanıyorsa bu durumda T-profil dizaynı aşağıdaki adımlara göre yapılır.

$W_0 \le W_{req} \le 2W_0$ ise ilk seçilen kalınlık yine aynen alınır, $t_w=(t_w)_0$. Gövde levhasının yüksekliği ise (2.39)'den bulunur ve gövde alanı $\omega = h(t_w)_0$ olarak hesaplanır.

$$h = \left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max} (t_w)_0 \le \frac{l}{\left(\frac{l}{h}\right)_{\min}} \tag{2.39}$$

Flenç alanı ve geometrik ebatları ise;

$$f_2 = 1.75\sqrt{W_{req}(t_w)_0} - \omega \tag{2.40}$$

Genişlik ve kalınlığı ise 1. durumdaki (2.38) formülü ile bulunur.

- Durum 3

Eğer $W_{req} > W_0$ ise gövde levhasının yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h = \frac{1.3}{\sqrt{1+\frac{f_2}{\omega}}} \sqrt[3]{\left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max} W_{req}} \le \frac{l}{\left(\frac{l}{h}\right)_{\min}} \tag{2.41}$$

Bu durum için $\left(\frac{f_2}{\omega}\right) = (0.8-1.2)$ ise minimum ağırlık ile T-profil dizayn edilebilir.

Gövde levhasının kesit alanı $\omega = h^2 \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-1}_{\max}$ ifadesi ise hesaplanabilir, kalınlığı ise $t_w = \frac{\omega}{h}$ şeklinde bulunur.

Daha sonra ise flenç alanı (2.37) ve ebatları ise 1. durumdakine benzer şekilde (2.38) formülü ile bulunur.

3 farklı durum ile karşılaşılması durumunda nasıl optimum T-profil dizaynı yapılacağı açıklanmış oldu. Bu çalışmada güverte altı derin tülanileri ve perde derin elemanları için T-profil kullanılmıştır. DNV kurallarından hesaplanan minimum mukavemet modülünü karşılayacak en hafif T-profil dizayn edilirken burada anlatılan esaslara göre hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada 1. durum ile karşılaşılmıştır. Dizayn ederken kalınlık-yükseklik gibi burkulma açısından ya da kesme kuvveti açısından önem arz eden boyutlandırma kısıtlamalarına bağlı kalarak T-profil dizaynı gerçekleştirilmiştir. İlerideki bölümlerde T-profil örneği ile karşılaşılacaktır.

Genel tanımlamalardan, temel bilgilendirme ve hesap örneklerinden sonra boyutlandırmaya dip yapıları ile başlanır.

2.4 Dip Yapıları

Dip yapısında yüksek kaliteli çelik kullanılmıştır (akma gerilmesi 355 N/mm^2). Dip ve iç dip yapısı boyuna sisteme göre boyutlandırılmıştır. Posta arası mesafe (s) 0.9 metre, postanın desteklenmeyen boyu (l) 3.6 metre seçilmiştir.

Sac levhalarının genişliği aşağıdaki formül ile bulunan değerden az olmamalıdır.

$$b = 800 + 5L = 1760mm \tag{2.42}$$

Boyuna merkez tülani ve enine döşeklerin merkezdeki yüksekliği aşağıdaki formülle bulunan değerden az olamaz. Bu formül aynı zamanda iç dip yüksekliğini vermiş olur.

$$h_{db} = 250 + 20B + 50T = 1311\,(mm) \tag{2.43}$$

İç dip yüksekliği (2.43) denklemine göre yaklaşık 1.4 metre alınmıştır.

Merkez ve boyuna yan tülaniler arasındaki mesafe 5 metreyi aşamaz. Bu çalışmadaki konfigürasyonda tülaniler arası üç postada bir, 2.7 metre alınmıştır.

Dolu döşek aralıkları ise 3.6 metreden büyük olmamalıdır. Yüksekliği, iç dip ile güverte arasındaki yüksekliğin 0.7 katını geçen derin tankların altında ise döşek aralıkları 2.5 metreyi geçmemelidir. Bu çalışmada döşekler de 4 postada bir, 3.6 metre aralıklı kabul edilmiştir.

Bu bölümde dip ve iç dip kaplaması, boyuna tülaniler, döşekler, boyuna dip ve iç dip postaları ve tülanilerin boyuna destek postaları boyutlandırılacaktır.

Çizelge 2.11 Dip elemanları için dizayn yükleri[1]

Yapı	Yük Tipi	P (kN/m^2)
Dip	Deniz Basıncı	$P_1 = 10T + P_{dp}$
	Kargo tankı ya da derin tank boyunca net basınç	$P_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_m$
		$P_3 = \rho g_0 h_s + P_0 - 10T_m$
İç Dip	Ambarlarda kuru kargo	$P_4 = \rho(g_0 + 0.5a_v)H_c$
	Tanklarda balast	$P_5 = (10 + 0.5a_v)h_s$
		$P_6 = 6.7(h_s + \phi b) - 1.2\sqrt{H\phi b_t}$ 1)
		$P_7 = 0.67(10h_p + \Delta P_{dyn})$
		$P_8 = 10h_s + P_0$
	Tankın üzerinde sıvı yük	$P_9 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s$
		$P_{10} = \rho g_0\left[0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t}\right]$ 1)
		$P_{11} = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta P_{dyn})$
		$P_{12} = \rho g_0 h_s + P_0$

[1] DNV klas kuralları part 3, chapter 1, section 6

Çizelge 2.11 Dip elemanları için dizayn yükleri (devam)

İç dip, dip döşekler ve boyuna tülaniler	İç dip tankı cidarlarında basınç	$P_{13} = 0.67(10h_p + \Delta P_{dyn})$
		$P_{14} = 10h_s + P_0$
	Minimum basınç	$P_{15} = 10T$
1) P6 ve P10 basınç formülasyonları, tank/ambar 0.4 B'den daha geniş olduğundan kullanılır.		

Çizelge 2.11'da;

$$P_{dp} = P_l + 135\frac{y}{B+75} - 1.2(T-z)\ (kN/m^2) \tag{2.44}$$

$$P_l = k_s C_w + k_f \tag{2.45}$$

k_s=2; geminin 0.2L ve 0.7L arası boyutlandırılırken. k_f ise friboard ya da su çekiminden küçük olandır. Buradaki konfigürasyonda k_f=f=3.36 metredir. b_t, tank tavanında tank genişliği 11.5 metredir. H ise tank yüksekliğidir, dip için 1.4, iç dip için 12.38 metredir.

Yük merkezinden tankın üst köşe noktasına olan en uzak çapraz mesafe, b iç dip için 16.9 metredir.

Yük merkezinden tankın en üst noktasına düşey uzaklık, h_s dip için 1.4 metre, iç dip için ise 12.38 metredir.

Yük merkezinden tank hava firarının en üst noktasına düşey uzaklık, h_p dip için 14.78 metre, iç dip için ise 13.38 metredir.

Diğer bilinmeyenler Temel Parametreler bölümünde verilmiştir.

2.4.1 Levha Omurga

Levha omurga gemi boyunca devam ettirilmelidir. Genişliği ve kalınlığı aşağıdaki formüllerden bulunan değerden az olamaz.

$$b = 800 + 5L = 1760mm \tag{2.46}$$

(2.46) formülü ile bulunan değer yaklaşık olarak **1800 mm** olarak alınmıştır.

$$t = 7.0 + \frac{0.05L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k = 18.14(mm) \quad (2.47)$$

Burada f_1 malzeme faktörüdür, L_1 ise gemi boyuna (L) eşittir; ancak 300 metreden büyük alınmasına gerek yoktur.

(2.47) formülü ile bulunan değer yaklaşık olarak **19 mm** olarak alınır.

2.4.2 Dip ve Sintine Kaplaması

Gerekli levha kalınlığı (2.48) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8k_a s\sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k(mm) \quad (2.48)$$

Burada, s boyuna posta arası mesafe 0.9 metredir, denklem (2.16)'ya göre k_a 1'dir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_1-P_3 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ boyuna sistem için $\sigma = 120 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca dip kaplama kalınlığı (2.49) formülüyle bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = 5.0 + \frac{0.04L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k\ (mm) \quad (2.49)$$

Sintine dış kaplama kalınlığı kendisine komşu olan dip veya borda kaplama kalınlıklarından büyük olanından az olamaz. Çizelge 2.12'de 1, 2 ve 3 nolu dış kaplama levhaları dip kaplaması; 4, 5 ve 6 nolu levhalar ise sintine kaplamasıdır. Levha yerleşimleri Ek A'dan izlenebilir.

Çizelge 2.12 Lokal gereksinimlere göre dip ve sintine levhaları

Lev.	y (m)	z (m)	l (m)	s (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$ (mm)**
1	2.4	0.0	3.6	0.9	13.3	117.5	166.8	11.9	11.5	3.0	14.9	**15.0**
2	5.4	0.0	3.6	0.9	17.3	121.5	166.8	12.1	11.5	3.0	15.1	**16.0**

Çizelge 2.12 Lokal gereksinimlere göre dip ve sintine levhaları (devam)

3	8.0	0.0	3.6	0.9	20.7	124.9	166.8	12.3	11.5	3.0	15.3	**16.0**
4	10.3	0.2	3.6	0.9	23.9	128.1	166.8	12.5	11.5	3.0	15.5	**16.0**
5	12.3	1.48	3.6	0.9	28.2	132.4	166.8	12.7	11.5	3.0	15.7	**16.0**
6	13.4	3.46	3.6	0.9	31.9	136.1	166.8	12.8	11.5	3.0	15.8	**16.0**

(2.48) ve (2.49)'daki hesaplara dayanan Çizelge 2.12'ye göre merkezden bordaya doğru gidildiğinde ilk dip kaplama levhası 15 mm, diğerleri 16 mm seçilecektir.

2.4.2.1 Dip ve Sintine Kaplaması Burkulma Hesabı

Dip kaplaması gibi yatay yapı elemanlarında basma gerilmeleri kendi üzerlerinde değişmediği için Ψ=1 alınır. Dip için z_n kaide hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık, 5.7 metre; z_a yük merkezinin kaide hattından olan düşey uzaklık yani 0 metredir. η Çizelge 2.8'den 0.9 olarak alınır.

Çizelge 2.13 Dip ve sintine sac levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	y	z	z_n-z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	$\mathbf{t_{seç}}$
				m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	1	0.9	4	2.4	0	5.8	131.8	175.4	194.9	14.7	3.0	17.7	**18.0**
2	1	0.9	4	5.5	0	5.8	154.7	175.4	194.9	14.7	3.0	17.7	**18.0**
3	1	0.9	4	8.0	0	5.8	154.7	175.4	194.9	14.7	3.0	17.7	**18.0**
4	1	0.9	4	10.3	0.2	5.6	154.7	169.9	188.8	14.4	3.0	17.4	**18.0**
5	1	0.9	4	12.3	1.5	4.3	154.7	130.6	145.1	12.8	3.0	15.8	**16.0**
6	1	0.9	4	13.4	3.5	2.3	154.7	70.3	78.1	11.1	3.0	14.1	**15.0**

Burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Çökme-sarkma durumlarında basma gerilmesi ile karşılaşıldığında lokal gereksinimlere göre bulunan 15 ve 16 mm levha kalınlıkları yetersiz kaldığından levha burkulacak, ve devamında işlevini yerine getiremeyecek demektir.

Bu durumda burkulma kontrolünün getirdiği kalınlık seçilmelidir. Çizelge 2.13'e göre dip kaplama kalınlığı için **18 mm** seçmek gerekir. Dip ve Sintine Kaplama bölümünün başındaki ifadeye göre sintine kaplama kalınlığı komşusu olan borda veya dip kaplamadan daha ince seçilmemelidir. Bu durumda sintine kaplama kalınlığı da **18 mm** seçilmiştir.

2.4.3 İç Dip

Gerekli levha kalınlığı (2.50) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.50}$$

Denklem (2.16)'ya göre k_a 1'dir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_4-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ boyuna sistem için $\sigma = 140 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca iç dip kaplama kalınlığı aşağıda verilen formül ile bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = t_0 + \frac{0.03 L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.51}$$

Burada t_0= 5.0 (eğer tavan sabitlenmiş ise).

Tankerlerde güverte kaplaması sabit olduğu için t_0 5.0 olarak alınır.

Çizelge 2.14 İç dip basınçları

P_9 (kPa)	P_{10} (kPa)	P_{11} (kPa)	P_{12} (kPa)	P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)	P_{15} (kPa)
145.35	88.03	89.65	151.90	89.65	148.80	104.20

Çizelge 2.15 Lokal gereksinimlere göre iç dip levhaları

Lev.	y (m)	z (m)	l (m)	s (m)	P (kPa)	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$ (mm)**
1	0.0	1.4	3.6	0.9	151.9	168.0	13.5	9.9	3.0	16.5	**17.0**
2	2.8	1.4	3.6	0.9	151.9	168.0	13.5	9.9	3.0	16.5	**17.0**
3	5.5	1.4	3.6	0.9	151.9	168.0	13.5	9.9	3.0	16.5	**17.0**
4	8.0	1.4	3.6	0.9	151.9	168.0	13.5	9.9	3.0	16.5	**17.0**

2.4.3.1 İç Dip Kaplaması Burkulma Hesabı

İç dipte gibi yatay yapı elemanlarında basma gerilmeleri kendi üzerlerinde değişmediği için Ψ=1 alınır. İç dip için z_n kaide hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık, 5.7 metre; z_a yük merkezinin kaide hattından olan düşey uzaklık 1.4 metredir. η Çizelge 2.8'den 0.9 olarak alınır.

Çizelge 2.16 İç dip levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	y	z	z_n-z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	**$t_{seç}$**
				m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	1	0.9	4	0.0	1.4	4.37	179.4	132.9	147.6	12.88	3.0	15.9	**16.0**
2	1	0.9	4	2.8	1.4	4.37	179.4	132.9	147.6	12.88	3.0	15.9	**16.0**
3	1	0.9	4	5.5	1.4	4.37	179.4	132.9	147.6	12.88	3.0	15.9	**16.0**
4	1	0.9	4	8.0	1.4	4.37	179.4	132.9	147.6	12.88	3.0	15.9	**16.0**

İç dip kaplama kalınlığı burkulma hesabı, lokal gereksinimlere göre hesaplanan iç dip kaplama kalınlığının güvenli olduğunu gösterdiğinden **17 mm** seçilmiştir.

2.4.4 Döşek ve Dip Boyuna Tülani

Gerekli levha kalınlığı (2.52) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.52}$$

Burada posta arası (s) 0.6 metre, denklem (2.16)'e göre k_a 1'dir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_{13}-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ boyuna sistem için $\sigma = 130 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca boyuna tülanilerin, döşeklerin ve destek elemanları braketlerin kalınlığı aşağıda verilen formülden az olamaz.

$$t_{\min} = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.53}$$

Burada, k merkez tülani için 0.04 L_1; diğer elemanlar için 0.02 L_1 olarak hesaplanır.

Çizelge 2.17 Tülani ve döşek basınçları

P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)	P_{15} (kPa)
89.65	148.80	104.20

Çizelge 2.18 Lokal gereksinimlere göre tülani ve döşek levhaları

Levha	P (kPa)	σ (N/mm^2)	k	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$** (mm)
Tülani 870	148.8	180.7	3.8	8.6	9.3	3	12.3	**13.0**
Tülani 3570	148.8	180.7	3.8	8.6	9.3	3	12.3	**13.0**
Tülani 6270	148.8	180.7	3.8	8.6	9.3	3	12.3	**13.0**
Tülani 8970	148.8	180.7	3.8	8.6	9.3	3	12.3	**13.0**
Döşekler	148.8	222.4	3.8	7.8	9.3	3	12.3	**13.0**

2.4.4.1 Boyuna Tülanilerin Burkulma Hesabı

Boyuna tülanilerin dip kaplamaya kaynaklı alt ucu ile iç dibe kaynaklı üst ucu arasındaki basma gerilmeleri sabit olmadığından için Ψ=1 alınamaz. Şekil 2.3'de gösterilen yaklaşımla Ψ hesaplanır. Boyuna tülaniler için z_n kaide hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık, 5.7 metre; z_a yük merkezinin kaide hattından olan düşey uzaklık yani 0 metredir. η Çizelge 2.8'den 0.8 olarak alınır.

Çizelge 2.19 Boyuna tülani burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	y	z	z_n-z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	**$t_{seç}$**
				m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
Tülani 870	0.76	0.8	4.5	0.87	0	5.8	641.4	175.4	219.3	7.82	1.5	9.3	**10.0**
Tülani 3570	0.76	0.8	4.5	3.57	0	5.8	377.7	175.4	219.3	7.84	1.5	9.3	**10.0**
Tülani 6270	0.76	0.8	4.5	6.27	0	5.8	379.5	175.4	219.3	7.82	1.5	9.3	**10.0**
Tülani 8970	0.76	0.8	4.5	8.97	0	5.8	379.5	175.4	219.3	7.82	1.5	9.3	**10.0**

Tülani kalınlıkları burkulma hesabı, lokal gereksinimlere göre hesaplanan tülani kalınlığının güvenli olduğunu gösterdiğinden **13 mm** seçilmiştir.

2.4.5 Dip Boyuna Postaları

Boyuna postalar için gerekli kesit mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.54}$$

Burada s posta arası mesafe, 0.9 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. w_k profiller için korozyon faktörüdür ve aşağıdaki formül ile hesaplanır. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_1-P_3 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ dip boyuna postaları için (2.56)'dan, sintine boyuna postaları için ise (2.57)'den hesaplanır.

$$w_k = 1 + 0.06 t_k \tag{2.55}$$

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2b} - 0.7\sigma_{db} \quad (2.56)$$

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2b}(z_n - z_a)/z_n \quad (2.57)$$

Burada, σ_{db} profil flenç'lerindeki ortalama gerilmedir ve balast taşınan tanklar için $\sigma_{db} = 50 f_1$ olarak alınır; f_1 malzeme faktörü; f_{2b} orta kesit mukavemet modülü ve sakin su eğilme momentine bağlı, tarafsız eksenin altı için gerilme faktörüdür, aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$f_{2b} = \frac{5.7(M_s + M_w)}{Z_B} \quad (2.58)$$

(M_S+M_W) toplamı (2.4)-(2.7) denklemlerinden 2426566.75 kNm olarak elde edilir. Z_B ise (2.12) denkleminden 13833433 (cm^3) olarak elde edilir.

Dip için P_l, (2.45) formülünden 22.6 kPa olarak hesaplanır.

Çizelge 2.20 Dip boyuna postaları

Posta	y (m)	z (m)	l (m)	s (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	w_k	$(z_n-z_a)/z_n$ (m)	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t_k (mm)	HP
1	0.0	0.0	3.6	0.9	10.1	114.3	1.18	1	134.1	973.7	3.0	**340x14**
2	1.8	0.0	3.6	0.9	11.3	115.5	1.18	1	134.1	983.5	3.0	**340x14**
3	2.7	0.0	3.6	0.9	13.6	117.8	1.18	1	134.1	1003.8	3.0	**340x14**
4	4.5	0.0	3.6	0.9	16.0	120.2	1.18	1	134.1	1024.1	3.0	**340x14**
5	5.4	0.0	3.6	0.9	17.2	121.4	1.18	1	134.1	1034.2	3.0	**340x14**
6	7.2	0.0	3.6	0.9	19.6	123.8	1.18	1	134.1	1054.5	3.0	**340x14**
7	8.1	0.0	3.6	0.9	20.8	125.0	1.18	1	134.1	1064.6	3.0	**340x14**
8	9.9	0.1	3.6	0.9	23.3	127.5	1.18	0.99	184.6	789.0	3.0	**320x12**

Çizelge 2.20 Dip boyuna postaları (devam)

9	10.7	0.4	3.6	0.9	24.7	128.9	1.18	0.94	190.6	772.6	3.0	**320x12**
10	11.5	0.8	3.6	0.9	26.3	130.5	1.18	0.87	200.1	745.0	3.0	**320x12**
11	12.2	1.4	3.6	0.9	27.9	132.1	1.18	0.77	213.1	708.0	3.0	**320x12**
12	12.8	2.1	3.6	0.9	29.5	133.7	1.18	0.64	229.1	666.7	3.0	**300x12**
13	13.2	2.9	3.6	0.9	31.0	135.2	1.18	0.51	246.9	625.6	3.0	**300x12**
14	13.4	3.7	3.6	0.9	32.3	136.5	1.18	0.36	266.2	585.9	3.0	**300x12**

2.4.5.1 Dip Boyuna Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.21 Dip postaları için X-eksenine göre atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	66	22.9	1501	7540	-14.6	13992
levha	130	0.9	117	35	7.4	7076
∑	195		1618	7575		21067

Tarafsız eksenin, referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 8.28 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 28642 cm^4'tür. Bu durumda; $\frac{I_A}{A}$ oranı 146.8 cm^2'dir.

Çizelge 2.22 Dip postaları için Y-eksenine göre atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	66	45.0	2949	139	0.0	0
levha	130	45.0	5832	55987	0.0	0
∑	195		8781	56126		0

Tarafsız eksenin, referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 45 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 56125 cm^4'tür. Bu durumda $\frac{I_A}{A}$ 287.6 cm^2'dir.

Burada, iki yönde de atalet momenti bulunup karşılaştırılmıştır. Çünkü burkulmanın atalet momenti küçük olan yönde olması beklenir ve önlem ona göre alınır. Bu durumda iki yönde de atalet momentleri karşılaştırılır ve atalet momenti küçük olan yönde dâhi burkulmaya karşı güvenli olması gerekir. Buradaki durumda atalet momenti X-eksenine göre çok daha küçüktür. Burkulmanın bu yöne göre kontrol edilmesi gerekmektedir.

Y-ekseni yani levha normaline dik eksen, X-eksenine göre yani levha normali eksenine göre olan atalet momentinden çok daha fazladır. Bu durum sadece dip postaları için değil, her bölgede bu şekilde gözlenir. Dolayısıyla bundan sonraki burkulma hesaplarında tekrarlamalardan ve gereksiz hesaplamalardan kaçınmak için sadece atalet momenti diğerine göre nispeten küçük olan levha normali eksenine (X-ekseni) göre atalet momenti ve burkulma hesaplamaları yeterlidir.

Çizelge 2.23 Dip postaları burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
1	0.85	0.0	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0
2	0.85	1.8	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0

Çizelge 2.23 Dip postaları burkulma hesabı (devam)

3	0.85	2.7	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0
4	0.85	7.2	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0
5	0.85	8.1	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0
6	0.85	4.5	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0
7	0.85	5.4	0.0	5.8	2333.1	175.4	206.4	13.0

Sintine boyuna postaları eşlik eden sintine kaplamasıyla beraber düşey ve yatay olarak idealize edilerek her iki yöndeki burkulmaya göre kontrolleri yapılabilir. Bu işlem için burada çok uzun çaba sarf edilmelidir. Ya da Mars 2000 programı nihai mukavemette dışında, burada gerçekleştirilen boyutlandırma işlemlerini de kontrol etmektedir. Lokal gereksinimlerden bulunan sintine postasını Mars 2000 sonuçları ile karşılaştırabiliriz.

2.4.6 İç Dip Boyuna Postaları

İç dip boyuna postası mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma} \, (cm^3) \tag{2.59}$$

Burada s posta arası mesafe 0.9 metre, w_k profiller için korozyon faktörüdür ve (2.55) fomülü ile hesaplanır. l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_4-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ iç dip boyuna postaları için (2.60) formülünden hesaplanır.

$$\sigma = 225 f_1 - 100 f_{2b} - 0.7 \sigma_{db} \tag{2.60}$$

Çizelge 2.24 İç dip boyuna postaları

Posta	y (m)	z (m)	l (m)	s (m)	P (kPa)	w_k	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t_k (mm)	HP.
1	0.0	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
2	1.8	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
3	2.7	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
4	4.5	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
5	5.4	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
6	7.2	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**
7	8.1	1.4	3.6	0.9	151.9	1.2	185.3	936.5	3.0	**340x12**

Gerekli mukavemet modülü 936.3 cm^3 olarak bulunmuştur. Bu mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil kesit alanı (2.33) formülünden 60.30 cm^2 olarak hesaplanır. Buna göre **340x12** Hollanda Profili seçilmiştir.

2.4.6.1 İç Dip Boyuna Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.25 İç dip postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**i=A*d^2 (cm^4)**
profil	58.8	21.6	1271	6760	-14.0	11555
levha	122.4	0.85	104	29	6.7	5555
∑	181		1375	6789		17109

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 7.59 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 23898 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =131.9 (cm^2)

Çizelge 2.26 İç dip postaları burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
		m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	cm^2
1	0.85	0.0	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
2	0.85	1.8	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
3	0.85	2.7	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
4	0.85	4.5	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
5	0.85	5.4	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
6	0.85	7.2	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8
7	0.85	8.1	1.4	4.37	2096.0	132.9	156.3	9.8

σ_e, kritik değerden çok daha yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profil burkulmaya karşı yeteri derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı 9.8 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 131,9 cm^2'dir.

2.4.7 Boyuna Tülani ve Döşek Postaları

İç dip yüksekliği 1,4 metre olduğu için, tülani ve döşek levhalarını titreşim ve burkulmaya karşı postalar ile desteklemek gerekmektedir. Bu destek postalarının mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{100 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.61}$$

Burada s posta arası mesafe 0.47 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_{13}-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ, tülani destek boyuna postaları için (2.62) formülünden hesaplanır.

$$\sigma = 225 f_1 - 110 f_{2b} = 202.76 \tag{2.62}$$

Çizelge 2.27 Boyuna tülani ve döşek postaları

	Posta	P (kPa)	s (m)	l (m)	w_k	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t_k (mm)	**HP.**
Tülani 870	1	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
	2	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
Tülani 3570	1	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
	2	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
Tülani 6270	1	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
	2	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
Tülani 8970	1	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
	2	148.8	0.47	3.6	1.18	202.76	527.5	3.0	**260x12**
Döşek	1	148.8	0.9	1.4	1.18	202.76	152.8	3.0	**160x9**
	2	148.8	0.9	1.4	1.18	202.76	152.8	3.0	**160x9**

Gerekli mukavemet modülü tülani postaları için 527.7 cm^3, döşek postaları için ise 152.8 cm^3 olarak bulunuştur. Bu mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil kesit alanı (2.33) formülünden sırası ile 41.13 cm^2 ve 18.00 cm^2 olarak hesaplanır. En kesit alanı 41.31 cm^2 olan **260x12** ve en kesit alanı 17.8 cm^2 olan **160x9** Hollanda Profili seçilmiştir.

2.4.7.1 Boyuna Tülani Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.28 Boyuna tülani postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	41	17.3	715	239	-8.7	3106
levha	49	1.3	64	7	7.3	2625
Σ	90		778	246		5731

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 8.63 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 5977 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =66.3 (cm^2)

Çizelge 2.29 Tülani postalarının burkulma hesabı

	Pos.	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
Tülani 870	1	0.85	0.87	0.47	5.30	1053.5	161.1	189.6	11.9
	2	0.85	0.87	0.94	4.83	1053.5	146.9	172.8	10.9

Çizelge 2.29 Tülani postalarının burkulma hesabı (devam)

Tülani 3570	1	0.85	3.57	0.47	5.30	1053.5	161.1	189.6	11.9
	2	0.85	3.57	0.94	4.83	1053.5	146.9	172.8	10.9
Tülani 6270	1	0.85	6.27	0.47	5.30	1053.5	161.1	189.6	11.9
	2	0.85	6.27	0.94	4.83	1053.5	146.9	172.8	10.9
Tülani 8970	1	0.85	8.97	0.47	5.30	1053.5	161.1	189.6	11.9
	2	0.85	8.97	0.94	4.83	1053.5	146.9	172.8	10.9

σ_e, kritik değerden çok yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profil burkulmaya karşı yeterli derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı 11.9 cm^2 olarak görülmektedir. Seçilen profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 66.3 cm^2'dir.

Tülani destek postaları ile dip elemanları boyutlandırması tamamlanmış olur. Sırada borda elemanları boyutlandırması yer almaktadır.

2.5 Borda Yapıları

Borda yapısında normal kaliteli çelik kullanılmıştır, f_1=1.0 (akma gerilmesi 235 N/mm^2). Borda ve iç cidar yapısı boyuna sisteme göre boyutlandırılmıştır. Posta arası mesafe (s) 0.8 metre, postanın desteklenmeyen boyu (l) 3.6 seçilmiştir.

Cidar genişliği, 5000 DWT'dan büyük olan tankerler için aşağıdaki formül ile hesaplanabilir [8].

$$w = 0.5 + \frac{DWT}{20000} < 2\ (m) \tag{2.63}$$

Ancak, 2 metreden geniş alınmasına gerek yoktur.

DWT 31800 ton idi. (2.63) formülünü uygularsak w=2.09 metre olarak bulunur ve 2.00 metre olarak cidar genişliği alınır.

İlk boyuna stringer sintinenin dönümünün ve "hopper" tankın bittiği yerde bulunur, diğerleri ise 4 postada bir konulmuştur. Enine derin postalar dört postada bir, yani 3.6 metrede bir kullanılmıştır. Bu bölümde borda, iç cidar, boyuna stringerler, enine derin postalar ve bunların boyuna postaları, borda ve iç cidar postaları boyutlandırılacaktır.

Çizelge 2.30 Borda elemanları için dizayn yükleri[1]

Yük Tipi		P (kN/m^2)
Tekneye dışarında etkiyen yükler	Su hattının altı için deniz basıncı	$P_1 = 10T + P_{dp}$
	Su hattının üstü için deniz basıncı	$P_2 = (P_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0)$ [1)] Min 6.25+0.025L$_1$
Tekneye içeriden etkiyen yükler	Çift cidar tanklarında balast, sıvı yük, yakıt, vs	$P_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10h_b$ $P_4 = \rho g_0 h_s - 10h_b + P_0$ $P_5 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta P_{dyn} - 10h_b)$
	Genişliği 0.4B'den büyük olan tanklarda balast, sıvı yük, yakıt, vs	$P_6 = \rho g_0 \left[6.7(h_s + \phi b) - 1.2\sqrt{H\phi b_t} \right]$
	Uzunluğu 0.4B'den büyük olan tanklarda balast, sıvı yük, yakıt, vs	$P_7 = \rho g_0 \left[6.7(h_s + \phi l) - 1.2\sqrt{H\phi l_t} \right]$
	Doldurma yüksekliğinde bir sınır olmayan tanklar için	$P_8 = \rho \left[3 - \frac{B}{100} \right]$

[1] DNV klas kuralları part 3, chapter 1, section 7

Çizelge 2.30'deki katsayı ve bilinmeyenler gerektiği takdirde aşağıda hesap tablolarında verilmiştir. Sabit değerler ise Bölüm 2.4 Dip Yapılarında ve 2.1 Temel Parametreler'de verilmiştir.

2.5.1 Borda kaplaması

Gerekli levha kalınlığı (2.64) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.64}$$

Burada, s boyuna posta arası mesafe 0.8 metredir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_1-P_8 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2).

Boyuna sistem için tarafsız eksen üzerinde $\sigma = 140 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır. Tarafsız eksenden uzaklaşıldıkça, dibe ve güverteye doğru σ azaltılarak gidilir.

Ayrıca borda kaplama kalınlığı aşağıda verilen (2.65) formülüyle bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = 5.0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.65}$$

Burada k, su hattının 4.6 metre üstüne kadar 0.04 olarak alınır. Bu mesafeden sonra her 2.3 metre için 0.01 düşürülür.

2.5.1.1 Şiyer Levhası

Şiyer levhasının genişliği aşağıdaki formül bulunan değerden az olamaz. 1800 mm'den fazla olmasına da gerek yoktur.

$$b = 800 + 5L < 1800 mm \tag{2.66}$$

(2.46) Formülü ile bulunan değer yaklaşık olarak **1800 mm** olarak alınmıştır.

Kalınlığı ise;

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} \ (mm) \tag{2.67}$$

Burada, t_1 gerekli borda kalınlığı; t_2 ise mukavemet güvertesi kalınlığıdır.

Çizelge 2.31 ve Çizelge 2.32'de 4 nolu dış kaplama levhaları şiyer levhasıdır. EK A orta kesit resminden de levha yerleşimleri izlenebilir.

Çizelge 2.31 Borda kaplaması basınçları

Lev.	y (m)	z (m)	h_0 (m)	h_s (m)	h_b (m)	h_p (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	P_5 (kPa)
1	13.5	4.5	5.9	9.3	1.3	10.3	33.4	92.6	8.5	95.6	106.7	61.6
2	13.5	7.5	2.9	6.3	0.0	7.3	37.0	66.2	24.7	73.7	89.4	50.0
3	13.5	9.5	0.9	4.3	0.0	5.3	39.4	48.6	35.5	50.3	68.9	36.3
4	13.5	12.0	1.6	1.8	0.0	2.8	42.4	58.0	35.8	21.1	43.5	19.2

Kalınlık hesaplaması için gerekli olan P değeri, Çizelge 2.31'den bulunduğu satırdaki en yüksek basınç değeri olarak alınır.

Çizelge 2.32 Lokal gereksinimlere göre borda ve şiyer levhası

Levha	s (m)	l (m)	P (kPa)	f_1	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	$\mathbf{t_{seç}}$ (mm)
1	0.8	3.6	106.7	1	115.2	12.2	12.7	1.5	14.2	**15.0**
2	0.8	3.6	89.4	1	124.3	10.7	12.7	1.5	14.2	**15.0**
3	0.8	3.6	68.9	1	129.3	9.2	12.7	1.5	14.2	**15.0**
4	0.71	3.6	58.0	1.39	174.8	6.5	11.5	3.0	14.5	**15.0**

Yukarıdaki Çizelge 2.32'ye göre tüm borda kaplama kalınlığı 15 mm çıkmaktadır. 4. Levha şiyer levhasıdır. Buradaki hesaba göre 15 mm çıkmaktadır ancak daha sonra güverte kalınlığına bağlı olarak tekrar hesaplanacaktır. Boyutlandırma kısmının en sonunda yapılacak olan MARS 2000 ile nihai mukavemet kontrolünde ise kalınlık tekrar

değişebilecektir. Burada detayına girilmese de; eklerdeki mukavemet modülü hesaplamalarında MARS 2000'den sonraki gerçek değeri konulacaktır.

2.5.1.2 Borda Kaplaması Burkulma Hesabı

Bordada dipten güverteye doğru gerilmeler devamlı değiştiğinden, basma gerilmesi de sabit değildir. Bu nedenle Ψ levhalar ucundaki gerilme oranlarına göre, Şekil 2.3'deki yaklaşım ile hesaplanır. z_n, levhaların yük merkezinin konumuna göre ya kaide hattından tarafsız eksene ya da güverteden tarafsız eksene olan mesafedir. z_a ise levhaların yük merkezinin konumuna göre yük merkezinin ya kaide hattından ya da güverteden olan uzaklığıdır. η Çizelge 2.8'den 1 olarak alınır.

Çizelge 2.33 Borda levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	y	z	z_n	z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	$\mathbf{t_{seç}}$
				m	m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	0.74	1	4.6	13.5	4.5	5.8	4.5	211.2	38.7	38.7	7.3	1.5	8.8	**9.0**
2	0.46	1	5.4	13.5	7.5	8.0	6.3	211.2	52.5	52.5	7.0	1.5	8.5	**9.0**
3	0.60	1	4.9	13.5	9.5	8.0	4.3	211.2	113.2	113.2	8.9	1.5	10.4	**11.0**
4	0.78	1	4.5	13.5	12.0	8.0	1.8	211.8	188.6	188.6	10.7	3.0	13.7	**14.0**

Borda kaplaması burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan kaplama kalınlığının burkulmaya göre güvenli olduğunu anlaşıldığından **15 mm** seçilmiştir.

2.5.2 İç Cidar Kaplaması

DNV kural kitapçığında iç cidar, çift cidar stringerleri ve çift cidar derin postaları için özel bir bölüm ayrılmamıştır; ancak bu yapı elemanlarının da boyutlandırılması şarttır. O halde, yaklaşımda bulunmak gerekirse çift cidarın çift dip ile benzer özellikler taşıdığı kabul edilebilir. Bu durumda iç cidar, dip yapısındaki, iç dip prensiplerine uyularak, iç

dip için kullanılan formüllerden[1] yararlanarak boyutlandırılmıştır. Gerekli levha kalınlığı (2.68) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.68}$$

s, posta arası mesafe 0.8 metredir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_4-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). Boyuna sistem için $\sigma = 140 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca çift cidar kaplama kalınlığı aşağıda verilen formülüyle bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = t_0 + \frac{0.03 L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.69}$$

Burada t_0= 5.0 (eğer tavan sabitlenmiş ise). Tankerlerde güverte kaplaması sabit olduğu için t_0 =5.0 olarak alınır.

Çizelge 2.34 İç cidar basınç tablosu

Levha	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_p (m)	P_9 (kPa)	P_{10} (kPa)	P_{11} (kPa)	P_{12} (kPa)	P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)
1	8.97	1.4	12.4	13.38	145.35	130.98	91.89	151.90	89.65	148.80
2	11.5	4.5	9.3	10.28	108.96	109.69	70.60	120.12	68.88	117.80
3	11.5	7.5	6.3	7.28	73.73	89.09	50.00	89.37	48.78	87.80
4	11.5	9.5	4.3	5.28	50.25	75.35	36.26	68.87	35.38	67.80
5	11.5	11.98	1.8	2.8	21.13	58.32	19.23	43.45	18.76	43.00

[1] DNV klas kuralları part 3, chapter 1, section 6

Çizelge 2.35 Lokal gereksinimlere göre iç cidar levhaları

Lev.	s (m)	l (m)	P (kPa)	f_1	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$** (mm)
1	0.8	3.6	151.90	1	140	13.2	10.8	1.5	14.67	**15.00**
2	0.8	3.6	120.12	1	140	11.7	10.8	1.5	13.21	**14.00**
3	0.8	3.6	89.37	1	140	10.1	10.8	1.5	12.26	**13.00**
4	0.8	3.6	68.87	1	140	8.9	10.8	1.5	12.26	**13.00**
5	0.71	3.6	43.45	1.39	194.6	5.3	9.9	3	12.89	**13.00**

2.5.2.1 İç Cidar Kaplaması Burkulma Hesabı

Çift cidarda dipten güverteye doğru gerilmeler devamlı değiştiğinden, basma gerilmesi de sabit değildir. Bu nedenle Ψ levhalar ucundaki gerilme oranlarına göre, Şekil 2.3'deki yaklaşımla hesaplanır. z_n, levhaların yük merkezinin konumuna göre ya kaide hattından tarafsız eksene ya da güverteden tarafsız eksene olan mesafedir. z_a ise levhaların yük merkezinin konumuna göre yük merkezinin ya kaide hattından ya da güverteden olan uzaklığıdır. η, Çizelge 2.8'den iç dibe uygun olan 0.9 olarak alınır.

Çizelge 2.36 İç cidar levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	Y_b	Z_b	z_n	z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	**$t_{seç}$**
				m	m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	0.29	0.9	6.0	8.97	1.4	5.8	1.4	318.8	132.9	147.6	9.51	1.5	11.0	**12.0**
2	0.74	0.9	4.6	11.5	4.5	5.8	4.5	206.9	38.7	43.0	7.37	1.5	8.9	**9.0**
3	0.46	0.9	5.4	11.5	7.5	8.0	6.3	205.9	52.5	58.3	7.08	1.5	8.6	**9.0**
4	0.60	0.9	4.9	11.5	9.5	8.0	4.3	189.3	113.2	125.8	9.40	1.5	10.9	**11.0**

Çizelge 2.36 İç cidar levhaları burkulma hesabı (devam)

5	0.78	0.9	4.5	11.5	12.0	8.0	1.8	164.8	188.6	209.5	11.28	3.0	14.3	**15.00**

Çift cidar kaplamasının burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan kaplama kalınlıklarından 5. levha burkulmaya göre güvenli çıkmamıştır. Diğer 4 levha için lokal gereksinimlere göre hesaplanan kalınlıklar, sırası ile **15; 14; 13; 13 mm** olarak seçilmiştir. Son sac levha, yani güvertenin hemen altında bulunan levha kalınlığı ise burkulma hesabından gelen **15 mm** olarak seçilmiştir.

2.5.3 Stringer ve Derin Postalar

Bu bölüm de iç cidar gibi dip yapısı kuralları uyarlanarak hesaplanır.

Gerekli levha kalınlığı (2.70) formülüyle bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.70}$$

Burada posta arası (s) 0.7 metre, denklem (2.16)'e göre k_a 1'dir. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_{13}-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2).

Boyuna sistem için $\sigma = 130 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca boyuna stringerlerin, enine derin postaların ve braketlerin kalınlığı aşağıda verilen formülle bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.71}$$

Burada, k= 0.02 L_1 olarak hesaplanır.

Çizelge 2.37 Lokal gereksinimlere göre stringer ve derin postalar

Levha	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_p (m)	P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)	P (kPa)	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$** (mm)
Stringer 4500	13	4.5	9.3	10.3	68.8	117.8	117.8	130	10.5	9.8	1.5	12.0	**13.0**
Stringer 7700	13	7.7	6.1	7.1	47.4	85.8	85.8	130	9.0	9.8	1.5	11.3	**12.0**
Stringer 10900	13	10.9	2.9	3.9	25.9	53.8	53.8	130	7.1	9.8	1.5	11.3	**12.0**
Derin posta 1	12.5	4.5	9.3	10.3	68.8	117.8	117.8	130	10.5	9.8	1.5	12.0	**13.0**
Derin posta 2	12.5	7.7	6.1	7.1	47.4	85.8	85.8	130	9.0	9.8	1.5	11.3	**12.0**
Derin posta 3	12.5	10.9	2.9	3.9	25.9	53.8	53.8	130	7.1	9.8	3	12.8	**13.0**

2.5.3.1 Boyuna Stringerlerin Burkulma Hesabı

Boyuna stringerler gibi yatay yapı elemanlarında basma gerilmeleri kendi üzerlerinde değişmediği için Ψ=1 alınır. İç dip için kaide hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık olan z_n, stringerden stringere değişmektedir; z_a da yük merkezinin konumuna bağlı olarak, yük merkezinin ya kaide hattından olan uzaklık ya da güverteden düşey uzaklıktır. η Çizelge 2.8'den 0.8 olarak alınır.

Çizelge 2.38 Boyuna stringerlerin burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	Y_b	Z_b	z_n	z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	$\mathbf{t_{seç}}$
				m	m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
Stringer 870	1.0	0.8	4.0	13	4.5	5.8	4.5	200.2	38.7	48.4	6.99	1.5	8.5	**9.0**
Stringer 3570	1.0	0.8	4.0	13	7.7	8.0	6.1	166.9	58.5	73.2	7.51	1.5	9.0	**10.0**
Stringer 6270	1.0	0.8	4.0	13	10.9	8.0	2.9	166.9	155.8	194.7	15.04	1.5	16.5	**17.0**

Stringerlerin burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan kaplama kalınlıklarından Stringer 6270 burkulmaya göre güvenli çıkmamıştır. İlk iki stringer için lokal gereksinimlere göre hesaplanan kalınlıklar, sırası ile **13; 12mm** seçilir. Son levha, yani güverteye en yakın stringer için ise burkulma hesabından gelen **17 mm** seçilmiştir.

2.5.4 Borda Boyuna Postaları

Boyuna elemanlar için gerekli kesit mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.72}$$

Burada s posta arası mesafe, 0.8 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. P değeri ise Çizelge 2.30'daki P_1-P_8 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ borda boyuna postaları için (2.73) formülünden hesaplanır.

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_2 (z_n - z_a) / z_n \tag{2.73}$$

Burada, f_1 malzeme faktörü; f_2 ise postanın tarafsız eksene olan konumuna göre f_{2b} veya f_{2d}'dir. f_{2b} orta kesit mukavemet modülü ve eğilme momentine bağlı, tarafsız eksenin altını için gerilme faktörüdür, dip yapısı bölümde (2.58) nolu denklem ile verilmişti. f_{2d} ise tarafsız eksenin üstü için gerilme faktörüdür ve aşağıdaki formül ile verilir.

$$f_{2d} = \frac{5.7(M_s + M_w)}{Z_D} \tag{2.74}$$

(M_S+M_W) toplamı (2.4);(2.7) denklemlerinden 2226566 (kNm) olarak elde edilir. Z_D güverteye göre mukavemet modülüdür, aynı zamanda minimum mukavemet modülü Z_0'ya eşittir. Z_0 (2.8) denkleminden 9975608 (cm^3) olarak elde edilir.

Dip için P_l, (2.45) formülünden 22.6 kPa olarak hesaplanır.

Çizelge 2.39 Borda boyuna postaları basınç tablosu

Lev.	y (m)	z (m)	h_0 (m)	h_s (m)	h_b (m)	h_p (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	P_5 (kPa)
1	11.5	5.3	5.1	8.5	0.5	9.5	31.7	82.9	9.2	94.2	106.5	61.5
2	11.5	6.1	4.3	7.7	0.0	8.7	32.7	75.9	13.6	90.2	103.7	59.6
3	11.5	6.9	3.5	6.9	0.0	7.9	33.6	68.8	18.1	80.8	95.5	54.1
4	11.5	8.5	1.9	5.3	0.0	6.3	35.5	54.7	27.1	62.0	79.1	43.1
5	11.5	9.3	1.1	4.5	0.0	5.5	36.5	47.7	31.6	52.6	70.9	37.6
6	11.5	10.1	0.3	3.7	0.0	4.7	37.5	40.7	36.0	43.2	62.7	32.1
7	11.5	11.6	1.2	2.2	0.0	3.2	39.3	51.2	34.0	25.5	47.2	21.8
8	11.5	12.3	1.9	1.5	0.0	2.5	40.1	59.1	31.8	17.1	40.0	16.9
9	11.5	13.0	2.6	0.7	0.0	1.7	41.0	67.1	29.5	8.8	32.7	12.0

Çizelge 2.40 Borda boyuna postaları

Pos	s	l	P	w_k	f_1	f_2	z_n	z_a	σ	Z	t_k	HP	Gerekli Alan	Profil Alanı
	m	m	kPa				m	m	N/mm^2	cm^3	mm		cm^2	cm^2
1	0.8	3.6	106.5	1.1	1.0	1.0	5.8	5.3	214.3	524.4	1.5	**260x12**	40.97	41.31
2	0.8	3.6	103.7	1.1	1.0	1.39	8.0	7.7	217.7	502.9	1.5	**260x12**	39.84	41.31
3	0.8	3.6	95.5	1.1	1.0	1.39	8.0	6.9	199.6	504.9	1.5	**260x12**	39.95	41.31
4	0.8	3.6	79.1	1.1	1.0	1.39	8.0	5.3	163.6	510.3	1.5	**260x12**	40.23	41.31
5	0.8	3.6	70.9	1.1	1.0	1.39	8.0	4.5	145.6	514.0	1.5	**260x12**	40.42	41.31
6	0.8	3.6	62.7	1.1	1.0	1.39	8.0	3.7	127.6	518.7	1.5	**260x12**	40.67	41.31
7	0.7	3.6	51.2	1.1	1.0	1.39	8.0	2.2	93.6	576.8	1.5	**260x12**	43.65	41.31
8	0.7	3.6	59.1	1.2	1.39	1.39	8.0	1.5	165.4	408.4	3.0	**260x12**	34.68	41.31
9	0.7	3.6	67.1	1.2	1.39	1.39	8.0	0.7	149.4	512.9	3.0	**260x12**	40.37	41.31

Gerekli mukavemet modülü ortalama 510 cm^3 civarı bulunmuştur. Bu mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil alanı (2.33) formülünden, Çizelge 2.40'tan da görülebileceği gibi 40 cm^2 civarı hesaplanır. En kesit alanı 41.31 cm^2 olan **260x12** Hollanda Profili seçilmiştir. Yalnızca 7. Posta için kullanılan profil kapasitesini aşmaktadır; ancak aradaki fark, imalatta kolaylık sağlamak adına ihmal edilebilir. İleride, Mars 2000 ile yapılan kontrolde de problem çıkartmadığı görülecektir; ancak ilk üç posta için değişim yapılması istenecektir. EK G mukavemet modülü hesabında 280x11 HP olarak değiştirilecektir.

2.5.4.1 Borda Boyuna Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.41 Borda postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**i=A*d^2 (cm^4)**
profil	41	17.3	715	2770	-11.6	5531
levha	96	0.75	72	18	5.0	2380
∑	137		787	2788		7911

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 5.73 cm'dir. Toplam atalet momenti (I) ise (2.27) formülüne göre 100698 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =77.9 (cm^2)

Çizelge 2.42 Borda postalar burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
1	0.85	11.5	5.3	0.47	1238.5	14.4	16.9	1.1
2	0.85	11.5	6.1	0.33	1238.5	9.9	11.7	0.7
3	0.85	11.5	6.9	1.13	1238.5	34.2	40.3	2.5
4	0.85	11.5	8.5	2.73	1238.5	82.8	97.5	6.1
5	0.85	11.5	9.3	3.53	1238.5	107.1	126.0	7.9
6	0.85	11.5	10.1	4.33	1238.5	131.4	154.6	9.7

Çizelge 2.42 Borda postalar burkulma hesabı (devam)

7	0.85	11.5	11.6	5.84	1238.5	177.3	208.6	13.1
8	0.85	11.5	12.3	6.55	1238.5	198.9	234.0	14.7
9	0.85	11.5	13.0	7.26	1238.5	220.5	259.4	16.3

σ_e kritik değerden çok yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profil burkulmaya karşı yeteri derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı maksimum 16.3 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 77.9 cm^2'dir.

2.5.5 İç Cidar Boyuna Postaları

Boyuna elemanlar iç dip boyuna postaları yaklaşımı ile hesaplanır. Gerekli kesit mukavemet modülü iç dip boyuna postaları (2.59) formülü ile hesaplanır.

$$Z = \frac{83l^2 spw_k}{\sigma}\,(cm^3) \tag{2.59}$$

Burada s posta arası mesafe, 0.8 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. w_k profiller için korozyon faktörüdür. P değeri ise Çizelge 2.11'deki P_4-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ çift cidar boyuna postaları için verilen formülden hesaplanmıştır.

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_2 (z_n - z_a)/z_n \tag{2.75}$$

Burada, f_1 malzeme faktörü; f_2 ise postanın tarafsız eksene olan konumuna göre f_{2b} veya f_{2d}'dir.

Çizelge 2.43 İç cidar boyuna postaları basınç tablosu

Pos.	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_b (m)	P_9 (kPa)	P_{10} (kPa)	P_{11} (kPa)	P_{12} (kPa)	P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)
1	9.5	2.00	11.8	12.78	138.31	126.86	87.77	145.75	85.63	142.80

Çizelge 2.43 İç cidar boyuna postaları basınç tablosu (devam)

2	10.0	2.64	11.1	12.14	130.79	122.46	83.37	139.19	81.34	136.40
3	10.5	3.26	10.5	11.52	123.51	118.21	79.11	132.83	77.18	130.20
4	11.0	3.87	9.9	10.91	116.35	114.02	74.92	126.58	73.10	124.10
5	11.5	5.30	8.5	9.48	99.56	104.20	65.10	111.92	63.52	109.80
6	11.5	6.10	7.7	8.68	90.17	98.70	59.61	103.72	58.16	101.80
7	11.5	6.90	6.9	7.88	80.78	93.21	54.12	95.52	52.80	93.80
8	11.5	7.70	6.1	7.08	71.38	87.71	48.62	87.32	47.44	85.80
9	11.5	8.50	5.3	6.28	61.99	82.22	43.13	79.12	42.08	77.80
10	11.5	9.30	4.5	5.48	52.60	76.73	37.63	70.92	36.72	69.80
11	11.5	11.64	2.1	3.14	25.13	60.66	21.56	46.94	21.04	46.40
12	11.5	12.35	1.4	2.43	16.79	55.78	16.69	39.66	16.28	39.30
13	11.5	13.06	0.7	1.72	8.45	50.91	11.81	32.38	11.52	32.20

Çizelge 2.44 İç cidar boyuna postaları

Pos.	P	wk	f_1	f_2	z_n	z_a	σ	Z	t_k	HP	Gerekli Alan	Profil Alanı
	kPa				m	m	N/mm^2	cm^3	mm		cm^2	cm^2
1	145.7	1.1	1.0	1.0	5.8	2.0	140.0	976.2	1.5	**340x14**	62.00	65.54
2	139.2	1.1	1.0	1.0	5.8	2.6	154.5	845.3	1.5	**320x13**	56.32	57.45

Çizelge 2.44 İç cidar boyuna postaları (devam)

3	132.8	1.1	1.0	1.0	5.8	3.3	168.4	739.8	1.5	**300x13**	51.53	52.79
4	126.6	1.1	1.0	1.0	5.8	3.9	182.1	651.8	1.5	**300x12**	47.36	49.79
5	111.9	1.1	1.0	1.0	5.8	5.3	214.3	489.8	1.5	**260x12**	39.15	41.31
6	103.7	1.1	1.0	1.39	8.0	7.7	217.7	447.0	1.5	**260x12**	36.83	41.31
7	95.5	1.1	1.0	1.39	8.0	6.9	199.6	448.8	1.5	**260x12**	36.93	41.31
8	87.3	1.1	1.0	1.39	8.0	6.1	181.6	450.9	1.5	**240x12**	37.05	37.29
9	79.1	1.1	1.0	1.39	8.0	5.3	163.6	453.6	1.5	**240x12**	37.19	37.29
10	70.9	1.1	1.0	1.39	8.0	4.5	145.6	456.9	1.5	**240x12**	37.37	37.29
11	46.9	1.1	1.0	1.39	8.0	2.1	92.9	420.4	1.5	**240x12**	35.36	37.29
12	39.7	1.2	1.39	1.39	8.0	1.4	164.7	217.0	3.0	**180x10**	22.75	22.46
13	32.4	1.2	1.39	1.39	8.0	0.7	148.7	196.2	3.0	**180x10**	21.27	22.46

Gerekli mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil alanı (2.33) formülünden bulunmuştur. En kesit alanı değerlerini karşılayacak Hollanda Profiller, üretimde kolaylık sağlaması açısından bölüm bölüm aynı olacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. EK A'dan da görülebileceği gibi buradaki ilk dört posta "hopper" tank postalarıdır. İlk dört posta bir bölüme, diğer postalar ise üçerli şekilde bir bölüme tekabül etmektedir. Daha önceki bölümlerde örneği görüldüğü gibi burada Mars 2000 ile yapılan çalışmadan sonra 5, 6 ve 7. postalar 280x11 olarak değiştirilecektir. Ayrıntıları gelecek bölümlerde verilecektir.

2.5.5.1 İç Cidar Boyuna Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.44'dan da görülebileceği gibi güverteye en yakın iki profil için yüksek kaliteli çelik kullanılmıştır ve dolayısı ile mukavemet modülü oldukça düşük bir profil yeterli olmaktadır. Burkulma hesabı da atalet momenti en düşük ve tarafız eksene en uzak olan bu eleman göz önüne alınarak yapılmıştır.

Çizelge 2.45 İç cidar boyuna postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	22	11.9	267	2130	-8.9	1763
levha	83	0.7	54	12	2.4	476
∑	106		321	2142		2238

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26)'den 3.04 cm'dir. Toplam atalet momenti (I) ise (2.27) formülüne göre 5020 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =47.5 (cm^2)'dir.

Çizelge 2.46 İç cidar boyuna postaları burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
1	0.85	9.5	2.0	3.77	4279.6	114.6	134.9	8.5
2	0.85	10.0	2.6	3.13	4279.6	95.2	112.0	7.0
3	0.85	10.5	3.3	2.51	4279.6	76.4	89.8	5.7
4	0.85	11.0	3.9	1.90	4279.6	57.8	68.0	4.3
5	0.85	11.5	5.3	0.47	4279.6	14.4	16.9	1.1
6	0.85	11.5	6.1	0.33	4279.6	9.9	11.7	0.7

Çizelge 2.46 İç cidar boyuna postaları burkulma hesabı (devam)

7	0.85	11.5	6.9	1.13	4279.6	34.2	40.3	2.5
8	0.85	11.5	7.7	1.93	4279.6	58.5	68.9	4.3
9	0.85	11.5	8.5	2.73	4279.6	82.8	97.5	6.1
10	0.85	11.5	9.3	3.53	4279.6	107.1	126.0	7.9
11	0.85	11.5	11.6	5.87	4279.6	178.2	209.7	13.2
12	0.85	11.5	12.4	6.58	4279.6	199.8	235.1	14.8
13	0.85	11.5	13.1	7.29	4279.6	221.4	260.4	16.4

σ_e kritik değerden çok yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan, burkulmaya karşı en zayıf olması beklenen profil dâhi burkulmaya karşı yeteri derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı 16.4 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 47.5 $cm^{2,}$tür.

2.5.6 Stringer ve Derin Posta Destek Postaları

Çift cidar arası mesafe 2 metre olduğu için, boyuna stringer ve enine derin posta levhalarını titreşim ve burkulmaya karşı postalar ile desteklemek gerekmektedir. Bu destek postalarının mukavemet modülü, dip boyuna tülanileri destek postaları yaklaşımı (2.61) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z = \frac{100 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \qquad (2.61)$$

Burada s posta arası mesafe, 0.7 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. w_k profiller için korozyon faktörüdür. P değeri ise Çizelge 2.11'de P_{13}-P_{15} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ stringer boyuna postaları için (2.62) formülünden hesaplanır.

$$\sigma = 225 f_1 - 110 f_2 \quad (2.62)$$

Burada, f_1 malzeme faktörü; f_2 ise postanın tarafsız eksene olan konumuna göre f_{2b} veya f_{2d}'dir.

Çizelge 2.47 Lokal gereksinimlere göre stringer ve derin posta destek postaları

	P.	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_p (m)	P_{13} (kPa)	P_{14} (kPa)	P (kPa)	w_k	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t_k (mm)	HP
Str 4500	1	12.1	4.5	9.3	10.3	68.6	117.5	117.5	1.09	115.0	1010	1.5	**340x14**
	2	12.8	4.5	9.3	10.3	68.6	117.5	117.5	1.09	115.0	1010	1.5	**340x14**
Str 7700	3	12.1	7.7	6.1	7.1	47.2	85.5	85.5	1.09	72.5	1166	1.5	**370x13**
	4	12.8	7.7	6.1	7.1	47.2	85.5	85.5	1.09	72.5	1166	1.5	**370x13**
Str 10900	5	12.1	10.9	2.9	3.9	25.7	53.5	53.5	1.09	72.5	729	1.5	**300x13**
	6	12.8	10.9	2.9	3.9	25.7	53.5	53.5	1.09	72.5	729	1.5	**300x13**
Der. Pos. 1	7	12.1	6.1	7.7	8.7	57.9	101.5	101.5	1.09	115.0	566.3	1.5	**280x12**
	8	12.8	6.1	7.7	8.7	57.9	101.5	101.5	1.09	115.0	566	1.5	**280x12**
Der. Pos. 2	9	12.1	9.3	4.5	5.5	36.5	69.5	69.5	1.09	72.5	615	1.5	**280x12**
	10	12.8	9.33	4.5	5.5	36.5	69.5	69.5	1.09	72.5	615	1.5	**280x12**
Der. Pos. 3	11	12.1	12.3	1.4	2.4	16.2	39.3	39.3	1.18	72.5	326	3.0	**200x12**
	12	12.8	12.3	1.4	2.4	16.2	39.3	39.3	1.18	72.5	326	3.0	**200x12**

Gerekli mukavemet modüllerine göre profil kesit alanları (2.33) formülünden bulunur. En kesit alanı değerlerini karşılayacak Hollanda profilleri seçilir.

2.5.6.1 Boyuna Stringer Destek Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.48 Stringer destek postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	53	19.9	1051	4720	-10.5	5790
levha	67	1.2	81	8	8.2	4548
∑	120		1131	4728		10339

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 9.43 cm'dir. Toplam atalet momenti (I) ise (2.27) formülüne göre 15066 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =125.6 (cm^2)'dir.

Çizelge 2.49 Strigner postalarının burkulma hesabı

	Pos.	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
Stringer 870	1	0.85	12.13	4.53	1.24	1995.9	37.8	44.5	2.8
	2	0.85	12.83	4.53	1.24	1995.9	37.8	44.5	2.8
Stringer 3570	3	0.85	12.13	7.73	1.96	1995.9	59.4	69.9	4.4
	4	0.85	12.83	7.73	1.96	1995.9	59.4	69.9	4.4
Stringer 6270	5	0.85	12.13	10.93	5.16	1995.9	156.7	184.3	11.6
	6	0.85	12.83	10.93	5.16	1995.9	156.7	184.3	11.6

σ_e kritik değerden çok yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profil burkulmaya karşı yeteri derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı 11.6 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 125.6 cm^2'tür.

Boyuna stringer destek postaları ile borda elemanları boyutlandırması tamamlanmış olur. Sırada güverte elemanları boyutlandırması yer almaktadır.

2.6 Güverte Yapıları

Güverte yapısında yüksek mukavemetli çelik kullanılmıştır, f_1=1.39 (akma gerilmesi 355 N/mm^2). Güverte postaları boyuna sisteme göre boyutlandırılmıştır. Posta arası mesafe (s) 0.9 metre, postanın desteklenmeyen boyu (l) 3.6 seçilmiştir. Postalar ve güverte altı boyuna tülanileri dip yapısındaki eşlenikleri ile aynı hizaya gelecek şekilde dizayn edilmiştir. Böylelikle güverte elemanları, dip elemanları enine perdeler ile de birleşerek çerçeveyi tamamlarlar. Bu şekilde elemanların üzerine gelecek gerilmeler bir birine iletilmiş olur.

Bu bölümde güverte kaplaması, güverte boyuna postaları, güverte altı derin tülaniler ve enine derin kemereler boyutlandırılacaktır. Güverte yapısının boyutlandırılmasında kullanılacak basınç değerleri Çizelge 2.50'de verilmiştir.

Çizelge 2.50 Güverte elemanları için dizayn yükleri[1]

Yapı	Yük Tipi	P (kN/m^2)
Üst güverte	Deniz basıncı	$P_1 = a(P_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0)$
	Güverte kargosu	$P_2 = (g_0 + 0.5a_v)q$
Alt güverte	Güverte kargosu	$P_3 = \rho_c(g_0 + 0.5a_v)H_c$

[1] DNV klas kuralları part 3, chapter 1, section 8

Çizelge 2.50 Güverte elemanları için dizayn yükleri (devam)

Mak. dairesinde platform güvertesi	Donatım ve yardımcı mak.	$P_4 = 1.6(g_0 + 0.5a_v)$
Üst yapı güverteleri	Yerleşim	$P_5 = 0.35(g_0 + 0.5a_v)$
Bir tankın tabanı olarak güverte	Balast, sıvı kargo, yakıt, vs	$P_6 = \rho\ (g_0 + 0.5a_v)h_s$ $P_7 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta P_{dyn})$ $P_8 = \rho g_0 h_s + P_0)$
Bir tankın tavanı olarak güverte		$P_7 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta P_{dyn})$ $P_8 = \rho g_0 h_s + P_0$
0.4B'den geniş tankların sınırı olarak güv.		$P_9 = \rho g_0 \left[0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t} \right]$
0.15L'den uzun tankların uçlar yönünde tank sınırı olarak güv		$P_{10} = \rho g_0 \left[0.67(h_s + \phi l) - 0.12\sqrt{H\phi l_t} \right]$
0.4B'den geniş tankların sınırı olarak güv.		$P_{11} = \rho(3 - \frac{B}{100})b_b$
0.1L'den uzun tankların sınırı olarak güv.		$P_{12} = \rho(4 - \frac{B}{100})l_b$
Yaralanma durumunda su geçirmez güverteler	Deniz basıncı	$P_{13} = 10h_b$

Çizelge 2.50'deki katsayı ve bilinmeyenler gerektiği takdirde aşağıda hesap tablolarında verilmiştir. Sabit değerler ise Bölüm 2.4 Dip Yapılarında ve 2.1 Temel Parametreler'de verilmiştir.

2.6.1 Güverte Kaplaması

Gerekli levha kalınlığı (2.76) formülü ile bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.76}$$

Burada, s boyuna posta arası mesafe 0.9 metredir, denklem (2.16)'ya göre k_a 1'dir. p değeri ise Çizelge 2.50'deki P_1-P_{13} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ boyuna sistem için $\sigma = 120 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır.

Ayrıca dip kaplama kalınlığı aşağıda verilen (2.77)'den bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = t_0 + \frac{k L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.77}$$

Burada t_o 5.5 korumasız güverteler ve kargo güverteleri için, k ise 0.02 sadece tek, devamlı güvertesi olan güverteler için.

Çizelge 2.51'de 1'den 5'e kadar güverte kaplama levhaları, 6. levha ise stringer levhasıdır. EK A orta kesit resminden de levha yerleşimleri izlenebilir.

Çizelge 2.51 Lokal gereksinimlere göre güverte levhaları

Lev.	s	l	y	z	P_{dp}	P_1	P_7	P_8	P	σ	t	t_{min}	t_k	t_{lok}	**$t_{seç}$**
	m	m	m	m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	N/mm^2	mm	mm	mm	mm	**mm**
1	0.9	3.6	0.0	13.8	26.6	9.5	6.9	25.0	25.0	166.8	5.7	8.8	2.0	10.8	**11.0**
2	0.9	3.6	2.8	13.8	30.3	12.4	6.9	25.0	25.0	166.8	5.7	8.8	2.0	10.8	**11.0**
3	0.9	3.6	5.5	13.8	33.9	15.3	6.9	25.0	25.0	166.8	5.7	8.8	2.0	10.8	**11.0**

Çizelge 2.51 Lokal gereksinimlere göre güverte levhaları (devam)

4	0.9	3.6	8.3	13.8	37.6	18.2	6.9	25.0	25.0	166.8	5.7	8.8	2.0	10.8	**11.0**
5	0.9	3.6	10.6	13.8	40.7	20.7	6.9	25.0	25.0	166.8	5.7	8.8	2.0	10.8	**11.0**
6	0.7	3.6	12.6	13.8	43.3	22.8	6.9	25.0	25.0	166.8	4.3	8.8	3.0	11.8	**12.0**

Çizelge 2.51'de 1'den 5'e kadar güverte kaplama levhalarıdır ve 11 mm seçilir, 6. levha ise stringer levhasıdır ve 12 mm olarak hesaplanmıştır. EK A orta kesit resminden de levha yerleşimleri izlenebilir.

2.6.1.1 Güverte Kaplaması Burkulma Hesabı

Güverte kaplamasında iskeleden sancağa kadar basma gerilmeleri değişmeden sabit kaldığı için Ψ=1 alınır. Güverte için z_n güverte hattından tarafsız eksene olan düşey uzaklık, 8.0 metre; z_a yük merkezinin güverte hattına olan düşey uzaklığı 0 metredir. η Çizelge 2.8'den 0.9 olarak alınır.

Çizelge 2.52 Güverte levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	Y_b	Z_b	z_n-z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	$\mathbf{t_{seç}}$
				m	m	m	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	1	1	4	0.0	13.8	8.0	74.2	243.3	243.3	16.3	2.0	18.3	**19.0**
2	1	1	4	2.8	13.8	8.0	74.2	243.3	243.3	16.3	2.0	18.3	**19.0**
3	1	1	4	5.5	13.8	8.0	74.2	243.3	243.3	16.3	2.0	18.3	**19.0**
4	1	1	4	8.3	13.8	8.0	74.2	243.3	243.3	16.3	2.0	18.3	**19.0**
5	1	1	4	10.6	13.8	8.0	74.2	243.3	243.3	16.3	2.0	18.3	**19.0**
6	1	1	4	12.6	13.8	8.0	133.8	243.3	243.3	12.1	3.0	15.1	**16.0**

Burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Çökme-sarkma durumlarında basma gerilmesi ile karşılaşıldığında lokal gereksinimlere göre bulunan levha kalınlıkları yeterli olmadığından güverte levhası burkulacak ve devamında işlevini yerine getiremeyecek demektir.

Bu durumda burkulma kontrolünün getirdiği kalınlık seçilmelidir. Çizelge 2.52'e göre güverte kaplama kalınlığı için **19 mm** seçilmelidir. Ayrıca Çizelge 2.52'deki 6 nolu stringer levhası, burkulma hesabına göre **16 mm** çıkmıştır; ancak stringer levhası güverte kaplama kalınlığından az olmaması gerekmektedir, dolayısıyla stringer levhası da 19 mm seçilir. Diğer taraftan tüm boyutlandırma işleminden sonra MARS 2000 ile yapılacak nihai mukavemet kontrolüne göre stringer levhası kalınlığı değişecektir; ancak burada lokal hesaba ve burkulma hesaplarına göre çıkan sonuç ile devam edilmektedir. İlerleyen bölümlerde detayı görülecektir.

2.6.2 Güverte Altı Boyuna Tülanileri ve Enine Derin Kemereler

Boyuna tülaniler ve enine derin kemereler için gerekli kesit mukavemet modülü (2.78) formülü ile hesaplanır.

$$Z = \frac{100 S^2 b p w_k}{\sigma} \ (cm^3) \tag{2.78}$$

Burada b tülaninin taşıdığı mesafe, S ise tülaninin desteklenmeyen boyudur, Çizelge 2.54'ten izlenebilir. w_k profiller için korozyon faktörüdür ve flençli T-profiller için (2.17) formülü ile hesaplanır. P değeri ise Çizelge 50'de P_1-P_6; P_7'nin 1.15 katı veya P_8-P_{13} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ dip boyuna postaları için (2.79)'dan hesaplanır.

$$\sigma = 190 f_{1-} 130 f_{2d} \frac{zn - za}{zn} \tag{2.79}$$

Ayrıca tülani levhalarının, braketlerin ve tülani destek postalarının kalınlığı aşağıdaki değerden az olmamalıdır.

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.80}$$

Burada, k kargo tanklarında balast taşınması durumunda veya petrol taşınan tanklar için 0.02 L_1 olarak hesaplanır.

Ek olarak, tülani gövde levhasının kalınlığı (2.81) formülü ile bulunan değerden az olamaz.

$$t = 12s + t_k \ (mm) \tag{2.81}$$

Burada, s postalar arası mesafedir.

Çizelge 2.53 Tülani ve derin kemere basınçları

Posta	y (m)	z (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	P_7 (kPa)	P_8 (kPa)	P_9 (kPa)
1	0.9	13.8	27.8	10.4	6.9	25.0	3.0
2	3.6	13.8	31.4	13.3	6.9	25.0	3.0
3	6.3	13.8	34.9	16.1	6.9	25.0	3.0
4	9.0	13.8	38.5	19.0	6.9	25.0	3.0
1	6.8	13.8	35.6	16.6	6.9	25.0	3.0

Çizelge 2.54 Güverte altı tülanileri ve enine derin kemereler

Pos.	y (m)	z (m)	b (m)	S (m)	P (kPa)	w_k	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t (mm)	t (mm)	t_k (mm)	t_{min} (mm)	T Profil
1	0.9	13.8	1.8	3.6	25.0	1.12	83	772	8.3	10.8	2	13.0	W:300x13 F:120x13
2	3.6	13.8	2.7	3.6	25.0	1.12	83	1168	8.3	10.8	2	13.0	W:365x13 F:145x13

Çizelge 2.54 Güverte altı tülanileri ve enine derin kemereler (devam)

3	6.3	13.8	2.7	3.6	25.0	1.12	83	1168	8.3	10.8	2	13.0	W:365x13 F:145x13
4	9.0	13.8	“2.6	3.6	25	1.12	83	1131	8.3	10.8	2	13.0	W:365x13 F:145x13
1	6.8	13.8	3.6	2.7	25.0	1.1	222.4	330.4	8.3	10.8	2	13.0	W:195x13 F:80x13

Çizelge 2.53 ve Çizelge 2.54'te ilk dört profil boyuna tülanilere, sonuncu ise enine derin kemereye aittir. Derin elemanlar için bir noktadan sonra yeterli mukavemet modülüne sahip Hollanda profili bulunmamaktadır. Bu nedenle derin elemanlar, istenilen kalınlıktaki levhalardan, istenilen ebatlarda kesilen iki adet parçanın, levhanın bir birine kaynatılması ile elde edilir. Bu şekilde istenilen mukavemet modülüne sahip profiller tasarlamak mümkündür.

Seçilen “T“ profiller Bölüm 2.3.2 T Profillerin Dizaynı’nda açıklanan T profil dizayn esaslarına göre hesaplanmıştır.

Çizelge 2.54‘te seçilen 2. tülaninin mukavemet modülü, profile eşlik eden güverte levhası ile birlikte aşağıda hesaplanmış ve böylelikle ispatı sağlanmıştır.

Çizelge 2.55 Güverte altı 2. tülani için atalet momenti ve mukavemet modülü hesabı

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
Levha	190.0	0.95	180.5	154.3	6.36	7677.48
Gövde	47.5	20.15	956.1	5267.9	-12.84	7826.88
Flenç	18.9	39.05	736.1	2.7	-31.74	18993.95
∑	256.3		1872.71	5424.9		34498.30

Tarafsız eksenin, referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 7.3 cm'dir. Toplam atalet momenti (I) ise (2.27) formülüne göre 39923 cm^4'tür. Bu durumda minimum mukavemet modülü ise tarafsız eksenden en uzak noktada elde edilir. O halde;

$Z = \frac{I}{d_{flenç}} = \frac{39923}{31.74} = 1257.69\,(cm^3)$ olarak elde edilir. Mukavemet modülü hesaplanan 2. tülani için gerekli modül 1168 cm^3 idi. Profilin gerçek modülü ise 1257.69 cm^3'tür. Bu durumda Bölüm 2.3.2 T Profillerin Dizaynı'nda verilen yöntem geçerliliğini korumuştur ve dizayn edilen T profil uygundur denir.

2.6.2.1 Güverte Altı Boyuna Tülanileri Burkulma Hesabı

Derin T profilleri oluşturan sac levhalar için ideal elastik burkulma gerilmesi (2.82) denklemi ile hesaplanır.

$$\sigma_{el} = 03.8E\left(\frac{t_w - t_k}{h_w}\right)^2 (N/mm^2) \qquad (2.82)$$

Burada E malzemenin elastisite modülüdür; t_w ve t_k ise gövde levhasının kalınlığı ve korozyon payıdır.

Buradan sonra σ_{el} dışında diğer gerilmelerin bulunması, 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı bölümünde bulunan gerilmeler ile benzerdir ve devamında burkulmaya karşı yeterli kalınlığı bulmak için uygulanan metodoloji aynen takip edilir. Sadece kritik gerilme değeri bulunurken kullanılan (2.28)'de η=0.9 olarak alınır. Geri kalan adımlar aynen uygulanır. $\sigma_{kr} \geq \frac{\sigma_a}{\eta}$ (2.28)

Çizelge 2.56 Güverte altı tülanilerinin burkulma hesabı

Tülani	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	**t_w (mm)**
1	0.9	0.9	13.8	8.0	1052.4	243.3	270.3	**8.5**

Çizelge 2.56 Güverte altı tülanilerinin burkulma hesabı (devam)

2	0.9	3.6	13.8	8.0	711.0	243.3	270.3	**8.5**
3	0.9	6.3	13.8	8.0	711.0	243.3	270.3	**8.5**
4	0.9	9.0	13.8	8.0	711.0	243.3	270.3	**8.5**

Tülani kalınlıkları burkulma hesabı, lokal gereksinimlere göre hesaplanan tülani kalınlığının güvenli olduğunu gösterdiğinden tülani kalınlıkları **13 mm** olarak kalmıştır. Seçilen T profiller geçerliliğini sürdürmüştür.

2.6.3 Güverte Boyuna Postaları

Boyuna postalar için gerekli kesit mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.83}$$

Burada s posta arası mesafe, 0.9 metre, l profilin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. w_k profiller için korozyon faktörüdür. P değeri ise Çizelge 2.1'de P_1-P_{13} basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ (2.84)'den hesaplanır.

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2d} \tag{2.84}$$

Çizelge 2.57 Güverte boyuna postaları

P.	y (m)	z (m)	l (m)	s (m)	P_{dp} (kPa)	P_1 (kPa)	P_7 (kPa)	P_8 (kPa)	P (kPa)	w_k	σ (N/mm^2)	Z (cm^3)	t_k (mm)	**HP**
	m	m	m	m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa		N/mm^2	cm^3	mm	
1	1.8	13.8	0.9	3.6	29.0	11.4	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
2	2.7	13.8	0.9	3.6	30.2	12.3	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
3	4.5	13.8	0.9	3.6	32.6	14.2	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**

Çizelge 2.57 Güverte boyuna postaları (devam)

4	5.4	13.8	0.9	3.6	33.8	15.2	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
5	7.2	13.8	0.9	3.6	36.1	17.1	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
6	8.1	13.8	0.9	3.6	37.3	18.0	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
8	9.9	13.8	0.9	3.6	39.7	19.9	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
9	10.8	13.8	0.9	3.6	40.9	20.9	6.9	25.0	25.0	1.1	132.5	204.6	2.0	**200x9**
10	12.1	13.8	0.7	3.6	42.7	22.3	6.9	25.0	25.0	1.2	132.5	155.7	3.0	**200x9**
11	12.8	13.8	0.7	3.6	43.6	23.1	6.9	25.0	25.0	1.2	132.5	155.7	3.0	**200x9**

Gerekli mukavemet modülü güverte postaları için 204 ve 155.7 cm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil alanı (2.33) formülünden sırası ile 21.87 cm^2 ve 18.23 cm^2 olarak hesaplanır. En kesit alanı 23.66 cm^2 olan **200x9** Hollanda profili tüm güverte boyuna postaları için seçilmiştir.

2.6.3.1 Güverte Boyuna Postaları Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır.

Çizelge 2.58 Güverte boyuna postaları için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	24	14.0	331	941	-11.5	3109
levha	171	0.95	162	41	1.6	430
∑	195		494	982		3540

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 2.54 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 4521.8 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =23.2 (cm^2)'dir.

Çizelge 2.59 Güverte boyuna postalarının burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
1	0.85	1.8	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
2	0.85	2.7	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
3	0.85	4.5	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
4	0.85	5.4	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
5	0.85	7.2	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
6	0.85	8.1	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
7	0.85	9.9	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
8	0.85	10.8	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
9	0.85	12.1	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0
10	0.85	12.8	13.8	8.0	369.2	243.3	286.2	18.0

σ_e, burkulmaya karşı güvenli olacak şekilde kritik değerden yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profil burkulmaya karşı yeteri derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan $\frac{I_A}{A}$ oranı 18 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profilin $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 23.2 cm^2'tür.

Güverte altı tülanileri ve boyuna postaları ile güverte elemanları boyutlandırması tamamlanmış olur. Sırada boyuna perde elemanları boyutlandırması yer almaktadır.

2.7 Boyuna Perde Yapıları

Perde yapısında normal kaliteli çelik kullanılmıştır, f_1=1.0 (akma gerilmesi 235 N/mm^2). Perde postaları boyuna sisteme göre yani yatay stifnerli olarak boyutlandırılmıştır. Posta arası mesafe (s) 0.8 metre, stifnerin desteklenmeyen boyu (l) 3.6 metre seçilmiştir. Stifnerler ve perde stringerleri borda yapısındaki eşlenikleri ile aynı hizaya gelecek şekilde dizayn edilmiştir. Böylelikle perde elemanları, enine perde elemanları ve borda elemanları ile birleşerek çerçeveyi tamamlarlar. Bu şekilde derin elemanların üzerine gelecek gerilmeler birbirine iletilmiş olur.

Bu bölümde boyuna perde kaplaması, perde stringerleri ve yatay stifnerler boyutlandırılacaktır. Perde yapısının boyutlandırılmasında kullanılacak basınç değerleri Çizelge 2.60'da verilmiştir.

Çizelge 2.60 Perde elemanları için dizayn yükleri[1]

Yapı	Yük Tipi	P (kN/m^2)
Su geçirmez perdeler	Su basma durumunda deniz basıncı	$P_1 = 10h_b$
Kargo ambarı perdeleri	Dökme yük	$P_2 = \rho_c(g_0 + 0.5a_v)Kh_c$

[1] DNV klas kuralları part 3, chapter 1, section 9

Çizelge 2.60 Perde elemanları için dizayn yükleri (devam)

<table>
<tr><td colspan="2">Tank perdeleri</td><td rowspan="6">Balast,
sıvı kargo,
yakıt, vs</td><td>$P_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s$
$P_4 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta P_{dyn})$
$P_5 = \rho g_0 h_s + P_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Boy perdesi olduğu gibi geniş tankların en perdesi</td><td>0.4B’den geniş tanklar</td><td>$P_6 = \rho g_0 \left[0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t} \right]$</td></tr>
<tr><td>Not [1]</td><td>$P_7 = \rho(3 - \frac{B}{100})b_b$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">En perdesi olduğu gibi uzun tankların boy perdesi</td><td>0.15L’den uzun tanklar</td><td>$P_8 = \rho g_0 \left[0.67(h_s + \theta l) - 0.12\sqrt{H\theta l_t} \right]$</td></tr>
<tr><td>Not [2]</td><td>$P_9 = \rho(4 - \frac{L}{100})l_b$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Boyuna çalkantı perdesi</td><td>$P_7 = \rho(3 - \frac{B}{100})b_b$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Enine çalkantı perdesi</td><td></td><td>$P_9 = \rho(4 - \frac{L}{100})l_b$</td></tr>
</table>

Çizelge 2.60’taki katsayı ve bilinmeyenler gerektiği takdir de aşağıda hesap tablolarında verilmiştir. Sabit değerler ise Bölüm 2.4 Dip Yapılarında ve 2.1 Temel Parametreler’de verilmiştir.

[1] Doldurulmalarında herhangi bir sınır olmayan tanklarda, tank kenarından 0.25 b_b’den metre mesafe içerisinde kalan mukavemet elemanları için kullanılır.

[2] Doldurulmalarında herhangi bir sınır olmayan tanklarda, tank kenarından 0.25 l_b’den metre mesafe içerisinde kalan mukavemet elemanları için kullanılır.

2.7.1 Boy Perdesi Kaplaması

Gerekli levha kalınlığı aşağıdaki formül ile bulunur.

$$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm) \tag{2.85}$$

Burada, s yatay stifner arası mesafe 0.8 metredir, denklem (2.16)'ya göre k_a 1'dir. p değeri ise Çizelge 2.60'daki P_1-P_9 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ boyuna sistem için tarafsız eksen üzerinde $\sigma = 140 f_1$ formülünden hesaplanmalıdır. Tarafsız eksenden uzaklaşıldıkça, dibe ve güverteye doğru σ azaltılarak gidilir.

Perde kaplama kalınlığı aşağıda verilen (2.86)'dan az olamaz.

$$t_{\min} = 5.0 + \frac{k L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.86}$$

Burada, k boy perdeleri için 0.03 alınır.

Ayrıca boy perdesi kaplama kalınlığı aşağıda verilen (2.87)'den bulunan değerden az olamaz.

$$t_{\min} = \frac{1000 s}{120 - 3\sqrt{L_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.87}$$

Çizelge 2.61 Boy perdesi kaplaması basınçları

Levha	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_p (m)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	P_5 (kPa)	P_6 (kPa)
1	0.0	1.40	12.38	13.38	145.4	91.9	151.9	87.7
2	0.0	4.40	9.38	10.38	110.1	71.3	121.1	67.1
3	0.0	7.40	6.38	7.38	74.9	50.7	90.4	46.5
4	0.0	9.40	4.38	5.38	51.4	36.9	69.9	32.8
5	0.0	11.40	2.38	3.38	27.9	23.2	49.4	19.0

Çizelge 2.62 Lokal gereksinimlere göre boy perdesi levhaları

Lev.	s (m)	l (m)	f_1	P (kPa)	σ (N/mm^2)	t (mm)	t_{min} (mm)	t_{min} (mm)	t (mm)	t_k (mm)	t_{lok} (mm)	**$t_{seç}$** (mm)
1	3.6	0.78	1	151.9	130.0	13.3	10.8	8.5	13.3	1.0	14.3	**15.0**
2	3.6	0.8	1	121.15	150.0	11.4	10.8	8.7	11.4	1.0	12.4	**13.0**
3	3.6	0.8	1	90.39	152.0	9.7	10.8	8.7	10.8	1.0	11.8	**12.0**
4	3.6	0.8	1	69.89	141.9	8.9	10.8	8.7	10.8	1.0	11.8	**12.0**
5	3.6	0.71	1.39	49.39	142.9	6.6	9.9	7.7	9.9	2.0	11.9	**12.0**

Çizelge 2.62'de 1. levha **15mm**, 2. levha **13 mm** diğer levhalar ise **12'şer milimetre** hesaplanmıştır. EK A orta kesit resminden de levha yerleşimleri izlenebilir.

2.7.1.1 Boy Perdesi Kaplaması Burkulma Hesabı

Boy perdesinde bordada olduğu gibi dipten güverteye doğru gerilmeler devamlı değiştiğinden, basma gerilmesi de sabit değildir. Bu nedenle Ψ levhalar ucundaki gerilme oranlarına göre, Şekil 2.3'teki yaklaşım ile hesaplanır. z_n, levhaların yük merkezinin konumuna göre ya kaide hattından tarafsız eksene ya da güverteden tarafsız eksene olan mesafedir. z_a ise levhaların yük merkezinin konumuna göre yük merkezinin ya kaide hattından ya da güverteden olan uzaklığıdır. η Çizelge 2.8'den 0.8 olarak alınır.

Çizelge 2.63 Boy perdesi levhaları burkulma hesabı

Levha	Ψ	η	k	Y_b	Z_b	z_n	z_a	σ_{el}	$\sigma_{yük}$	σ_{kr}	t	t_k	t_{bur}	**$t_{seç}$**
				m	m	m	M	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	mm	mm	mm	**mm**
1	0.31	0.8	5.9	0	1.4	5.8	1.4	238.9	132.9	166.1	10.5	1.0	11.5	**12.0**

Çizelge 2.63 Boy perdesi levhaları burkulma hesabı (devam)

2	0.84	0.8	4.3	0	4.4	5.8	4.4	166.9	41.7	52.2	7.8	1.0	8.8	**9.0**
3	0.45	0.8	5.4	0	7.4	8.0	6.4	140.2	49.4	61.8	7.1	1.0	8.1	**9.0**
4	0.64	0.8	4.8	0	9.4	8.0	4.4	140.2	110.2	137.7	10.1	1.0	11.1	**12.0**
5	0.70	0.8	4.7	0	11.4	8.0	2.4	147.1	170.9	213.7	11.2	2.0	13.2	**14.0**

Perde kaplaması burkulma kontrolünden sonra levha kalınlıkları tekrar değerlendirilir. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan ilk dört kaplama kalınlığını burkulmaya göre güvenli olduğunu anlaşıldığından sırası ile **15, 13, 12 ve 12 mm** seçilmiştir. Tarafsız eksene en uzak, güvertenin hemen altında yer alan 5. levhanın burkulmaya göre yeterli kalınlığa sahip olmadığı anlaşılmış ve burkulma hesabına göre **14 mm** kalınlık seçilmiştir.

2.7.2 Yatay ve Düşey Perde Stringerleri

Yatay ve düşey derin elemanlar için gerekli kesit mukavemet modülü aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z = \frac{100 S^2 b p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.88}$$

Burada, b elemanın taşıdığı mesafe, S ise elemanın desteklenmeyen boyudur,

Çizelge 2.65'den izlenebilir. w_k profiller için korozyon faktörüdür ve (2.55) formülü ile hesaplanır. P değeri ise Çizelge 2.50'de P_1-P_3; P_4'ün 1.15 katı veya P_5-P_9 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ, boyuna derin elemanlar için (2.89)'den, enine derin elemanlar için ise (2.90)'den hesaplanır.

$$\sigma = 190 f_1 - 130 f_2 \frac{zn - za}{zn} \tag{2.89}$$

$$\sigma = 160 f_1 \tag{2.90}$$

Ayrıca tülani levhalarının, braketlerin ve tülani destek postalarının kalınlığı aşağıdaki değerden az olmamalıdır.

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \ (mm) \tag{2.91}$$

Burada, k kargo ambarında balast taşınması durumunda veya petrol taşınan tanklar için 0.02 L_1 olarak hesaplanır.

Ek olarak, tülani gövde levhasının kalınlığı formülü ile bulunan değerden az olamaz.

$$t = 12s + t_k \ (mm) \tag{2.92}$$

Burada, s postalar arası mesafedir.

Çizelge 2.64 Yatay ve düşey stringer basınçları

	Posta	y (m)	z (m)	h_s (m)	h_p (m)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	P_5(kPa)	P_6 (kPa)
Yatay stringerler	1	0.0	3.1	10.7	11.7	125.0	80.0	134.2	75.8
	2	0.0	6.3	7.5	8.5	87.5	58.0	101.4	53.9
	3	0.0	9.5	4.3	5.3	49.9	36.1	68.6	31.9
Düşey	1	0.0	6.19	7.6	8.6	89.1	59.0	102.8	54.8

Çizelge 2.65 Yatay ve düşey stingerler

Lev.	y	z	b	S	P	wk	f_1	f_2	Zn	za	σ	Z	t	t	t_k	t_{min}	**T Profil**
	m	m	m	m	kPa				M	m	N/mm^2	cm^3	mm	mm	mm	mm	
1	0	3.1	3.2	3.6	134.2	1.1	1.0	1.0	5.8	3.1	130.5	4452.1	8.84	11.8	1	15.0	**W:660x15 F:265x15**

Çizelge 2.65 Yatay ve düşey stingerler (devam)

2	0	6.3	3.2	3.6	101.4	1.1	1.0	1.39	8.0	7.5	177.5	2510.8	8.84	11.8	1	12.0	**W:555x12 F:220x12**
3	0	9.5	3.0	3.6	68.6	1.1	1.0	1.39	8.0	4.3	105.4	2697.9	8.84	11.8	1	12.0	**W:575x12 F:230x12**
1	0	6.2	3.6	3.2	102.8	1.06	1.0	1.39	8.0	7.6	160.0	2510.6	8.73	10.8	2	12.0	**W:555x12 F:220x12**

Çizelge 2.64 ve Çizelge 2.65'teki ilk üç profil yatay stringerlere, sonuncu ise düşey stringere aittir. Seçilen "T " profiller 2.3.2 T Profillerin Dizaynı'nda anlatılan esaslara göre dizayn edilmişlerdir.

2.7.2.1 Boyuna Perde Stringeri Burkulma Hesabı

Derin T profilleri oluşturan sac levhalar için ideal elastik burkulma gerilmesi (2.82) denklemi ile hesaplanır.

$$\sigma_{el} = 03.8E\left(\frac{t_w - t_k}{h_w}\right)^2 (N/mm^2) \tag{2.82}$$

Burada E malzemenin elastisite modülüdür; t_w ve t_k ise gövde levhasının kalınlığı ve korozyon payıdır.

Buradan sonra σ_{el} dışında diğer gerilmelerin bulunması, 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı bölümünde bulunan gerilmeler ile benzerdir ve devamında burkulmaya karşı yeterli kalınlığı bulmak için uygulanan metodoloji aynen takip edilir. Sadece kritik gerilme değeri bulunurken kullanılan (2.28)'deki η=0.9 olarak alınır. Geri kalan adımlar aynen uygulanır.

$$\sigma_{kr} \geq \frac{\sigma_a}{\eta} \tag{2.28}$$

Çizelge 2.66 Perde boyuna stingerlerinin burkulma hesabı

Posta	η	y (m)	z (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	**t_w**
1	0.9	0.0	4.5	1.2	352.2	37.5	41.6	**7.8**
2	0.9	0.0	7.8	2.0	307.5	60.7	67.5	**6.5**
3	0.9	0.0	10.9	5.2	286.5	156.7	174.1	**10.5**

Derin eleman kalınlıkları burkulma hesabı, lokal gereksinimlere göre hesaplanan elemanların kalınlığının güvenli olduğunu gösterdiğinden, stringerlerin kalınlıkları sırası ile **15 ve 12'şer mm** olarak kalmıştır. Seçili T profiller geçerliliğini sürdürmüştür.

2.7.3 Boy Perdesi Yatay Stifnerleri

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma} (cm^3) \tag{2.93}$$

Burada s stifner arası mesafe, 0.8 metre, l stifnerin desteklenmeyen boyu ise 3.6 metredir. w_k korozyon faktörüdür, bulblı profiller için (2.18) denkleminden elde edilir. P değeri ise Çizelge 2.60'ta P_1-P_9 basınçlarından hangisi ilgili ise o alınır (kN/m^2). σ değeri (2.89)'den hesaplanır.

$$\sigma = 190 f_1 - 130 f_2 \frac{zn - za}{zn} \tag{2.89}$$

Çizelge 2.67 Boy perdesi yatay stifnerleri

Posta	y	z	l	s	h_s	h_p	P	w_k	f_1	f_2	(z_n-z_a) /z_n	σ	Z	t_k	**HP**
	m	m	m	m	m	m	kPa					N/mm^2	cm^3	mm	
1	0	2.18	3.6	0.78	11.6	12.6	143.9	1.1	1.0	1.0	0.6	211.0	608.13	1.0	**280x12**
2	0	2.96	3.6	0.78	10.8	11.8	135.9	1.1	1.0	1.0	0.5	214.0	566.19	1.0	**280x12**

Çizelge 2.67 Boy perdesi yatay stifnerleri (devam)

3	0	3.75	3.6	0.78	10.0	11.0	127.8	1.1	1.0	1.0	0.4	217.1	524.90	1.0	**260x12**
4	0	5.33	3.6	0.80	8.5	9.5	111.6	1.1	1.0	1.0	0.1	223.3	456.00	1.0	**240x12**
5	0	6.93	3.6	0.80	6.9	7.9	95.2	1.1	1.0	1.4	0.1	221.7	391.66	1.0	**240x11**
6	0	7.11	3.6	0.80	6.7	7.7	93.3	1.1	1.0	1.4	0.2	221.2	384.88	1.0	**240x11**
7	0	8.35	3.6	0.80	5.4	6.4	80.7	1.1	1.0	1.4	0.3	217.8	337.87	1.0	**200x12**
8	0	9.33	3.6	0.80	4.5	5.5	70.6	1.1	1.0	1.4	0.4	215.0	299.59	1.0	**200x12**
9	0	10.13	3.6	0.80	3.7	4.7	62.4	1.1	1.0	1.4	0.5	212.8	267.60	1.0	**200x12**
10	0	11.64	3.6	0.71	2.1	3.1	46.9	1.1	1.39	1.4	0.7	296.3	128.26	1.0	**160x8**
11	0	12.35	3.6	0.71	1.4	2.4	39.7	1.1	1.39	1.4	0.8	294.3	115.28	2.0	**160x8**
12	0	13.00	3.6	0.71	0.8	1.8	33.0	1.1	1.39	1.4	0.9	292.4	96.51	2.0	**160x8**

Gerekli mukavemet modülü boy perdesi postaları için hesaplanmıştır. Bu mukavemet modülüne göre gerekli olacak profil alanı (2.33) formülünden hesaplanmış ve gerekli en kesit alanına sahip Hollanda Profilleri seçilmiştir.

2.7.3.1 Boy Perdesi Stifnerleri Burkulma Hesabı

Burkulma kontrolü Bölüm 2.2.2 Profillerin Burkulma Hesabı'nda anlatılan esaslara göre yapılır. Çizelge 2.67'den de görülebileceği gibi en üstteki profil için yüksek kaliteli çelik kullanılmıştır ve dolayısı ile mukavemet modülü oldukça düşük bir profil yeterli olmaktadır. Burkulma hesabı da atalet momenti en düşük olan bu eleman göz önüne alınarak yapılmıştır.

Çizelge 2.68 Boy perdesi stifnerleri için atalet momenti

	Alan (cm^2)	**Z_g (cm)**	**M_A (cm^3)**	**I (cm^4)**	**d_{TE} (cm)**	**$i=A*d^2$ (cm^4)**
profil	16	10.9	176	411	-8.5	1161
levha	80	0.70	56	13	1.7	237
∑	96		232	424		1397

Tarafsız eksenin referans noktasına yani eşlik eden levhanın alt kenarına olan uzaklığı, (h_{TE}), (2.26) formülüne göre 2.42 cm'dir. Toplam atalet momenti (I_A) ise (2.27) formülüne göre 1821 cm^4'tür. Bu durumda;

$\frac{I_A}{A}$ =19.0 (cm^2)'dir.

Çizelge 2.69 Boy perdesi stifnerleri burkulma hesabı

Posta	η	Y_b (m)	Z_b (m)	z_n-z_a (m)	σ_e (N/mm^2)	$\sigma_{yük}$ (N/mm^2)	σ_{kr} (N/mm^2)	I_A/A (cm^2)
1	0.85	0.0	2.2	3.59	302.5	109.2	128.4	8.1
2	0.85	0.0	3.0	2.81	302.5	85.5	100.6	6.3
3	0.85	0.0	3.8	2.02	302.5	61.5	72.3	4.6
4	0.85	0.0	5.3	0.44	302.5	13.5	15.9	1.0
5	0.85	0.0	6.9	1.16	302.5	35.1	41.3	2.6
6	0.85	0.0	7.1	1.34	302.5	40.7	47.8	3.0
7	0.85	0.0	8.4	2.58	302.5	78.3	92.1	5.8
8	0.85	0.0	9.3	3.56	302.5	108.1	127.1	8.0
9	0.85	0.0	10.1	4.36	302.5	132.4	155.7	9.8

Çizelge 2.69 Boy perdesi stifnerleri burkulma hesabı (devam)

10	0.85	0.0	11.6	5.87	302.5	178.2	209.7	13.2
11	0.85	0.0	12.4	6.58	302.5	199.8	235.1	14.8
12	0.85	0.0	13.0	7.23	302.5	219.6	258.3	16.3

σ_e, kritik değerden burkulmaya karşı güvenli olacak kadar yüksek çıkmıştır. Lokal gereksinimlere göre hesaplanan profiller burkulmaya karşı yeterli derecede dirençlidir. İşlem devam ettirildiğinde de gerekli olan en yüksek $\frac{I_A}{A}$ oranı 16.318 cm^2 olarak görülmektedir. Seçili profillerden en düşük $\frac{I_A}{A}$ oranı ise 19.0 cm^2'tür.

Boy perdesi elemanları ile birlikte orta kesit boyutlandırma işlemi tamamlanmış olur. Sırada MARS 2000 ile nihai mukavemet kontrolü vardır. MARS 2000 ile lokal boyutlandırma kontrolü de yapılabilmektedir. DNV kurallarına göre boyutlandırma ve burkulma kontrolleri yapılmıştır; ancak MARS 2000 ile de kontrol edilecektir. Nihayetinde, program içinde kurallar, formüller tanımlanmıştır, bilgisayar yardımı ile çok daha hassas çalışabilmesine imkân vardır. Diğer yandan, tasarımcının da hata yapma ihtimali, DNV kurallarını uygularken gözden kaçırdığı noktalar olabilir. Sonuç olarak MARS 2000 ile yapılacak kontrol bu kuşkuları giderecektir.

2.8 Nihai Mukavemet (Ultimate Strength)

Gemilerde şekil değiştirmeler genel olarak plastik şekil değiştirme, burkulma, kopma ve yırtılma şeklinde olmaktadır. Yapısal bozulmaya başlayan elemanın mukavemetinde azalma meydana gelecektir. Mukavemetteki bu azalma kesitin daha büyük şekil değiştirmesiyle karşılanacaktır. Artan şekil değiştirmelere bağlı olarak tetikleme mekanizmasıyla daha çok elemanın yapısal bozulmasına başlamasına, göçmesine neden olacaktır. En kesitin şekil değiştirmesiyle daha fazla mukavemette artış sağlayamayacağı nokta gemi kirişinin nihai mukavemet değeri olmaktadır. Bu noktanın aşılmasıyla en kesit tümüyle mukavemet değerini kaybetmeyecek; meydana gelen

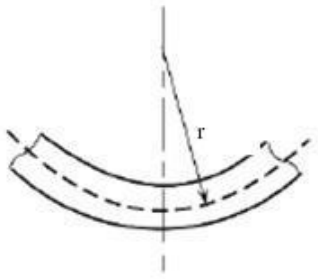
plastik şekil değiştirmelerin artmasına bağlı olarak mukavemet kademeli olarak azalacak ve en sonunda tümüyle mukavemetini yitirecektir [9].

Gemi kiriş mukavemetinin azalmalarını göz önüne alan kademeli hesaplama çalışmalarının temeli ilk olarak Caldwell tarafından gerçekleştirilmiş ve gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Caldwell tarafından 1965 yılında gemilerin plastik dizaynı tanıtılmıştır [9].

Caldwell tarafından başlatılan kademeli göçme analizi Smith tarafından geliştirilmiştir. Smith yönteminde en kesit küçük elemanlara ayrılmıştır. Ayrıklaştırılan elemanların eksenel kuvvetler altında akma ve burkulma etkilerinin de göz önüne alınmasıyla gerilme şekil değiştirme bağlantıları elde edilmiştir [9].

Yöntemin başarısı ayrıklaştırılan elemanlara ait dayanım hesaplamalarındaki hassasiyete bağlı olmaktadır. IACS kurallarında kademli göçme analizi Smith yöntemi benimsenerek, başlangıç sehimi gibi birçok parametre göz önüne alınmadan yer almaktadır [9].

Değinilmesi gereken diğer bir nokta da; nihai mukavemet olarak anılmasına karşın maksimum gerilmeyle ilgi direkt bir parametre olmayışıdır. Yöntemde amaç, verilen eğriliği oluşturacak moment değerinin hesaplanmasıdır. Yapının mukavemette daha fazla artış sağlayamamasına neden olan moment değeri aranır. Sistemin çökmesine neden olacak bu maksimum moment değerinin altında kalınmalıdır.



Şekil 2.7 Eğilmeden sonraki yarıçap

$$\varepsilon = d\Phi \tag{2.94}$$

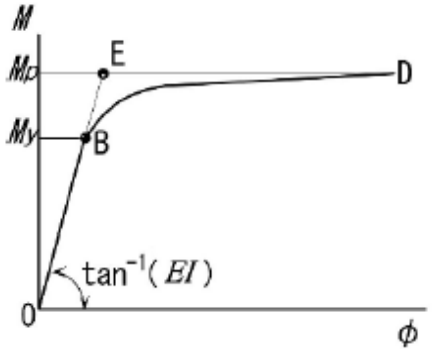
Burada, ε eğilmeden doğan gerinimdir; d, çubuk eksenindeki herhangi bir noktanın tarafsız eksene olan mesafesi; Φ ise eğrilik değeridir.

Eğrilik yarı çağa bağlı olarak aşağıdaki formülden hesaplanır. Diğer taraftan kesite etkiyen eğilme momentine ve elastisite modülü ile atalet momentine bağlı olarak aşağıda verilmiştir [9].

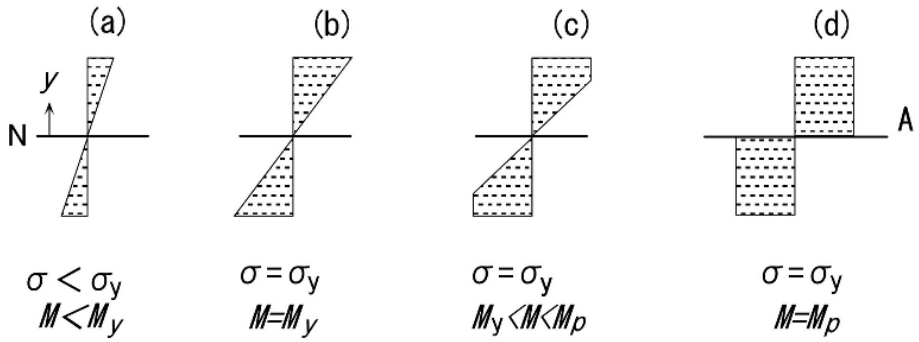
$$\Phi = \frac{1}{r} = \frac{M}{EI} \tag{2.95}$$

Moment eğrilik diyagramlarının çıkarılması için aşağıdaki adımlar izlenir.

- Moment değeri verilir.
- Tarafsız eksenin yeri h_{TE} tahmin edilir.
- Φ, eğrilik değeri tahmin edilir.
- Denklem (2.94) yardımıyla şekil değiştirme dağılımı elde edilir.
- Malzemenin σ-ε, gerilme-gerinim diyagramları ve şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak gerilme dağılımı elde edilir.
- İzdüşüm denge denklemi sağlanmıyorsa 2. adıma geri dönülerek h_{TE} değeri değiştirilir.
- Moment denge denklemi sağlanmıyorsa 3. adıma geri dönülerek Φ değeri değiştirilir.



Şekil 2.8 Moment eğrilik grafiği [10]



Şekil 2.9 Moment gerilme arasındaki ilişki [10]

Şekil 2.9''de "y" alt indisi malzemenin akma bölgesini, "p" indisi ise plastik bölgesini temsil etmektedir. Yukarıdaki şekilde, moment artsa dâhi akma gerilmesinden sonra gerilmenin sabit kaldığı ancak momentin artabileceği görülmektedir. (2.94) ve (2.95) denklemlerine göre momentin artmaya devam etmesi kirişin eğriliğinin artmasına, o da şekil değişiminin, yani gerinimin artmasına neden olur.

Lineer bölge akma gerilmesi ile aşılmıştır. Bu noktan sonra gerilme akma gerilmesinde sabitlenir; ancak yapının şekil değişikliği plastik bölgede devam eder. Yapı, bu bölge içerisinde halen mukavemet gösterip üzerine gelen momenti taşıyabilmektedir.

Smith yöntemine göre nihai mukavemet hesabının gerçekleştirilmesi için uygulanacak işlem adımları aşağıda verilmiştir [9].

- Gemi kesiti elemanlara ayrılır.
- Elemanlara ait ortalama gerilme, ortalama şekil değiştirme diyagramları elde edilir.
- Gemi kesitlerindeki eğrilik değerleri kademeli olarak attırılır. Kesitlerin düzlem ve eğilmenin tarafsız eksen etrafında gerçekleştiği kabul edilir.
- Her bir eğrilik artımı adımında elemanlara ait ortalama şekil değiştirme ölçülür. Şekil değiştirme değerleri kullanılarak elemanlara ait ortalama gerilme, ortalama şekil değiştirme diyagramından eksenel rijitliği hesaplanır.
- Her bir ayrık elemana ait eksenel rijitlik değeri kullanılarak tarafsız eksenin yeri ve kesitin eğilme rijitliği hesaplanır.

- Eğrilik değerlerindeki artışa bağlı olarak eğilme momentlerindeki artış hesaplanır. Aynı zamanda artan şekil değişmelere bağlı olarak ayrık elemanlardaki gerilme artışları hesaplanır.
- Her eğrilik değerindeki artışa bağlı ait adımın sonunda eğrilik artışları ve eğilme momentlerindeki artışlar kümülâtif toplamları oluşturmak üzere toplanır.
- Aynı işlemler 3. adıma geri dönülerek yapı mukavemetini yitirene kadar tekrarlanır.

İşlem adımlarının tamamlanmasıyla birlikte gemi kirişinin moment eğrilik diyagramları oluşturulmuş olacaktır.

2.8.1 Mars 2000 ile Modelleme

Mars 2000 programı Smith yöntemini kullanarak teknenin nihai mukavemetini hesaplamaktadır. Modelleme sırasında, programa girilen her bir elemanla, profille yukarıdaki işlem adımlarının ilki olan ayrıklaştırma işlemi kendiliğinden gerçekleştirilmektedir. Program, yukarıdaki adımları arka yüzde tek tek gerçekleştirmek ve iterasyonları gerçekleştirmektedir. Moment-eğrilik denklemlerini devam ettirmekte ve en sonunda tekne yapısının başa çıkabileceği maksimum, yani nihai eğilme momenti değerini vermektedir.

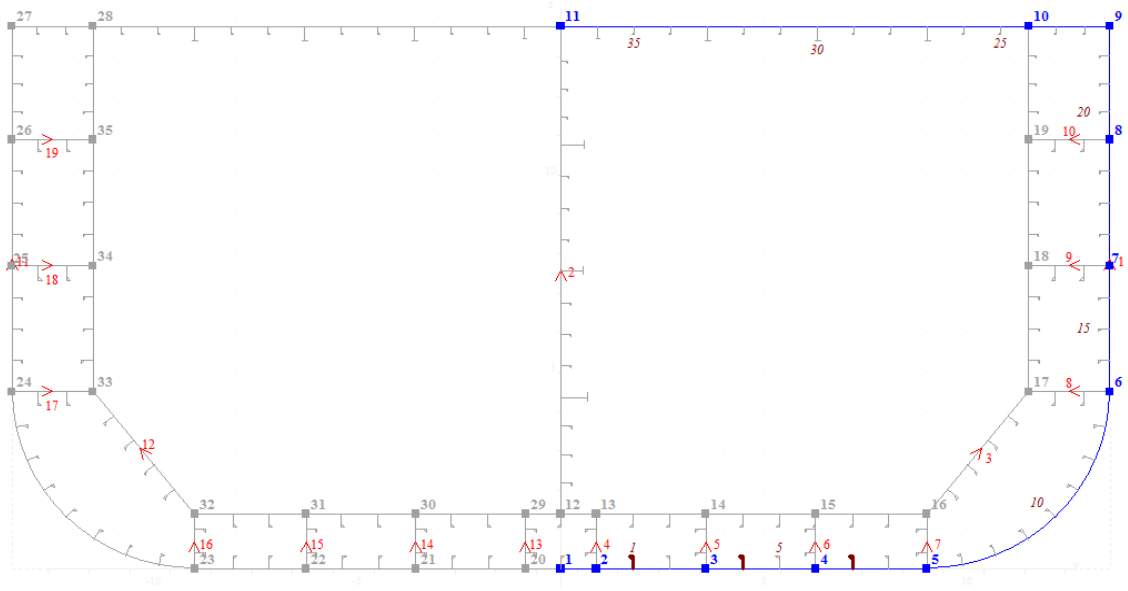
Mars 2000 modeli, EK A'da bulunan orta kesit resmindeki aynı konfigürasyon temel alınarak modellenmiştir. Mars 2000'de orta kesit konfigürasyonunu çıkaran noktaların koordinatları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.70 Mars 2000 modelleme koordinatları

Noktalar	y (m)	z (m)	R (m)
1	0	0	
2	0.87	0	
3	3.57	0	

Çizelge 2.70 Mars 2000 modelleme koordinatları (devam)

4	6.27	0	
5	8.97	0	
6	13.5	4.5	4.5
7	13.5	7.73	
8	13.5	10.93	
9	13.5	13.78	
10	11.5	13.78	
11	0	13.78	
12	0	1.4	
13	0.87	1.4	
14	3.57	1.4	
15	6.27	1.4	
16	8.98	1.4	
17	11.5	1.4	
18	11.5	7.73	
19	11.5	10.93	



Şekil 2.10 Yapının 2 boyutlu modeli ve postaların görünümü

DNV boyutlandırmasının ardından bulunan levha kalınlıkları ve postalar aynı kalacak şekilde Mars 2000 programına girilmiştir.

Yapı simetrikmiş gibi orta kesitin yarısı modellenmiş, Y ekseni en; Z ekseni ise yükseklik olarak alınmıştır, bu durumda X ekseni boyuna eksen olarak alınmıştır. Boyuna perde ve postaları dâhil tüm levha kalınlıkları ve postalar bu yarım kesitte modellenmiş. Ardından, simetri eksenindeki perde ve perde stifnerler hariç, kalan yapı X-Z düzlemince yansıtılmıştır.

2.8.2 Nihai Mukavemet Sonuçları

Mars 2000 ile asıl amaçlanan, hesaplanmak istenen nihai mukavemet değerleridir; ancak boyutlandırma kısmında bahsedildiği gibi levha kalınlıkları ve posta mukavemet modülleri hesabı da gerçekleştirilmektedir. Bunun için tanklar, kompartmanlar tanımlanmalı; yük, balast yoğunlukları, tekne ana boyutları gibi bazı girdilerin programa tanıtılması gerekmektedir. Modelleme işleminden sonra program optimum boyutlandırma değerlerini birkaç saniye içerisinde kullanıcıya sunar. Önceki bölümlerde, Mars 2000 ile yapılan boyutlandırma hesabına göre değişeceği bahsedilen elemanlar aşağıda verilmiştir. EK G'de orta kesit mukavemet modülü hesaplanırken de değişen elemanlar girilmiş ve en son elde edilen yapısal dizayn orta çıkmıştır.

Çizelge 2.71 Mars 2000 hesabına göre değişen levha kalınlıkları ve postalar

Değişen levha/posta	DNV'ye göre hesaplan değer	Mars 2000'den sonra elde edilen değer
Güverte, stinger levhası	16 (mm)	24.5 (mm)
Borda, şiyer levhası	15 (mm)	24.5 (mm)
Borda, boyuna posta	260x12 HP	280x11 HP
İç cidar, boyuna posta	260x12 HP	280x11 HP

Ayrıca, program IACS boyuna mukavemet kurallarına göre tekne üzerindeki eğilme momenti, kesme kuvveti gibi yükleri ana boyutlara bağlı olarak kendisi hesaplar. Bu değerler aşağıda verilmiştir. Bölüm 2.1 Temel Parametreler'de bulunan değerler ile karşılaştırılabilir, aynı değerler olduğu görülecektir.

	Hogging	Sagging
Design S.W.B.M. (still water bending moment)(kNm)	1 066 501.	- 901 296.
Design vertical wave bending moment (rule) (kNm)	1 360 066.	-1 525 271.
Rule horizontal wave bending moment (kNm)	884 465.	
	Positive	Negative
Design vertical shear force (kN)		- 23 471.
Rule vertical wave shear force (kN)	15 166.	- 15 166.

Şekil 2.11 Mars 2000'e göre orta kesite etki eden kuvvet ve moment değerleri

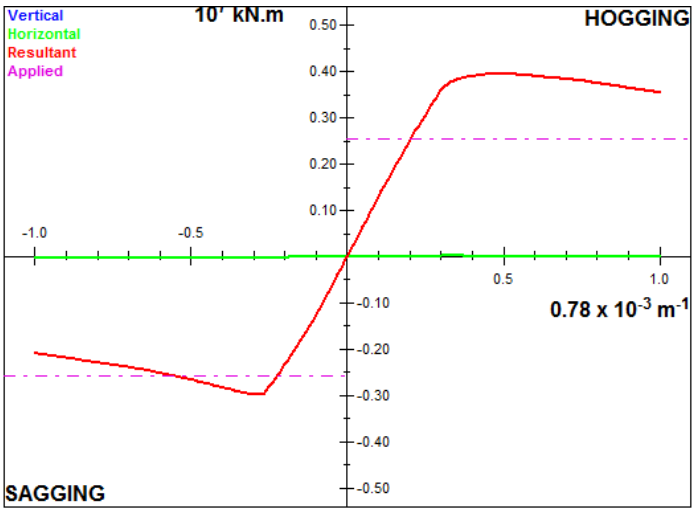
Tüm bu adımlardan sonra nihai eğilme momenti değerleri ve grafikleri aşağıda verilmiştir. Sonuçlar kabul edilebilir değerdedir.

Ultimate Bending Capacity (kN.m)

Calculated with net scantling (with corrosion margin x 1.000)

	Mu		Ultimate	Mb	%	
Hogging	4 169 561.	Navigation	3 968 743.	2 562 573.	64.57	Hogging
Sagging	- 3 138 443.		- 2 987 287.	- 2 579 094.	86.34	Sagging

Şekil 2.12 Nihai (ultimate) eğilme moment taşıma kapasitesi



Şekil 2.13 Moment-eğrilik grafiği

Şekil 2.13'da yatay eksen eğrilik değerini, düşey eksen ise moment değerini temsil etmektedir. Moment değerinin çökme (Sagging) değerine göre nispeten sınırı daha çok geçen sarkma (Hogging) değeri dibi temsil etmektedir. Çökme değeri ise güverteye gelen moment değerini temsil etmektedir.

Şekil 2.12'deki değerlerden de görülebileceği gibi sarkmada dibin kaldırabileceği nihai eğilme momenti değeri $3.9E^6$ kNm civarı iken, çökmede güverte için bu değer $2.9E^6$ kNm. civarına düşmektedir. Bunun nedeni tarafsız eksenin konumu ve eğrilik ile açıklanabilir.

(2.95)'ten momenti çekersek aşağıdaki denklem elde edilir. (2.96)'dan da görülebileceği gibi moment değeri eğrilik yarıçapına ters orantı ile bağlıdır. Dönme merkezi, yani tarafsız eksen güverteye daha uzak olduğundan dönme anında güverteye göre yarıçap, "r" dibe göre olan yarıçaptan büyüktür. Dolayısıyla güverteye gelen toplam moment değeri dibin kaldırabileceği momentten daha küçüktür.

$$M = \frac{EI}{r} \tag{2.96}$$

2.9 Orta Kesit Mukavemet Modülü Hesabı

Çizelge 2.9 Atalet momenti örnek hesap tablosu'na benzer şekilde EK G'de oluşturulan tablo yardımıyla aşağıdaki Çizelge 2.72'deki gerekli değerlere ulaşılır.

Tarafsız eksen ve başlangıç atalet momenti (2.26) ve (2.27) denklemlerinden elde edilir.

Tarafsız ekseni hesaplarken referans noktası dipten alındığı için dibin tarafsız eksene olan mesafesi (d_{dip}), hesaplanan tarafsız eksene (h_{TE}) eşittir.

Dip ve güverteye göre olan orta kesit mukavemet modülleri de (2.12)'ye benzer şekilde hesaplanır.

Çizelge 2.72 Dip ve güverteye göre orta kesit mukavemet modülleri

h_{TE}	6.07	m
I_{top}	93.85	m^4
(M_s+M_w)	2.43 10^6	kNm
$d_{güverte}$	7.71	m
d_{dip}	6.07	m
$Z_{güverte}$	12.17	m^3
Z_{dip}	15.47	m^3
$\sigma_{güverte}$	199.40	MPa
σ_{dip}	156.89	MPa

Bulunan orta kesit atalet momenti ve mukavemet modüllerinin, (2.8) ve (2.9)'da hesaplanan kural minimum değerlerinden az olmaması gerekmektedir. (2.8)'den hesaplanan minimum orta kesit mukavemet modülü, Z_0=9.97 m^3; (2.9)'dan hesaplanan minimum atalet momenti, I=79.7 m^4 idi. Çizelge 2.72'deki değerler ile karşılaştırırsak;

I_{top}=93.85>I=79.7

$Z_{güverte}$=12.17>Z_0=9.97

Diğer yandan, buradaki dizaynda iki farklı akma gerilmesine sahip çelik kullanıldığından sadece dibe ve güverteye göre mukavemet modüllerini kontrol etmek yeterli olmaz. Normal mukavemetli çeliğin kullanıldığı bölgelerin tarafsız eksene en uzak noktalarına göre de mukavemet modülünü kontrol etmek gereklidir.

Denklem (2.8)'de minimum orta kesit mukavemet modülü, yüksek mukavemetli çelik (f_1=1.39) için Z_0=9.97 m^3 olarak hesaplanmıştı. Normal mukavemetli çelik (f_1=1.0) için minimum orta kesit mukavemet modülü (2.97) yardımıyla hesaplanır.

$$Z_O = \frac{C_W}{f_1} L^2 B(C_B + 0.7) = 13866095(cm^3) = 13.866\,(m^3) \tag{2.97}$$

Normal mukavemetli çelik bölgelerinde hiçbir noktada hesaplanan orta kesit mukavemet modülü, minimum değerden az olamaz. Normal mukavemetli çelik bölgelerinin alt ve üst uçları; güverteye yakın olan, uç referans noktası olan dibe 11.98 metre, tarafsız eksene ise 5.91 metre uzaktadır; dibe yakın olan ucun uzaklığı ise referans noktasına 1.4 metre, tarafsız eksene ise 4.67 metredir. Şekil 2.1 Boyutlandırmada kullanılan farklı malzemelerin konumları'ndan izlenebilir.

O halde normal mukavemetli çelik bölgesinin tarafsız eksene en uzak uç noktası, yani güverteye yakın olan kısma göre orta kesit mukavemet modülü (2.98) ile, dibe yakın olan noktası ise (2.99) ile verilmiştir.

$$Z_{11.98} = \frac{I_{top}}{d} = \frac{93.85}{5.91} = 15.8\,(m^3) \tag{2.98}$$

$$Z_{1.4} = \frac{I_{top}}{d} = \frac{93.85}{4.67} = 20.0\,(m^3) \tag{2.99}$$

Burada, d orta kesit mukavemet modülü aranılan noktanın tarafsız eksene uzaklığıdır. (2.97)'de hesaplanan normal mukavemetli çelik için minimum orta kesit mukavemet modülü ile karşılaştırırsak;

$Z_{11.98}=15.8>Z_0=13.8$

Dizayn iki farklı malzemeye göre iki farklı minimum orta kesit mukavemet modülünü de sağlamaktadır. O halde, yapılan bu dizayn DNV klas kuruluşunun gereksinimlerini karşılamaktadır.

İstenen lokal ve global gereksinimlerin tek tek karşılanması ve minimum orta kesit mukavemet modülü gereğinin de yerine getirilmesiyle DNV klas kuruluşunun tüm kural ve istekleri yerine getirilmiş olur, bu dizayn güvenlidir denilebilir.

Aşağıda ise Mars 2000'den alınan değerler ve DNV kurallarına göre MS Excel'de hesaplanan değerler arasındaki farklar görülmektedir.

Çizelge 2.73 Mars ve DNV hesaplarının karşılaştırılması

	Mars 2000	MS Excel (DNV)	Birim	Fark (%)
En kesit alanı	3.391	3.249	m^2	4.37
Atalet momenti (I)	93.781	93.852	m^4	0.08
Tarafsız eksen (dipten)	6.16	6.07	m	1.45
Güverteye göre kesit modülü	12.301	12.17	m^3	1.08
Dibe göre kesit modülü	15.233	15.47	m^3	1.51

Çizelge 2.73'deki değerler göz önüne alındığında aradaki farklar çok küçüktür. Mars 2000 sonuçları ile olan fark da çok küçük olunca dizaynın güvenilirliğinden şüphe etmeye gerek kalmamıştır. Baştan beri gerçekleştirilen dizayn güvenilir ve emniyetlidir denir.

BÖLÜM 3

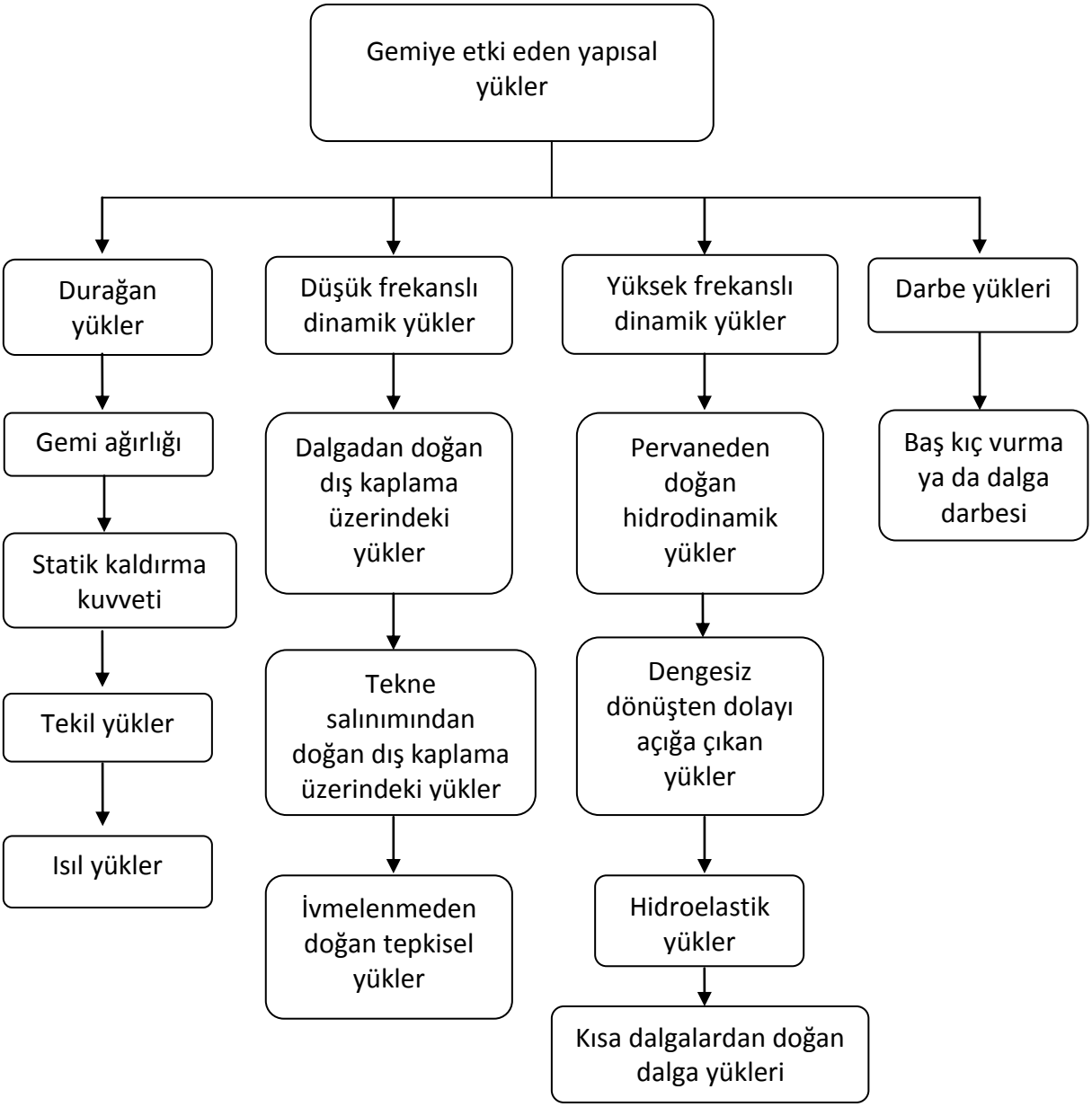
3 BOYUNA MUKAVEMET

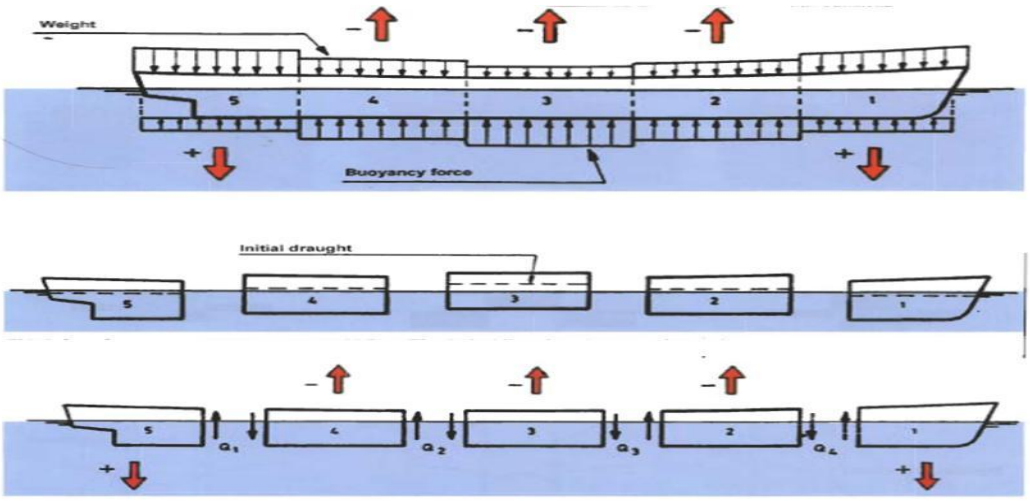
Bu bölümde orta kesiti boyutlandırılmış tankerin yükleme durumlarına göre orta kesit mukavemet modülü sakin su, dalga tepesi ve dalga çukuru durumları için incelenecektir. Boyuna mukavemeti incelemekteki amaç, ağırlık dağılımı ve teknenin hidrostatik özelliklerine bağlı olarak oluşan kuvvetlere ve momentlere göre teknenin dayanıklı olup olmadığını görmek ve dayanıklı değilse gerekli önlemlerin neler olacağını öngörmektir. Bunlar; ağırlık dağılımını değiştirip tekne üzerinde oluşan yükleri değiştirmek ya da orta kesit mukavemet modülünü arttırmak olabilir.

Tekneye birçok farklı tipte yük etki eder, bunlardan başlıcaları statik ve dinamik yüklerdir. Tekne yapısına etki eden yükler 4 ana başlık altında toplanabilir [11].

- Durağan yükler: Yükleme-boşaltma, yakıt tüketimi ya da tekne yapısındaki değişikliklerden doğan gemi toplam ağırlığının değişmesi sonucu meydana gelen yüklerdir.
- Düşük frekanslı dinamik yükler: Birkaç saniye ile birkaç dakika gibi zaman aralığında değişebilen yüklerdir. Bundan dolayı titreşime göre yeteri kadar düşük sayılabilecek frekans meydana getirirler.
- Yüksek frekanslı dinamik yükler: Titreşim üretebilecek kadar zaman aralığında değişen yüklerdir. Mevcut yükler küçük olabilir; ancak titreşimi arttırarak yüksek gerilme ve yer değiştirmelere neden olabilirler.
- Darbe yükleri: Baş-kıç vurma ya da dalga dövünmesi nedeni ile başta ya da teknenin herhangi bir kısmında oluşabilecek yükledir. Ayrıca, savaş gemilerinde

ateşleme sistemleri ya da tekne yakınında patlayan mayınlar hatırı sayılır büyüklükte darbe etkisi oluştururlar.

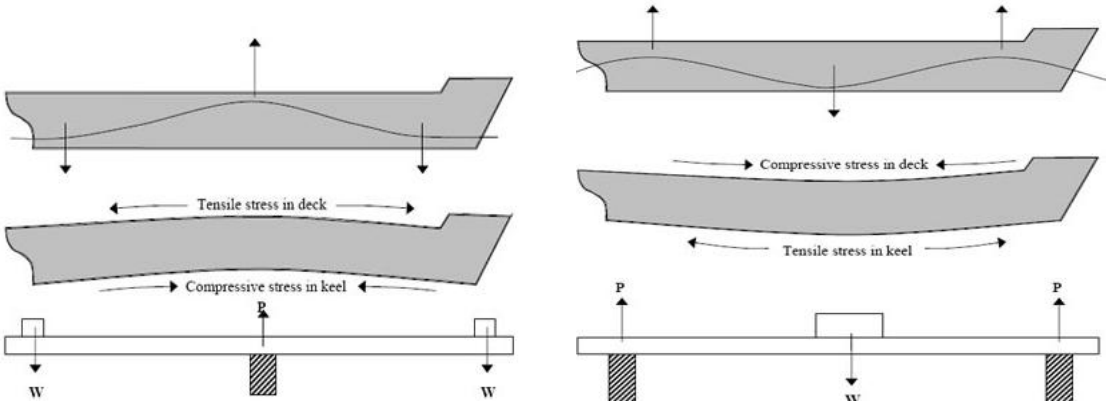




Şekil 3.1 Sakin su durumunda kaldırma kuvveti ve ağırlığın şematik gösterimi

Buradaki çalışmada durağan (statik) durumlar göz önüne alınmıştır. Bunlar, sakin suda statik durum, dalga tepesi ve dalga çukurunda statik durumlardır. Dalga tepesi ve çukurunda, en kötü durum dalga boyu gemi boyuna eşit olduğunda oluşacağından dalga boyu gemi boyuna eşit kabul edilir.

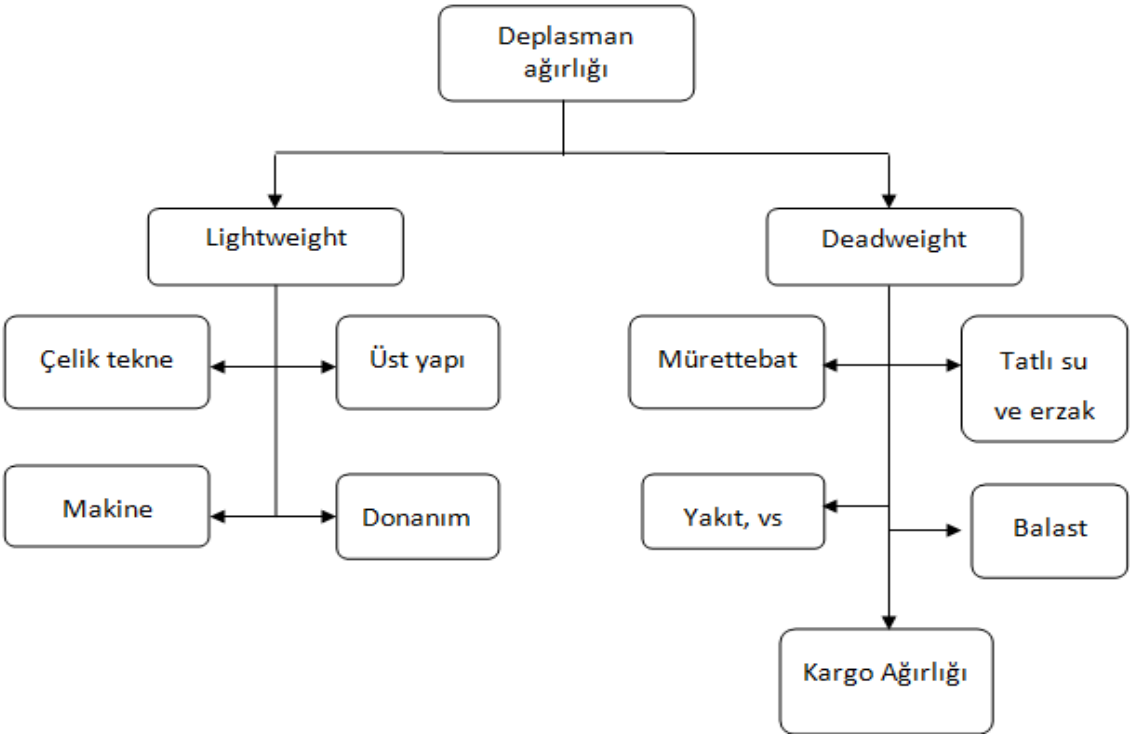
Dalganın en yüksek noktası mastoriye denk geldiği andaki durum dalga tepesi durumudur. Bu durumun resmi çekilmiş gibi düşünülerek, bu belirli anda hesaplar yapılır. Ardışık dalga tepeleri baş ve kıç dikeylere denk geldiği andaki durum ise dalga çukurudur. Bir diğer resim de bu anda çekilmiş gibi düşünülerek, dalga çukuru durumu için hesap yapılır. Dalga formu, hesapları gibi detaylar ileriki bölümlerde anlatılacaktır.



Şekil 3.2 Dalga tepesi durumu (sarkma) ve dalga çukuru durumu (çökme)

3.1 Ağırlık Hesabı

Gemi toplam ağırlığı 2 ana başlık altında toplanır, bunlar; gemi yapısal ağırlığı gibi nispeten sabit yüklerden oluşan boş tekne ağırlığı yani "lightweight" (LW); kargo ağırlığı, balast, gibi seferden sefere değişen veya yakıt, su gibi sefer boyunca değişim gösterebilen bileşenlerden oluşan "deadweight" (DW)'tir.



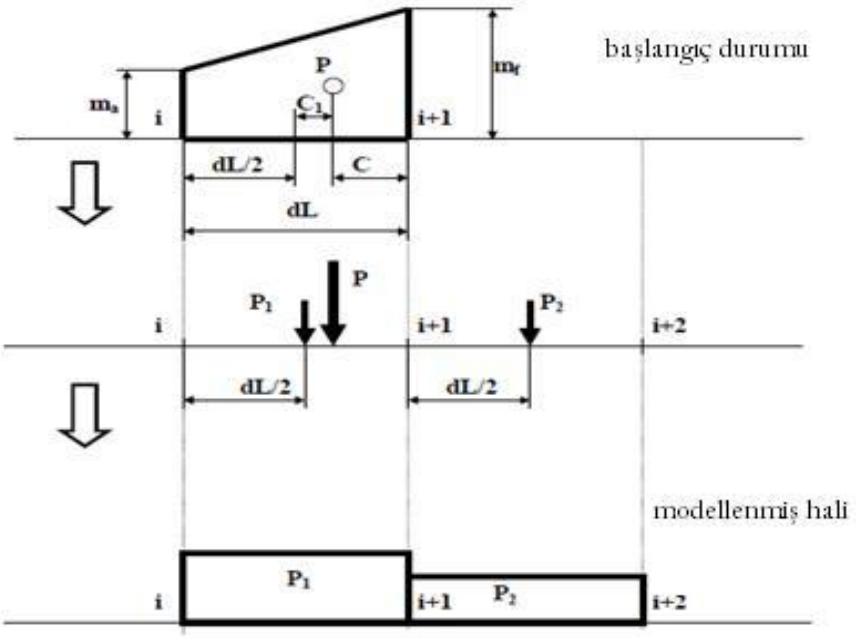
2 ana başlık, kendi içinde de bileşenlere ayrılır, bu bileşenler yukarıdaki diyagramda da görülebileceği gibi boş tekne ağırlığı için genel olarak çelik tekne, üst yapı makine ve donanım ağırlıklarıdır; Deadweight için ise mürettebat, temiz su ve erzak, yakıt, balast ve kargo ağırlıklarıdır. Toplam ağırlık hesabında her bir bileşen bir biri üstüne katılır ve gemi boyunca toplam gemi ağırlığı bulunmuş olur.

Diğer taraftan ağrılık dağılımı genel yerleşime doğrudan bağlıdır. Boş tekne ağırlığı dağılımı makine dairesi yerine göre değişkenlik gösterirken; deadweight ağırlık dağılımı ise özellikle tank ve ambarların konumlarına bağlı olarak değişmektedir. Ek C Genel Yerleşim'den ağırlık dağılımı için boyuna yerleşim izlenebilir.

Gemi üzerindeki yüklerin ağırlık dağılımı yapılırken bazı yaklaşımlar kullanmak gereklidir. Hemen hemen tüm bileşenleri nokta, düzgün yayılı ya da yamuk (düzgün

doğrusal yayılı yük) dağılımı şeklinde temsil etmek mümkündür. Bu çalışmada gemi 20 eşit parçaya, bir nevi bloklara bölünmüştür. Her bir blok üzerinde ağırlık ve kaldırma kuvveti hesaplamaları yapılacaktır.

Düzgün doğrusal yayılı yük için belli birim alana düşen toplam ağırlık *P*, alanın gemi boyunca birim uzunluğu ise *dL*, yamuğun ağırlık merkezinin birim uzunluğun yarısına olan uzaklığı C_1 olsun. Bu durumda ağırlığın düzgün doğrusal yayılı yükten, yayılı yüke nasıl çevrildiğinin formülasyonu aşağıda verilmiştir. Şekil 3.3'te yamuk ağırlık dağılımından düzgün yayılı yük dağılımına nasıl çevrildiği sembolize edilmiştir [11].



Şekil 3.3 Ağırlığın yamuktan düzgün yayılı yüke çevrimi

$$P = \frac{dL(m_f + m_a)}{2} \tag{3.1}$$

$$C_1 = \frac{dL}{6}\left[\frac{m_f - m_a}{m_f + m_a}\right] \tag{3.2}$$

$$C = \frac{dL}{2} - C_1 \tag{3.3}$$

$$P_1 = P\left(\frac{1}{2} + \frac{C}{dL}\right) \tag{3.4}$$

$$P_2 = P\left(\frac{1}{2} - \frac{C}{dL}\right) \tag{3.5}$$

Kargo, balast, borda tanklarındaki sıvılar gibi teknenin formuna ve hacmine bağlı bileşenler ofset tablosu ve en kesitler yardımı ile bulunacaktır.

3.1.1 Boş Tekne Ağırlığı (Lightweight)

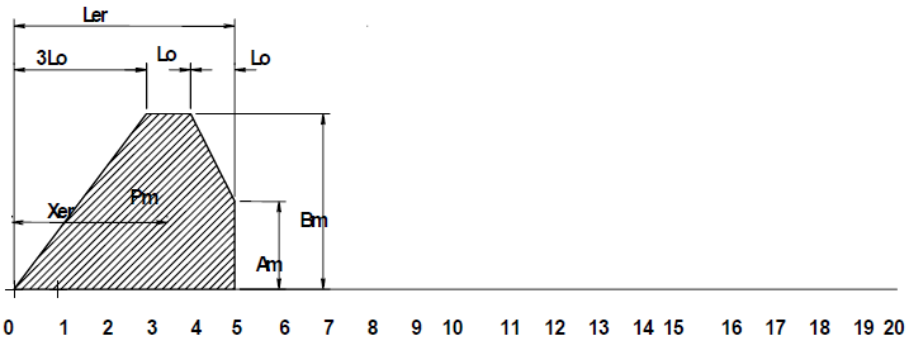
Boş tekne ağırlığı, çelik tekne ağırlığı P_{hull}, üst yapı ağırlığı P_{ss}, donanım ağırlığı P_{eq} ve makine ağırlığı olmak P_m üzere 4 ana ağırlık grubundan oluşur.

$$P_{LW} = P_{hull} + P_{ss} + P_{eq} + P_m \text{ (t)} \tag{3.6}$$

Ayrı ayrı bulunan boş tekne ağırlığı bileşenleri, daha sonra blok üzerinde ağırlıkları toplanır.

3.1.1.1 Makine Ağırlığı

EK C Tank Yerleşim'den makine dairesi konumu ve makine dairesi boyu (L_{er}) 38.4 metre olarak görülebilir. Makine dairesinin kıçta olması durumunda makine ağırlığı aşağıdaki gibi yamuk metodu ile dağıtılabilir. Şekil 3.4'da makine ağırlığının dağılımı şematik olarak gösterilmiştir. Ana makine nispeten daha noktasal bir ağırlıktır ancak makine dairesindeki yardımcı makineler, şaft, vs makine ağırlığı olarak anılır ve makine dairesi boyunca ağırlık dağılımı gerçekleştirilir. EK C'den de izlenebileceği gibi makine dairesi 1. ve 5. posta arasında yer almasına rağmen gemi kıçında bulunan pervane ağırlığı da 0-1 postaları arasına aşağıdaki gibi katılır. Dolayısıyla 5 bölümlük bir alan hesap edilecektir.



Şekil 3.4 Makine ağırlığının şematik gösterimi

$$P_m = 0.1N_{eff} = 1090.2\,(\text{t}) \tag{3.7}$$

$$N_{eff} = 0.4612L^2 - 42.254L + 2013.3 = 10902\ (\text{HP}) \tag{3.8}$$

$$X_{er} = (0.59 \div 0.62)L_{er}\ (\text{m}) \tag{3.9}$$

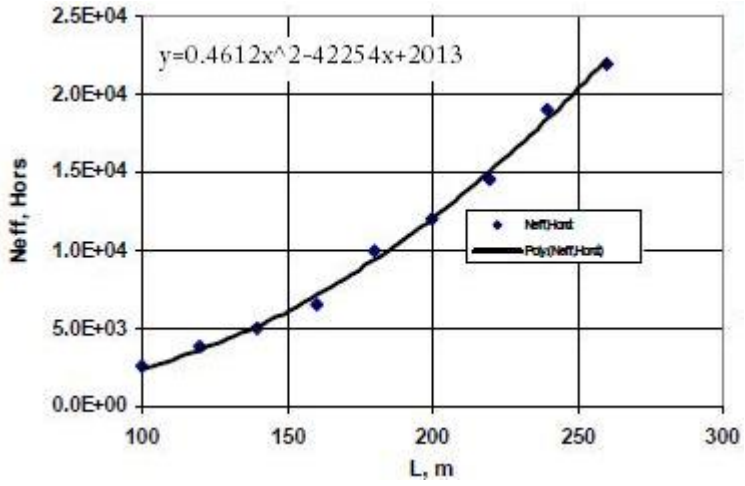
(3.9) formülüne göre ağırlık merkezi, makine dairesi boyunun yaklaşık 0.6 katı alınırsa,

$X_{er} = 23.04$ metre olarak bulunur.

$$A_m = \frac{5}{8}\frac{P_m}{L_{er}}\left(45\frac{X_{er}}{L_{er}} - 26)\right) = 14.196\,(\text{t/m}) \tag{3.10}$$

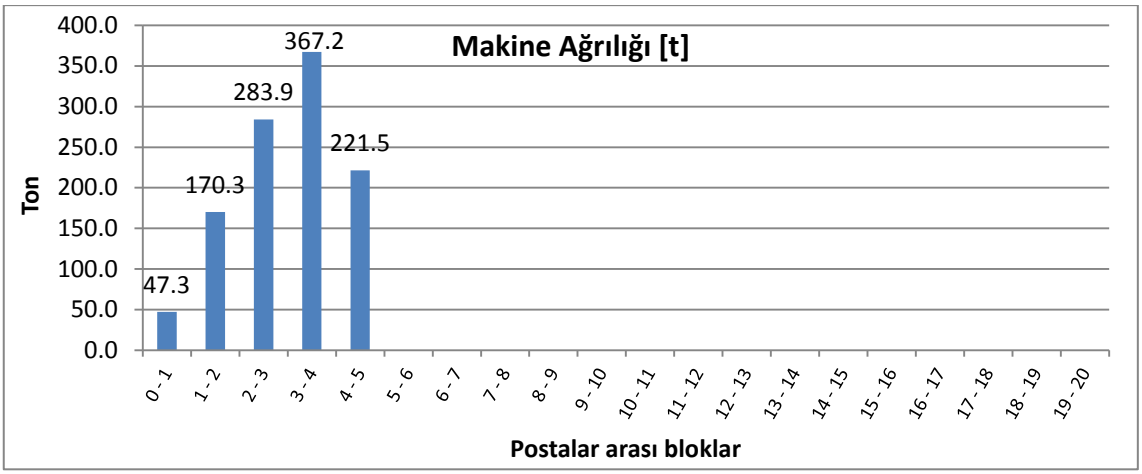
$$B_m = \frac{5}{16}\frac{P_m}{L_{er}}\left(14 - 15\frac{X_{er}}{L_{er}}\right) = 35.489\,(\text{t/m}) \tag{3.11}$$

Burada, L_{er} makine dairesi boyu, N_{eff} ana makinenin efektif gücüdür. A_m ve B_m Şekil 3.4'deki katsayılardır. N_{eff} aşağıdaki grafikten bulunur.



Şekil 3.5 Efektif ana makine gücü [11]

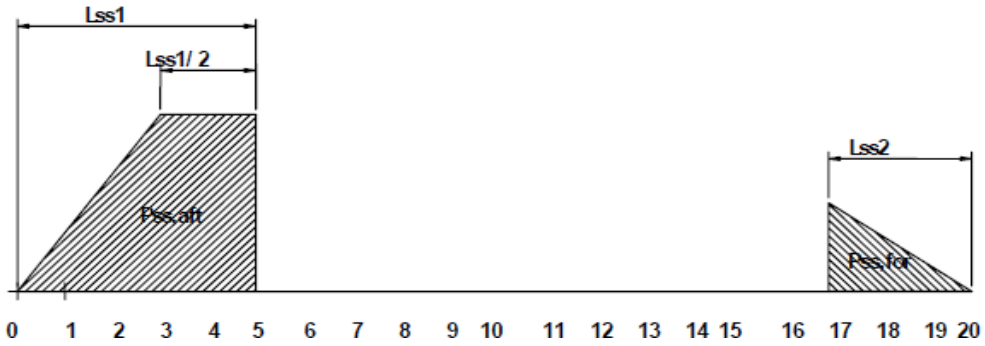
Makine ağırlığı hesaplamalarına özgü yukarıdaki değerler bulunduktan sonra, bu katsayı ve ağırlıklar (3.1)-(3.5) formüllerinde yerine konarak hesaplanan makine ağırlığının makine dairesi boyunca ağırlık dağılımı yapılmış olur.



Şekil 3.6 Makine ağırlığı dağılım grafiği

3.1.1.2 Üst Yapı Ağırlığı

Üst yapı, yaşam mahalli ve baş kasaradan oluşur. Yaşam mahallinin kıçta olması durumunda üst yapı ağırlığı aşağıdaki gibi yamuk metodu ile dağıtılabilir. Şekil 3.7'de üst yapı ağırlığının dağılımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Üst yapı ağırlığının şematik gösterimi

$$L_{ss,1} = L_{er} + 2a = 50.88 \text{ (m)} \tag{3.12}$$

$$L_{ss,2} = 0.05L + 3 = 12.6 \text{ (m)} \tag{3.13}$$

$$a = 0.03L + 0.48 = 6.24 \text{ (m)} \tag{3.14}$$

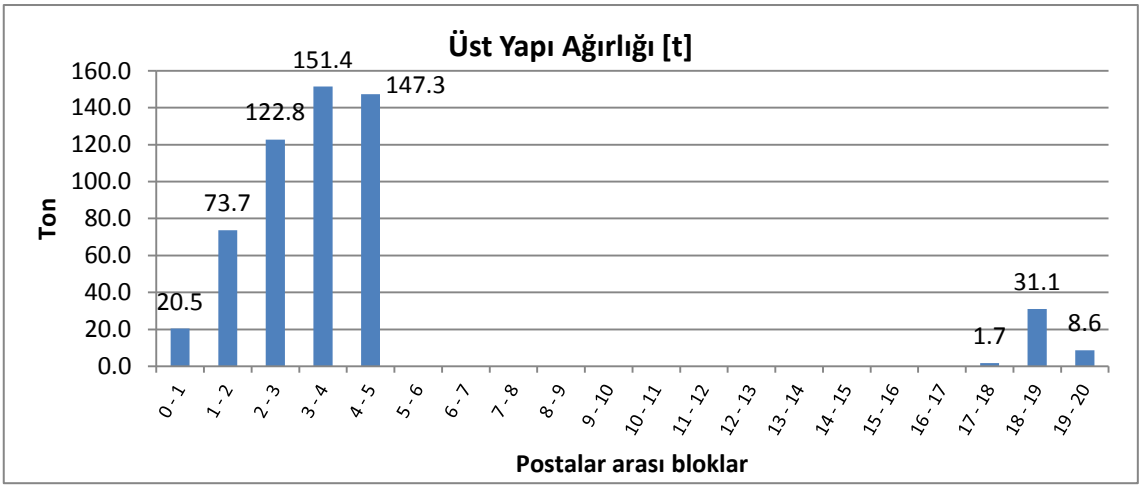
$$P_{ss,aft} = 0.5L_{er}B = 518.4 \text{ (t)} \tag{3.15}$$

$$P_{ss,for} = 0.008LB = 41.472 \text{ (t)} \tag{3.16}$$

Üst yapı ağırlıkları ve boyuna konumları yukarıdaki formüller yardımıyla yaklaşık olarak bulunur; ancak yaşam mahalli ve baş kasara genellikle belirli bir postanın üzerinde bitirilir. Üst yapı uzunlukları uygun şekilde postaların üzerine gelecek şekilde düzeltilir.

$L_{(ss,1)düz.} = 48$ metre olarak değiştirilir. Bu değer de kıçtan itibaren 5. postaya denk gelir.

$L_{(ss,2)düz.} = 19.2$ metreye çekilir. Böylelikle baş kasara 18. postadan itibaren başlatılır. Ancak yamuk kuralı gereği 18-19 posta arasına düzgün yayılı yük etki eder.



Şekil 3.8 Üst yapı ağırlığı dağılım grafiği

3.1.1.3 Çelik Tekne Ağırlığı

Boş tekne ağırlığı bileşenlerinden en büyük yer tutanı çelik tekne ağırlığıdır. Çelik tekne ağırlığını bulmak için çok kullanışlı bir yaklaşım aşağıdaki gibi tanımlanabilir [11].

$$P_{hull} = P_{hull,ss} - P_{ss} \text{ (t)} \tag{3.17}$$

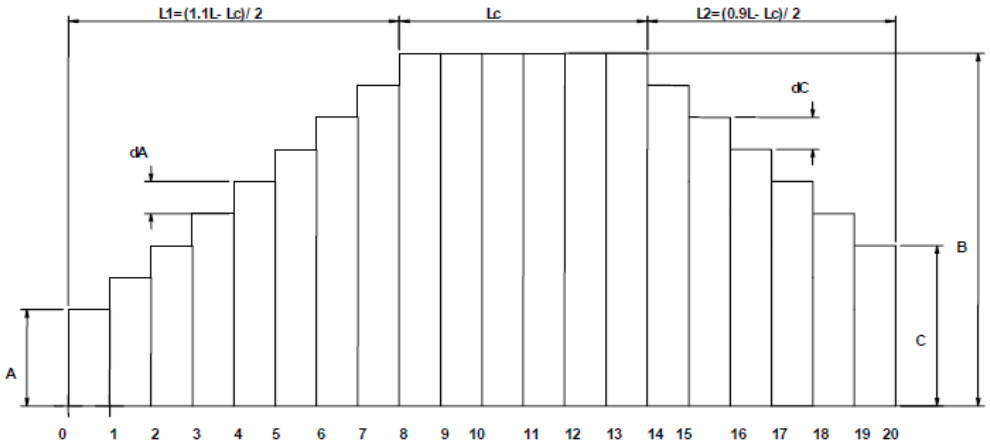
$$P_{hull,ss} = \Delta k_{hull,ss} \text{ (t)} \tag{3.18}$$

Burada $k_{hull,ss}$ bir katsayıdır aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$k_{hull,ss} = 2E-06L^2 - 0.0012L + 0.2763 = 0.12 \tag{3.19}$$

Bu durumda $P_{hull,ss}$ 4947.79 ve P_{hull} 4387 ton olarak hesaplanır.

Makine dairesinin kıçta olması durumunda çelik tekne ağırlığı aşağıdaki gibi dağıtılabilir.



Şekil 3.9 Çelik tekne ağırlığının şematik gösterimi

Çizelge 3.1 Çelik tekne ağırlık dağılım katsayıları

L_c/L	0.1	0.2	0.3
$B/(P_{hull}/L)$	1.27	1.24	1.21
$A/(P_{hull}/L)$	$0.755-0.266(x_{hull}/dL)$	$0.738-0.279(x_{hull}/dL)$	$0.726-0.296(x_{hull}/dL)$
$C/(P_{hull}/L)$	$0.699+0.325(x_{hull}/dL)$	$0.668+0.349(x_{hull}/dL)$	$0.637+0.381(x_{hull}/dL)$
L_c/L	0.4	0.5	0.6
$B/(P_{hull}/L)$	1.18	1.15	1.12
$A/(P_{hull}/L)$	$0.711-0.319(x_{hull}/dL)$	$0.704-0.350(x_{hull}/dL)$	$0.704-0.392(x_{hull}/dL)$
$C/(P_{hull}/L)$	$0.606+0.426(x_{hull}/dL)$	$0.574+0.490(x_{hull}/dL)$	$0.544+0.588(x_{hull}/dL)$

Geminin paralel gövdesi (L_c) 38.4 metre idi. Bilinen bu değerden yola çıkarak Çizelge 3.1'den aşağıdaki değerler elde edilir.

Çizelge 3.2 Çelik tekne ağırlık dağılım değerleri

P_{hull} (t)	L_c (m)	L_c/L	L1 (m)	L2 (m)	P_{hull}/L (t/m)	x_{hull} (t/m)	A (t/m)	B (t/m)	C (t/m)	dA (t/m)	dC (t/m)
4387.904	38.4	0.2	86.4	67.2	22.853	-0.5	17.198	28.338	14.850	1.237	1.926

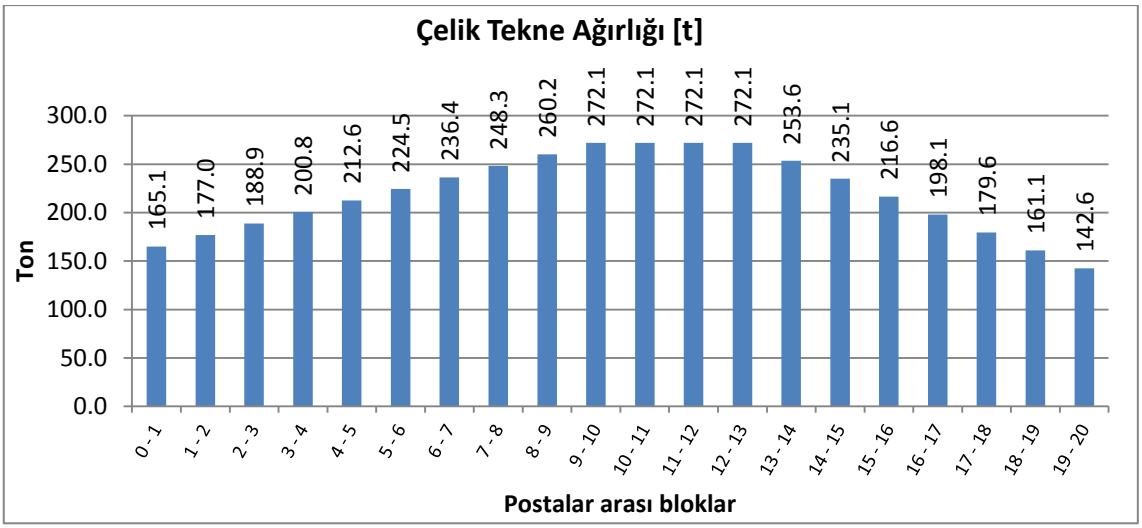
Çizelge 3.2'de A, B, C, dA, dC gibi birim ağırlık katsayıları hesaplandıktan sonra Şekil 3.9'daki ağırlık dağılımı çerçevesinde çelik tekne ağırlık dağılımı elde edilir. Şekil 3.9 sadece işlemler için fikir verici bir araçtır. Teknenin paralel gövdesinin olup olmadığı, varsa paralel gövde boyu dağılım karakteristiğini tamamen değiştirir. Bu çalışmanın çelik tekne dağılımı aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3 Blok blok çelik tekne ağırlık dağılım tablosu

Posta	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11
Birim Ağırlık (t/m)	17.20	18.44	19.67	20.91	22.15	23.39	24.63	25.86	27.10	28.34	28.34
Ağırlık (t)	165.1	176.9	188.8	200.7	212.63	224.52	236.40	248.28	260.17	272.05	272.05

Çizelge 3.3 Blok blok çelik tekne ağırlık dağılım tablosu (devam)

Posta	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	19 - 20	Toplam
Birim Ağırlık(t/m)	28.34	28.34	26.41	24.48	22.56	20.63	18.70	16.78	14.85	
Ağırlık (t)	272.05	272.05	253.55	235.06	216.56	198.06	179.56	161.07	142.57	4388.33



Şekil 3.10 Çelik tekne ağırlığı dağılım grafiği

3.1.1.4 Donanım Ağırlığı

Boş tekne ağırlıklarının 3 ana grubu hesaplandıktan sonra, sona kalan donanım ağırlığı da aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$P_{eq} = LW - P_{hull} - P_{ss} - P_m \tag{3.20}$$

Burada, boş tekne ağırlığı değeri şu şekilde elde edilir.

$$LW = \Delta - DW = 9555.93 \text{ (t)} \tag{3.21}$$

Deplasman ağırlığı ve DW değeri Bölüm 2'de verilmişti.

Ekipman ağırlığı, boş tekne ağırlığını oluşturan diğer bileşenler gibi tekil ya da düzgün yayılı yük gibi değildir. Kendi içerisinde 4 bölüme ayrılır.

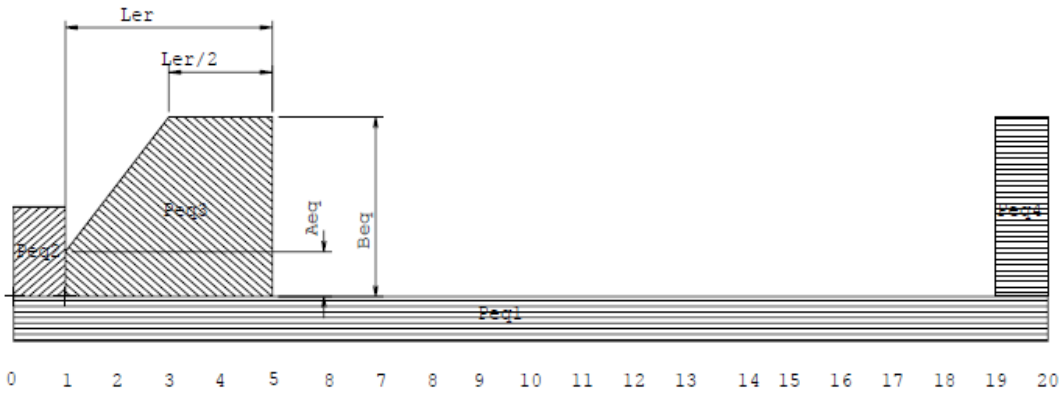
$$P_{eq,1} = 0.5P_{eq} \tag{3.22}$$

$$P_{eq,2} = 0.03P_{eq} \tag{3.23}$$

$$P_{eq,3} = 0.4P_{eq} \tag{3.24}$$

$$P_{eq,4} = 0.07P_{eq} \tag{3.25}$$

Makine dairesinin kıçta olması durumunda donanım ağırlığı dağılımı aşağıdaki gibi olabilir. Şekil 3.7'da üst yapı ağırlığının dağılımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Donanım ağırlığının şematik gösterimi

Çizelge 3.4 Donanım ağırlığı dağılım değerleri

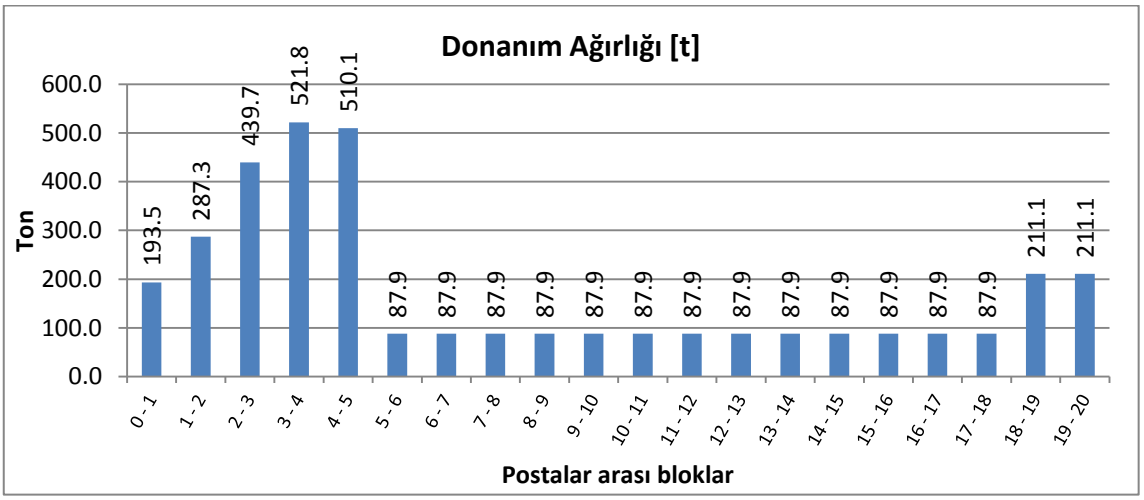
LW (t)	P_{hull} (t)	P_{ss} (t)	P_m (t)	P_{eq} (t)	L_{er} (t)	P_{eq1}(t)	P_{eq2} (t)	P_{eq3} (t)	P_{eq4} (t)	B_{eq} (t/m)	A_{eq} (t/m)
9555	4387.9	559.87	1090.2	3517.9	38.4	1758.9	105.53	1407.17	246.25	43.97	14.65

Çizelge 3.5 Blok blok donanım ağırlığı dağılım tablosu

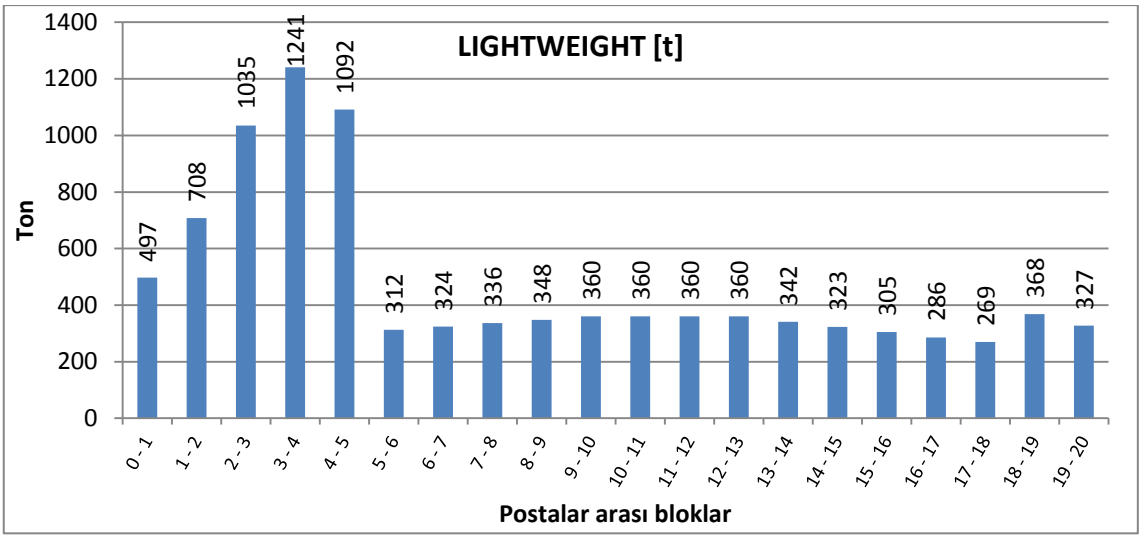
Posta	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 – 10
P_{eq1}:	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95
P_{eq2}:	105.54									
P_{eq3}:		199.35	351.79	433.88	422.15					
P_{eq4}:										
Ağırlık (t)	193.49	287.30	439.74	521.83	510.10	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95

Çizelge 3.5 Blok blok donanım ağırlığı dağılım tablosu (devam)

Posta	10 -11	11 -12	12 -13	13 -14	14 -15	15 -16	16 -17	17 -18	18 -19	19 -20	Toplam
P_{eq1}:	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	
P_{eq2}:											
P_{eq3}:											
P_{eq4}:									123.13	123.13	
Ağırlık (t)	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	87.95	211.1	211.1	3517.93



Şekil 3.12 Donanım ağırlığı dağılım grafiği



Şekil 3.13 Boş tekne ağırlığı dağılım grafiği

Donanım ağırlığı ve gemi boyunca dağılımı bulunduktan da sonra boş tekne ağırlığı hesabı tamamlanmış olur. Büyük bir kısmının kargo ağırlığı tarafından meydana gelen deadweight hesabına geçilebilir.

3.1.2 Deadweight

Deadweight, kargo P_c, balast P_{bw}, temiz su P_{fw}, yakıt P_{fo}, mürettebat ve erzak P_{sc} gibi ağırlık gruplarından oluşur.

$$P_{DW} = P_c + P_{bw} + P_{fw} + P_{fo} + P_{sc} \text{ [t]} \tag{3.26}$$

Ayrı ayrı bulunan deadweight bileşenleri, daha sonra blok üzerinde ağırlıkları toplanır.

Genellikle su, erzak, yakıt gibi bileşenler armatörün yönlendirmeleri ile geminin çalışacağı rotaya uygun olarak hesaplanır. Ancak bu çalışmada olduğu gibi, elde kesin bilgiler olmadığı zaman aşağıdaki ampirik formüllerden yola çıkarak, yaklaşık olarak yakıt, su, erzak vs gereksinimlerini karşılayacak şekilde dizayn yapılır.

EK A'daki orta kesit konfigürasyonu temel alınarak gemi boyunca tank ve ambar konfigürasyonu çıkarılmıştır. Eldeki ampirik formüllere göre elde edilen değerlerden yola çıkarak gerekli değerleri sağlayan tank yerleşimi gerçekleştirilir ve sonrasında kullanılacak kapasite değerleri buradan elde edilir. Posta posta tank yerleşimi ve

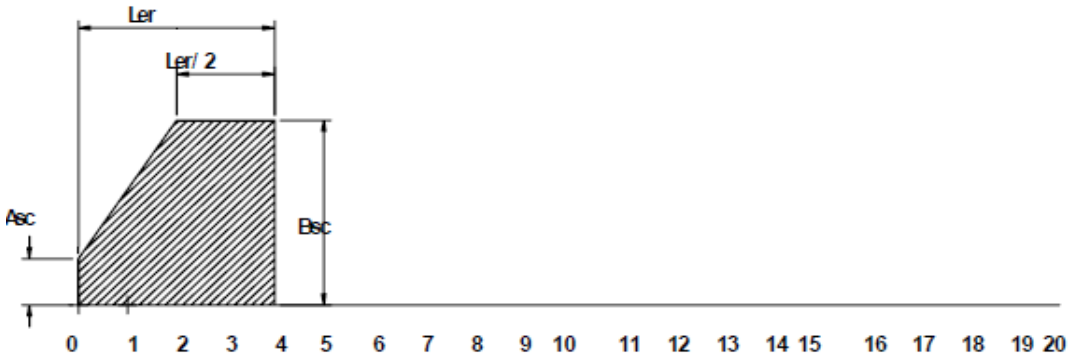
alanları EK D ve E'den incelenebilir. İki posta arasında yer alan tankın hacmi yamuk kuralı ile bulunabilir. Tank hacimleri de EK E'de verilmiştir.

3.1.2.1 Mürettebat ve Erzak Ağırlığı

Yaklaşık olarak aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$P_{sc} = 0.15n = 2.25 \text{ (t)} \tag{3.27}$$

Buradaki n mürettebat sayısıdır. Mürettebat 15 kişi olarak alınmıştı. Yaşam mahallinin kıçta olması durumunda mürettebat ve erzak ağırlığının dağılımı Şekil 3.14'te şematik olarak verilmiştir.

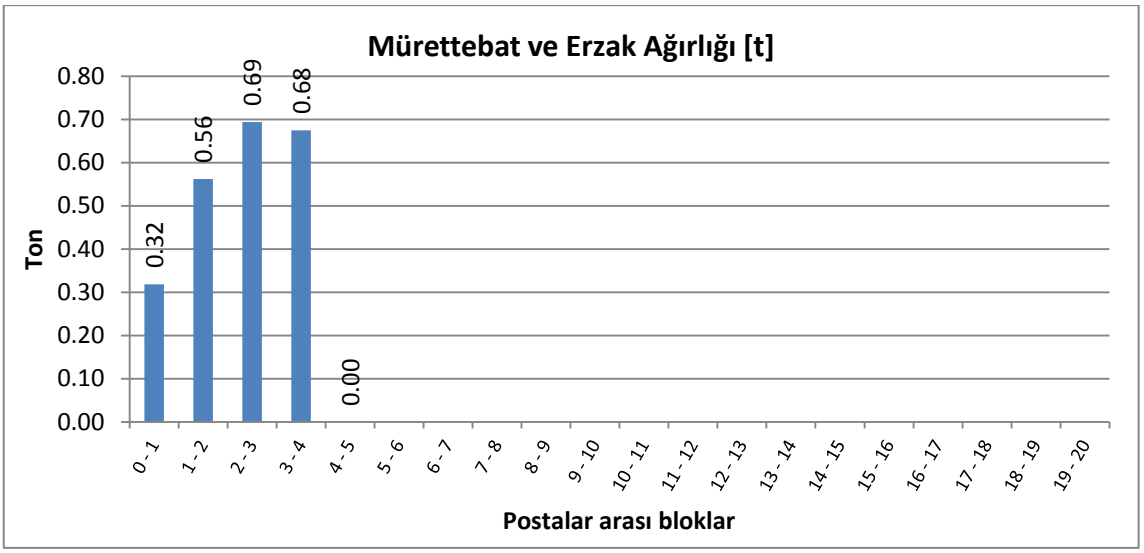


Şekil 3.14 Mürettebat ve erzak ağırlığı dağılımının şematik gösterimi

$$B_{sc} = 3\frac{P_{sc}}{10dL} = 0.0703 \text{ (t/m)} \tag{3.28}$$

$$A_{sc} = B_{sc} / 3 = 0.0234 \text{ (t/m)} \tag{3.29}$$

A_{cs} ve B_{sc} Şekil 3.14'deki katsayılardır. Bu değerler bulunduktan sonra, gerekli katsayı ve ağırlıklar (3.1)-(3.5) formüllerinde yerine konarak hesaplanan donanım ağırlığı gemi boyunca dağılımı yapılmış olur. Şekil 3.15'te dağılım ve ağırlık değerleri verilmiştir.



Şekil 3.15 Mürettebat ve erzak ağırlığı dağılım grafiği

3.1.2.2 Temiz su Kapasitesi

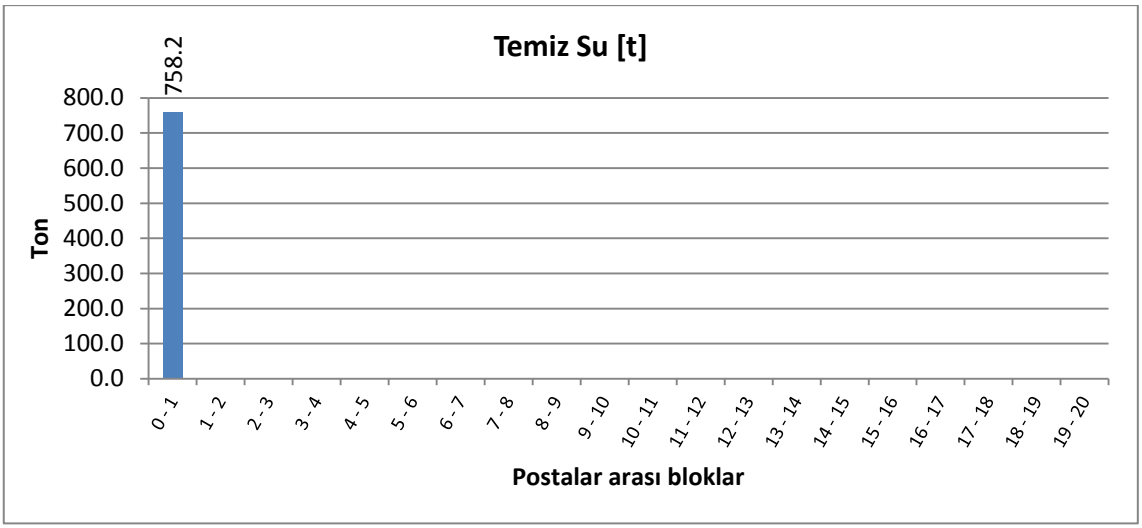
Yaklaşık olarak aşağıdaki formül ile hesaplanabilir. Deadweight ağırlığının 0.015 katı ilâ 0.02 katı alınabilir.

$$P_{fw} = [0.015 \div 0.02]DW \tag{3.30}$$

Burada 0.02 katı alınmış olsun. Ampirik formülden elde edilen yaklaşık temiz su ihtiyacı temel alınarak, hesaplanan tank hacimlerine uygun tank yerleşimi yapılır (EK E) ve gerçek temiz su kapasitesi bulunur. Kıç pik temiz su tankı olarak ayrılmıştır.

Çizelge 3.6 Temiz su hesap tablosu

Dwt (ton):	P_{fw} (ton):	$P_{fw,gerçek}$ (ton)
31803.75	636.07	758.16



Şekil 3.16 Temiz su ağırlığı dağılım grafiği

3.1.2.3 Yakıt kapasitesi

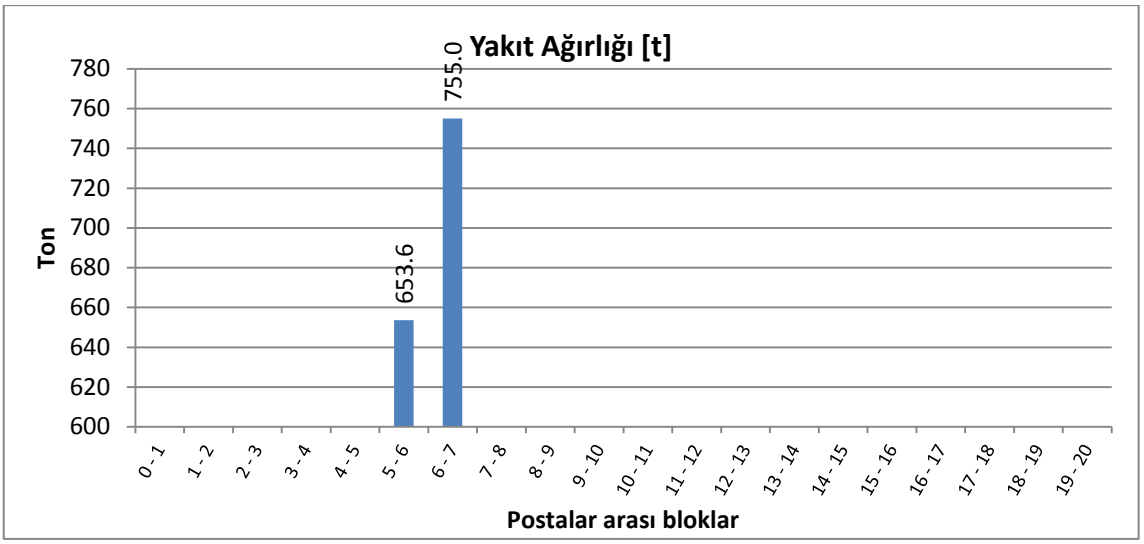
Yakıt, yağlama yağı, soğutma suyu gibi bileşenler kısaca yakıt ağırlığı altında toplanmıştır. Gerekli yakıt, yağ, soğutma suyu ana makinenin tüketimine ve/veya gereksinimine göre hesaplanmalıdır. Ağırlık hesaplamasında yaklaşım olarak aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$P_{fo} = 0.0002 N_{eff} T \tag{3.31}$$

Burada, N_{eff} ana makine efektif gücüdür. (3.8) denkleminden 10902 beygir gücü (horse power) olarak bulunmuştu, T ise saat cinsinden sefer süresidir. Bir seferi 1 ay olarak alırsak Çizelge 3.7'deki değerlere ulaşılabilir. Gerekli yakıt ihtiyacına uygun olarak gerçek değer tank yerleşimine göre hesaplanır.

Çizelge 3.7 Yakıt kapasitesi hesap tablosu

N_{eff} (HP):	T (saat):	A (gün):	P_{fo} (ton):	γ_{fo} (t/m^3):	$P_{fo,gerçek}$ (ton):
10902.2	720	30	1569.92	0.95	1408.68



Şekil 3.17 Yakıt ağırlığı dağılım grafiği

3.1.2.4 Balast Ağırlığı

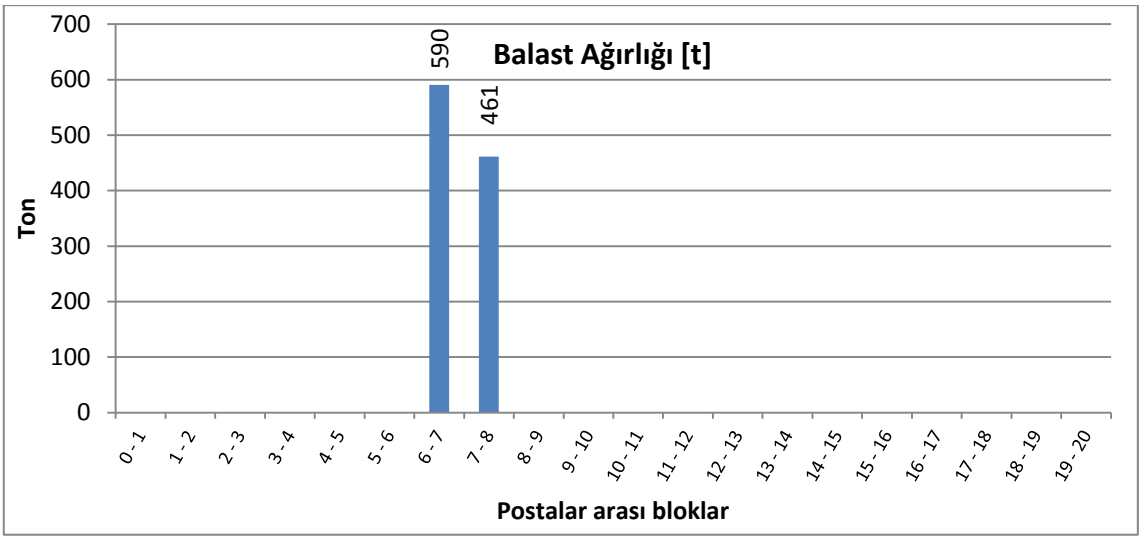
Gerekli balast suyu ağırlığı trim ve stabilite kriterlerini sağlamaya bağlıdır. Gemi yüksüz iken pervaneyi daha çok batırabilmek ve stabiliteyi düzenleyebilmek için nispeten daha çok miktarda balast alınır. Yüklü sefer durumunda ise, genelde balast suyuna ihtiyaç yoktur, fakat trimi ve boyuna mukavemeti düzenleyebilmek için deplasman müsait ise balast alınabilir.

Geminin boş durumunda alınabilecek, balast suyu yaklaşık olarak aşağıdaki formül ile verilir. Buradaki çalışmada, kesme kuvvetleri ve boyuna momenti ayarlayabilmek ve trimi düzenleyebilmek için bir miktar balast suyu alınacaktır.

$$P_{bw} = (0.15 \div 0.4)DWT \tag{3.32}$$

Boş sefer durumuna göre 9000-10000 ton balast alınabilir, bu duruma uygun balast tankı dizayn etmek gerekir.

Buradaki kargo durumunda alınan balast ise 1051 tondur. Ek E Tank yerleşimi ve hacimlerinden izlenebilir.



Şekil 3.18 Balast ağırlığı dağılım grafiği

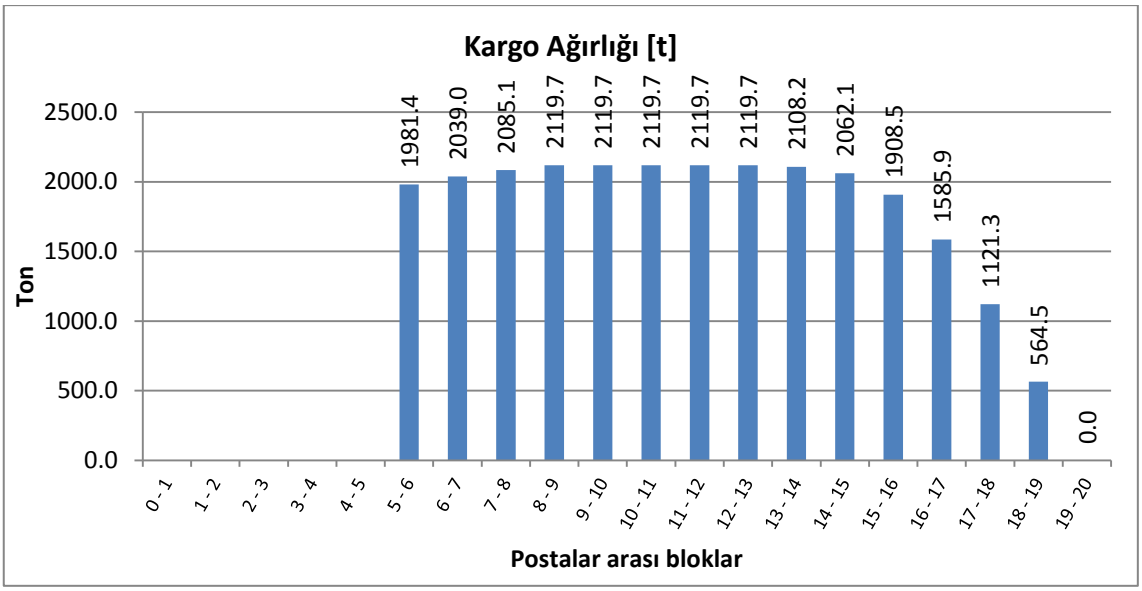
3.1.2.5 Kargo Ağırlığı

Tank ve ambar yerleşiminden kargo hacmi elde edilebilir. Kargonun yoğunluğu ile hacmin çarpımı sonucu toplam kargo ağırlığı bulunabilir. Kargo ile birlikte deadweight hesabı da tamamlanmış olur. Kargo hacmi bilinmeseydi yaklaşık olarak aşağıdaki formülden hesaplanan kargo ağırlığı kullanılabilirdi.

$$P_c = DW - P_{bw} - P_{fw} - P_{fo} - P_{sc} = 28585(t) \quad (3.33)$$

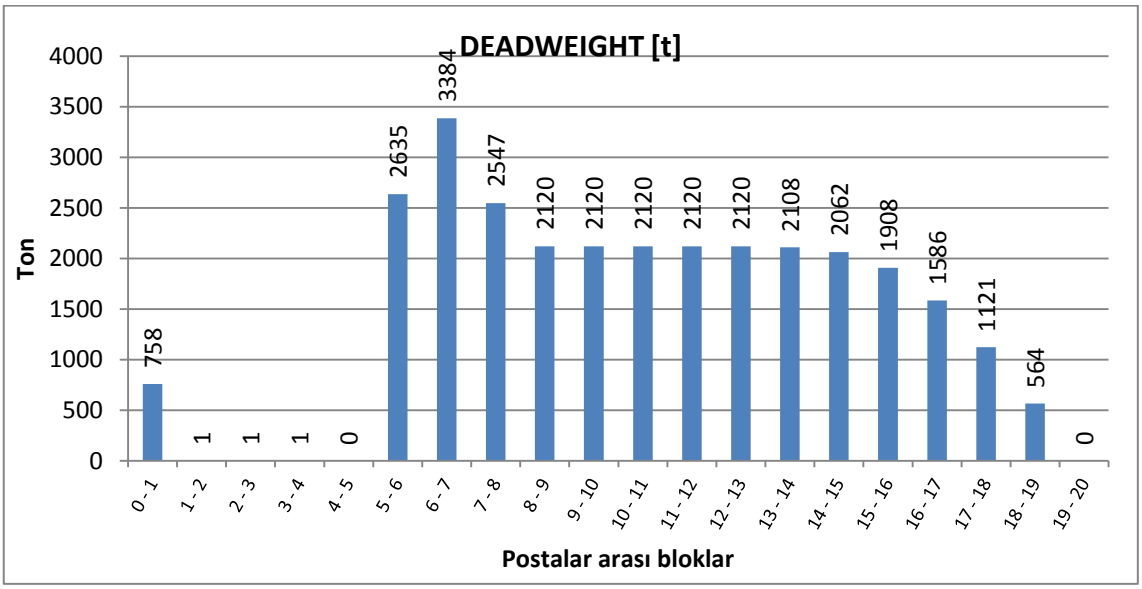
$P_{c,gerçek}$=26054 ton.

Ambar kapasitesi sonucu hesaplanan gerçek değer ise 26054 tondur. Balast alındığı halde izin verilebilir toplam ağırlığı aşmadığı için problem çıkmayacak, ambarlar tam olarak doldurulabilecektir. Bu durumda ihtiyaca göre 2000-2500 tonluk bir balast alımına daha izin verilebilir.



Şekil 3.19 Kargo ağırlığı dağılım grafiği

Kargo kapasitesi hesabıyla deadweight hesabı da bitmiş olur.



Şekil 3.20 Deadweight dağılım grafiği

3.2 Ağırlık Merkezi Hesabı

Hesaba katılan tüm ağırlıklara göre, boş tekne ağırlığı (lightweight) ve deadweight, ağırlık merkezinin boyuna konumu aşağıdaki tablo formatıyla hesaplanabilir.

Bu yükleme koşulunda, bulunan deplasman ve ağırlık merkezinin konumuna göre teknenin su çekimi (draftı), ve trimi hesaplanabilir. İlerleyen bölümlerde bu değerler vasıtasıyla kaldırma kuvveti, dolayısıyla kesme kuvveti ve eğilme momenti hesaplarına geçilecektir.

Çizelge 3.8 Boyuna ağırlık merkezi hesabı

Posta	Mes. (m)	Mür. (t)	Temiz su (t)	Yakıt (t)	Balast (t)	Kargo (t)	DW (t)	Mak. (t)	Üst Yapı (t)	Ç. Tek. (t)	Don. (t)	LW (t)	DW+LW (t)	x*(dw+lw) (tm)
0 - 1	0.5	0.3	758	0	0	0	758	47	20	165	264	497	1255	628
1 - 2	1.5	0.6	0	0	0	0	1	170	74	177	287	708	709	1063
2 - 3	2.5	0.7	0	0	0	0	1	284	123	189	440	1035	1036	2590
3 - 4	3.5	0.7	0	0	0	0	1	367	151	201	522	1241	1242	4347
4 - 5	4.5	0	0	0	0	0	0	221	147	213	510	1092	1092	4912
5 - 6	5.5	0	0	654	0	1981	2635	0	0	225	88	312	2948	16211
6 - 7	6.5	0	0	755	590	2039	3384	0	0	236	88	324	3709	24107
7 - 8	7.5	0	0	0	461	2085	2547	0	0	248	88	336	2883	21621
8 - 9	8.5	0	0	0	0	2120	2120	0	0	260	88	348	2468	20976
9 - 10	9.5	0	0	0	0	2120	2120	0	0	272	88	360	2480	23557
10 - 11	10.5	0	0	0	0	2120	2120	0	0	272	88	360	2480	26037
11 - 12	11.5	0	0	0	0	2120	2120	0	0	272	88	360	2480	28516
14 - 15	14.5	0	0	0	0	2062	2062	0	0	235	88	323	2385	34584

Çizelge 3.8 Boyuna ağırlık merkezi hesabı (devam)

15 - 16	15.5	0	0	0	0	1908	1908	0	0	217	88	305	2213	34301
16 - 17	16.5	0	0	0	0	1586	1586	0	0	198	88	286	1872	30887
17 - 18	17.5	0	0	0	0	1121	1121	0	2	180	88	269	1391	24334
18 - 19	18.5	0	0	0	0	564	564	0	31	161	176	368	933	17252
19 - 20	19.5	0	0	0	0	0	0	0	9	143	176	327	327	6379
													38829	386368

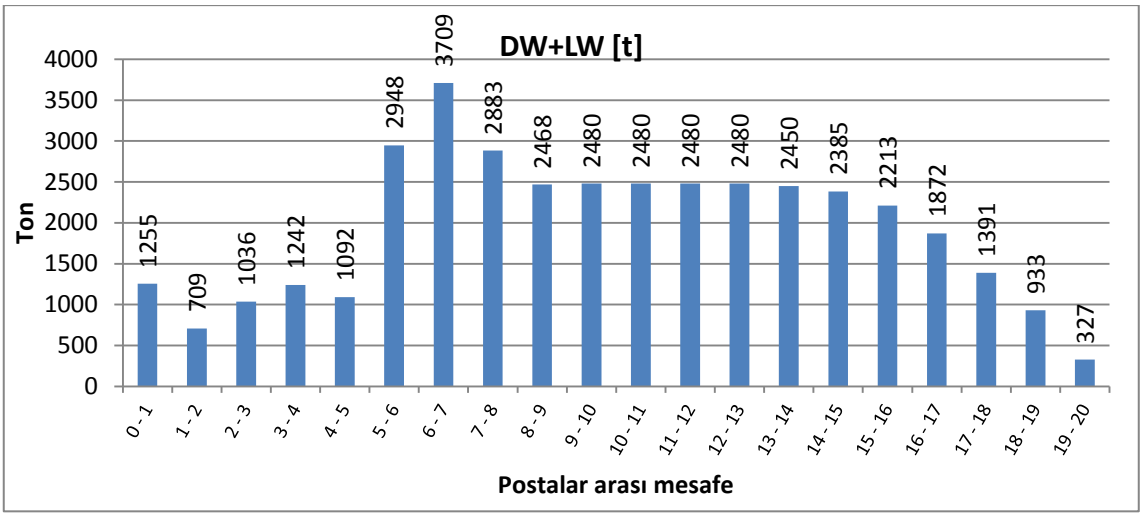
Hesaplanan tüm bileşenlerin gemi boyunca toplanmasıyla, gemi toplam ağırlığı 38829 ton olarak bulunur. Ağırlık merkezinin boyuna konumu (LCG) ise ağırlıkların boyuna momentinin toplam ağırlığa oranı ile elde edilir.

$$LCG = dL\frac{\sum x(DW+LW)}{\sum(DW+LW)} = 9.6\frac{386368}{38829} = 95.52\,(m) \tag{3.34}$$

Ağırlık merkezinin boyuna yeri (3.34)'ten 95.52 metre olarak bulunur. Bu yükleme durumu için ağırlık 38829 ton, ağırlık merkezi ise 95.52 metre olarak alınır.

Denizin dalgalı veya sakin oluşundan ya da trim veya meyilin varlığından bağımsız bir değerdir. Tekne formuna değil, teknedeki toplam ağırlık ve ağırlık dağılımına bağlıdır. Teknenin ağırlık ve ağırlık merkezinin konumuna göre teknenin su çekimi ya da trimi gibi değerler değişerek teknenin su altı hacmi ve su altı hacim merkezi değişir.

Aşağıdaki grafikte ise toplam ağırlığın dağılımı görülebilir.



Şekil 3.21 Toplam ağırlık dağılım grafiği

3.3 Deplasman Hesabı

Geminin ilk yüzme şartı olan, denklem (3.35), gemi ağırlığı, geminin kaldırdığı sıvı ağırlığına eşit olması şartını sağlayabilmek için; hesaplanan gemi ağırlığına eşit gemi deplasmanı, dolayısıyla önce gemi hacmi hesaplanmalıdır. Gemi hacmi su altı en kesit alanlarının gemi boyunca integrasyonu ile elde edilir. En kesit alanlarının nasıl hesaplandığı ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Aşağıdaki kısa formül gemi ağırlığı-deplasman ilişkisini net olarak ortaya koymaktadır.

$$\rho\int_0^l a(x)dx = \int_0^l m(x)dx = \Delta = \rho\nabla \tag{3.35}$$

Burada, ro (ρ) su yoğunluğu (t/m^3), a(x) boyuna herhangi bir konumdaki su altı en kesit alanı (m^2), m(x) boyuna herhangi bir konumdaki kütle dağılımı (t/m), Δ gemi deplasmanı (ton), ∇ ise gemi hacmidir (m^3).

En kesit alanlarını hesaplayabilmek için ofset tablosuna ihtiyaç vardır. Ofset tablosu aşağıdaki bölümde verilmiştir.

3.3.1 Gemi Formu ve Ofset Tablosu

Ana boyutları belli olan tankerin 3 boyutlu modeli ticari bir program olan Maxsurf yardımıyla hazırlanmıştır. Temel stabilite ve hidrostatik özellikleri kontrol edilen

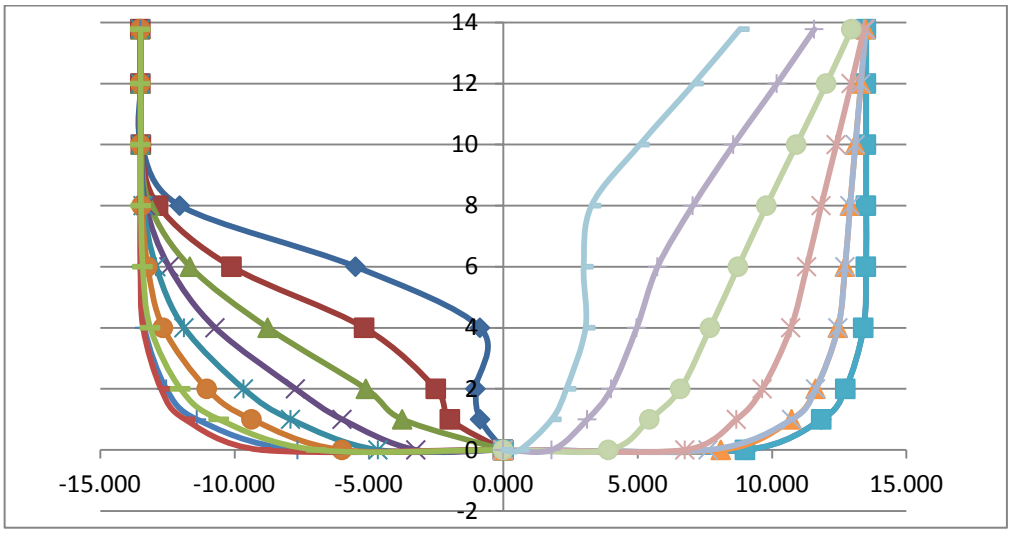
modelden endaze planı ve ofset tablosu çıkarılır. Endaze planı EK B'de hidrostatik özellikleri ise EK F'de verilmiştir. Aşağıda ofset tablosu ve en kesitlerin basit bir şekli yer almaktadır.

Çizelge 3.9 Ofset tablosu

Su Hattı	BL	WL 1/2	WL 1	WL 2	WL 3	WL 4	WL 5	WL 6	Güv.
P 0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.869	13.464	13.498	13.500
P 1	0.000	0.857	1.031	0.863	5.494	12.037	13.472	13.499	13.500
P 2	0.000	1.981	2.505	5.172	10.108	12.840	13.480	13.499	13.500
P 3	0.000	3.757	5.108	8.763	11.657	13.153	13.484	13.499	13.500
P 4	3.250	5.995	7.730	10.722	12.436	13.305	13.488	13.499	13.500
P 5	4.660	7.911	9.661	11.877	12.920	13.399	13.492	13.500	13.500
P 6	6.000	9.364	11.029	12.662	13.241	13.457	13.496	13.500	13.500
P 7	6.950	10.583	12.014	13.141	13.422	13.488	13.499	13.500	13.500
P 8	7.654	11.400	12.539	13.354	13.493	13.500	13.500	13.500	13.500
P 9	9.000	11.838	12.734	13.401	13.498	13.500	13.500	13.500	13.500
P 10	9.000	11.838	12.734	13.401	13.498	13.500	13.500	13.500	13.500
P 11	9.000	11.838	12.734	13.401	13.498	13.500	13.500	13.500	13.500
P 12	9.000	11.838	12.734	13.401	13.498	13.500	13.500	13.500	13.500
P 13	9.000	11.838	12.734	13.401	13.498	13.500	13.500	13.500	13.500
P 14	8.100	10.734	11.627	12.457	12.719	12.904	13.103	13.307	13.484

Çizelge 3.9 Ofset tablosu (devam)

P 15	7.627	10.734	11.627	12.457	12.719	12.904	13.103	13.307	13.484
P 16	6.760	8.678	9.641	10.701	11.293	11.831	12.391	12.949	13.424
P 17	3.910	5.439	6.588	7.695	8.738	9.795	10.907	12.019	12.956
P 18	1.800	3.123	4.014	4.962	5.737	7.051	8.562	10.180	11.571
P 19	0.610	1.798	2.344	3.057	2.988	3.276	5.076	7.086	8.795
P 20	0.000	0.239	0.810	1.340	1.590	0.891	0.719	2.671	4.400



Şekil 3.22 En kesitleri görünümü.

3.3.2 En Kesit Alanları ve En Kesit Alan (Bonjean) Eğrileri

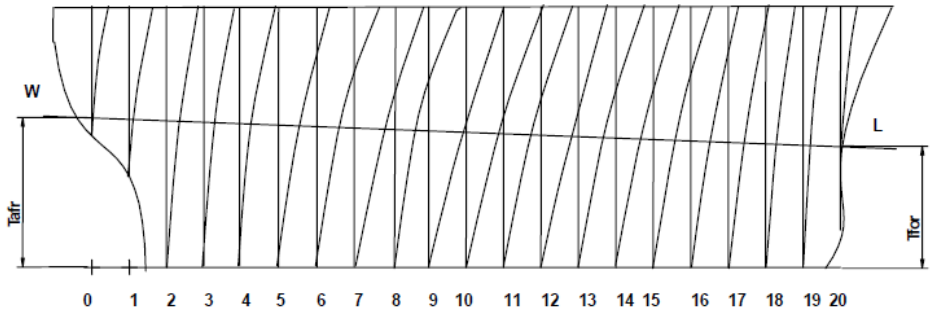
En kesit alanı, belirli bir postanın, belirli bir su hattı altında kalan alanıdır. Her postanın bu belirli su hattına kadar olan en kesit alanı bilindikten sonra, bu en kesit alanlarının boyuna integrasyonu ile su hattı altındaki hacim hesaplanabilir.

En kesitleri sadece bir veya iki su hattı için hesaplanmaz, ne kadar sık alınırsa o kadar hassas işlem yapma kabiliyeti kazandırır. Gemi boyunca integre edip gemi hacmin,

dolayısıyla gemi deplasmanını hesaplarken kullanılacağı için optimum sıklıkta postalar üzerinde en kesitleri alanları hesaplanmaya çalışılır. Örneğin bu çalışmada da olduğu gibi 20 postanın, 8 su hattına göre en kesit alanları hesaplanabilir.

Farklı su hatları için hesaplanan bir postanın en kesit alanları formülize edilerek, kaide hattından güverteye kadar hesaplanmış birkaç alan değeri yardımıyla eğri çizdirilir. Bu işlem her posta için gerçekleştirilir ve bu eğri takımına bonjean alan eğrileri adı verilir.

Gemi boyunca her posta için eldeki bu eğriler yardımıyla, trimli ya da trimsiz herhangi bir su hattı için, gemi hacmi hesaplanabilir.



Şekil 3.23 Trim ve Bonjean eğrilerine bir örnek

Aşağıda 20 postaya için 7 su hattı ve güverteye göre en kesit alanları tablosu, en kesit alan oranları tablosu ve bonjean eğrileri grafiği yer almaktadır.

Çizelge 3.10 En kesit alanları (m^2)

Su Hattı	0 m.	1 m.	2 m.	4 m.	6 m.	8 m.	10 m.	12 m.	13.78 m.
P 0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	54.4	108.3	156.4
P 1	0.0	0.9	2.7	6.5	19.2	54.3	105.3	159.3	207.3
P 2	0.0	2.0	6.5	21.8	52.4	98.3	150.9	204.9	252.9
P 3	0.0	3.8	12.6	40.4	81.2	130.8	184.1	238.1	286.1

Çizelge 3.10 En kesit alanları (m2) (devam)

P 4	0.0	9.2	23.0	59.9	106.2	157.7	211.3	265.2	313.3
P 5	0.0	12.6	30.1	73.2	122.8	175.5	229.2	283.2	331.3
P 6	0.0	15.4	35.8	83.1	134.9	188.3	242.2	296.2	344.3
P 7	0.0	17.5	40.1	90.4	143.6	197.4	251.4	305.4	353.4
P 8	0.0	19.1	43.0	94.8	148.5	202.5	256.5	310.5	358.5
P 9	0.0	20.8	45.4	97.7	151.5	205.5	259.5	313.5	361.5
P 10	0.0	20.8	45.4	97.7	151.5	205.5	259.5	313.5	361.5
P 11	0.0	20.8	45.4	97.7	151.5	205.5	259.5	313.5	361.5
P 12	0.0	20.8	45.4	97.7	151.5	205.5	259.5	313.5	361.5
P 13	0.0	20.8	45.4	97.7	151.5	205.5	259.5	313.5	361.5
P 14	0.0	18.8	41.2	89.4	139.7	191.0	243.0	295.8	343.5
P 15	0.0	18.4	40.7	88.9	139.2	190.5	242.5	295.3	343.0
P 16	0.0	15.4	33.8	74.4	118.4	164.7	213.1	263.8	310.7
P 17	0.0	9.3	21.4	49.9	82.8	119.9	161.3	207.1	251.6
P 18	0.0	4.9	12.1	30.0	51.4	77.0	108.2	145.7	184.4
P 19	0.0	2.4	6.6	17.4	29.4	42.0	58.7	83.0	111.3
P 20	0.0	0.2	1.3	5.6	11.4	16.4	19.6	26.4	39.0

Maksimum alan 361.5 m^2 olarak orta kesitte elde edilir. Diğer bir adım da en kesit alanlarının maksimum alana göre oranıdır. Her bir postanın her bir su hattına kadar

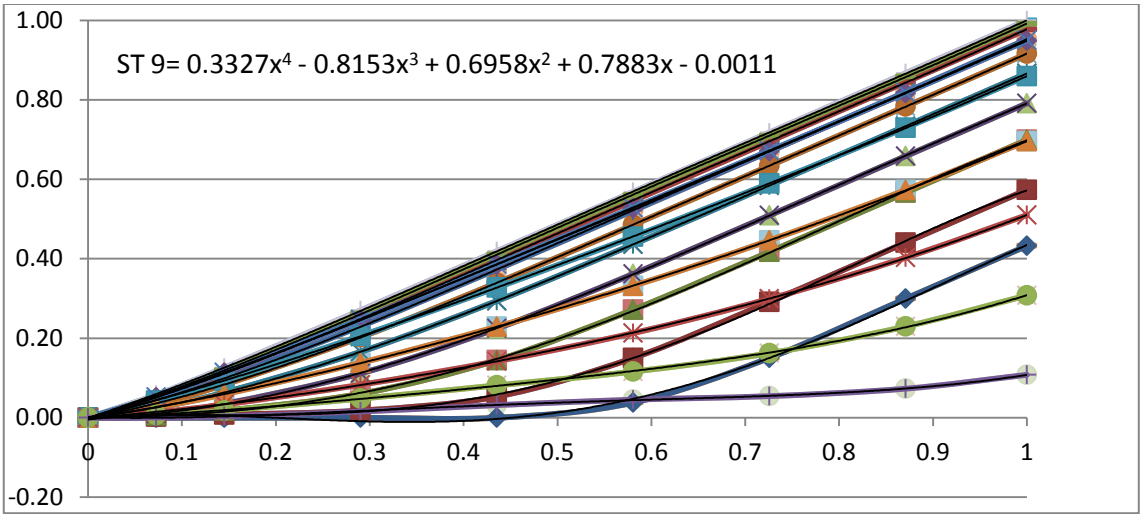
olan alanının maksimum alan değerine oranı elde edilir. Bu oran daha sonra bonjean alan eğrileri çiziminde kullanılır.

Çizelge 3.11 En kesit alan oranları

Su Hattı	0	0.073	0.145	0.290	0.435	0.581	0.726	0.871	1
P 0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.150	0.300	0.433
P 1	0.000	0.002	0.008	0.018	0.053	0.150	0.291	0.441	0.573
P 2	0.000	0.005	0.018	0.060	0.145	0.272	0.417	0.567	0.700
P 3	0.000	0.010	0.035	0.112	0.225	0.362	0.509	0.658	0.791
P 4	0.000	0.026	0.064	0.166	0.294	0.436	0.584	0.734	0.867
P 5	0.000	0.035	0.083	0.203	0.340	0.485	0.634	0.783	0.916
P 6	0.000	0.042	0.099	0.230	0.373	0.521	0.670	0.819	0.952
P 7	0.000	0.048	0.111	0.250	0.397	0.546	0.695	0.845	0.978
P 8	0.000	0.053	0.119	0.262	0.411	0.560	0.709	0.859	0.992
P 9	0.000	0.058	0.126	0.270	0.419	0.568	0.718	0.867	1.000
P 10	0.000	0.058	0.126	0.270	0.419	0.568	0.718	0.867	1.000
P 11	0.000	0.058	0.126	0.270	0.419	0.568	0.718	0.867	1.000
P 12	0.000	0.058	0.126	0.270	0.419	0.568	0.718	0.867	1.000
P 13	0.000	0.058	0.126	0.270	0.419	0.568	0.718	0.867	1.000
P 14	0.000	0.052	0.114	0.247	0.386	0.528	0.672	0.818	0.950
P 15	0.000	0.051	0.113	0.246	0.385	0.527	0.671	0.817	0.949

Çizelge 3.11 En kesit alan oranları (devam)

P 16	0.000	0.043	0.093	0.206	0.328	0.455	0.589	0.730	0.860
P 17	0.000	0.026	0.059	0.138	0.229	0.332	0.446	0.573	0.696
P 18	0.000	0.014	0.033	0.083	0.142	0.213	0.299	0.403	0.510
P 19	0.000	0.007	0.018	0.048	0.081	0.116	0.162	0.230	0.308
P 20	0.000	0.001	0.004	0.015	0.032	0.045	0.054	0.073	0.108



Şekil 3.24 Bonjean alan eğrileri

Bonjean alan eğrilerine MS Excel programında eğri uydurularak, her bir postanın bonjean eğrisine karşılık gelen eğri denklemi elde edilir. Yukarıdaki şekilde örnek olarak 9. postanın 4. dereceden eğri denklemi verilmiştir. Buradaki şekilde yatay eksen gemi yüksekliğini, düşey eksen ise eğrinin herhangi bir yükseklik için değerini vermektedir.

Katsayıları çıkartma, işlemi matematiğe dökebilmek için önemlidir. Denklemi bilinen bir eğri için herhangi bir değere karşılık sonuç kolaylıkla alınabilir. Buradaki amaç, geminin yüzdüğü su hattı bilindiği takdirde, o su hattı yüksekliğini denklemde yerine koyarak, her bir posta için su altı en kesit alanını belirlemektir.

Çıkarılan katsayılar, aşağıdaki denklemde yerine konarak herhangi bir T_0 su çekiminde, "i"inci postanın su altı en kesit alanı hesaplanır.

$$A_{(i)} = K_{(i)4}\left(\frac{T_0}{D}\right)^4 + K_{(i)3}\left(\frac{T_0}{D}\right)^3 + K_{(i)2}\left(\frac{T_0}{D}\right)^2 + K_{(i)}\left(\frac{T_0}{D}\right) + C_{(i)} \quad (3.36)$$

$A_{(i)}$ "i"inci postanın su altı en kesit alanı, $K_{(i)}$ "i"inci postanın, tekabül ettiği derecenin katsayısıdır. $C_{(i)}$ ise, "i"inci postanın dördüncü derece denklemde "sıfırıncı" derecede verinin katsayısıdır. Tüm katsayılar, MS Excel'in verdiği eğri denklemlerinden elde edildikten sonra, herhangi bir postanın herhangi bir su hattı değeri için en kesit alanı belirlenebilir.

Çizelge 3.12 Bonjean eğrileri denklem katsayıları

	$K_{(i)4}$	$K_{(i)3}$	$K_{(i)2}$	$K_{(i)}$	$C_{(i)}$
st 0	-1.6920	3.8300	-1.9820	0.2796	-0.0049
st 1	-1.7069	3.2471	-1.1125	0.1453	-0.0008
st 2	-0.6443	0.7880	0.5540	-0.0008	0.0014
st 3	0.0106	-0.7630	1.4078	0.0399	0.0004
st 4	0.2918	-1.0293	1.3429	0.2610	0.0000
st 5	0.4079	-1.1803	1.2721	0.4175	-0.0006
st 6	0.4555	-1.2066	1.1597	0.5451	-0.0010
st 7	0.4585	-1.1521	1.0240	0.6490	-0.0013
st 8	0.4260	-1.0434	0.8902	0.7209	-0.0014
st 9	0.3327	-0.8153	0.6958	0.7883	-0.0011
st 10	0.3327	-0.8153	0.6958	0.7883	-0.0011
st 11	0.3327	-0.8153	0.6958	0.7883	-0.0011

Çizelge 3.12 Bonjean eğrileri denklem katsayıları (devam)

st 12	0.3327	-0.8153	0.6958	0.7883	-0.0011
st 13	0.3327	-0.8153	0.6958	0.7883	-0.0011
st 14	0.3047	-0.7440	0.6830	0.7076	-0.0009
st 15	0.3324	-0.8076	0.7319	0.6935	-0.0011
st 16	0.2286	-0.5604	0.6227	0.5695	-0.0006
st 17	0.1517	-0.3475	0.5526	0.3399	-0.0006
st 18	0.1331	-0.1883	0.3795	0.1869	-0.0008
st 19	0.3809	-0.5435	0.3804	0.0914	-0.0008
st 20	0.5872	-1.0796	0.6582	-0.0589	0.0008

Yukarıdaki bölümlerde trim ve su altı hacim merkezinin (LCB) mantığı, nasıl hesaplanması gerektiği tanıtıldı. Hesaplamaları gerçekleştirebilmek için en kesit alanları, buna bağlı olarak bonjean alan eğrileri ve katsayıları çıkarıldı.

Sırada, LCB'nin sakin su, dalga tepesi ve dalga çukuruna göre hesabı vardır. LCB, dolayısıyla trim ve su altı en kesit alanları hesaplanırsa kaldırma kuvvetinin gemi boyunca dağılımı hesaplanabilir. Oradan da kesme kuvveti ve eğilme momentine geçilebilir. Ancak geminin maruz kaldığı kuvvet dağılımına geçmeden evvel, LCB'nin ön dizaynda en kesitler yardımıyla pratik olarak nasıl hesaplandığı, bilgisayar destekli hesaplamaların tablo yardımıyla nasıl gerçekleştirildiği aşağıda verilmiştir.

3.3.3 LCB ve Trim Hesabı

Gemi formu sabittir, belirli bir yükleme durumu için gemi ağırlığı ve ağrılık merkezi de sabittir. O halde dengeyi ayarlayabilmek için gemi başa veya kıça yatarak yani trim oluşarak gemi boyunca su altı en kesit alanları değişir. Bu değişim, su altı hacim

merkezi (LCB) ile ağırlık merkezi (LCG) düşey olarak aynı hizaya gelene kadar devam eder.

Denklem (3.35)'e benzer şekilde enine veya boyuna dengeyi görebilmek için moment dengesi kurulur. Trimi bulabilmek için boyuna moment dengesi kurarsak;

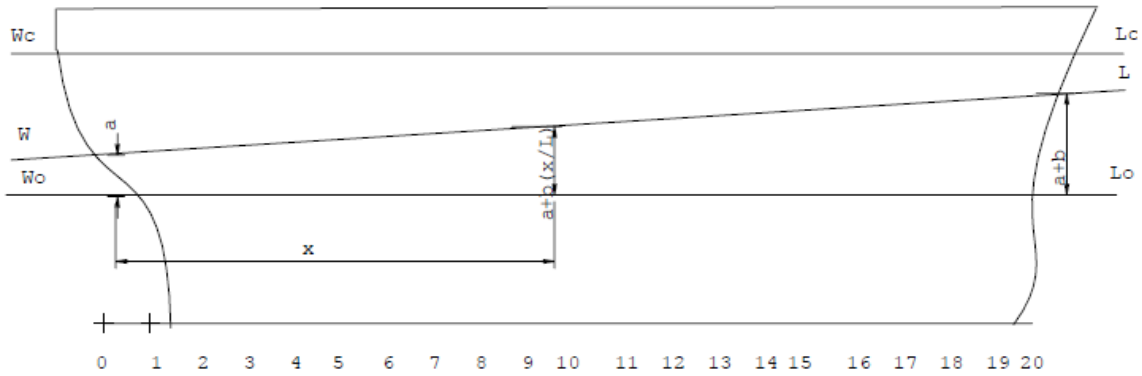
$$\rho\int_0^l xa(x)dx = \int_0^l xm(x)dx = \Delta LCG \tag{3.37}$$

Pratik anlamı ise geminin trim yaparak su altı hacmi merkezi yerinin değiştiğidir. LCB ile LCG'nin boyuna konumları eşitlenir. Ağırlık dağılımından LCG hesaplanmıştı. O halde (LCB) de denklem (3.37)'ten bulunacak demektir.

Boyuna hacim merkezinin (LCB) ve deplasmanın hesaplanmasında aşağıdaki yaklaşım uygulanabilir. Yaklaşıma göre ek bir su hattı (WL_C), o anki su çekimine karşılık gelen su hattının (WL_O) ξ kadar üstüne çizilir, ξ Є[0.05*T, 0.T*D]. Eğer hesaplanan su hattı, WL_C ve WL_O su hatları arasında kalıyorsa herhangi bir postada su altı en kesit alanı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$a_i = a_{oi} + (a_{ci} - a_{oi})\left(\frac{a}{\xi} + \frac{b}{\xi}\frac{x}{L}\right) \tag{3.38}$$

Burada, a_i "i"inci postanın su altı kesit alanı, a_{oi} "i"inci postadaki WL_0'a göre su altı kesit alanı, a_{Ci} ise "i"inci postadaki WL_C'ye göre su altı kesit alanıdır. x, aranan postanın boyuna mesafesi, L ise gemi boyudur.



Şekil 3.25 LCB ve trim hesabı

Öncelikle, teknenin yükleme durumuna göre yaklaşık bir su hattı değeri girilir (WL_0). Aynı şekilde ξ, a ve b değerleri rastgele girilir. MS Excel çözücü hesaplama sonucu doğru değerleri verecektir.

İlk girilen WL_0 değeri su çekimi olarak aşağıdaki tabloya işlenir. Girilen ξ değerine göre WL_C değeri de rastgele bulunmuş olur. Yukarıdaki bölümlerde en kesitleri alanları belirlenmiş idi. Maksimum en kesit değeri olan orta kesit alan değeri metrekare olarak girilir. WL_0 ve WL_C'nin konumuna göre su altı kesit alanları maksimum alanın yüzdesi olarak bonjean eğrileri yardımı ile belirlenir. a_0 ve a_c değerleri ise (3.38)'dan rastgele bulunmuş olur.

Gerçek, trimli su hattı (T WL) değeri de a ve b katsayılarına bağlı olarak rastgele hesaplanmış olur. Ancak buradaki amaç su hattının gerçek değerini bulmaktır. Anlamsız rakamlar elde edilen T WL sütununun, çözücünün en son adımından sonra gerçek değerleri bulunacaktır.

Çizelge 3.13 Gerçek su hattı belirleme tablosuna örnek

Pos.	T WL_0 (m)	T WL_C (m)	Alan WL_0 (%)	Alan WL_C (%)	A mid (m^2)	a_0 (m^2)	a_c (m^2)	T WL (m)
0	T_0	T+ε						?
1	T_0	T+ε						?
…	T_0	T+ε						?
19	T_0	T+ε						?
20	T_0	T+ε						?

Daha sona denklem (3.38)'deki formülasyonu elde edecek şekilde Çizelge 3.14 oluşturulur. a_0 ve a_c ise ilk girilen (WL_0) ve ξ değerlerine bağlı olarak Çizelge 3.13'ten alınır.

Çizelge 3.14 En kesitleri alan hesabı tablosuna örnek

Pos.	a_0 (m²)	a_c (m²)	[3]-[2] (m²)	(a/ξ)+(b/ξ)* ([1]/20)	[4]*[5] (m²)	[2]+[6] (m²)	([7]i+[7]i+1) /2	[8]*([1]$_{i+1}$ -0.5)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
0								
1								
…								
19								
20								
							∑[8]	∑[9]

Denklem (3.35) ve (3.37)'deki integrasyonlarının sonuçlarını, nispeten basit bir yaklaşım olan yamuk kuralını uygulayarak elde etmek istersek aşağıdaki denklemleri buluruz.

$$\Delta = \rho dL \sum(a) = \rho dL[8] \tag{3.39}$$

$$LCB = dL \frac{\sum xa}{\sum a} = dL \frac{[9]}{[8]} \tag{3.40}$$

Buradan elde edilen deplasman ve LCB değerleri Çizelge 3.15'deki gibi bir tabloda yerlerine yazılır. Yukarıdaki bölümlerde hesaplanan toplam ağırlık ve LCG değerleri de yerlerine yazılır.

Çizelge 3.15 MS Excel çözücü tablosu

Deplasman	(3.39)	(ton)
LCB	(3.40)	(m)
LCG	95.52	(m)
Toplam ağırlık	38829	(ton)
Mesafe farkı	(3.40)-95.52	(m)
Ağırlık farkı	(3.39)-38829	(ton)

Çizelge 3.15 hazırlandıktan sonra rastgele WL_0 ve ξ değerine göre rastgele deplasman ve LCB bulunmuş oldu. Buna bağlı olarak da deplasman ile ağırlık arasında, LCB ile LCG arasında da bir fark meydana gelmiş olur; ancak su üzerindeki tekne, deplasmanı her zaman toplam ağırlığına eşit olacak şekilde konum alır, üstelik LCB de LCG ile aynı konuma gelecek şekilde trimli su hattı oluşturur.

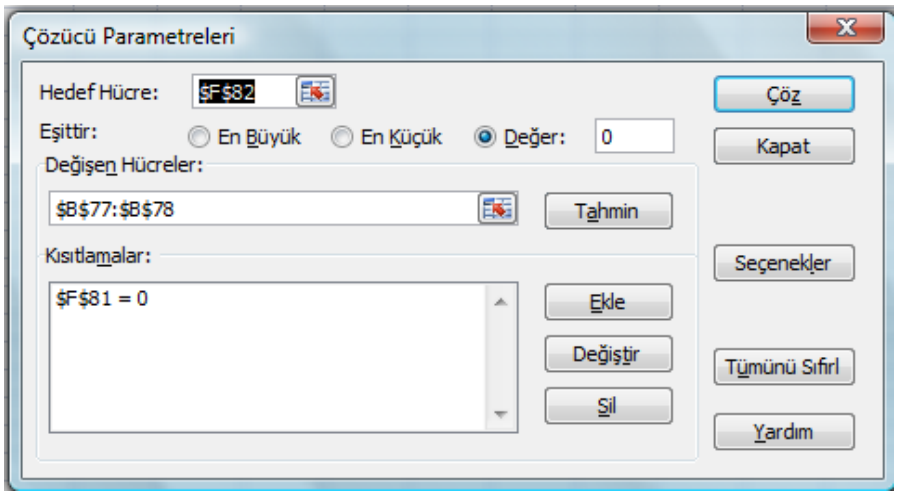
Bu eşitleme işlemi MS Excel'de kullanıcı için hazır olan çözücü yardımıyla gerçekleştirilir. Burada, ağırlığı deplasman ile, LCG'yi de LCB ile dengelemeye çalıştığımız amaç fonksiyonlarımız vardır; ancak Şekil 3.26'da da görüldüğü gibi MS Excel yalnızca bir hedef hücresi tanımlanmasına yani bir amaç fonksiyonu belirlenmesine izin verilir.

Gerçekleştirmeye çalıştığımız amaç fonksiyonlarımız mesafe farkının ve ağırlık farkının sıfır olmasıdır. O halde herhangi biri hedef hücresinde değer olarak "0" tanımlanır ve diğeri ise kısıtlamalar bölümünde 0 olarak programa tanıtılır.

Değişen hücreler ise denklem (3.38)'deki a ve b değerleridir. Burada baştan beri yapılan işlem "a" ve "b" değerlerini kesin olarak hesaplayıp, (3.38)'den gerçek en kesitleri alanlarını, dolayısıyla LCB, deplasman gibi değerleri bulabilmektir. Excel çözücü sayesinde gerçek deplasmanı ve LCB'yi veren "a" ve "b" katsayıları bulunur.

Ancak süreç burada tamamlanmamıştır. “a” ve “b” bulunduktan ve tüm bu işlemlerden sonra ilk çizelgedeki gerçek su hattı (T WL) (3.38)’dekine benzer bir formül ile bulunur, tek fark en kesitleri alanları yerine su çekimi değerlerinin girilmesidir. MS Excel çözünün bulduğu a ve b değerlerine göre su hattı (T WL) otomatik olarak gerçek değeri alacaktır.

Bu işlem bir tür iteratif işlemdir. İlk başta rastgele girilen WL_0 değeri, ikinci iterasyonda gerçek su hattına yakın bir değer verilir ve ξ değerleri de ona uygun olarak tanımlanır. Böylelikle WL_C su hattı tekrar çizdirilir. WL_0 ve WL_C su hatlarını da olabildiğince yakın çizdirilmeli ve ξ kabul edilebilir değerler içinde tutulmamalıdır, Bölüm 3.3.3’ün başında yaklaşım için gereksimler verilmişti. Böylelikle gerçek su hattı değeri, dolayısıyla su hattı kesit alanları, deplasman, LCB daha hassas elde edilir.



Şekil 3.26 MS Excel Çözücüsü

Tüm bu aşamalardan sonra teknenin konumu, su hattı, su altı en kesitleri alanları elde edilmiş olur. Bu en kesit alanları kesme kuvveti, eğilme momenti hesaplarında çok önemli bir rol oynayacaktır.

3.4 Sakin Su Durumu

Yukarıda anlatılan, tablo örnekleri ile açıklanmaya çalışılan işlemin aşağıda, sakin su hesaplarında pratik uygulaması görülecektir. Tabii burada iteratif işlem her su hattı iterasyonu için verilmemiştir. Aşağıdaki sonuçlar, birkaç iterasyon yapıldıktan sonra bulunan, gerçek sonuca en çok yaklaşılabilen değerlerdir.

Çizelge 3.16 Çözücü verileri

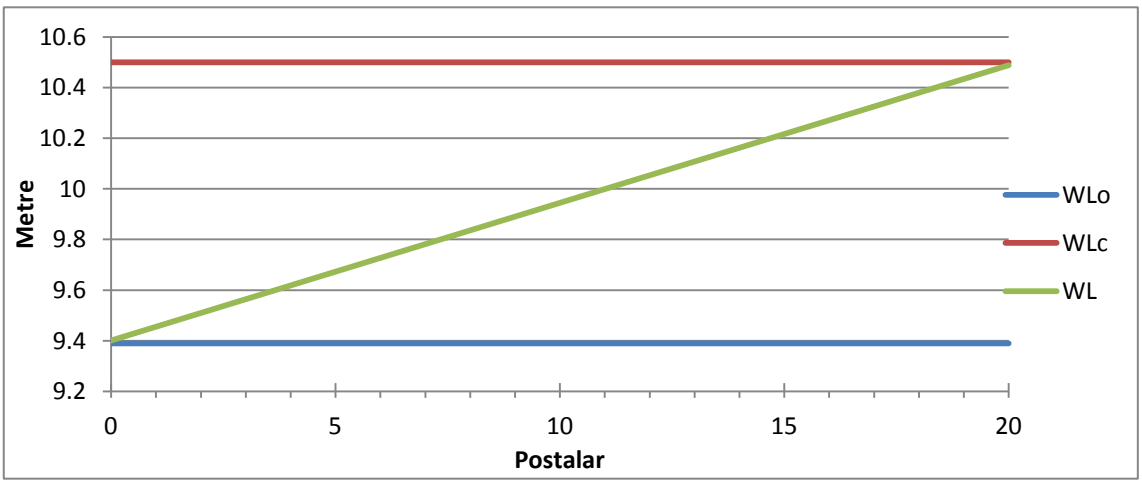
T_0	9.39	(m)
a	0.0109	(m)
b	1.0877	(m)
ξ	1.11	(m)
n	20	(Posta)

Çizelge 3.17 Sakin su için su hatları hesabı

Pos.	T WL_0 (m)	T WL_C (m)	Alan WL_0 (%)	A. WL_C (%)	A. mid (m^2)	a_0 (m^2)	a_c (m^2)	T WL (m)
0	9.39	10.5	11.23	18.14	362	40.62	65.59	9.40
1	9.39	10.5	24.10	32.51	362	87.14	117.55	9.46
2	9.39	10.5	36.85	45.39	362	133.23	164.09	9.51
3	9.39	10.5	44.21	51.42	362	159.85	185.90	9.56
4	9.39	10.5	53.87	62.16	362	194.75	224.73	9.62
5	9.39	10.5	58.91	67.14	362	212.97	242.75	9.67
6	9.39	10.5	62.54	70.74	362	226.09	255.76	9.73
7	9.39	10.5	65.07	73.26	362	235.27	264.87	9.78
8	9.39	10.5	66.49	74.68	362	240.38	269.98	9.84
9	9.39	10.5	67.29	75.50	362	243.28	272.96	9.89

Çizelge 3.17 Sakin su için su hatları hesabı (devam)

10	9.39	10.5	67.29	75.50	362	243.28	272.96	9.94
11	9.39	10.5	67.29	75.50	362	243.28	272.96	10.00
12	9.39	10.5	67.29	75.50	362	243.28	272.96	10.05
13	9.39	10.5	67.29	75.50	362	243.28	272.96	10.11
14	9.39	10.5	62.87	70.84	362	227.30	256.11	10.16
15	9.39	10.5	62.75	70.70	362	226.84	255.62	10.22
16	9.39	10.5	54.86	62.40	362	198.33	225.61	10.27
17	9.39	10.5	41.04	47.66	362	148.36	172.32	10.33
18	9.39	10.5	27.19	32.35	362	98.30	116.96	10.38
19	9.39	10.5	14.83	17.77	362	53.61	64.23	10.43
20	9.39	10.5	5.13	5.84	362	18.55	21.11	10.49



Şekil 3.27 Sakin su durumunda su hatları

Çizelge 3.18 Sakin su durumu için en kesitleri alan hesabı

Pos.	a_0 (m²)	a_c (m²)	[3]-[2] (m²)	(a/ξ)+(b/ξ)* ([1]/20)	[4]*[5] (m²)	[2]+[6] (m²)	([7]i+[7]i+1) /2	[8]*([1]$_{i+1}$ -0.5)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
0	40.62	65.59	24.97	0.01	0.24	40.86	64.90	32.45
1	87.14	117.55	30.41	0.06	1.79	88.93	112.74	169.11
2	133.23	164.09	30.86	0.11	3.33	136.56	150.24	375.61
3	159.85	185.90	26.05	0.16	4.08	163.93	182.43	638.50
4	194.75	224.73	29.98	0.21	6.17	200.92	210.74	948.32
5	212.97	242.75	29.78	0.25	7.59	220.56	227.83	1253.06
6	226.09	255.76	29.67	0.30	9.01	235.10	240.41	1562.64
7	235.27	264.87	29.60	0.35	10.44	245.71	248.99	1867.44
8	240.38	269.98	29.60	0.40	11.89	252.27	254.47	2162.97
9	243.28	272.96	29.68	0.45	13.38	256.66	257.39	2445.18
10	243.28	272.96	29.68	0.50	14.83	258.11	258.84	2717.84
11	243.28	272.96	29.68	0.55	16.29	259.57	260.30	2993.41
12	243.28	272.96	29.68	0.60	17.74	261.02	261.75	3271.88
13	243.28	272.96	29.68	0.65	19.20	262.48	254.91	3441.28
14	227.30	256.11	28.81	0.70	20.04	247.34	247.81	3593.22
15	226.84	255.62	28.77	0.74	21.43	248.27	234.13	3628.98

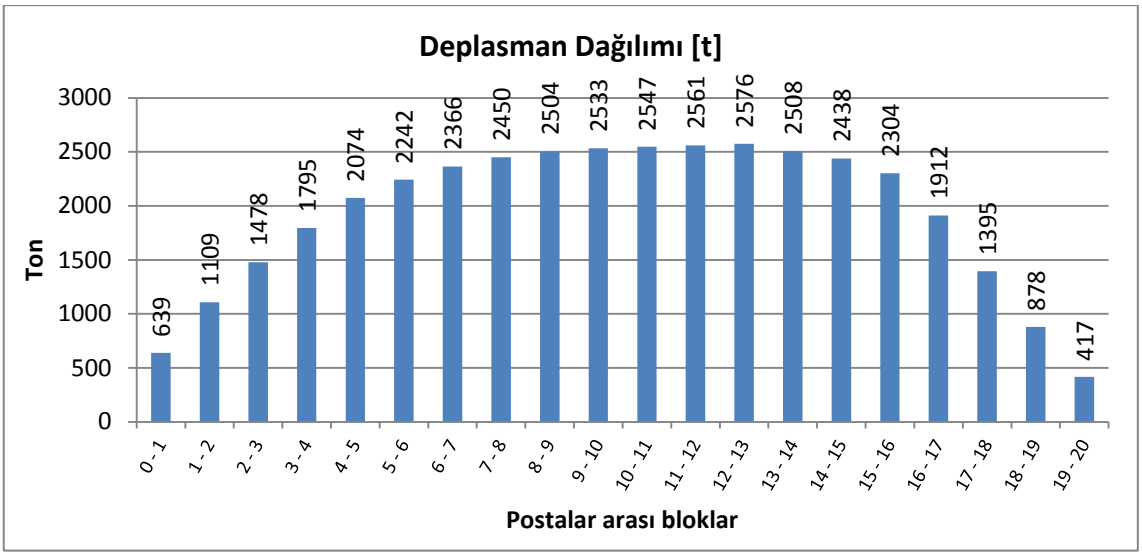
Çizelge 3.18 Sakin su durumu için en kesitleri alan hesabı (devam)

16	198.33	225.61	27.27	0.79	21.65	219.98	194.27	3205.41
17	148.36	172.32	23.96	0.84	20.19	168.55	141.75	2480.58
18	98.30	116.96	18.66	0.89	16.64	114.94	89.27	1651.52
19	53.61	64.23	10.62	0.94	10.00	63.60	42.34	825.70
20	18.55	21.11	2.57	0.99	2.54	21.09	10.54	0.00
						∑	3946.03	39265.09

MS Excel çözücü sayesinde iterasyonlardan sonra bulunan trimli su hattına göre LCB ve deplasmanın LCG ve toplam ağırlığa eşitlenmiş olduğu aşağıda görülebilir.

Çizelge 3.19 Sakin su durumu için deplasman ve LCB hesabı

Sağlama		
Deplasman	38829	(ton)
LCB	95.52	(m)
LCG	95.52	(m)
Toplam ağırlık	38829	(ton)
Mesafe farkı	0.00	(m)
Ağırlık farkı	0.00	(ton)



Şekil 3.28 Sakin su durumu deplasman dağılımı

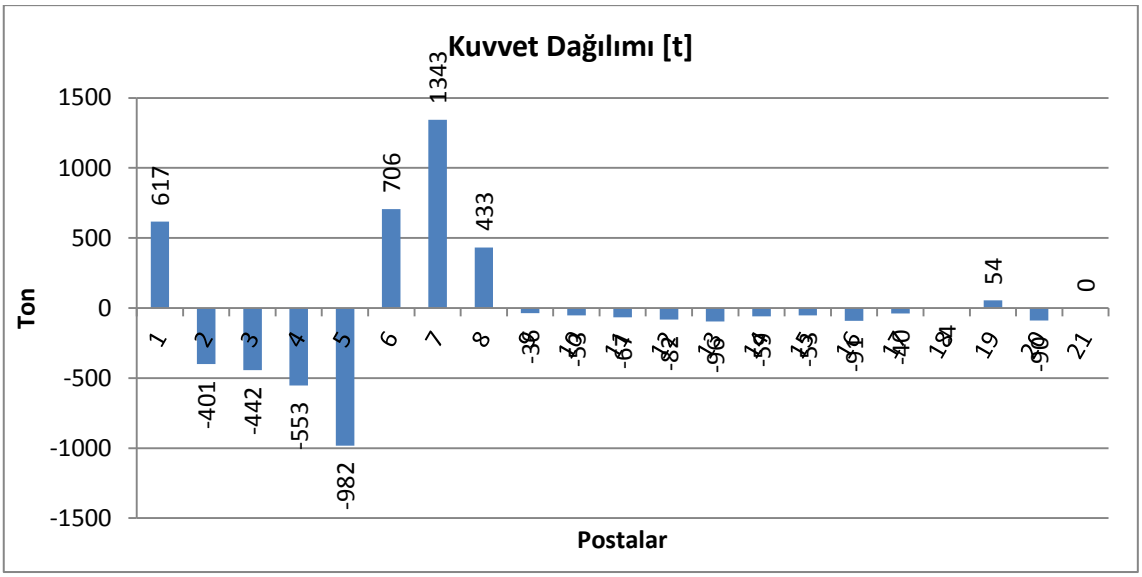
3.4.1 Sakin Su Durumu Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı

Çizelge 3.20 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti

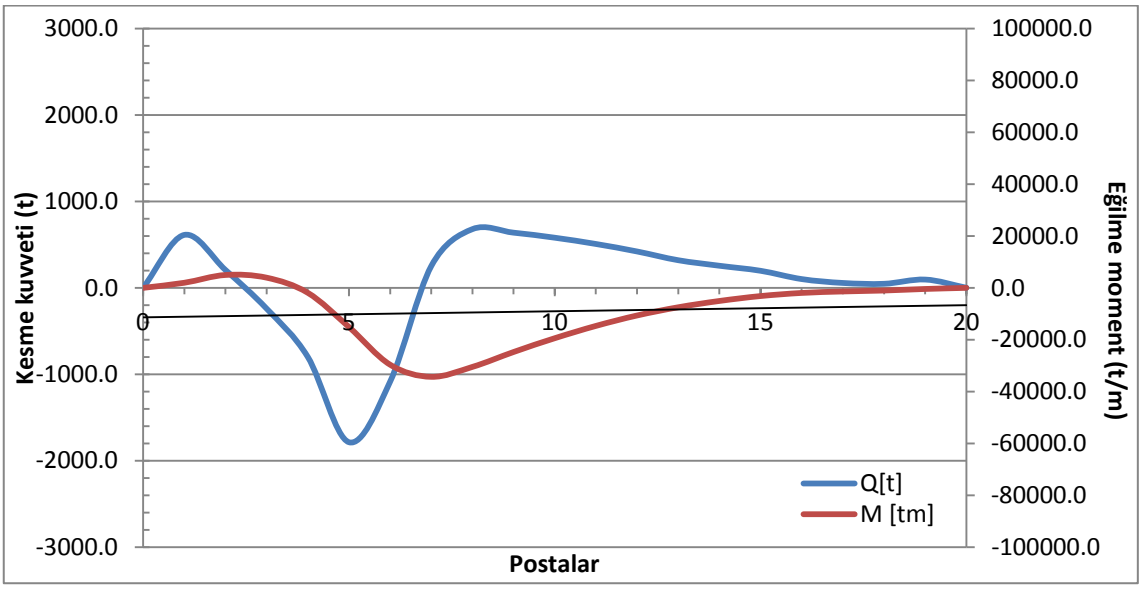
		Deplasman kuvveti (t)	Tekne ağırlığı (t)	[6]=[5]-[4] (t)	$[7]_{i-1}+[6]_{i-1}$	$[8]_i$-1+$([7]_{i-1}+[7]_i)/2$	$-[7]_{20}$*[1]/20			$-[11]_{20}$*[1]/20	
Pos.	Alan	Dep.	Ağır.	Kuvvet	∑ [6]	∑ [7]	dQ [t]	Q [t]	dL*[8]	dM_{sw} [t.m]	M_{sw} [t.m]
[1]	[2]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
0	41	639	1255	617	0	0	0	0	0	0	0
1	89	1109	709	-401	617	308	-5	611	2960	-996	1964
2	137	1478	1036	-442	216	725	-10	206	6957	-1992	4965
3	164	1795	1242	-553	-226	720	-16	-242	6908	-2988	3920
4	201	2074	1092	-982	-780	217	-21	-800	2080	-3984	-1904

Çizelge 3.20 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti (devam)

5	221	2242	2948	706	-1762	-1054	-26	-1788	-10117	-4980	-15097
6	235	2366	3709	1343	-1056	-2463	-31	-1087	-23642	-5976	-29618
7	246	2450	2883	433	287	-2847	-36	251	-27332	-6972	-34303
8	252	2504	2468	-36	720	-2343	-41	679	-22497	-7968	-30464
9	257	2533	2480	-53	684	-1641	-47	637	-15758	-8964	-24721
10	258	2547	2480	-67	631	-984	-52	579	-9447	-9960	-19407
11	260	2561	2480	-82	564	-387	-57	506	-3714	-10956	-14670
12	261	2576	2480	-96	482	136	-62	420	1304	-11952	-10648
13	262	2508	2450	-59	386	570	-67	319	5470	-12948	-7478
14	247	2438	2385	-53	327	926	-73	255	8893	-13944	-5050
15	248	2304	2213	-91	274	1227	-78	196	11779	-14940	-3160
16	220	1912	1872	-40	183	1456	-83	100	13973	-15935	-1962
17	169	1395	1391	-4	143	1619	-88	55	15541	-16931	-1391
18	115	878	933	54	139	1760	-93	46	16898	-17927	-1030
19	64	417	327	-90	193	1926	-99	95	18494	-18923	-430
20	21	0	0	0	104	2075	-104	0	19919	-19919	0



Şekil 3.29 Gemi boyunca, gemiye etkiyen kuvvet dağılımı



Şekil 3.30 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı

3.5 Dalgalı Durumlar

Teknenin açık denizde daha çok karşılaştığı ve mukavemet açısından kritik değerlere ulaşılabildiği durum sakin su değil de, denizin dalgalı olduğu durumlardır. Denizde görülebilen dalgaların bir özel bir formu ya da basitliği yoktur. Gerçek durumu en yakın betimleyen karışık dalgalardır; ancak mukavemet hesaplarında işimize yarayacak bazı basitleştirmelere gitmek gerekmektedir.

- Örneğin dalga formunu belirleyebilmek ve hesaplamalara devam edebilmek için geometrisi çıkarılabilen cosinüs dalga formu veya trokoidal dalga formu kabul edilebilir. Buradaki çalışmalar trokoidal dalga formu üzerine yapılmıştır.
- Bu bölümün başında da belirtildiği gibi, en tehlikeli durumu doğuracağından dalga boyu gemi boyuna eşit alınmıştır.
- Tekne dalgaya dik bir vaziyette konumlandığı kabul edilmiştir. Yalpa hareketinden doğan açı yok sayılmıştır.
- Dalga yarı yüksekliği ise işlemleri basitleştirmek için 1 metre olarak alınmıştır.

Diğer taraftan, dalga yüksekliğini bir metre almış olmak birim yükseklik için hesap yapmak anlamını da taşımaktadır. Gerektiği takdirde, örneğin farklı bir dalga yüksekliği ile hesap yapılmak istendiğinde ya da farklı bir tekne için hesap yapılmak istendiğinde birim dalga yüksekliğinden istenilen yükseklik değerine kolayca değişim gerçekleştirilebilir.

Dalga formuna ve dalga tepesi ya da çukuru olmasına bağlı olarak deplasman ve trim düzeltilmelidir. Örneğin dalga tepesinde iken, sakin su durumundaki su çekiminde gemi deplasmanı geminin toplam ağırlığından fazla olacaktır. Dolayısıyla dengeyi tekrar kurabilmek için gemi bir miktar yükselmiş ve su çekimi azalmış olacaktır.

Burada anlatılan ne olması gerektiği, nasıl olması gerektiğidir; ancak işlemler sırasında yukarıda anlatılanlara fazla kafa yormadan MS Excel çözücü yardımıyla gerekli su çekimi değerini, LCB'nin yerini ve trimi kolayca bulmak mümkündür. Çözücü ile nasıl çalışıldığı, neler yapılması gerektiği Bölüm 3.3.3 LCB ve Trim Hesabı'nda anlatılmıştı. Dalgalı durumlar için yapılacak işlemlerde de herhangi bir fark olmayacaktır. Dalga çukuru ve dalga tepesi için dalga formları, su hattı hesapları, su altı en kesit alanları gibi hesaplar sakin su durumundaki hesaplara benzer şekilde aşağıda verilmiştir.

Su altı en kesit alanlarına bağlı olarak kesme kuvveti ve eğilme momenti hesapları da ilerleyen bölümlerde verilmiştir ancak buradaki hesaplar sakin su durumundakinden biraz farklıdır.

Burada, dalgadan doğan dinamik yükler göz önüne alınır. Bu nedenle sakin su durumunda ortaya çıkan kesme kuvveti ve eğilme momentlerinden farkı görülmek istenir. İleride göreceğimiz gibi, DNV klas kuruluşunun da kural gereksinimlerinde sakin su ve dalgadan doğan, dalgadan ötürü meydana gelen (wave induced) kesme kuvveti ve eğilme momenti ayrıca görülmek istenir. Bu nedenle, sakin su durumunda yapılan kesme kuvveti ve eğilme momenti hesabındaki gibi yükler ve kaldırma kuvveti farkından doğan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri aranmaz.

Teknenin ve elemanlarının ağırlıkları dalga olması ya da olmamasına göre değişmemektedir. Kargo, yakıt, su, vs gibi ağırlıkların konumlarının da değişmediği kabul edilebilir. Bu nedenle ağırlıklardan dolayı oluşacak kuvvetler ve momentlerin her zaman aynı olduğu düşünülebilir.

Sakin su durumunda kaldırma kuvveti ve ağırlık dağılımı hesapları yapılmış, kesme kuvveti, eğilme momenti bulunmuştur. Ağırlık dağılımı aynı olduğundan, kaldırma kuvveti dağılımının farkı alınarak, meydana gelebilecek moment farkı görülebilir.

Klasların boyuna mukavemet kurallarını, dalgadan ötürü meydana gelen bu değerler için ayrıca sağlamak gerekmektedir. Sakin su durumundaki su altı en kesit alanları ve dolayısıyla kaldırma kuvvetleri ile dalgalı durumdaki su altı en kesit alanlarının farkından dolayı meydana gelen kuvvet ve momentlere bakılır.

Yukarıda anlatılanlar aşağıdaki dalga çukuru ve dalga tepesi hesaplarında daha iyi anlaşılacaktır. Pratik uygulamalar ve hesaplamalar tablo halinde Bölüm 3.5.1.1 ve 3.5.2.1'de verilmiştir.

3.5.1 Dalga Çukuru Durumu

Sakin su hesaplarında örneği görülen MS Excel işlemlerinin benzeri dalga çukuru ve dalga tepesi durumlarında gerçekleştirilir. Aşağıdaki sonuçlar, birkaç iterasyon yapıldıktan sonra bulunan, gerçek sonuca en çok yaklaşılabilen değerlerdir.

Çizelge 3.21 Çözücü verileri

T_0	9.15	[m]
a	0.036	[m]
b	1.533	[m]
ξ	1.6	[m]
n	20	[Posta]

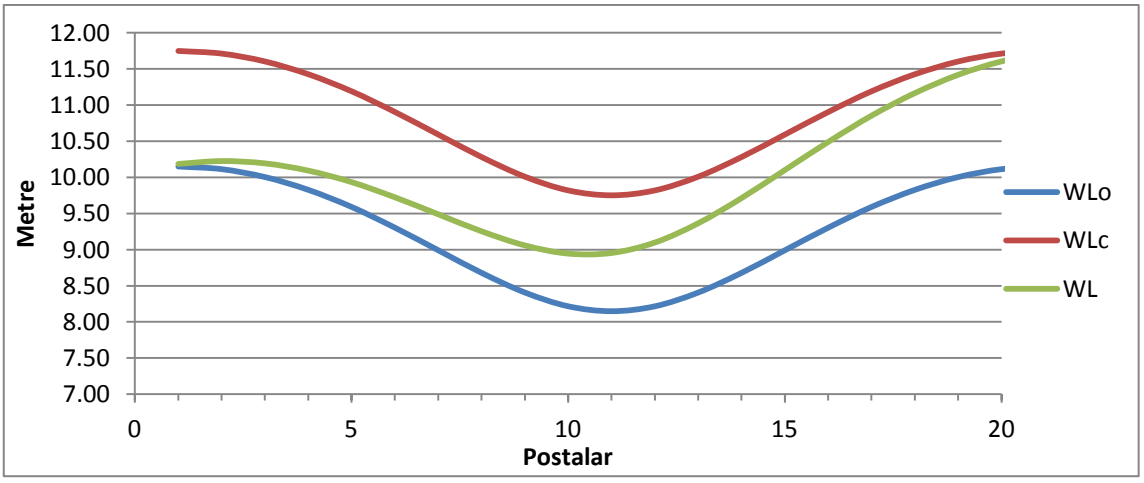
Çizelge 3.22 Dalga çukuru için su hatları hesabı

Pos.	Dalga (m)	T WL_0 (m)	T WL_C (m)	Alan WL_0 (%)	A. WL_C (%)	A. mid (m^2)	a_0 (m^2)	a_c (m^2)	T WL (m)
0	1.000	10.15	11.75	15.82	27.25	361.53	57.21	98.51	10.19
1	0.963	10.11	11.71	29.50	42.20	361.53	106.65	152.58	10.23
2	0.854	10.00	11.60	41.53	54.01	361.53	150.16	195.28	10.19
3	0.677	9.83	11.43	47.08	57.15	361.53	170.22	206.61	10.09
4	0.441	9.59	11.19	55.37	67.33	361.53	200.17	243.42	9.93
5	0.154	9.30	10.90	58.27	70.14	361.53	210.66	253.58	9.72
6	-0.158	8.99	10.59	59.58	71.42	361.53	215.41	258.21	9.49
7	-0.470	8.68	10.28	59.80	71.64	361.53	216.21	259.01	9.25
8	-0.742	8.41	10.01	59.19	71.05	361.53	213.99	256.88	9.06
9	-0.932	8.22	9.82	58.56	70.46	361.53	211.73	254.74	8.94

Çizelge 3.22 Dalga çukuru için su hatları hesabı (devam)

10	-1.000	8.15	9.75	58.06	69.96	361.53	209.89	252.92	8.95
11	-0.932	8.22	9.82	58.56	70.46	361.53	211.73	254.74	9.10
12	-0.742	8.41	10.01	59.98	71.87	361.53	216.86	259.82	9.36
13	-0.470	8.68	10.28	62.01	73.88	361.53	224.20	267.09	9.71
14	-0.158	8.99	10.59	60.02	71.50	361.53	216.99	258.50	10.10
15	0.154	9.30	10.90	62.13	73.61	361.53	224.62	266.13	10.49
16	0.441	9.59	11.19	56.21	67.19	361.53	203.23	242.90	10.85
17	0.677	9.83	11.43	43.60	53.48	361.53	157.64	193.36	11.17
18	0.854	10.00	11.60	29.98	38.02	361.53	108.40	137.45	11.42
19	0.963	10.11	11.71	16.68	21.68	361.53	60.31	78.37	11.61
20	1.000	10.15	11.75	5.59	7.02	361.53	20.22	25.39	11.72

Dalga çukurunda trimli su hattı aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 3.31 Dalga çukuru durumunda su hatları

Çizelge 3.23 Dalga çukuru için en kesitleri alan hesabı

Pos.	a_0 (m²)	a_c (m²)	[3]-[2] (m²)	(a/ξ)+(b/ξ)* ([1]/20)	[4]*[5] (m²)	[2]+[6] (m²)	([7]i+[7]i+1) /2	[8]*([1]$_{i+1}$ -0.5)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
0	57.21	98.51	41.30	0.02	0.93	58.14	84.01	42.01
1	106.65	152.58	45.93	0.07	3.24	109.88	132.69	199.04
2	150.16	195.28	45.12	0.12	5.34	155.50	165.89	414.71
3	170.22	206.61	36.39	0.17	6.05	176.27	192.85	674.99
4	200.17	243.42	43.25	0.21	9.27	209.44	215.67	970.53
5	210.66	253.58	42.92	0.26	11.25	221.91	225.30	1239.13
6	215.41	258.21	42.80	0.31	13.27	228.68	230.11	1495.71
7	216.21	259.01	42.80	0.36	15.32	231.53	231.47	1736.01
8	213.99	256.88	42.89	0.41	17.41	231.40	231.33	1966.27
9	211.73	254.74	43.01	0.45	19.52	231.25	231.37	2197.97
10	209.89	252.92	43.03	0.50	21.59	231.48	233.43	2450.98
11	211.73	254.74	43.01	0.55	23.64	235.37	238.95	2747.96
12	216.86	259.82	42.96	0.60	25.67	242.53	247.21	3090.12
13	224.20	267.09	42.89	0.65	27.68	251.88	248.83	3359.19
14	216.99	258.50	41.51	0.69	28.79	245.77	250.58	3633.47
15	224.62	266.13	41.51	0.74	30.78	255.39	244.97	3797.01

Çizelge 3.23 Dalga çukuru için en kesitleri alan hesabı (devam)

16	203.23	242.90	39.68	0.79	31.31	234.54	211.04	3482.22
17	157.64	193.36	35.72	0.84	29.90	187.54	160.83	2814.48
18	108.40	137.45	29.05	0.89	25.71	134.11	105.64	1954.30
19	60.31	78.37	18.06	0.93	16.85	77.17	51.23	998.98
20	20.22	25.39	5.17	0.98	5.07	25.29	12.65	0.00
						∑:	3946	39265

MS Excel çözücü sayesinde iterasyonlardan sonra bulunan trimli su hattına göre LCB ve deplasmanın, LCG ve toplam ağırlığa eşitlenmiş olduğu aşağıda görülebilir.

Çizelge 3.24 Dalga çukuru için deplasman ve LCB hesabı

Sağlama		
Deplasman	38829	[ton]
LCB	95.52	[m]
LCG	95.52	[m]
Toplam ağırlık	38829	[ton]
Mesafe farkı	0.00	[m]
Ağırlık farkı	0.00	[ton]

3.5.1.1 Dalga Çukuru Durumunda Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı

Aşağıdaki çizelgede sakin su durumundaki ve dalga çukuru durumundaki su altı en kesit alanları farklarından dolayı ortaya çıkan kesme kuvveti ve eğilme momenti hesapları bulunabilir.

2. sütun sakin su en kesit alanlarını, 3. sütun ise dalgalı durumdaki en kesit alanlarını vermektedir. Devamındaki matematiksel işlemler, kesme kuvveti ve eğilme momentinin nasıl bulunduğu da tablonun ilk sırasından takip edilebilir. Kuvvet ve momentin bulunmasındaki adımlar sakin su durumundaki prosedürle benzerdir.

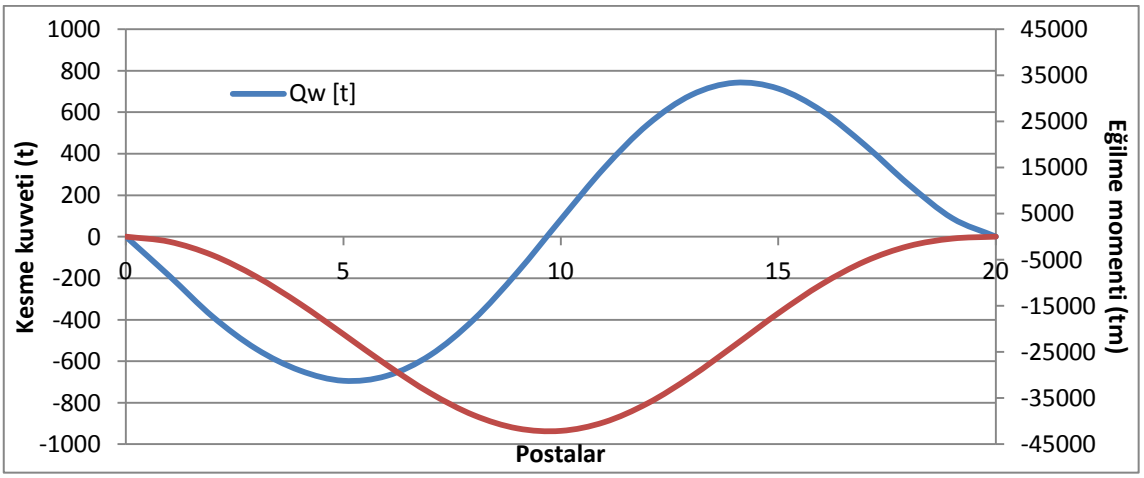
Çizelge 3.25 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti

Pos.	Sakin Su Alanları (m^2)	Dalga Çukuru Alanları (m^2)	[2] - [3]	$[4]_i+[4]_{i-1}+[5]_{i-1}$	$[5]_i+[5]_{i-1}+[6]_{i-1}$	0.5*g*dl*[5]	dQw	Qw (t)	$0.25*g*dL^2*[6]$	dMw	Mw (t.m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
0	40.9	58.1	-17.3	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0
1	88.9	109.9	-21.0	-38	-38	-188.1	-1.0	-189	-903	-199	-1102
2	136.6	155.5	-18.9	-78	-155	-384.4	-2.1	-386	-3651	-397	-4048
3	163.9	176.3	-12.3	-109	-342	-538.3	-3.1	-541	-8080	-596	-8676
4	200.9	209.4	-8.5	-130	-582	-640.9	-4.1	-645	-13740	-795	-14535
5	220.6	221.9	-1.4	-140	-852	-689.4	-5.2	-695	-20126	-994	-21119
6	235.1	228.7	6.4	-135	-1127	-664.5	-6.2	-671	-26625	-1192	-27817
7	245.7	231.5	14.2	-114	-1377	-563.2	-7.2	-570	-32518	-1391	-33909
8	252.3	231.4	20.9	-79	-1571	-390.8	-8.3	-399	-37097	-1590	-38687
9	256.7	231.2	25.4	-33	-1683	-163.1	-9.3	-172	-39755	-1789	-41544
10	258.1	231.5	26.6	19	-1698	93.0	-10.4	83	-40091	-1987	-42079
11	259.6	235.4	24.2	70	-1609	343.1	-11.4	332	-37998	-2186	-40184

Çizelge 3.25 Kesme kuvveti ve Eğilme Momenti (devam)

12	261.0	242.5	18.5	112	-1427	553.1	-12.4	541	-33696	-2385	-36081
13	262.5	251.9	10.6	141	-1173	696.2	-13.5	683	-27700	-2584	-30283
14	247.3	245.8	1.6	154	-878	756.0	-14.5	742	-20729	-2782	-23512
15	248.3	255.4	-7.1	148	-576	728.7	-15.5	713	-13603	-2981	-16584
16	220.0	234.5	-14.6	126	-301	622.0	-16.6	605	-7119	-3180	-10299
17	168.6	187.5	-19.0	93	-82	456.9	-17.6	439	-1940	-3379	-5319
18	114.9	134.1	-19.2	55	65	269.2	-18.6	251	1545	-3577	-2032
19	63.6	77.2	-13.6	22	142	108.1	-19.7	88	3356	-3776	-420
20	21.1	25.3	-4.2	4	168	20.7	-20.7	0	3975	-3975	0

Dalga çukuru durumunda, dalgadan ötürü meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti grafikleri Şekil 3.32'de verilmiştir. Bu değerlerin, grafiklerin kural değerlerini geçmemesi istenir. Bölüm 3.6.2 Dalgalı Durumdan Kaynaklanan Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları'nda daha detaylı işlenecek ve kuralları sağlayıp, sağlamadığı incelenecektir.



Şekil 3.32 Dalga çukuru durumunda kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı

3.5.2 Dalga Tepesi Durumu

Dalga çukurundaki adımlar aynen uygulanır. Buradaki tek fark dalga formudur, Çizelge 3.27'den dalga formu izlenebilir. Aşağıdaki sonuçlar, birkaç iterasyon yapıldıktan sonra bulunan, gerçek sonuca en çok yaklaşılabilen değerlerdir.

Çizelge 3.26 Çözücü verileri

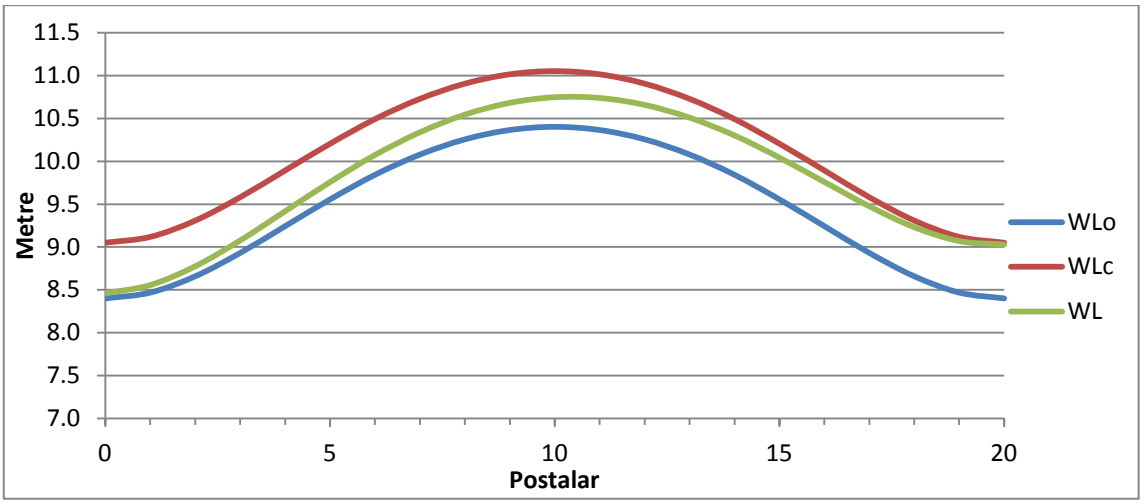
T_0	9.4	[m]
a	0.0620	[m]
b	0.5687	[m]
ε	0.65	[m]
n	20	[Posta]

Çizelge 3.27 Dalga tepesi için su hatları hesabı

Pos.	Dalga (m)	T WL_0 (m)	T WL_C (m)	Alan WL_0 (%)	Alan WL_C (%)	A mid (m^2)	a_0 (m^2)	a_c (m^2)	T WL (m)
0	-1.000	8.4	9.1	6.3	9.4	361.5	22.76	33.98	8.46
1	-0.932	8.5	9.1	17.8	22.2	361.5	64.53	80.17	8.56
2	-0.742	8.7	9.3	31.5	36.2	361.5	113.75	131.00	8.78
3	-0.470	8.9	9.6	41.2	45.5	361.5	148.84	164.37	9.08
4	-0.158	9.2	9.9	52.8	57.6	361.5	190.77	208.29	9.42
5	0.154	9.6	10.2	60.1	64.9	361.5	217.37	234.81	9.76

Çizelge 3.27 Dalga tepesi için su hatları hesabı (devam)

6	0.441	9.8	10.5	65.9	70.7	361.5	238.16	255.52	10.07
7	0.677	10.1	10.7	70.1	74.9	361.5	253.61	270.91	10.34
8	0.854	10.3	10.9	72.9	77.6	361.5	263.43	280.73	10.54
9	0.963	10.4	11.0	74.5	79.3	361.5	269.30	286.65	10.68
10	1.000	10.4	11.1	74.8	79.6	361.5	270.29	287.64	10.75
11	0.963	10.4	11.0	74.5	79.3	361.5	269.30	286.65	10.74
12	0.854	10.3	10.9	73.7	78.5	361.5	266.39	283.74	10.66
13	0.677	10.1	10.7	72.4	77.2	361.5	261.67	279.02	10.51
14	0.441	9.8	10.5	66.1	70.8	361.5	238.99	255.87	10.30
15	0.154	9.6	10.2	63.9	68.6	361.5	231.09	247.93	10.04
16	-0.158	9.2	9.9	53.9	58.3	361.5	194.74	210.59	9.76
17	-0.470	8.9	9.6	38.4	42.1	361.5	138.80	152.37	9.48
18	-0.742	8.7	9.3	24.0	26.8	361.5	86.94	96.99	9.23
19	-0.932	8.5	9.1	12.7	14.2	361.5	45.99	51.26	9.07
20	-1.000	8.4	9.1	4.6	4.9	361.5	16.63	17.87	9.03



Şekil 3.33 Dalga tepesi durumunda su hatları

Çizelge 3.28 Dalga tepesi için en kesitleri alan hesabı

Pos.	a_0 (m^2)	a_c (m^2)	[3]-[2] (m^2)	(a/ξ)+(b/ξ)* ([1]/20)	[4]*[5] (m^2)	[2]+[6] (m^2)	([7]i+[7]i+1) /2	[8]*([1]$_{i+1}$ -0.5)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
0	22.8	34.0	11.2	0.10	1.1	23.8	45.3	22.6
1	64.5	80.2	15.6	0.14	2.2	66.7	91.8	137.7
2	113.8	131.0	17.3	0.18	3.2	116.9	134.6	336.6
3	148.8	164.4	15.5	0.23	3.5	152.4	173.9	608.8
4	190.8	208.3	17.5	0.27	4.7	195.5	209.2	941.3
5	217.4	234.8	17.4	0.31	5.5	222.8	233.6	1284.9
6	238.2	255.5	17.4	0.36	6.2	244.4	252.5	1641.0
7	253.6	270.9	17.3	0.40	6.9	260.6	265.8	1993.8

Çizelge 3.28 Dalga tepesi için en kesitleri alan hesabı (devam)

8	263.4	280.7	17.3	0.45	7.7	271.1	274.5	2332.9
9	269.3	286.7	17.3	0.49	8.5	277.8	278.7	2647.3
10	270.3	287.6	17.3	0.53	9.2	279.5	279.4	2933.9
11	269.3	286.7	17.3	0.58	10.0	279.3	278.2	3199.7
12	266.4	283.7	17.3	0.62	10.8	277.2	275.2	3439.7
13	261.7	279.0	17.4	0.66	11.5	273.2	262.1	3537.9
14	239.0	255.9	16.9	0.71	12.0	250.9	247.3	3586.5
15	231.1	247.9	16.8	0.75	12.7	243.7	225.5	3496.0
16	194.7	210.6	15.9	0.80	12.6	207.3	178.8	2949.7
17	138.8	152.4	13.6	0.84	11.4	150.2	123.0	2152.5
18	86.9	97.0	10.0	0.88	8.9	95.8	73.3	1356.9
19	46.0	51.3	5.3	0.93	4.9	50.9	34.4	669.9
20	16.6	17.9	1.2	0.97	1.2	17.8	8.9	-4.5
						∑:	3946.0	39269.6

Çizelge 3.29 Dalga tepesi için deplasman ve LCB hesabı

Sağlama		
Deplasman	38829	(ton)
LCB	95.52	(m)
LCG	95.52	(m)
Toplam ağırlık	38829	(ton)
Mesafe farkı	0.00	(m)
Ağırlık farkı	0.00	(ton)

3.5.2.1 Dalga Tepesi Durumunda Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı

Aşağıdaki çizelgede sakin su durumundaki ve dalga tepesi durumundaki su altı en kesit alanları farklarından dolayı ortaya çıkan kesme kuvveti ve eğilme momenti hesapları bulunabilir. Tablo ve hesap prosedürü dalga çukuru ile aynıdır.

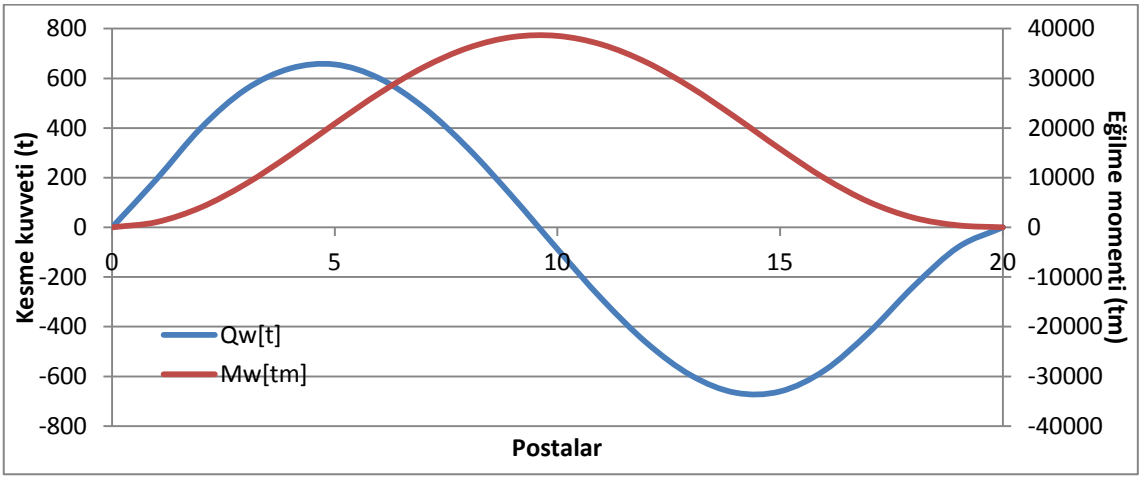
Çizelge 3.30 Kesme kuvveti ve eğilme momenti

Pos.	Sakin Su Alanları (m^2)	Dalga Tepesi Alanları (m^2)	[2] - [3]	$[4]_i+[4]_{i-1}+[5]_{i-1}$	$[5]_i+[5]_{i-1}+[6]_{i-1}$	$0.5*g*dl*[5]$	dQw	Qw (t)	$0.25*g*dL^2*[6]$	dMw	Mw (t.m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
0	40.86	23.83	17.03	0	0	0.00	0	0	0	0	0
1	88.93	66.70	22.22	39	39	193.11	0.80	194	927	132.48	1059
2	136.56	116.91	19.65	81	160	399.12	1.60	401	3770	264.961	4035

Çizelge 3.30 Kesme kuvveti ve eğilme momenti (devam)

3	163.93	152.36	11.57	112	353	552.74	2.40	555	8339	397.441	8736
4	200.92	195.51	5.41	129	595	636.32	3.20	640	14046	529.921	14576
5	220.56	222.85	-2.29	132	857	651.68	4.00	656	20229	662.401	20891
6	235.10	244.37	-9.27	121	1110	594.80	4.80	600	26212	794.882	27006
7	245.71	260.56	-14.85	97	1328	476.15	5.60	482	31352	927.362	32280
8	252.27	271.13	-18.86	63	1487	310.31	6.40	317	35127	1059.84	36187
9	256.66	277.79	-21.13	23	1574	113.56	7.20	121	37162	1192.32	38354
10	258.11	279.54	-21.42	-19	1577	-95.79	8.00	-88	37247	1324.8	38572
11	259.57	279.31	-19.74	-61	1497	-298.30	8.80	-289	35356	1457.28	36813
12	261.02	277.16	-16.13	-97	1340	-474.79	9.60	-465	31645	1589.76	33235
13	262.48	273.19	-10.71	-123	1120	-606.87	10.40	-596	26453	1722.24	28175
14	247.34	250.94	-3.60	-138	859	-677.28	11.20	-666	20289	1854.72	22144
15	248.27	243.75	4.52	-137	585	-672.72	12.00	-661	13809	1987.2	15796
16	219.98	207.35	12.63	-120	328	-588.32	12.80	-576	7756	2119.68	9875
17	168.55	150.19	18.37	-89	120	-435.81	13.59	-422	2840	2252.16	5092
18	114.94	95.81	19.13	-51	-19	-251.33	14.39	-237	-458	2384.65	1926
19	63.60	50.87	12.73	-19	-90	-94.60	15.19	-79	-2119	2517.13	398
20	21.09	17.84	3.25	-3	-112	-15.99	15.99	0	-2650	2649.61	0

Dalga tepesi durumunda, dalgadan ötürü meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti grafikleri Şekil 3.34'te verilmiştir. Bölüm 3.6.2 Dalgalı Durumdan Kaynaklanan Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları'nda daha detaylı işlenecek ve kuralları sağlayıp, sağlamadığı incelenecektir.



Şekil 3.34 Dalga tepesi durumunda kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramı

3.6 DNV Boyuna Mukavemet Kuralları

3.6.1 Sakin Su Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları

Sakin su durumu için çökme ve sarkma durumlarındaki orta kesit eğilme momenti değerleri Bölüm 2.1 Temel Parametreler'de bulunmuştu. Orta kesit kesme kuvveti aşağıdaki formüllerle verilmiştir. Kuvvet ve moment değerleri ile birlikte gemi boyunca, izin verilebilir değerlerin dağılımını sağlayan katsayılar da aşağıdaki Çizelge 3. 31-Çizelge 3.34'de verilmiştir. Posta posta izin verilebilir değerler ise Çizelge 3.35 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri'nde verilmiştir.

$$Q_{SO} = 5\frac{M_{SO}}{L}\,(kN) \tag{3.41}$$

Burada M_{SO} orta kesit kural momentidir. Çökme veya sarkma durumuna bağlı olarak hesaplanan moment değeri için, çökme ve sarkma durumlarındaki kesme kuvveti bulunabilir.

Çizelge 3.31 Eğilme momenti diyagramı dalga çukuru kural değerleri

M_{so} (kNm)	-901296
K_{sm}: ap, fp	0
K_{sm}: 0.1L, 0.9L	0.15
K_{sm}: 0.3L-0.7L	1

Çizelge 3.32 Eğilme momenti diyagramı dalga tepesi kural değerleri

M_{so} (kNm)	1066501
K_{sm}: ap, fp	0
K_{sm}: 0.1, 0.9	0.15
K_{sm}: 0.4-0.6	1

Çizelge 3.33 Kesme kuvveti diyagramı dalga çukuru kural değerleri

Q_{so} (kN)	-23471
K_{sq}: ap, fp	0
K_{sq}: 0.15L-0.3L	1
K_{sq},: 0.4L-0.6L	0.8
K_{sq},: 0.7L-0.85L	1

Çizelge 3.34 Kesme kuvveti diyagramı dalga tepesi kural değerleri

Q_{so} (kNm)	27773.5
K_{sq}: ap, fp	0
K_{sq}: 0.15L-0.3L	1
K_{sq}: 0.4L-0.6L	0.8
K_{sq}: 0.7L-0.85L	1

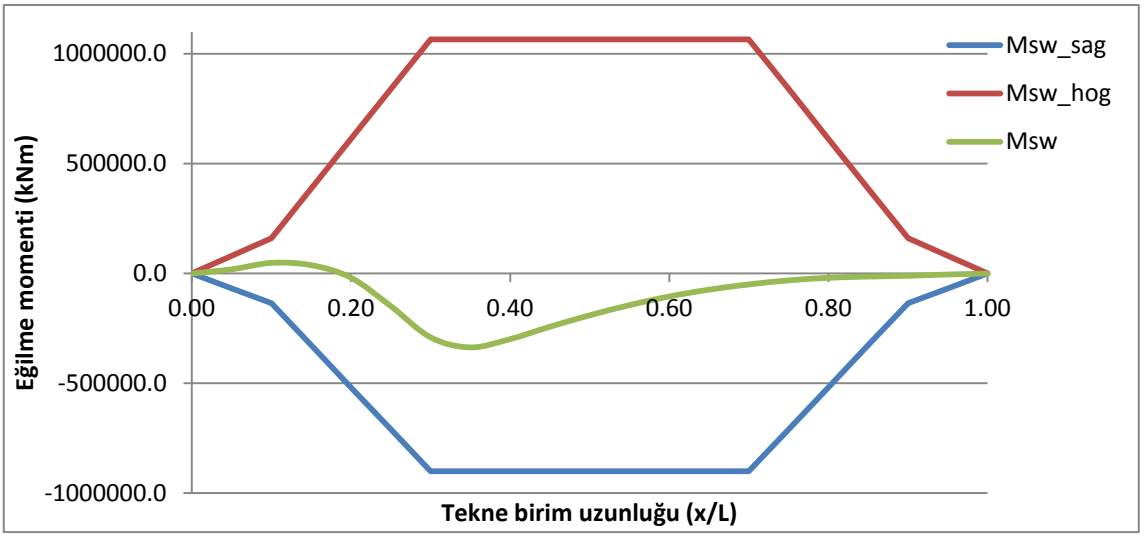
Sakin su durumu için Çizelge 3.20'da ton ve ton-metre birimlerinde bulunan kesme kuvveti ve moment değerleri yer çekimi ivmesi (g) ile çarpılarak Çizelge 3.35'teki Q_{sw} ve M_{sw} değerleri sırası ile kN ve kN.m olarak bulunur.

Çizelge 3.35 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri

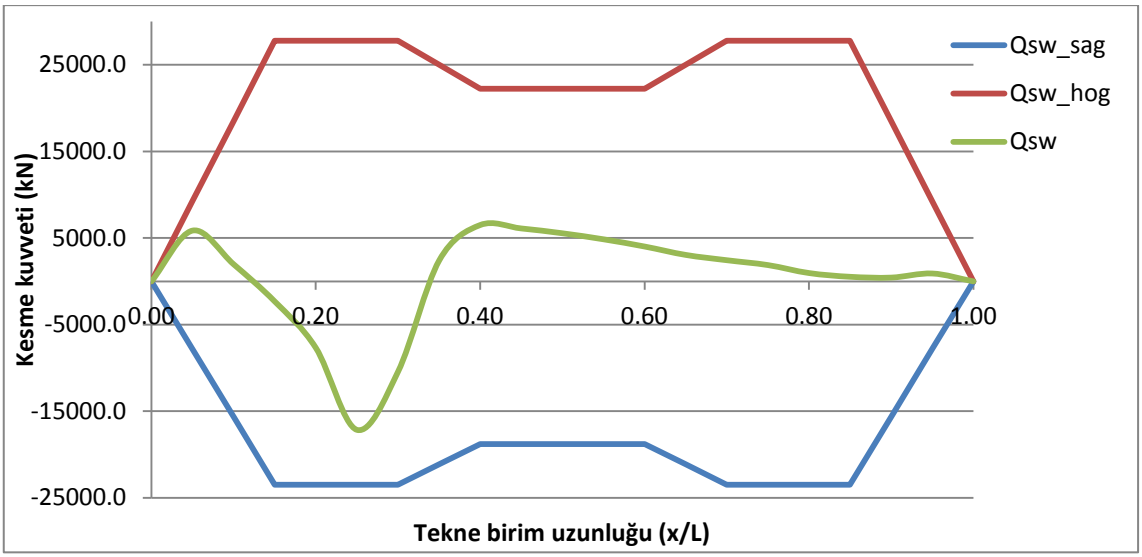
dL*Pos./L	Posta	$M_{sw, Sag}$ (kNm)	$M_{sw, Hog}$ (kNm)	M_{sw} (kNm)	$Q_{sw, Sag}$ (kN)	$Q_{sw, Hog}$ (kN)	Q_{sw} (kN)
0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.05	1	-67597.2	79987.6	19265.8	-7823.8	9257.8	5869.9
0.10	2	-135194.4	159975.2	48708.3	-15647.5	18515.6	1975.1
0.15	3	-326719.9	386606.7	38458.6	-23471.3	27773.5	-2321.8
0.20	4	-518245.3	613238.1	-18673.4	-23471.3	27773.5	-7682.5
0.25	5	-709770.8	839869.6	-148102.7	-23471.3	27773.5	-17160.9
0.30	6	-901296.2	1066501.1	-290549.5	-23471.3	27773.5	-10436.0
0.35	7	-901296.2	1066501.1	-336516.2	-21124.1	24996.1	2409.2
0.40	8	-901296.2	1066501.1	-298854.4	-18777.0	22218.8	6514.0

Çizelge 3.35 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (devam)

0.45	9	-901296.2	1066501.1	-242517.5	-18777.0	22218.8	6117.0
0.50	10	-901296.2	1066501.1	-190379.9	-18777.0	22218.8	5558.2
0.55	11	-901296.2	1066501.1	-143909.0	-18777.0	22218.8	4862.1
0.60	12	-901296.2	1066501.1	-104452.4	-18777.0	22218.8	4028.6
0.65	13	-901296.2	1066501.1	-73357.7	-21124.1	24996.1	3057.7
0.70	14	-901296.2	1066501.1	-49542.7	-23471.3	27773.5	2444.9
0.75	15	-709770.8	839869.6	-31001.6	-23471.3	27773.5	1882.9
0.80	16	-518245.3	613238.1	-19249.6	-23471.3	27773.5	961.2
0.85	17	-326719.9	386606.7	-13641.9	-23471.3	27773.5	530.7
0.90	18	-135194.4	159975.2	-10103.0	-15647.5	18515.6	439.8
0.95	19	-67597.2	79987.6	-4217.1	-7823.8	9257.8	909.6
1.00	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



Şekil 3.35 Sakin su eğilme momenti kural diyagramı



Şekil 3.36 Sakin su kesme kuvveti kural diyagramı

Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'daki grafikler Çizelge 3.35'teki değerlere göre oluşturulmuştur. Yukarıdaki grafiklerden rahatça izlenebileceği gibi sakin su durumunda, ağırlık ve kaldırma kuvveti dağılımına göre meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri kuralları sağlamıştır. Diğer bir deyişle, geminin etkisi altında kaldığı kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri, klasların verdiği sınır değerlerinin altında kalmış, kritik değerlere ulaşmamıştır.

3.6.2 Dalgalı Durumdan Kaynaklanan Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Kuralları

Dalga çukuru durumu için çökme ve dalga tepesi durumu için sarkma kural moment değerleri Bölüm 2.1 Temel Parametreler'de bulunmuştu. Kesme kuvvetleri ise aşağıdaki formüllerle verilmiştir. Kuvvet ve moment değerleri ile birlikte gemi boyunca, izin verilebilir değerlerin dağılımını sağlayan katsayılar da aşağıdaki Çizelge 3.38 ve Çizelge 3.39'da verilmiştir. Posta posta izin verilebilir değerler ise Çizelge 3.35 Sakin su kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri Çizelge 3.40'de verilmiştir.

$$Q_{WP} = 0.3\beta k_{wqp} C_W LB(C_B + 0.7) = 21665.8\,(kN) \tag{3.42}$$

$$Q_{WN} = -0.3\beta k_{wqn} C_W LB(C_B + 0.7) = -21665.8\,(kN) \tag{3.43}$$

Burada kesme kuvveti mutlak değer olarak aynıdır; ancak sarkma (hogging) ve çökme (sagging) durumları için sırası ile pozitif ve negatif olmasına göre farklılık

göstermektedir. Orta kesit için elde edilen değerler işaret farkından başka aynı olsa da, kesme kuvvetinin gemi boyunca dağılımı k_{wq}'ların farklılık göstermesi ile değişir, aşağıdaki çizelgelerden takip edilebilir. β ise, deniz koşulları için 1, liman durumu için 0.5 olarak alınır. Tabii ki, burada gemi sefere gideceği düşünüldüğü için 1 alınır.

Çizelge 3.36 Dalgalı durum eğilme momenti diyagramı dalga çukuru kural değerleri

M_w	-1525271
K_{wm}: ap, fp	0
K_{wm}: 0.4L-0.65L	1

Çizelge 3.37 Dalgalı durum eğilme momenti diyagramı dalga tepesi kural değerleri

M_w	1360066
K_{wm}: ap, fp	0
K_{wm}: 0.4L-0.65L	1

Çizelge 3.38 Dalgalı durum kesme kuvveti diyagramı dalga çukuru kural değerleri

Q_{wn}	-21665.8
K_{wqn}: ap, fp	0
K_{wqn}: 0.2L-0.3L	0.92
k_{wqn}: 0.4L-0.6L	0.7
k_{wqn}: 0.7L-0.85L	0.89

Çizelge 3.39 Dalgalı durum kesme kuvveti diyagramı dalga tepesi kural değerleri

Q_{wp}	21665.8
k_{wqp}: ap, fp	0
k_{wqp}: 0.2L-0.3L	0.82
k_{wqp}: 0.4L-0.6L)	0.7
k_{wqp}: 0.7L-0.85L)	1

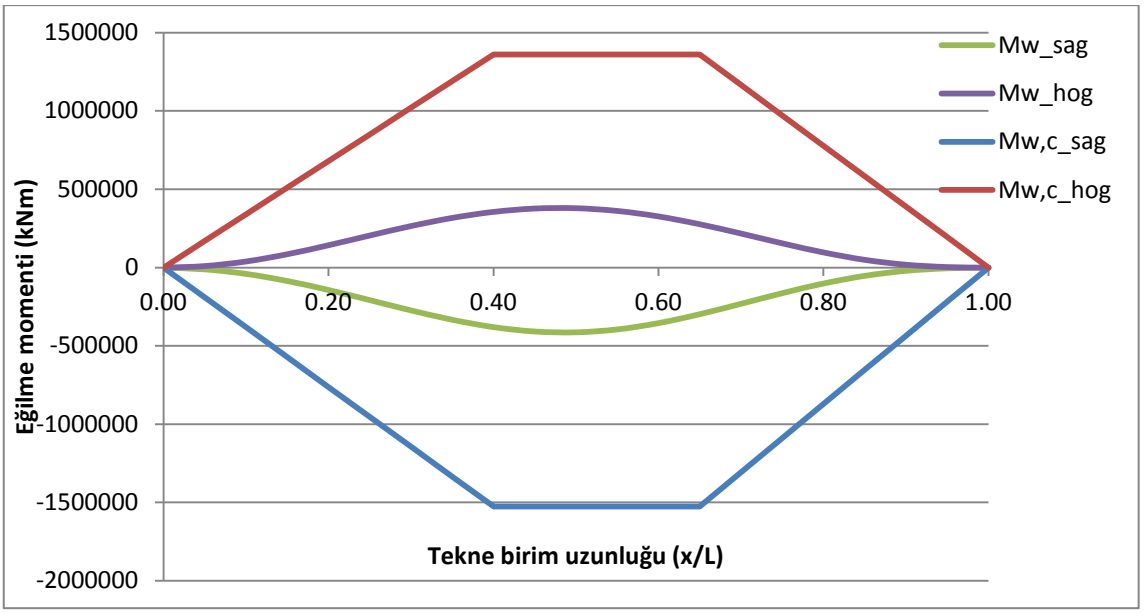
Dalga çukuru durumu için Çizelge 3.25'te ve dalga tepesi durumu için Çizelge 3.30'da ton ve ton-metre birimlerinde bulunan kesme kuvveti ve moment değerleri yer çekimi ivmesi (g) ile çarpılarak Çizelge 3.40'taki $Q_{w,sag}$, $Q_{w,hog}$ ve $M_{w,sag}$, $M_{w,hog}$ değerleri sırası ile kN ve kN.m olarak bulunur.

Çizelge 3.40 Dalgadan kaynaklanan kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri

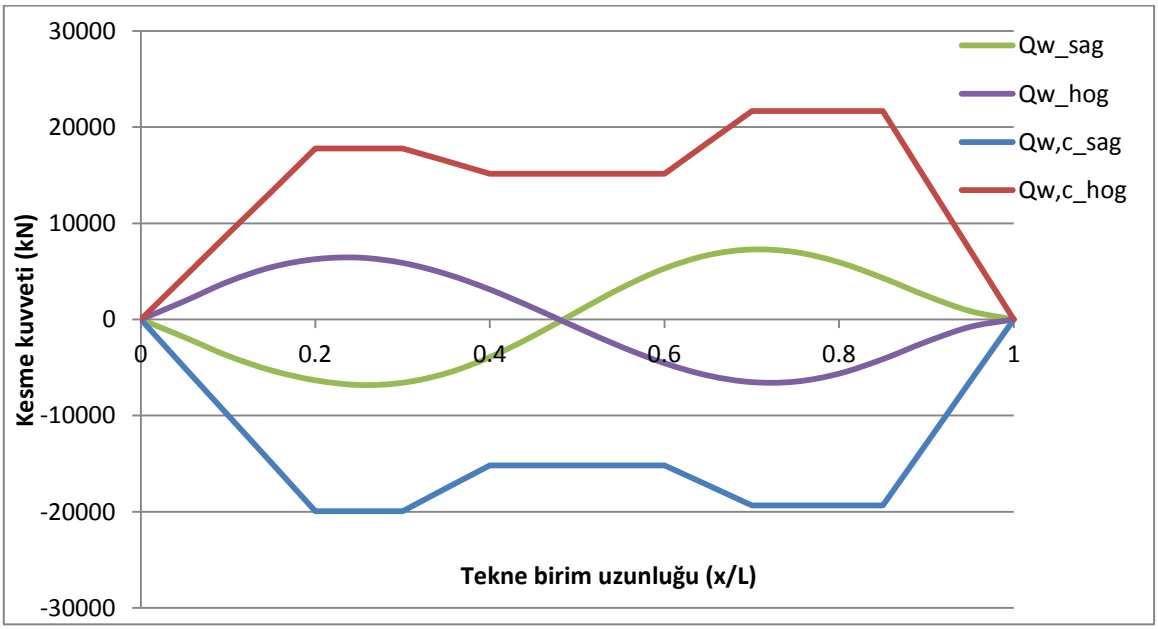
dL*Pos./L	Posta	$M_{w,c,sag}$	$M_{w,c,hog}$	$M_{w,sag}$	$M_{w,hog}$	$Q_{w,c,sag}$	$Q_{w,c,hog}$	$Q_{w,sag}$	$Q_{w,hog}$
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	1	-190659	170008	-10807	10393	-4983	4446	-1855	1902
0.10	2	-381318	340016	-39714	39580	-9966	8892	-3791	3931
0.15	3	-571976	510025	-85112	85701	-14949	13338	-5311	5446
0.20	4	-762635	680033	-142588	142991	-19933	17784	-6328	6274
0.25	5	-953294	850041	-207180	204940	-19933	17784	-6814	6432
0.30	6	-1143953	1020049	-272885	264934	-19933	17784	-6580	5882
0.35	7	-1334612	1190057	-332645	316662	-17549	16475	-5596	4726

Çizelge 3.40 Dalgadan kaynaklanan kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (devam)

0.40	8	-1525271	1360066	-379515	354995	-15166	15166	-3915	3107
0.45	9	-1525271	1360066	-407543	376254	-15166	15166	-1691	1185
0.50	10	-1525271	1360066	-412791	378391	-15166	15166	811	-861
0.55	11	-1525271	1360066	-394206	361134	-15166	15166	3254	-2840
0.60	12	-1525271	1360066	-353957	326031	-15166	15166	5304	-4564
0.65	13	-1525271	1360066	-297080	276397	-17258	18416	6698	-5851
0.70	14	-1307375	1165771	-230649	217228	-19350	21666	7274	-6534
0.75	15	-1089479	971475	-162687	154959	-19350	21666	6996	-6482
0.80	16	-871583	777180	-101034	96879	-19350	21666	5940	-5646
0.85	17	-653687	582885	-52178	49954	-19350	21666	4310	-4142
0.90	18	-435792	388590	-19935	18898	-12900	14444	2458	-2324
0.95	19	-217896	194295	-4117	3908	-6450	7222	868	-779
1.00	20	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 3.37 Dalgadan kaynaklanan eğilme momenti kural diyagramı



Şekil 3.38 Dalgadan kaynaklanan kesme kuvveti kural diyagramı

Şekil 3.37 ve Şekil 3.38, Çizelge 3.40'teki değerlere göre oluşturulmuştur. Yukarıdaki grafiklerden rahatça izlenebileceği gibi dalga çukuru ve tepesi durumlarında, kaldırma kuvveti farklarından meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri kuralları sağlamıştır.

Diğer bir deyişle, dizayn edilen geminin üzerinde oluşan kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri kritik değerlere ulaşmamış, şu ana kadar ki tüm kuralları sağlamıştır.

Dizayn aşamasının tamamlanması ve klas kuruluşu kurallarının sağlanması için son bir adım, orta kesit mukavemet modülü hesabı ve izin verilebilir maksimum gerilme değerinin bulunmasıdır.

Bir önceki bölümde, boyutlandırılan tekne için gerçek mukavemet modülü hesaplanmış, minimum kural değerini sağladığı görülmüştü. Buradaki adım ise izin verilebilir gerilme değerini kontrol etmektir.

3.7 İzin Verilebilir Maksimum Gerilme

Tekneye etki eden kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri bulunduktan sonra malzeme özelliklerine de bağlı olarak teknenin bu değerler altında güvenli bir şekilde çalışıp çalışamayacağı incelenmelidir.

Bölüm 2'de orta kesit mukavemet modülü, minimum kural değerini sağlamıştı. Bu bölüm içerisinde de kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri kural değerlerini sağlamıştı. O halde orta kesit mukavemet modülüne ve maksimum eğilme momentine bağlı olarak teknenin etkisi altında kaldığı gerilme değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

Çizelge 3.41 Tekneye etki eden eğilme momenti değerleri

Posta	M_{sw} (kNm)	$M_{w,sag}$ (kNm)	$M_{w,hog}$ (kNm)	$M_{sw}+M_{w,sag}$ (kNm)	$M_{sw}+M_{w,hog}$ (kNm)
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	19265.8	-10806.8	10393.0	8459.0	29658.8
2	48708.3	-39714.3	39579.8	8994.0	88288.1
3	38458.6	-85112.2	85700.5	46653.6	124159.1
4	-18673.4	-142587.5	142990.6	161260.9	124317.2
5	-148102.7	-207179.6	204939.9	355282.3	56837.2

Çizelge 3.41 Tekneye etki eden eğilme momenti değerleri (devam)

6	-290549.5	-272884.7	264933.7	563434.2	25615.8
7	-336516.2	-332645.3	316662.1	669161.5	19854.1
8	-298854.4	-379515.2	354994.7	678369.6	56140.2
9	-242517.5	-407543.0	376253.9	650060.5	133736.4
10	-190379.9	-412791.3	378390.7	603171.2	188010.8
11	-143909.0	-394206.5	361133.8	538115.5	217224.8
12	-104452.4	-353956.7	326030.6	458409.1	221578.2
13	-73357.7	-297080.4	276397.1	370438.1	203039.4
14	-49542.7	-230649.3	217228.4	280192.0	167685.8
15	-31001.6	-162687.0	154958.9	193688.6	123957.3
16	-19249.6	-101034.0	96878.6	120283.6	77629.1
17	-13641.9	-52177.6	49954.2	65819.5	36312.3
18	-10103.0	-19935.2	18897.8	30038.3	8794.8
19	-4217.1	-4117.2	3908.1	8334.3	309.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tekneye etkiyen maksimum değerler:				678369.6	221578.2

Güvenli bir dizayn için maksimum gerilmenin minimum orta kesit mukavemet modülüne oranı incelenmelidir. O halde, Çizelge 3.41'deki çökme ve sarkma durumlarındaki maksimum eğilme momenti değerleri baz alınmalıdır.

Çökme durumu için maksimum eğilme değeri (M_{sw}+$M_{w,sag}$) 8. postada 678369.6 kNm'dir. Sarkma durumu için ise maksimum eğilme değeri (M_{sw}+$M_{w,hog}$) 12. postada 221578.2 kNm'dir. 8. posta paralel gövde dışarısında kalsa da problemi basitleştirmek için burada da orta kesit mukavemet modülünü kullanabiliriz. 8. ve 9. postalardaki kesit mukavemet modülleri arasında büyük bir fark olmayacaktır.

Bölüm 2.'de gerçekleştirilen boyutlandırmaya göre orta kesit mukavemet modülü değerleri güverte ve dip için sırası ile 12.17 m^3 ise 15.42 m^3'tür. Bu verilere göre çökme ve sarkma durumlarında güverte ve dibin etkisi altında kaldığı gerilme değerler Çizelge 3.42'de verilmiştir.

Çizelge 3.42 Güverte ve dipteki maksimum gerilme değerleri

	Çökme (Sagging)	Sarkma (Hogging)
$\sigma_{güv.}$=	-55.73 (MPa)	18.20 (MPa)
$\sigma_{dib.}$=	43.88 (MPa)	-14.33 (MPa)

Gerilme değerlerini elde etmekle dizayn tamamlanmış olmaz. Güvenli bir dizayn için bu değerlerin izin verilebilir sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı araştırılmalıdır. Dip ve güvertede, akma gerilmesi 355 MPa olan yüksek mukavemetli çelik kullanılmıştı. Güvenli çalışma bölgesini akma gerilmesinin %60'ı olarak belirlersek;

$$(\sigma_{em})_{YMÇ} = 0.6*355 = 213 \text{ (MPa)} \qquad (3.44)$$

$\sigma_{güv.}$=55.73<213=$(\sigma_{em})_{YMÇ}$

Teknenin maruz kaldığı maksimum gerilme değeri çökme durumda güvertede oluşmaktadır; ancak dizaynımız bu maksimum değer için bile güvenlidir.

Diğer taraftan, orta kesit mukavemet modülü hesabında olduğu gibi burada da iki farklı çelik türü için iki farklı maksimum gerilme değeri bulunmalı ve iki durum için de güvenli dizayn gerçekleştirilmelidir.

Normal mukavemetli çelik bölgesinin tarafsız eksene en uzak uç noktası, yani güverteye yakın olan kısma göre orta kesit mukavemet modülü (2.98) ile 15.8 m^3, dibe yakın olan

kısma göre orta kesit mukavemet modülü ise (2.99) ile 20.0 m^3 olarak verilmişti. Bu verilere göre çökme ve sarkma durumlarında normal mukavemetli çelik bölgesinin maruz kaldığı maksimum gerilme değerleri Çizelge 3.43.'te verilmiştir.

Çizelge 3.43.Normal mukavemetli çelik bölgesi maksimum gerilme değerleri

	Çökme (Sagging)	Sarkma (Hogging)
$\sigma_{11.98}$=	-42.72 (MPa)	13.95 (MPa)
$\sigma_{1.4}$=	33.76 (MPa)	-11.03 (MPa)

Kullanılan normal mukavemetli çeliğin akma gerilmesi 235 MPa idi. O halde Güvenli çalışma bölgesi (3.45) denkleminden 141 MPa olarak hesaplanır.

$$(\sigma_{em})NMÇ = 0.6 * 235 = 141 \text{ (MPa)} \quad (3.45)$$

$\sigma_{11.98}$=42.72<141=$(\sigma_{em})_{NMÇ}$

Bu emniyetli gerilme değerine göre normal mukavemetli çelik bölgesi için de dizayn güvenlidir denir.

Sonuç olarak teknenin maruz kaldığı maksimum gerilme değerlerine göre iki koşul için de gerçekleştirilen dizayn güvenlidir.

BÖLÜM 4

4 ANSYS İLE GLOBAL MUKAVEMET DEĞERLENDİRMESİ

Son bölüm olan sonlu elemanlar programı Ansys ile mukavemet değerlendirmesi bölümünde, Bölüm 2'de boyutlandırılan tankerin, mukavemet elemanlarının yapısal dengi modellenecektir. Bölüm 3'te hesaplanan, teknenin formuna, ağırlık dağılımına ve yükleme koşuluna bağlı oluşan, tankerin etkisi altında kaldığı kesme kuvveti ve eğilme momentinin dengi de Ansys içerisinde modellenecektir. Modelleme ayrıntılarına 4.2.1 Modelin Oluşturulması ve 4.2.3 Sınır Koşulları başlıklarında girilecektir.

Sonlu elemanlar yöntemi nedir, ne amaçla kullanılır; Ansys nedir, üstünlükleri, eksiklikleri nelerdir, nerelerde, ne amaçla kullanılır gibi sorulara kısaca değindikten sonra modelleme ve analizlere geçilecektir.

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Ansys'in Temelleri

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), gerilme analizleri, ısı transferi, elektro manyetizma, akışkanlar gibi alanlarda doğrusal ya da doğrusal olmayan, statik veya zamana bağlı olabilen çok geniş mühendislik problemlerinde çözüme ulaşmamızı sağlayan sayısal bir yöntemdir [12]. Sonlu elemanlar analiz (SEA) programları, sanayi kollarından, üniversite ya da devlete bağlı laboratuar araştırmacılar tarafından ortak kabul görmüşlerdir.

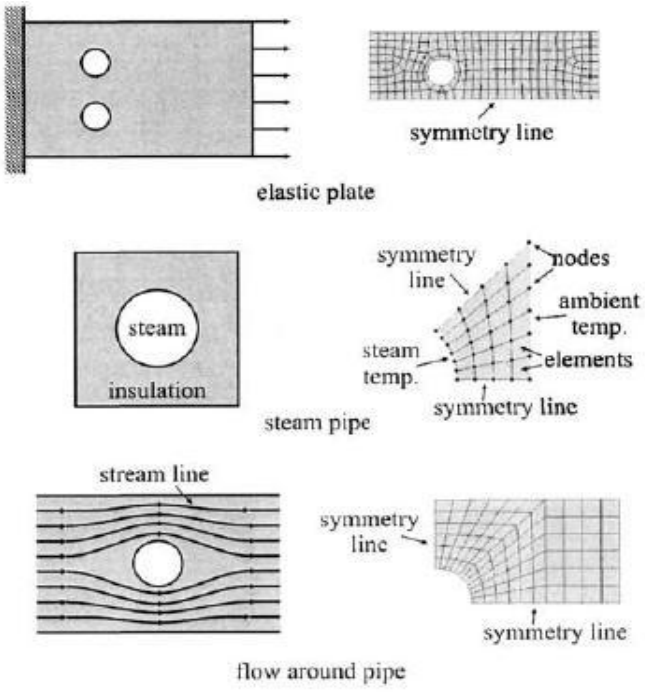
Genellikle mühendislik problemleri fiziksel durumların matematik modelleridir. Bu matematik modeller ise bir dizi sınır ve başlangıç koşullarına bağlı diferansiyel problemlerdir. Diğer taraftan, pratikte kesin sonuca ulaşamadığımız ya da çözümün çok zor ve uğraştırıcı olduğu onlarca mühendislik problemi vardır. Bu tarz problemlerle uğraşmak

için sayısal yöntemlere başvurulur [12]. Bu noktada, sayısal yöntemler yardımıyla matematik modeli kurmak ve bu modelleri çözmek için SEY en iyi yaklaşımlardan birisi, Ansys ise en iyi SEY araçlarından birisidir.

Sonlu elemanlar yönteminin günümüzdeki uygulamaları oldukça fazladır ve diferansiyel eşitliklerle düzenlenen fiziksel tüm problemleri kapsar. Sonlu elemanlar yönteminin yararları, genişçe kullanılmasına yardımcı olmaktadır.

Bu yararların bazıları:

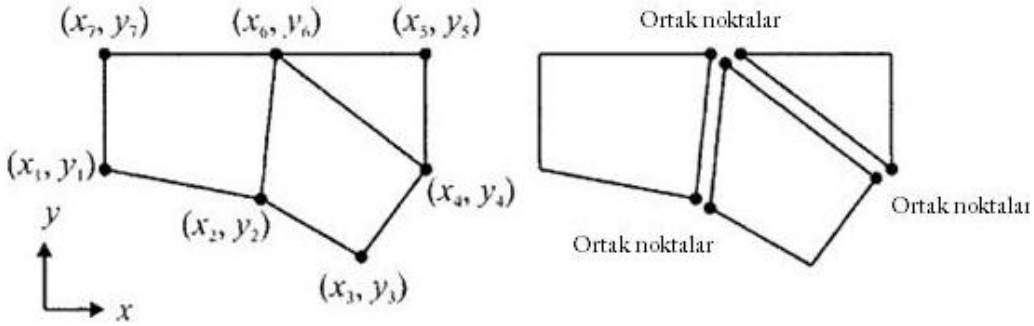
- Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Bu özellik birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkân vermektedir,
- Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilirler,
- Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir,
- Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları yöntem için zorluk oluşturmaz, karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir.



Şekil 4.1 Pratik mühendislik problemlerinin SEY modelleri [13].

Problemin çözümünde, iyi tanımlanmış sonlu sayıda eleman kullanarak yeterli bir model elde edilebilir. Gerçekte elastik sürekli ortamda elemanlar arası bağlantı noktalarının sayısı sonsuzdur. Sonlu elemanlar yönteminde bu sonsuz sayıdaki bağlantı sonlu bir sayıya indirgenir. Cisim sanki sadece bu noktalardan birbiriyle bağlıymış gibi düşünülür. Sonlu sayıda bu bağlantı noktaları ne kadar çoğaltılırsa bu yöntemle yapılan çözümdeki hata oranı o kadar küçülür. Diğer taraftan bu sayının çok fazla artması da sayısal çözümlemede büyük zorluk getirir [14]. Günümüz gelişmiş bilgisayarlarıyla bu zorluk büyük ölçüde giderilmiştir.

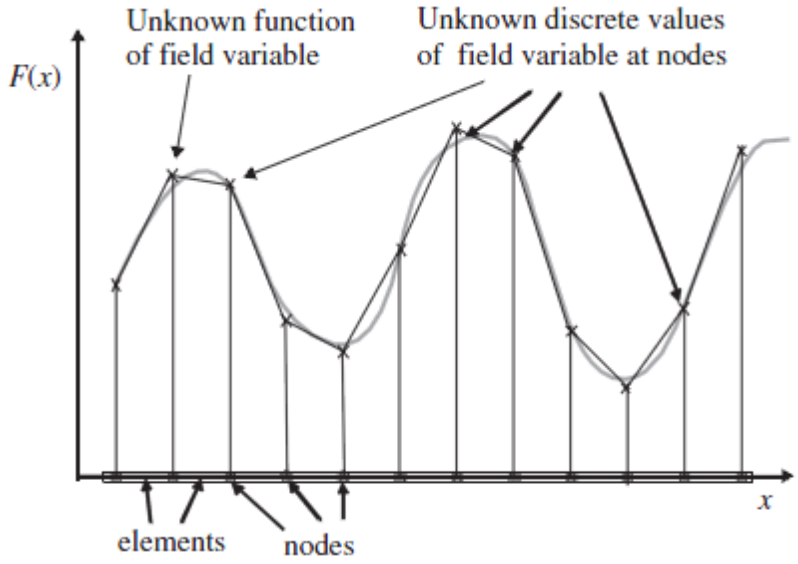
Sonlu elemanlar analizlerinin temeli, varyasyonel ya da ağırlıklı artıklar yöntemini uygulayarak sistematik olarak yaklaşık bir sonuca gidebilmek için sistemi sonlu sayıda alt elemana (element) bölmektir [13]. Fakat asıl diferansiyel denklemlerin çözüleceği düğüm noktaları (nodes) genellikle alt elemanın sınırları boyunca yerleşir ve komşu eleman ile düğüm noktaları vasıtasıyla birleşir. Eleman birleşimleri bu noktaların varlığıyla sağlanır ve çözümler düğüm noktaları üzerinden elde edilir.



Şekil 4.2 Sistemin, alt elemanlara (elements) ve düğüm noktalarına (nodes) bölünmesi

Sonlu elemanlar analizleri aşağıdaki adımları gerektirir;

- Sistemi, alt elemanlara bölmek,
- İnterpolasyon fonksiyonları seçmek,
- Her bir alt eleman için eleman matrisleri oluşturmak,
- Tüm sisteme ait genel matrisi elde edebilmek için tüm eleman matrislerini birleştirmek,
- Sınır şartlarını uygulamak,
- Düğüm noktaları üzerindeki denklemleri çözmek.



Şekil 4.3 Tek boyutlu durum için sonlu elemanlar yaklaşımı [15]

Yukarıdaki şekilde devamlı bir fonksiyona, her bir eleman için “piecewise” doğrusal fonksiyonların kullanımıyla yaklaşım yapılmıştır [15].

Matris formatında, denklemlerin genel sistem matrisi aşağıdaki gibi verilebilir.

Ku=F (4.1)

[rijidlik matrisi] x {yer değiştirme matrisi} = {kuvvet matrisi}

Burada, K tüm sistemin rijidlik matrisidir, u bilinmeyen vektörüdür; gerilme analizinde bu yer değiştirme vektörüdür, F ise sistemin kuvvet vektörüdür.

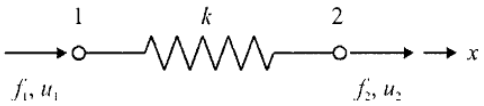
Reaksiyon kuvvetlerini elde etmek için ise aşağıdaki matris denklemleri kurulur.

R=Ku-F (4.2)

[reaksiyon kuvvetleri matrisi] = [rijidlik matrisi] x {yer değiştirme matrisi} - {kuvvet matrisi}

4.1.1 Bir Boyutlu Analizler

En basit haliyle bir boyutlu analizi tanımlamak için aşağıdaki iki boyutlu yay (spring) eleman kullanılarak spring metodu tanımlanır.



Şekil 4.4 Tek boyutlu elemanın yay modeli [13]

Bir ve iki nolu uç noktalarının yer değiştirme farkları yöntemin temelidir. Elemanın uçlarındaki yer değiştirmeler bulunduktan sonra elemanın gerinmesi (strain) bulunabilir, oradan da problemde aranan, gerilme ve reaksiyon kuvvetlerine gidilebilir.

$$u = u_2 - u_1 \tag{4.3}$$

Yaya etkiyen kuvvet;

$$f_1 = ku = k(u_1 - u_2) \tag{4.4}$$

Kuvvetlerin dengesinden;

$$f_2 = -f_1 \tag{4.5}$$

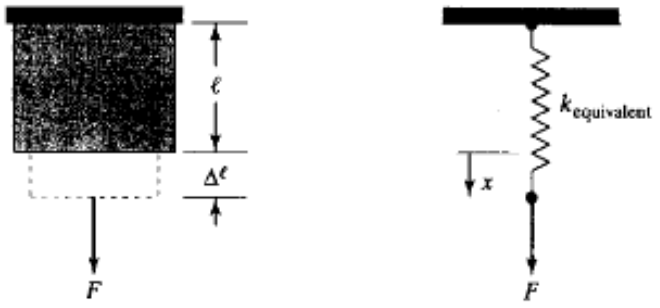
$$f_2 = k(u_2 - u_1) \tag{4.6}$$

(4.4) ve (4.6)'yı birlikte düzenlersek bir elaman için aşağıdaki matris denklemi elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \; veya \; k^{(e)} u^{(e)} = f^{(e)} \tag{4.7}$$

Denklem (4.1)'de verilen genel sistem matrisine benzer, bir eleman için matris gösterimi de (4.7)'deki gibi (e) üst indisi ile verilir.

Buradaki $k^{(e)}$, rijitlik matrisi kullanılan malzemeye ve fiziki problemin geometrisine bağlıdır. Diğer bir deyişle problem tanımlandıktan ve kullanılan malzemeye göre malzeme özellikleri çıkarıldıktan sonra k, elemanın rijidliği sabittir.



Şekil 4.5 Tek eksenli analizin denk rijidliğe modellenmesi [12]

Örneğin Şekil 4.5'teki gibi bir F kuvveti etki eden bir çubuğu yay ile modellersek, elemanın rijidliği aşağıdaki gibi çıkarılabilir. Çubuk elemanın ridliğini simgelediğinden buna k_{eq} diyelim.

Ortalama gerilme F, uygulanan kuvvetin A, en kesit alanı oranına oranı ile elde edilir.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.8}$$

Elemanın gerinmesi birim boy değişiminin ilk boya oranı ile bulunur.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \tag{4.9}$$

Aynı zamanda elastik bölge için Hooke Kanununa göre gerilme aşağıdaki denklem ile verilir.

$$\sigma = E\varepsilon \tag{4.10}$$

Burada, E malzemenin elastisite (Young) modülüdür. (4.8), (4.9) ve (4.10) denklemleri yardımıyla aşağıdaki denklem elde edilebilir.

$$F = \left(\frac{AE}{l} \right) \Delta l \tag{4.11}$$

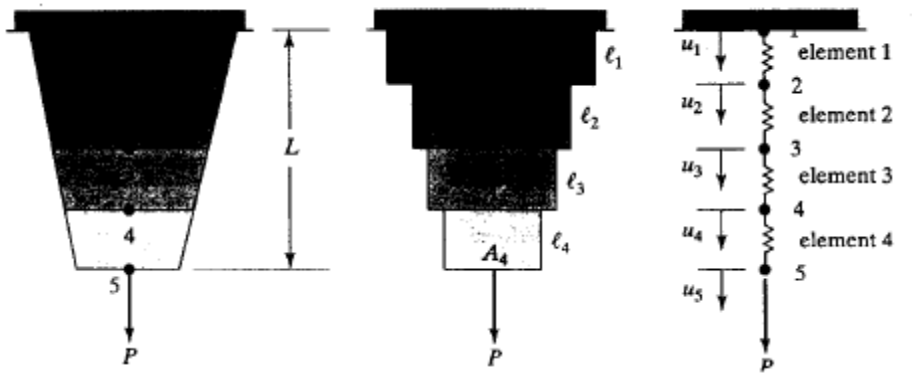
Yukarıdaki denklem doğrusal yay denge denklemine, F=kx, benzerdir. Böylece, merkezi yüklenmiş, uniform kesit alanına sahip eleman aşağıdaki gibi denk rijidlikle modellenebilir.

$$k_{eq} = \frac{AE}{l} \tag{4.12}$$

(4.12)'de görüldüğü gibi elemanın rijidliği, geometrik parametrelerden elemanın boyu ve ortalama en kesit alanına bağlıdır. Ayrıca malzemenin özelliklerinden elastisite modülüne bağlıdır.

Yapıya etki eden dış kuvvetlerde problemin içeriği gereği bilinmektedir. Diğer bir deyişle, yapısal dizaynı yapılan bir sistemin, sisteme etkiyen dizayn basınçları bilinmektedir, bu basınçlara göre güvenli olup olmadığı incelenir ve güvenli bir dizayn yapmak amaçlanır.

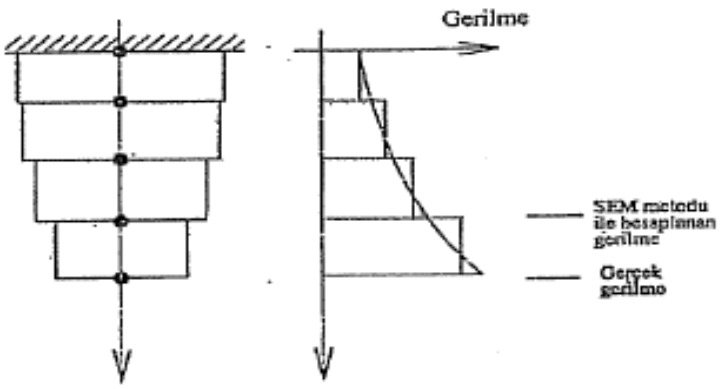
Sonuç olarak, (4.7) denklemindeki k, rijidlikler ve f, kuvvetler bilindiğine göre elemanın uçlarındaki "u", yer değiştirmeler bulunur. (4.3), (4.9) ve (4.10) denklemleri yardımıyla eleman üzerinde gerilmelere ulaşılır.



Şekil 4.6 Bir çubuk elemanın, eleman ve düğüm noktalarına bölünmesi [12]

Bir eksenli olarak incelediğimiz bu sistemde her düğüm noktası sade çubuk ekseni boyunca hareket edebileceğinden her bir düğüm noktasının bir serbestlik derecesi vardır. Tüm sistemin serbestlik derecesi 5 olmaktadır. Yapı artık basit sonlu elemanlara bölündüğünden her bir sonlu elemandaki deformasyon ve gerilme değerlerinin yukarıda anlatılan esaslara göre hesaplanması mümkündür.

Gerilme değerleri hesaplandığı takdirde sonlu elemanlar metodu ile hesaplanan gerilmelerin analitik olarak hesaplanan gerilme değerinden farklı olduğu Şekil 4.7'de görülebilir.



Şekil 4.7 SEY ile hesaplanan gerilme ve gerçek gerilme değeri [14]

Bu gerilme farklılığının nedeni yapının artık süreksiz olmasıdır. Çubuğu modellemek için kullanılan sonlu eleman sayısının artması ile birlikte gerçek gerilme değerine yakın gerilme değerleri elde edilebilir. Çubuğun kuvvet etkisi altında göstermiş olduğu deformasyon her bir sonlu elemanın kuvvet etkisi altında göstermiş oldukları

deformasyonların toplamına eşittir. Başka bir ifadeyle çubuğun toplam rijitliği sonlu elemanların rijitliklerinin toplamına eşittir.

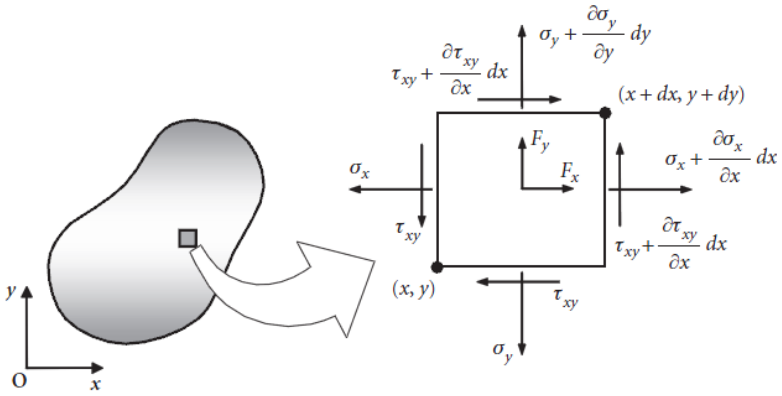
Bir boyutlu analizlerin ardından iki boyutlu analizler hakkında temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1.2 İki boyutlu analizler

Yukarıda bir boyutlu çubuk eleman üzerinden, tek eksenli analizlerin sonlu elemanlar temel mantığı verilmiştir. 2 boyutlu plak elemanlar için statik denge denklemleri ve Hooke Kanununa bağlı parametreler aşağıda verilmiştir [16].

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+F_x=0 \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}+F_y=0 \end{aligned}\right\} \tag{4.13}$$

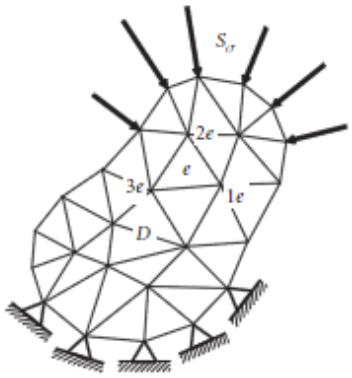
Burada, σ_x ve σ_y sırası ile x ve y eksenlerine göre normal gerilmelerdir, τ_{xy} ise τ_{yx} x-y düzlemi üzerindeki kayma gerilmeleridir. Kayma gerilmeleri τ_{xy} ve τ_{yx} genellikle aynıdır. İki boyutlu gerilme durumunun şematik gösterimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8 İki boyutlu sonsuz küçük elastik yapının gerilme durumu [16]

İki boyutlu analizlerdeki adımlar da 4.1.1 Bir Boyutlu Analizler'deki gibi devam eder. Rijidlik matrisi k ve kuvvetler malzemeye ve problemin geometrisi ile problemin verilerine bağlı olarak elde edilir. Ancak iki boyutlu elemanlar için olan işlemler biraz daha uzun sürdüğünden burada yer verilmemiştir, verilen kaynaklardan ayrıntılı olarak ulaşılabilir.

Sisteme etkiyen kuvvetler de matris denklemlerinde yerine konur ve yer değiştirmelere (4.1) denkleminden ulaşılır. İki boyutlu bir sistemde dış kuvvetler için bir örnek aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.9 İki boyutlu bir sisteme etkiyen sınır koşulları [16]

Yer değiştirme vektörü "**{u}**" bulunduktan sonra elemanın gerinmesi ve oradan da gerilmesine ulaşılır. İki boyutlu analizler incelenirken {u} yer değiştirme vektörü olarak anılsa da iki yönde de yer değiştirme mevcuttur. Vektörün içerisinde (4.14)'ten de görebileceğimiz gibi x ve y eksenlerinde iki yönde yer değiştirme vardır.

İki boyutlu yapılar için gerinme değerleri aşağıdaki fonksiyonlardan bulunur [16].

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{aligned}\right\} \qquad (4.14)$$

Burada, "u" ve "v" sırası ile x ve y eksenlerine göre sonsuz küçük yer değiştirmelerdir.

Gerilme-gerinim ilişkisinden aşağıdaki gerilme denklemlerine geçilir. 2 boyutlu elastisite teorisinde, 3 boyutlu Hooke Kanunları'ndan 2 boyutlu yapı formuna iki tip yaklaşım ile geçilir [16];

- Düzlem gerilme yaklaşımı,
- Düzlem gerinme yaklaşımı.

İlk yaklaşıma göre, ince plakalar için plaka yüzeyine dik olan tüm gerilme bileşenleri yok sayılır, σ_z, τ_{zx}, τ_{yz} =0. Bu yaklaşımda, gerilme gerinim ilişkisi 2 boyutlu olarak aşağıdaki gibi yazılır [16].

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y)\\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \varepsilon_x)\\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{xy}\end{aligned}\right\} \qquad (4.15)$$

Burada, E elastisite (Young) modülü, ν ise Poisson oranıdır. İki değer de malzeme özelliklerine bağlıdır.

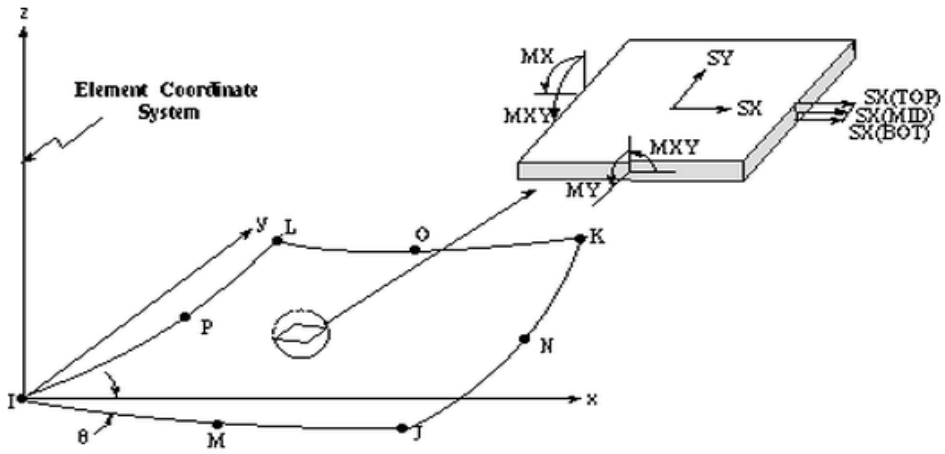
SEY ve Ansys adına verilen temel bilgilerden sonra Ansys ile pratik uygulamalar adım adım aşağıda verilmiştir. Mukavemet değerlendirmesini tamamlayabilmek için Ansys analizinde modelleme, ağ (mesh) yaratma, sınır koşulları klas kuruluşlarının istekleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

4.2 Ansys Analizi

4.2.1 Modelin Oluşturulması

Ana boyutları daha evvel verilmiş olan tankerin, paralel gövde içerisinde yer alan 28.8 metre uzunluğundaki tankı modellenir. Fiziksel modelinin oluşturulmasından ziyade, Ansys'in matematiksel modeli kurabilmesi için bazı temel parametreler programa girilmelidir. Örneğin analiz özelliklerini belirleyecek eleman tipini doğru seçmek çok önemlidir.

Buradaki çalışma da Ansys eleman kütüphanesinde bulunan Shell 93 seçilmiştir. Bu eleman eğri yüzeyler için özel olarak tasarlanmıştır. Dörtgen eleman kullanımında dört düğüm noktası köşelerde ve 4 düğüm noktası da kenarların orta noktalarında olmak üzere 8 düğüm noktasına sahiptir. Her nokta üzerinde 3 yönde öteleme ve 3 eksende dönme kabiliyeti olmak üzere 6 serbestlik derecesine (DOF) sahiptir. Şekil fonksiyonları yüzey düzlemi üzerindeki her iki yönde de 2. derecedendir. Plastisite, büyük yer değiştirme özellikleri vardır [17].



Şekil 4.10 Shell 93 element [17]

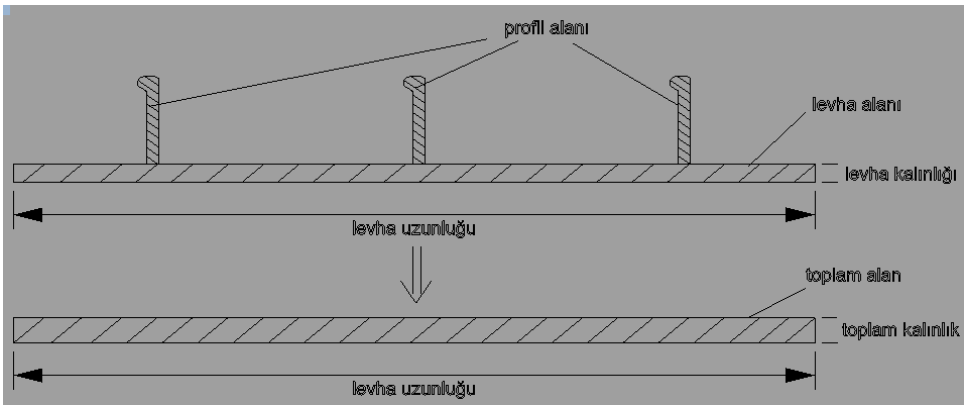
Analizi yapılacak yapıda kullanılan malzeme özellikleri programa tanıtılmalıdır. Teknemiz çelik konstrüksiyon olarak inşa edildiği için çeliğin malzeme özellikleri girilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan çeliğin malzeme özellikleri

Elastisite modülü, E (GPa)	200 000 000 000 (N/m^2)
Poisson oranı, v	0,3

Orta kesitin tüm yapısal elemanları daha evvel de bahsedildiği gibi Norveç klas kuruluşu DNV'nin kurallarına göre boyutlandırılmış. Ancak buradaki modelde, boyuna mukavemete destek sağlayabilecek boyuna adi postalar modellenmemiştir.

Her adi postayı tek tek modellemek yerine yapısal dengi hesaplanır. Levhalara, sanki posta varmış gibi destek sağlayacak şekilde postanın yapabileceği yapısal katkı kadarı levha kalınlığına ilave edilir, aşağıda formülasyonu verilmiştir. Bunun en basit nedeni, Ansys ara yüzünde karışık, büyük yapıları modellemek oldukça zordur. Bir de her bir postanın yeri, profil tipi gibi detaylardan arınmak, modellemede kolaylık sağlamak için stifnerli levhaların yapısal dengi olarak sadece levhalar modellenir.



Şekil 4.11 Profil-levha alanları

$$A_{levha} = t_{levha} l_{levha} \tag{4.16}$$

$$A_{toplam} = A_{levha} + A_{profil} \tag{4.17}$$

$$t_{toplam} = \frac{A_{toplam}}{l_{levha}} \tag{4.18}$$

Burada, A_{levha} levhanın alanı, t_{levha} ve l_{levha} sırası ile levhanın kalınlığı ve uzunluğudur. A_{profil}, levha uzunluğu içerisinde hesaba katılan tüm profil toplam kesit alanıdır. Burada yapılan basit işlem, levhaya destek sağlayan profilin kesit alanının levha kalınlığına dâhil edilmesidir.

Kullanılan profile bağlı olarak, profil özellikleri tablolarından alan değerleri bulunabilir. Boyutlandırma süresi boyunca her profilin alanı çıkarılmıştı. Tüm levhaların kalınlıkları ve kullanılacak levhaların uzunlukları orta kesitteki levha yerleşiminden belirlenmişti.

Orta kesitte kullanılan tüm bu postaların dengini hesaplama işlemlerinden sonra, Çizelge 4.2'de hesaplanan kalınlıklar verilmiştir.

Çizelge 4.2 Modellenen denk kalınlıklar ve “Real Constant” numarası

Yapı elemanı	**Boyutlandırmaya göre gerçek kalınlık (mm)**	**Ansys’te tanımlanan “Real Constant” numarası**	**Modellenen kalınlık (mm)**
Levha omurga	19	1	0.0229
Dip	18	1	0.0229
Sintine dönümü	18	2	0.0232
İç dip	17	3	0.0213
Güverte	19	4	0.0208
Stringer levhası	24,5	5	0.0271
Borda	15	6	0.0189
Şiyer levhası	24,5	7	0.0291
İç cidar-1	15	8	0.0206
İç cidar-2	14	9	0.0180
İç cidar-3-4	13	10	0.0165
İç cidar-5	15	11	0.0175
Boy perdesi-1	15	12	0.0097
Boy perdesi-2	13	13	0.0083
Derin posta-1	13	13	0.0083
Boy perdesi--3-4	12	14	0.0074

Çizelge 4.2 Modellenen denk kalınlıklar ve “Real Constant” numarası (devam)

Boy perdesi-5	14	15	0.0069
Dip tülani ve döşekler	13	16	0.0189
Borda Stringeri-1	13	17	0.0196
Borda Stringeri-2	12	18	0.0190
Borda Stringeri-3	17	19	0.0223
Güverte altı tülanileri	13	20	0.013
Boy perdesi stringeri 2-3	13	20	0.012
Boy perdesi stringeri-1	14	21	0.015
Derin posta-2	12	22	0.0156
Derin posta-3	13	23	0.0153
Çok kalın plaka	---	100	0.035

28.8 metrelik paralel gövdenin modellemesine Ansys programının sunduğu, modellemenin ilk adımı “keypoint”leri atamak ile başlanır. 2 boyutlu olarak orta kesit ve boyuna perde elemanlarının geometrisini verecek şekilde keypoint’ler atanır. Keypoint’lerin koordinatlarını baştan doğru belirlemek en önemli kısımlardan birisidir. Eğer ilk aşama sorunsuz halledilirse modelin geri kalanını oluşturmak çok kolaydır.

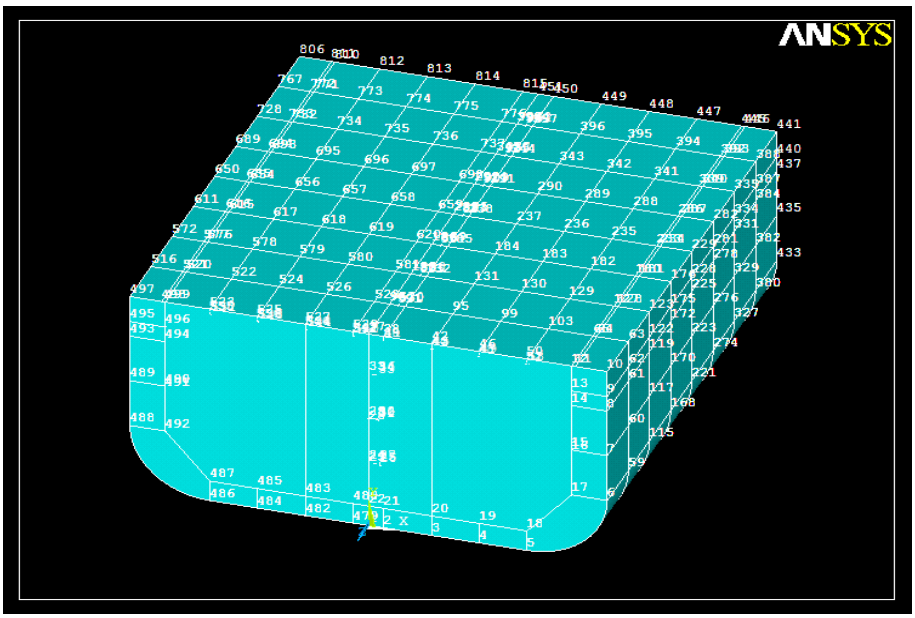
Öncelikle, keypoint’leri levha kalınlığının değiştiği yerlere veya malzeme özelliklerinin değiştiği yerlere koymak gerekir. Böylelikle yan yana iki farklı malzeme ya da kalınlık tanımlanabilir. Yukarıdaki Çizelge 4.2’de verilen kalınlık değerlerinin komşu levhalarda değişiklik gösterdiği yere keypoint’ler atanır. Diğer bir husus da, kalınlık veya malzeme aynı olsa bile eğer levhayı bir derin eleman ya da levha kesiyorsa o noktada bir keypoint atayarak iki levhanın aynı keypoint üzerinden modellenmesi gerekir. Şekil 4.12’den görülebileceği gibi dip ve iç dip levhalarına bağlı olan dip boyuna tülanilerini

modellerken, tülaninin uç noktalarının alt ve üst levhalara olan bağlantısını sağlamak için dip ve iç dipte tülaninin geldiği koordinatlara keypoint'ler atılmıştır. Örneğin aşağıdaki şekilde "4" ve "19" nolu keypoint'ler ile dip-tülani ve iç dip-tülani bağlantısı sağlanmıştır. Aynı durumu borda ve iç cidarda kullanılan stringerlerde ve güverte ile boyuna perdede kullanılan stringerlerin modellenmesinde görmek mümkündür.

2 boyutda keypoint'lerin modellenmesinin ardından, boyuna desteklenmeyen mesafe yani iki dolu döşek arası mesafe olan 3.6 metre kadar tüm keypointler boyuna eksende kopyalanır. Bu durumda, keypoint'ler yardımıyla alanlar oluşturulur. İlk olarak modellenen keypoint'lerden yine 2 boyutlu olarak, döşekleri temsil eden alanlar, daha sonra da boyuna ötelenen keypoint'ler yardımıyla; dip, iç dip, borda, güverte, dip boyuna tülani, vs gibi 3. boyutta meydana gelen tüm yapılar alanlar modellenir.

İlk dolu döşek ve iki döşek arasındaki elemanlar modellenmiştir. Bundan sonra tüm alanlar seçilir ve toplam 28.8 metrelik paralel gövdeyi oluşturmak için 3.6 metrelik kopyalama mesafesiyle ilk blok dahil toplam 8 blokluk kopyalama işlemiş yapılır.

Boyuna kopyalamanın ardından fiziki olarak paralel gövdeyi temsil eden yapı elde edilmiştir. Ancak, bloğun bir yüzünü tamamen kaplayacak şekilde alan da oluşturulur. Şu an için buna "çok kalın plaka" diyelim, sınır koşulları başlığı altında işlevi açıklanacaktır. Tüm bu işlemlerin ardından aşağıdaki blok elde edilmiş olur.

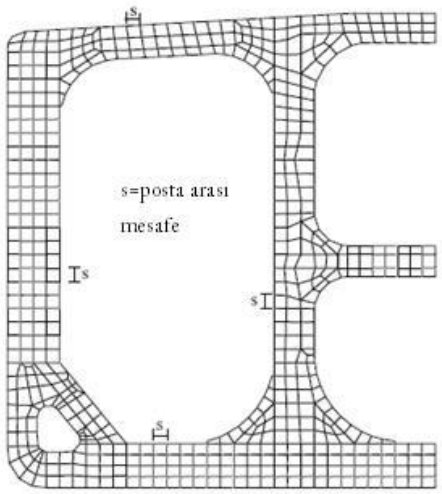


Şekil 4.12 Keypoint numaraları ve alanların görünümü

4.2.2 Mesh (Ağ) Yaratma

Fiziki model oluşturulduktan sonra sırada mesh işlemi vardır. Keypoint'ler, çizgiler veya alanlar yapının modellenmesinde kullanılır; ancak sonlu elemanlar hesapları için önemli olan eleman ve düğüm noktalarıdır. Bu bölümün başında bahsedildiği gibi hesaplar düğüm noktaları üzerinde gerçekleştirilir. Yapının çok ağ yapısına bölünmesi sonucu çok fazla sayıda düğüm noktası ortaya çıkar ve çözüm süresi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Yapının çok az ağ yapısına bölünmesi ise sonuçların güvenilirliğini tehdit eder.

Eleman boyu yaklaşık posta arası mesafe kadar seçilebilir [4]. Burada 0.7 metre eleman boyu belirlenmiştir.

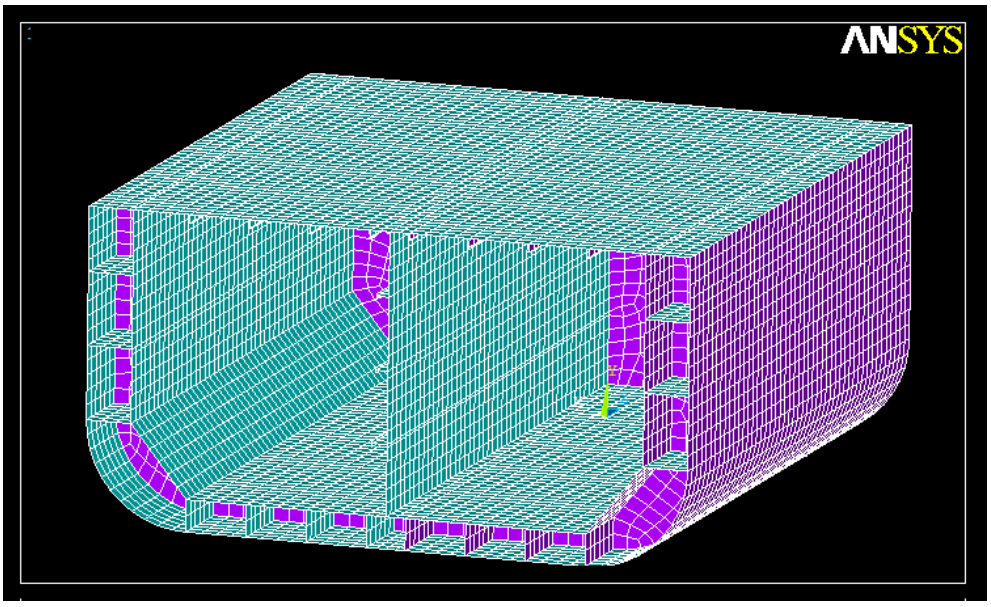


Şekil 4.13 Eleman boyunun posta arası mesafe kadar oluşunun şematik gösterimi [4]

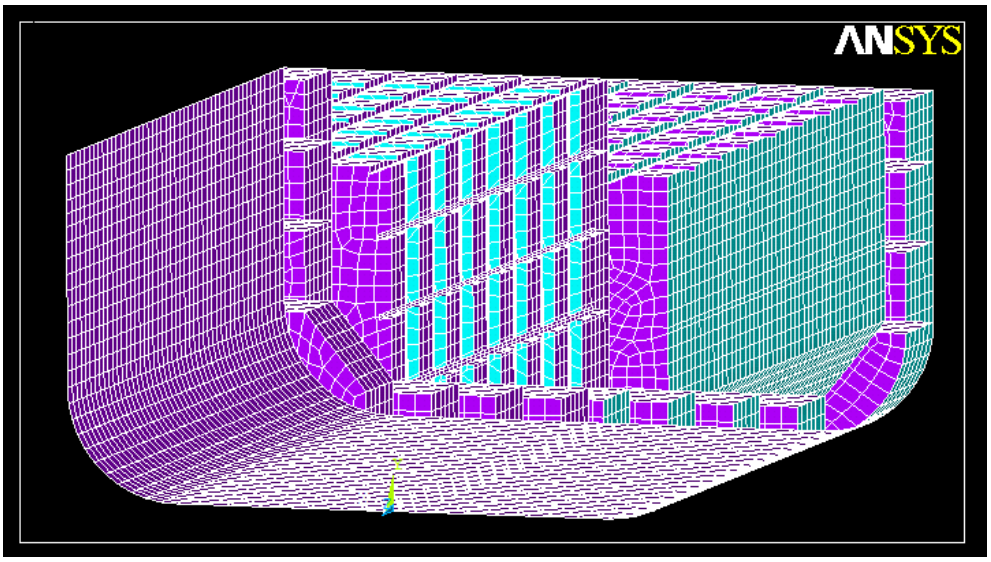
Eleman tipi ise dörtgen elaman (quadrilateral elements) olarak, 2-D model için belirlenmiştir. Yapı 3 boyutlu olsa da, ağ yapısı 2 boyutludur; hacimler için değil, alanlar için ağ yapısı kurulur.

Ağ yapısını oluşturmak için Ansys programının sunduğu "free mesh" seçilebilir. Diğer bir seçenek ise, ağ yapısının daha düzgün oluşturulası için "mapped" sekmesidir. Buradaki yapı çok karışık bir şekil olmadığından free mesh ile oluşturulacak ağ yapısında sorun çıkmayacaktır. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de görüldüğü gibi ağda hiçbir sorun yoktur.

Yukarıdaki mesh özellikleri tanımlandıktan sonra tüm yapı için ağ yapısı oluşturulur.



Şekil 4.14 Farklı açılardan mesh görünümü



Şekil 4.15 Farklı açılardan mesh görünümü

4.2.3 Sınır Koşulları

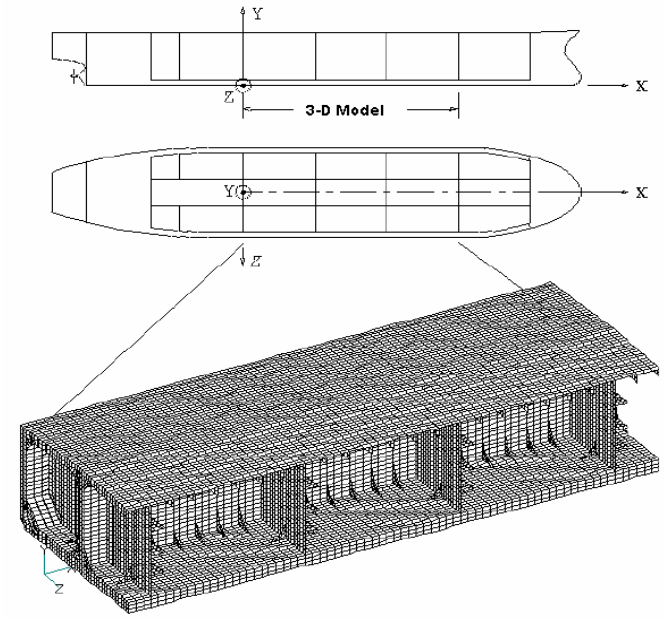
Hem yapının tutulması, mesnetlenmesi; hem de yapıya etki eden kuvvetlerin, basınçların uygulanması sınır koşulları demektir. Genelde, sadece yapının mesnetlenmesi sınır koşulları gibi algılanmaktadır; fakat kuvvetlerin uygulanması da bu bölümün alanı içerisindedir.

Sınır koşullarının uygulanması SEY analizlerinde en önemli adımlardan biridir. Lokal analiz modelleri için analizi yapılacak bölgenin çevresindeki yapılar tarafından oluşan sınır koşulları, global modelden hesaplanan yer değiştirme ve kuvvetlere dayanmalıdır [18].

Global model için sınır koşulları rijid cismin hareketini sınırlamaktan başka bir amaç içermez. Modelin her iki uçunda 6 serbestlik derecesini sınırlamak yeteri kadar iyi yapılmalıdır. Tekneye etki eden toplam kuvvetler sıfırlanmalıdır, böylece sınırlarda tepki (reaksiyon) kuvvetleri sıfıra yaklaşır [18]. Bölüm 3'te uygulanan 0-0 (sıfır-sıfır) sınır koşullarını modele aktarmak amaçlanmaktadır. Gerçekleştirilen boyuna mukavemet hesaplarını hatırlarsak, uçlarda tepki kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri sıfırdır.

Modellerken, modellenen tekne yapısının boyu, sınır koşullarının etkilerini en aza indirmek için yeteri kadar uzun tutulmalıdır. ABS (2002) tanker, dökme yük gemisi ve konteyner gemisi modelleri için 3 kargo ambarı modellenmesi istemektedir.

DNV ve LR, merkez tank gemi boyunun 0.4 L ortasında olmak üzere, iki yanında yarımşar tank boyu mesafeyle birlikte toplam iki tank boyu (0.5+1+0.5) modelleme yapılmasını istemektedir [4,19].



Şekil 4.16 ABS tanker 3-D modeli [19]

Klas kuruluşlarının sınır koşulları ve yükleme durumları yani kuvvet uygulama yöntemlerinin detaylarına verilen kaynaklardan ulaşılabilir.

Buradaki çalışma global sonuçlar baz alınarak lokal analiz yapıldığı için yukarıdaki açıklamalar buradaki duruma tam olarak uymamaktadır. Modele uygulanan yöntem aşağıda verilmiştir.

Bu çalışmada lokal yükleme koşulları aksine Bölüm 3'te hesaplanan boyuna mukavemet sonuçları temel alınarak kuvvetler buradaki modele uyarlanacaktır. Burada yer çekimi ivmesi, çelik yoğunluğu, kaldırma kuvveti ya da yükün ağırlığı hesaba katılmayacaktır. Çünkü Bölüm 3'te boyuna mukavemet hesabı gerçekleştirilirken yukarıda bahsedilen tekneye etki edecek yükler, kuvvetler göz önüne alınmış, hesap yüklü duruma göre dalga tepesi ve çukuru dahi göz önüne alınarak gerçekleştirilmişti.

Paralel gövdedeki bu bloğun tekneden kesip alındığını düşünürsek, modelin bir yüzüne eğilme momentinden gelen kuvvetler uygulanırken, modelin diğer tarafı ankastre olarak tutulur. Tüm gemiyi, global modeli düşündüğümüzde gemi boyunca kendi içinde dönme ve yer değiştirme hareketi yapmaktadır. Ancak, içeriden alınan bir blok ayrıca incelenirken global modeldeki özellikleri bire bir yansıtmak neredeyse imkânsızdır. Kuvvetli yapılar olan en perdesinin bir nevi ankastre mesnet özelliği ortaya koyacağı düşünülebilir. Sonuçlar kısmında sınır koşullarının model üzerindeki etkisi tartışılacaktır.

Kuvvetlerin uygulanacağı tarafta ise, esas geminin geometrik yapısının bozulmadan kuvvetleri uygulamamıza yardımcı olması için oldukça kalın bir plaka modellenir. Kuvvetler, tamamen tekne elemanları üzerine etki edecektir. Bu kalın plakanın analiz üzerinde dikkate değer bir işlevi yoktur. Sadece, orta kesit kuvvetlerden dolayı eğilme hareketi yaparken, kaplama levhalarının burkulmasını önlemek için modellenmiş bir yapıdır. Sonuçlar elde edildiğinde gerilme analizinde bir etkisi olmadığı görülecektir.

Ansys, kullanıcıya basınç, yayılı yük ya da kuvvet uygulamasına izin verir; ancak yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği sonlu elemanlar yöntemi düğüm noktaları üzerinde işlem yapar ve sonlu elemanlar programları bu basınç, yayılı yük gibi değerleri tekil kuvvet cinsinden hesaplar ve bu noktalara kuvvet olarak uygular.

Fakat, 3. Bölümde orta kesit eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri bulunmuş ve bu değerleri Ansys'e girerek sonuç görülmek istenmiştir. O halde moment olarak programa değer giremediğimize göre, bir yaklaşım ile bu moment değerlerini tekil kuvvetlere dönüştürmemiz gerekmektedir. Ansys modelinde ağ yapısı kurulduktan sonra yaratılan orta kesit üzerindeki düğüm noktalarına kuvvet uygulayacak şekilde orta kesit moment değeri aşağıdaki formülasyon ile tekil kuvvetlere dönüştürülebilir.

$$\sigma = \frac{M}{I} d \ (kN / m^2) \tag{4.19}$$

Burada, σ herhangi bir noktadaki gerilme değeri, M orta kesit eğilme momenti, I orta kesit atalet momenti, d ise gerilmenin arandığı yerin tarafsız eksene olan mesafesidir. Atalet momenti ve tarafsız eksenin yeri Bölüm 2'de verilmiştir. Nerede gerilme değeri aranıyorsa orta kesit resminden de yeri bulunarak tarafsız eksene olan mesafesi kolayca elde edilebilir. Eğilme momenti ise tüm gemi boyunca Bölüm 3'te hesaplanmıştı. Maksimum orta kesit eğilme momenti 8. postada görülmektedir; hâlbuki paralel gövde 9-13 posta arasında yer almaktadır. Yapının daha fazla zorlandığını görmek için paralel gövdenin sınırı olmadığı halde, 8. postadaki maksimum gerilme değerine göre işlem yapmak dizayn açısından daha güvenli bir dizayn yapılmasına olanak verir. Bu yaklaşımla, (4.19)'daki M, orta kesit eğilme momenti için Bölüm 3'te hesaplanan maksimum gerilme değeri alınır.

Çizelge 4.3 Moment-kuvvet dönüşümünde gerekli değerler

Eğilme momenti, [M] (kNm)	678369
Atalet momenti [I] (m^4)	93.85
z_{te} (m)	6.07
D (m)	13.78
σ_{dip} (MPa)	43.88
$\sigma_{güverte}$ (MPa)	-55.73

Buradaki moment ve atalet momenti değerleri tarafsız eksene bağlı olmaksızın, orta kesitte her noktada sabittir; ancak “d”, gerilmenin arandığı yapının konumuna bağlı olarak değişiklik gösterir ve dolayısıyla orta kesit üzerindeki gerilme değeri tarafsız eksenden olan uzaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Diğer taraftan, dip, iç dip, güverte, borda stringerleri gibi yapı elemanları yatay olduğundan yani kendi üzerindeki her düğüm noktasının tarafsız eksene olan uzaklığı eşit olduğundan yapı eninde gerilme değerleri de sabittir. Örneğin dipte simetri ekseninden bordaya doğru gidildiğinde dipteki her noktada gerilme değeri 43.88 MPa’dır. Güvertede ise bu değer 55.73 MPa’dır. Borda, iç cidar, boyuna posta, dip boyuna tülaniler gibi yapı elemanları dikeydir, yani kendi üzerindeki her düğüm noktası tarafız eksene aynı mesafede değildir. Dolayısıyla, (4.19) denkleminden bu yapı elemanları üzerindeki gerilme değerleri sürekli farklılık gösterir.

Orta kesitteki tüm noktalar için gerilme değerleri bulunduktan sonra, momentten doğan bu gerilme değerini kullanarak düğüm noktası üzerine etki edecek tekil kuvvetleri aşağıdaki formül yardımıyla elde edebiliriz.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.20}$$

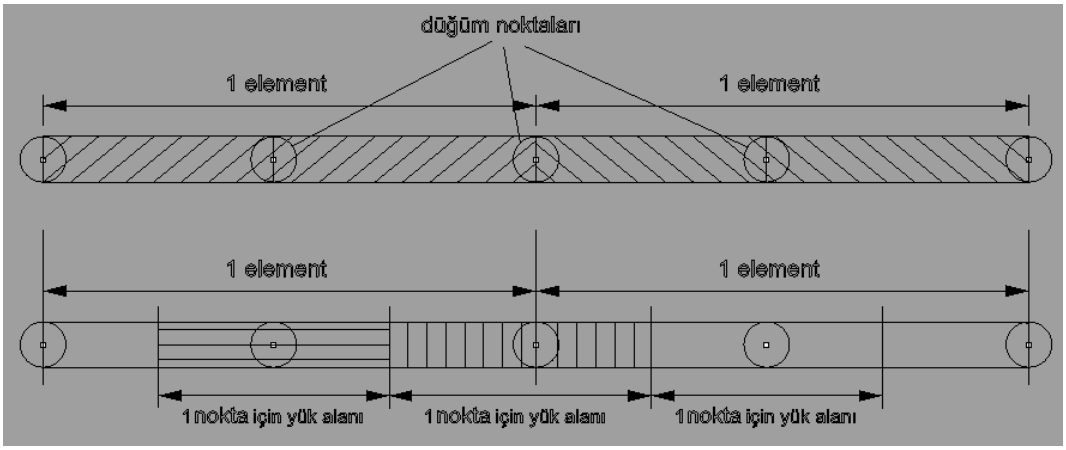
$$F = \sigma A \tag{4.21}$$

Burada, F herhangi bir düğüm noktası üzerine etki eden kuvvettir, σ o nokta üzerindeki gerilme değeri, A ise düğüm noktasının yük alanıdır. Düğüm noktasının bulunduğu levhanın kalınlığı, yük alanı oluşturan geometrinin kısa kenarı uzunluğuna tekabül eder, dip için 0.0229, güverte için ise 0.0208 metredir. Kalınlıklar Çizelge 4.2’den izlenebilir. Her iki komşu düğüm noktasına olan mesafelerin yarılarının alınmasıyla da yük alanının uzun kenarı elde edilir. Düğüm noktası yük alanını gösteren şematik çizim Şekil 4.17’da verilmiştir. Ansys programı, istenilen düğüm noktaları için koordinatlarını çıkarmaktadır. Bu koordinatları kullanarak, 2 komşu noktanın koordinatlarını öğrenir ve aralarındaki mesafeyi bulabiliriz.

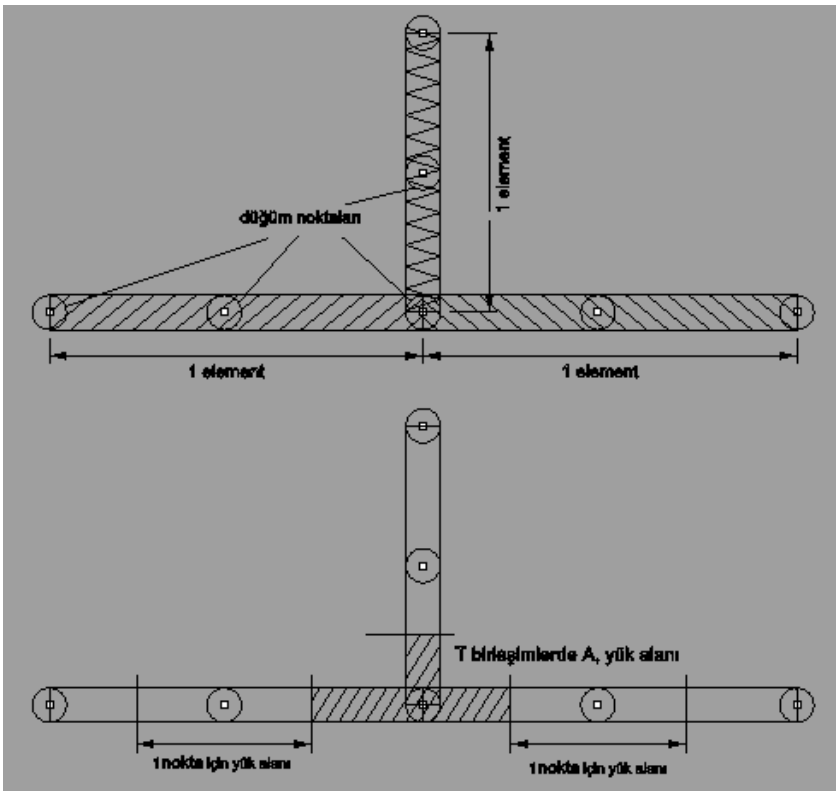
Diğer bir husus ise, “shear lag effect” olarak adlandırılan, derin dip tülanilerden dolayı meydana gelen etkidir. Bunu klasik kiriş teorisiyle elde edemeyiz; ancak sonlu elemanlar programları sayesinde yapının detayındaki değerleri dâhi elde edebiliriz.

Düz bir levha üzerindeki düğüm noktalarına ait A, yük alanını hesaplamak nispeten kolaydır; ancak derin tülanilerin ana yapıya birleştiği, güverte-güverte altı tülani, borda-borda stringeri gibi T-şeklindeki yapılar biraz daha fazla dikkat gerektirir. Bu birleşim yerindeki düğüm noktasının alanını hesaplamak biraz daha ilginçtir, aşağıdaki Şekil 4.17’de şematik gösterimi verilmiştir. Bu durumda, T birleşimindeki düğüm noktasının üç tane komşu noktası vardır, yani üçüncü bir yarım alan hesaba dâhil olmuştur. Bu üçüncü yarım alan, komşu düğüm noktalarının yük alanlarından daha büyük bir alana sebep olur ve (4.21)’dan dolayı daha büyük kuvvete neden olur. Buradaki kuvvet de “shear lag effect” oluşumuna yol açar.

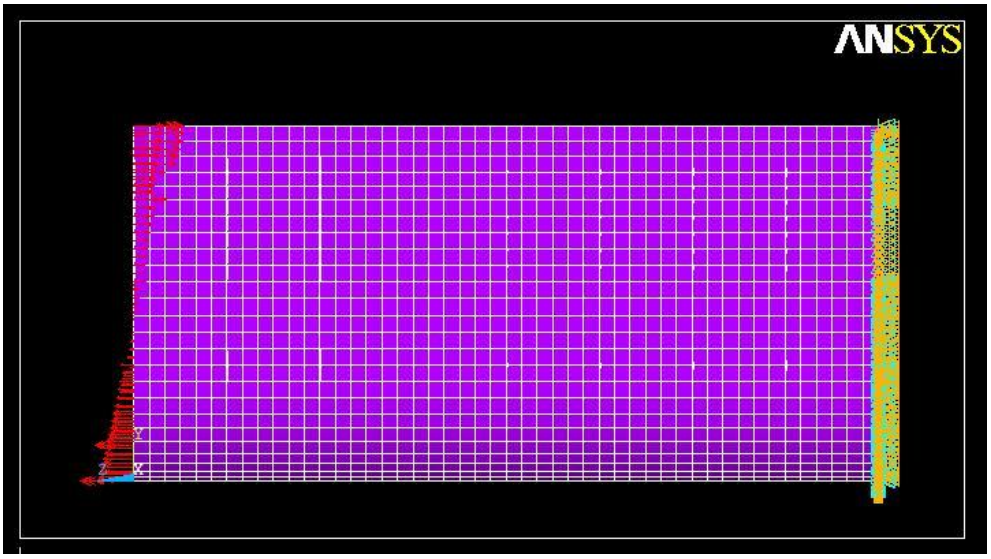
Tüm bu hesaplardan sonra hesaplanan kuvvetler düğüm noktalarına uygulanır. Uygulanan kuvvetlerin ve mesnet şartlarının görünümü Şekil 4.19’de verilmiştir. Yukarıda anlatılan bunca işlem, MS Excel programı yardımıyla oldukça basitleşmiştir. MS Excel’de sistematiğe döktükten sonra görüldüğü kadar uzun ve sıkıntılı bir süreç olmadığı görülecektir.



Şekil 4.17 Yük alanı şematik gösterimi



Şekil 4.18 Derin T birleşimlerde “Shear Lag Effect”e neden olan A, yük alanı



Şekil 4.19 Sınır koşullarının görünümü

Sınır şartları ve kuvvetler de uygulandıktan sonra model tamamlanmıştır, çözüme hazır demektir.

4.2.4 Çözüm ve Sonuçlar

Orta kesit blok modeli adım adım sıfırdan hazırlanmıştır. Fiziki model tamamlamış, Ansys'in matematik modeli kurması için gerekli değerler programa tanıtılmıştır. Bundan sonraki aşama Ansys arayüzünde "solution>solve>current LS" sekmesi takip edilir ve çözüm yaptırılır. Bu noktada çözümü elde etmek bir iki tuşa tıklamak gibi görünse de, buraya kadar hazırlanan model mühendislik mantığı içinde kurulmuştur. Asıl önemli olan belirli bir programın nasıl kullanıldığını ezberlemekten ziyade, arkasındaki matematiğin mantığını anlamaktır.

Çözüm işlemi bittikten sonra, sonuçları Ansys "General Postprocessor"dan elde edebiliriz. "Nodal solution" ve "element solution" olarak iki farklı şekilde sonuçları elde etmek, resim almak mümkündür. "Nodal solution", öncül, ilkel çözüm; "element solution" ise türetilmiş çözüm olarak anılmaktadır [20]. Ansys'in "nodal solution" çözümleri; noktasal yer değiştirmeler, ısı ve basınç gibi serbestlik derecesi (DOF) çözümlerinden ve üzerine sınır koşulları uygulanmış düğüm noktalarında hesaplanan tepki kuvvetlerinden meydana gelmektedir [20]. "Element solution" ise elemanın üzerindeki düğüm noktalarından alınan değerlerin türetilmesiyle elde edilir. Yapısal problemlerde düğüm noktalarında hesaplanan yer değiştirmeler türetilip, gerilme değerleri elde edilir.

Bu bölümün başında da defalarca aktarıldığı gibi, hesaplar düğüm noktaları üzerinde, {u} yer değiştirme vektörünü bulmak için gerçekleştirilir (4.2). Bir elemanın uçlarındaki noktaların yer değiştirme farklarını kullanarak gerinim (4.9), oradan da (4.10) yardımıyla o eleman üzerindeki gerilme değeri bulunabilir. (4.9) ve (4.10) denklemleri ile gerçekleştirilen Ansys programının yapısal problemler için "element solution"da yaptığı, eleman üzerindeki gerilmeyi bulmak için türetme işlemleridir.

Fiziki anlamını incelediğimizde de, buradaki 2 boyutlu analizde, eleman çelik levhayı, düğüm noktaları da levhanın köşe noktalarını temsil edebilir. Gerilmeler, eleman ile modellenen çubuk, levha gibi yapı elemanları üzerine etki eder, düğüm noktaları gibi noktasal değerler üzerinden zaten herhangi bir gerilme değeri okunamaz.

Ansys “nodal solution” başlığı altında gerilme değerleri sunmaktadır; ancak burada, o düğüm noktasındaki gerilme değeri olarak değildir. Ansys programı, “User Manual”da “element nodal solution” şeklinde bahsetmektedir. Ansys, “element nodal” tanımını, eleman için hesaplanan değerlerin her bir elemanın düğüm noktalarında verilmesi olarak tarif eder. Bu değerler genellikle elamanın içerisindeki integrasyon noktalarında hesaplanır ve sonra düğüm noktalarına ekstrapole eder [20]. Bu nedenle gerilme değerlerini elde etmek için “nodal solution”a pek itimat etmemek gerekir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’teki gibi yer değiştirme sonuçlarını görmek istersek “nodal solution”a başvurmak gereklidir.

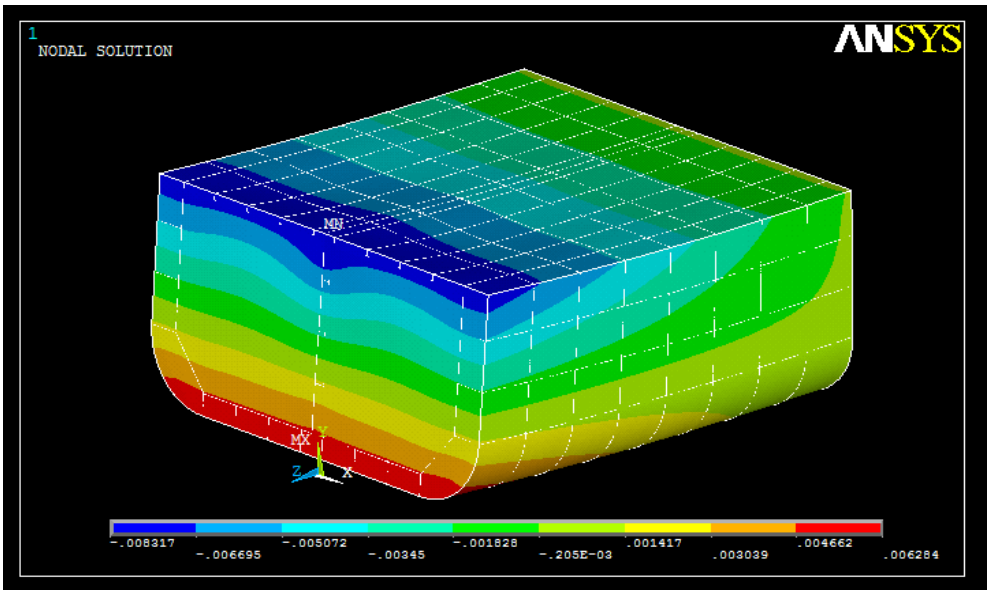
Diğer bir husus da sonuçların okunurken birimlerine dikkat edilmesidir. Ansys sonlu elemanlar programı herhangi bir birim sistemine bağlı işlem yapmamaktadır. Kullanıcının modeli hazırlarken kullandığı birim sistemine göre sonuçlar elde edilmektedir.

Buradaki model IS birim sistemi ile, kuvvetler için Newton (N) ve uzunluklar için metre (m) birimleriyle kurulduğu için Ansys sonuçları da aynı birim cinsinden elde edilir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’teki gibi yer değiştirme sonuçlarının değerleri metre cinsinden, gerilme sonuçlarının değerleri ise N/m^2 yani Pascal (Pa) cinsindendir.

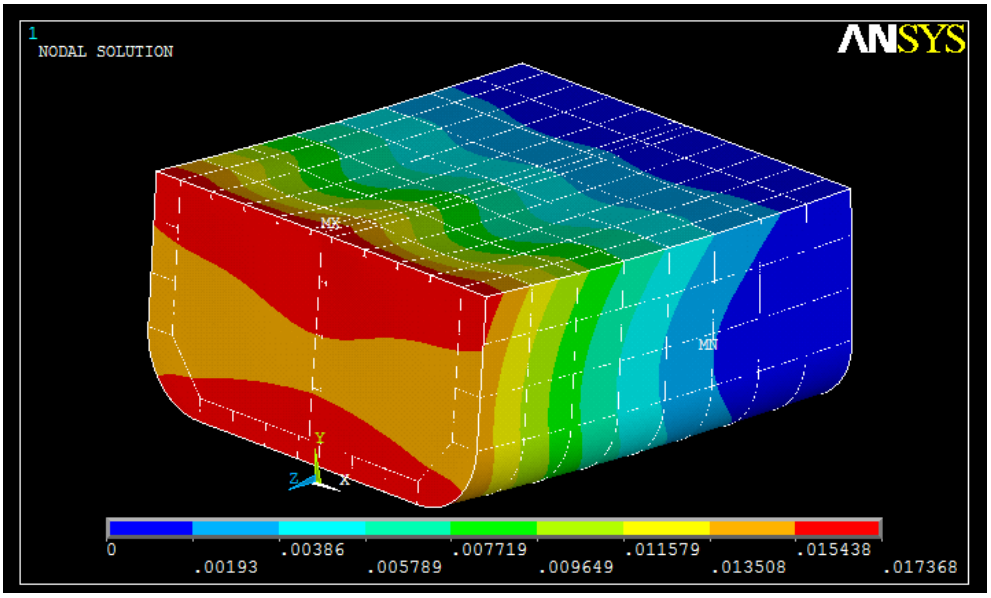
Sınır Koşulları başlığı altında çok kalın plakaya değinilmişti, amacı ana yapıyı bir bütün halinde tutarak eğilme hareketini modele aksettirmesiydi. Çünkü yapıda ani, beklenmedik yer değişimlerin olması istenmez. Eğer olduğuna kanaat getirilirse plaka kalınlığı biraz daha attırılır. Şekil 4.20’de yapının boyuna yer değiştirmesi verilmiştir. Güvertede basma, dipte çekme olduğundan; güvertedeki levhaların kısalması, diptekilerin ise uzaması beklenmektedir.

Aşağıdaki Şekil 4.20 bunu doğrulamaktadır. Kırmızı kısım maksimumu, mavi ise minimumu temsil etmektedir, tabii ki burada minimum değer kısalmadan dolayı negatiftir. Çok kalın plakadaki renklendirmeden, yer değiştirmenin yumuşak geçişlerle olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçta, bu kalınlık plaka için yeterlidir.

Şekil 4.21’de de toplam yer değiştirme verilmiştir. Sonuçlar ve plakanın durumu tatmin edicidir. Yer değiştirmeler metre cinsindendir.



Şekil 4.20 Yapının boyuna yer değiştirmesi

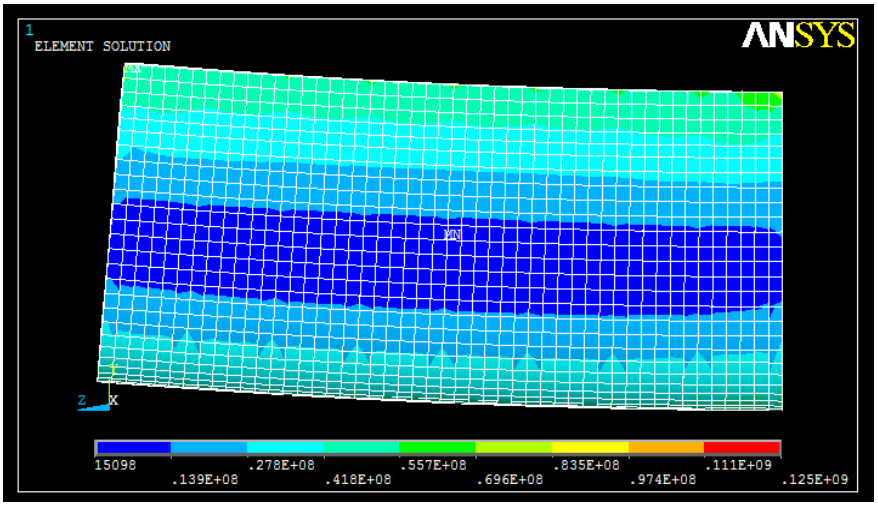


Şekil 4.21 Yapının toplam yer değiştirmesi

Yukarıdaki “nodal solution”dan alınan yer değiştirmeler, sadece yapının bozulmadan eğilip eğilmediğini görmek içindir. Yapının analizinden alınması gereken sonuçlar gerilme değerleridir. Dizayn aşamasında gerilme değerlerine göre karar verilir, yapısal dizayn gerçekleştirilir.

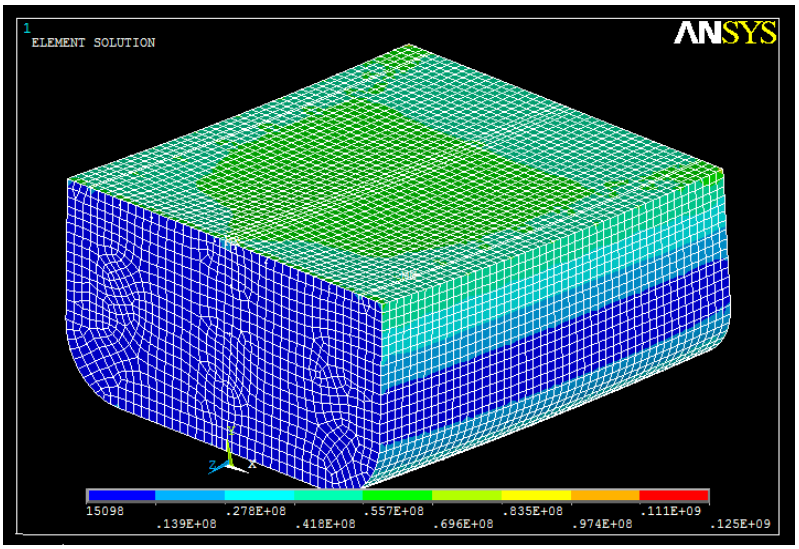
Aşağıda “element solution”dan alınan “von Mises” gerilmeleri verilmiştir. Mavi renklendirilmiş alan gerilme değerinin 0 ya da sıfıra çok yakın olduğu bölgelerdir.

Beklendiği gibi gerilme değerinin sıfır olduğu bölge yani tarafsız eksen dibe daha yakındır. Bölüm 2'de hesaplanan ve Çizelge 4.3'te de verilen 6.07 metre dipten yukarıda olan tarafsız eksen civarındadır. O halde Ansys sonuçları ile kiriş teorisinden elde edilen sonuçlar tutarlılık içerisindedir.



Şekil 4.22 Von Mises gerilmeleri yandan görünüşü

Tarafsız eksenin konumu ve çok kalın plakanın da mavi ile renklendirilmiş olduğu, yani üzerindeki gerilmenin sıfır olduğu aşağıdaki resimden görülmektedir. Buradaki plakanın gerilme analizine bir etkisi yoktur, sadece kuvvetlerin tekne yapısına düzgün etki etmesini sağlamıştır.



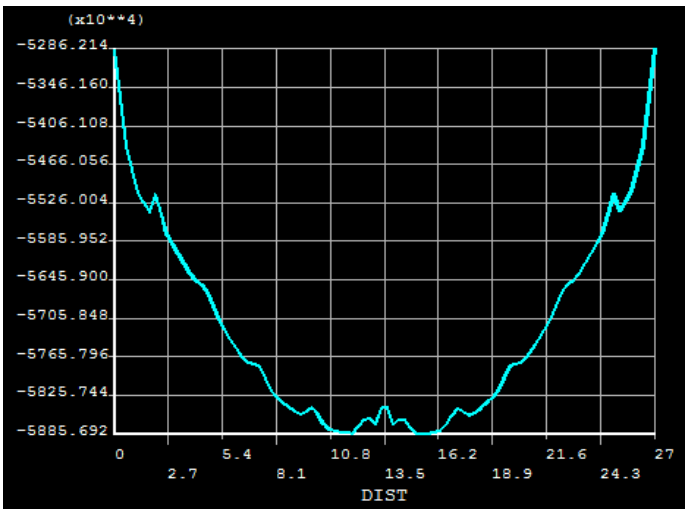
Şekil 4.23 Von Mises gerilmeleri perspektif görünüşü

Diğer taraftan, buradaki “von Mises” gerilmesi sonuçlarını dizayn parametresi olarak almamak gerekir, sonuçlar nispeten yüksek çıkmıştır; çünkü buradaki blok, ana gemiden çekip alınmış ve bire bir durumu sağlayamayan sınır koşulu tanımlanmıştır. Bu nedenle yukarıdaki resimler, analizin sonuçlarını yorumlayıp doğrululuğu hakkında fikir sahibi olabilmemiz ve kiriş teorisinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırabilmemiz için önemlidir.

Güverte, borda ve dipten alınan gerilme değerleri aşağıda grafikler halinde sunulmuştur. Buradaki grafikler 28.8 metrelik orta kesit bloğunun ortasından, 16.2inci metresinden alınmıştır. Sınır koşullarının alınacak sonuçlar üzerindeki etkilerinden dolayı bu yöntem seçilmiştir. Özellikle ankastre olarak tutulan kısımda oluşabilecek çok yüksek, farazi değerlerden kaçınılmak istenmiştir.

Güverte, borda ve dipte yapının bir ucundan diğerine yol (“path”) tanımlayarak, gerilme değerleri buralardan alınmış ve grafiğe dökülmüştür.

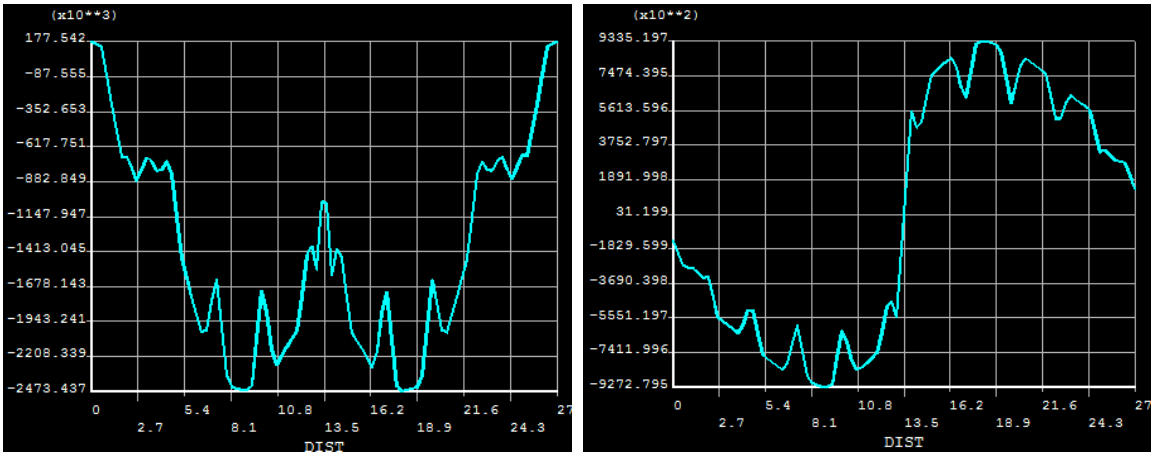
Güverte için tanımlanan yol iskeleden sancağa, 27 metredir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’te verilen grafiklerde yatay eksen iskeleden sancağa güverte enidir dikey eksen ise Pascal cinsinden gerilme değerleridir.



Şekil 4.24 Güvertede boy yönünde (z) normal gerilme değerleri

Güvertede görülen maksimum gerilme -58.85 MPa’dır. Grafikte görülen yanlardaki kırılmalar iskele ve sancaktaki iç cidarın olduğu bölgeler, merkezdeki kırılma ise merkez boyuna perdenin olduğu bölgedir. Güvertede altı derin tülanilerin civarında ise daha

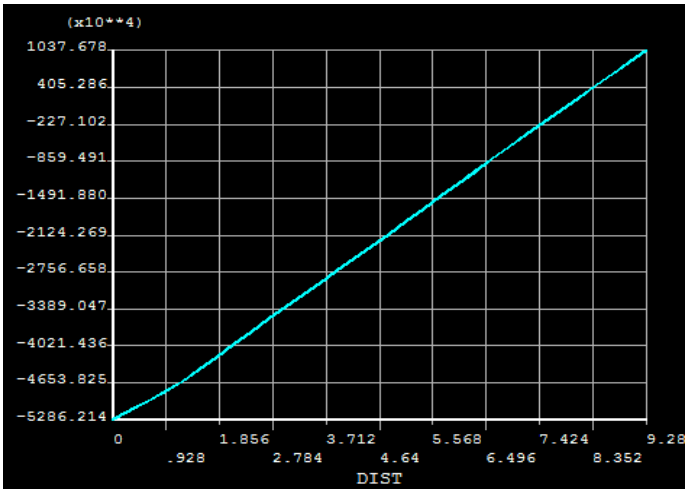
küçük dalgalanmalar görülebilir. Bunun nedeni, uygulanacak kuvvetleri modellerken bahsedilen “sheer lag effect”tir. Şekil 4.24’teki grafiklerde ise bu etki daha fark edilir şekilde belirmiştir.



Şekil 4.25 Güvertede en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri

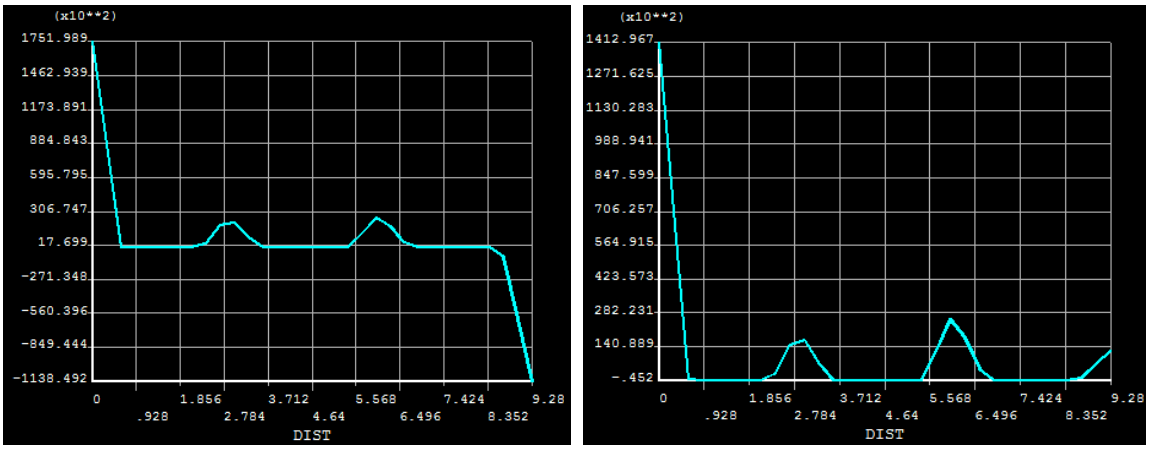
Güvertede en yönünde normal gerilme, boyuna yöndeki normal gerilmeye oranla çok daha küçüktür. En yönünde maksimum -2.47 MPa’dır. Kayma gerilmesi ise maksimum 0.93 MPa değeri ile ihmal edilebilecek durumdadır.

Borda için tanımlanan yol güverte ile bordanın kesiştiği köşeden sintine dönümün başladığı noktaya kadar 9.28 metredir. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilen grafiklerde yatay eksen güverteden sintineye borda yüksekliğidir, dikey eksen ise Pascal cinsinden gerilme değerleridir.



Şekil 4.26 Bordada boy yönünde (z) normal gerilme değerleri

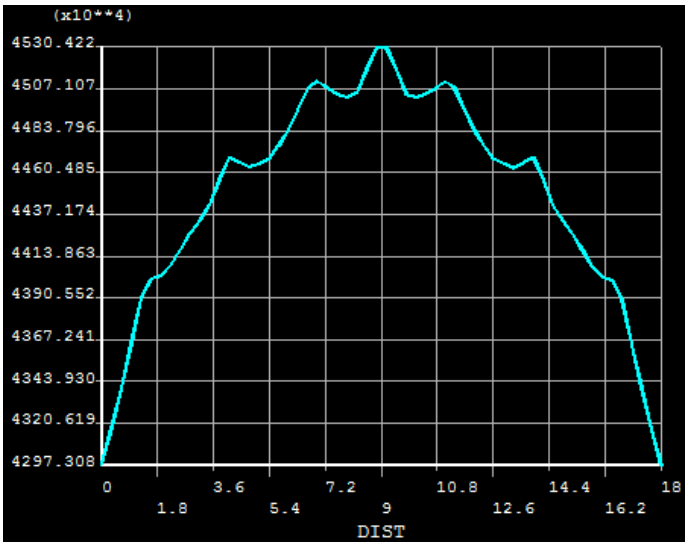
Bordadaki boyuna normal gerilme grafiği kiriş teorisiyle benzer şekilde güverteden dibe doğru negatiften pozitife lineer olarak değişmektedir. Maksimum değer borda ile güvertenin birleştiği köşede -52.86 MPa olarak görülmektedir. Gerilmenin sıfır olduğu nokta tarafsız eksenin olduğu noktadır. Şekil 4.26'dan görmeye çalışırsak işaret değişimi -2.27 MPa ile 4.05 Mpa arasında 7.8 metre civarında gerçekleşmektedir. Tanımlanan yol güverteden dibe doğruydu; o halde tarafsız eksen güverteden 7.8 metre aşağıda konumlanmıştır, yani yaklaşık referans noktası olan dipten 6 metre yukarıdadır. Bu sonuç da kiriş teorisinden elde edilen 6.07 metrelik tarafsız eksen konumu ile neredeyse bire bir örtüşmüştür.



Şekil 4.27 Bordada en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri

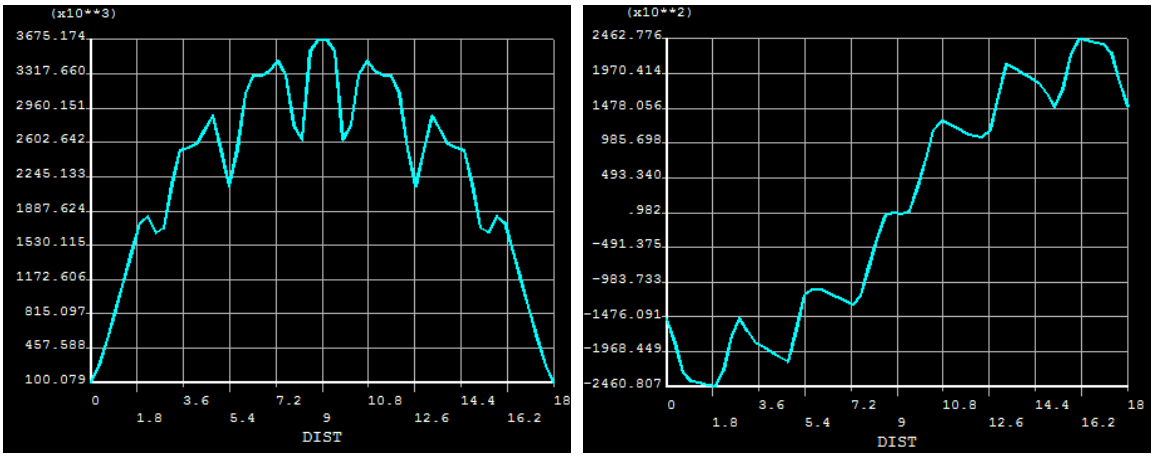
Şekil 4.27'den de en yönündeki normal gerilme ve kayma gerilmeleri izlenebilir. Grafikte görülen dalgalanmalar borda ile iç cidar arasında bulunan derin stringerlerin bulunduğu konumlardır.

Dip için tanımlanan yol, iskele ve sancakta dip ile sintine dönümünün başladığı noktalar arası mesafe 18 metredir. Şekil 4.28 ve Şekil 4.29Şekil 4.27'da verilen grafiklerde yatay eksen dipte sintineden sintineye dip genişliğidir, dikey eksen ise Pascal cinsinden gerilme değerleridir.



Şekil 4.28 Dipde boy yönünde (z) normal gerilme değerleri

dipte görülen maksimum gerilme değeri 45.30 MPa'dır. Grafikte görülen dalgalanmalar dip boyuna tülanilerinin olduğu bölgelerdir. Bunun nedeni, yukarıda da bahsedildiği gibi derin elemanların varlığından kaynaklanan "sheer lag effect"tir. Şekil 4.29'daki grafiklerde ise bu etki daha fark edilir şekilde belirmiştir.



Şekil 4.29 Dipte en yönünde (x) normal gerilme ve (xz) kayma gerilmesi değerleri

Dipte en yönünde normal gerilme, boyuna yöndeki normal gerilmeye oranla çok daha küçüktür. En yönünde normal gerilme maksimum 3.67 MPa'dır. Kayma gerilmesi ise maksimum 0.24 MPa değeri ile ihmal edilebilecek durumdadır.

Ansys sonuçlarını güverte, borda ve dipte inceledikten sonra, kiriş teorisiyle karşılaştırması aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.4 Ansys sonuçlar ile kiriş teorisi sonuçlarının karşılaştırması

	Ansys	Kiriş teorisi	Fark
Güverte	-58.85 (MPa)	-55.73 (MPa)	% 5.30
Dip	45.30(MPa)	43.88 (MPa)	% 3.23

Aynı tekne modeli ve tekneye etki eden aynı kuvvet değerleri için Ansys ve kiriş teorisinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te görülmektedir. Kiriş teorisindeki sonuçlar Bölüm 3'te hesaplanan boyuna mukavemet sonuçlarıdır. Değerler, maksimum eğilme momentinin görüldüğü çökme durumundan elde edilmişti. Ansys analizinde de kuvvetler Bölüm 3'ten elde edilen maksimum moment temel alınarak modellenmişti.

Sonuç olarak, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'teki von Mises gerilmelerinden, Şekil 4.24'ten Şekil 4.29'a kadar olan grafiklerinden ve Çizelge 4.4'teki ihmal edilebilecek farktan da anlaşılacağı üzere Ansys sonuçları kiriş teorisinden elde edilen sonuçlarda tutarlılık içerisindedir. Yapılan analiz ve sonuçlar güvenilirdir denebilir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ana boyutları belli bir tankerin orta kesit boyutlandırması yapılmış ve mukavemet değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

DNV klas kuruluşunun kuralları çerçevesinde orta kesitteki yapı elemanları boyutlandırılmış, boyuna giden her bir elemanın burkulma kontrolü yapılmış ve burkulmaya karşı güvenli olmayan elemanlar için güvenli olacak kalınlıklar veya mukavemet modülleri hesaplanmıştır. Boyutlandırma işlemi tamamlandıktan sonra nihai mukavemet hesabı yapılmış ve boyutlandırılan kesitin gerekli değerleri sağladığı görülmüştür. Boyutlandırma işleminin son adımı olarak orta kesit mukavemet modülü hesaplanmış ve DNV'nin talep ettiği minimum orta kesit mukavemet modülü gereksinimi de sağlandığı görülmüştür.

İkinci bölümde ise boyuna mukavemet hesabı yapılmıştır. Bunun için "Lightweight" ve "Deadweight" dağılımı gerçekleştirilmiştir. Sakin su, dalga tepesi ve dalga çukuru durumları için tekneye etki eden boyuna yük dağılımı ve buna bağlı olarak kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımı gerçekleştirilmiştir. IACS kurallarınca da belirlenen değerler doğrultusunda yukarıda hesaplanan kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin izin verilebilir maksimum değerler alında kaldığı, diğer bir deyişle teknenin maruz kaldığı boyuna kesme kuvveti dağılımı ve boyuna eğilme momenti dağılımı kuralları sağlamıştır. Ayrıca teknenin maruz kaldığı maksimum gerilme değeri kullanılan iki farklı çelik türü için de incelenmiş ve malzeme özeliklerine bağlı olarak tekne

üzerinde gerilmelerin emniyetli alanda kaldığı görülmüştür. İki ana bölümde yapılan hesaplardan sonra dizayn edilen teknenin inşa edilmesi mümkündür denebilir.

Son bölümde ise Ansys sonlu elemanlar yöntemi programı ile mukavemet değerlendirmesi tamamlanmıştır. Boyutlandırılan orta kesit konfigürasyonu için paralel gövdede bir tank modellenmiştir. Boyuna mukavemetten elde edilen değerlerle, boyutlandırılan tankerin güvenli olup olmadığı SEY ile incelenmiştir. Sonuçlar dizayn edilen tankerin güvenli olduğunu göstermiştir ve kiriş teorisinden elde edilen sonuçlara yakın çıkmıştır. Bu noktada, ayrıca modelin ve sonuçların güvenilirliğini desteklemektedir. Diğer taraftan Ansys programından alınan bölgesel gerilme değerleri ile kiriş teorisi tarafından elde edemeyeceğimiz sonuçlara ulaşılmıştır.

Buradan sonraki adımlar dizayn mühendisi tarafından geliştirilebilir. Ansys ile eğilme momentine göre mukavemet değerlendirmesi yanı sıra kesme kuvvetine göre ya da burulmaya göre de mukavemet değerlendirmesi eklenebilir.

Diğer adım, Mars 2000 programı ile gerçekleştirilen nihai mukavemet hesabına alternatif olarak Ansys ile non-lineer analiz yapılıp Mars 2000 sonuçları karşılaştırılabilir.

Buradaki çalışmada yalnızca tam yüklü kargo durumu göz önüne alınmıştı. Pratikte daha işlevsel olabilmesi için, öngörülen en tehlikeli yükleme koşulları klas kuruluşları ışığında modellenerek yani teknenin maruz kalabileceği maksimum gerilme değerleri hesaplanarak, klas kuruluşunun boyutlandırma kurallarına bağlı kalmaksızın tekne dizaynı gerçekleştirebilir. Böylelikle inşa maliyetine direkt etkisi olan “lightweight“ mühendislik anlayışı içersinde optimize edilmeye çalışabilir.

Ansys gibi sonlu elemanlar yöntemi paket programları optimizasyonda mühendislere etkili hizmet edebilmektedir; ancak kullanıcının dikkat etmesi gerek husus bilgisayar ya da programların ancak araç olduğudur. Dizayn mühendisi amacı belirler ve gereksinimleri doğrultusunda bilgisayar ya da diğer gerekli araçları mühendislik mantığı içinde yorumlayıp kullanır.

KAYNAKLAR

[1] Wikipedia, Classification Society http://en.wikipedia.org/wiki/Classification_society, 10 Mayıs 2011

[2] Wikipedia, Det Norske Veritas, http://en.wikipedia.org/wiki/Det_Norske_Veritas, 10 Mayıs 2011.

[3] Ertuğ F., (2006). Sonlu elemanlar Yöntemi İle Yapısal Analiz ve Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] DNV (Det Norske Veritas), (1999). Strength Analysis of Hull Structures in Tankers, DNV, Norway.

[5] Garbatov, Y., (2002). Design of the Ships, 1c, Lecture Notes, IST, Lisbon.

[6] DNV (Det Norske Veritas), (2001). Rules for Classification of Ships, Part 3 Chapter 1, DNV, Norway.

[7] Garbatov, Y., (2002). Design of the Ships, 1b, Lecture Notes, IST, Lisbon.

[8] TP11710, (1993).Standards for the Double Hull Constructıon of Oıl Tanker, TP11710, Marine Safety.

[9] Tayyar, G. P., (2011). Gemi Kirişlerinin Nihai Mukavemetinin Tayini, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] Okumoto, Y., Takeda Y., Mano M. ve Okada T., (2009). Design of Ship Structures, A Practical Guide for Engineers, Springer, Berlin.

[11] Garbatov, Y., (2002). Behaviour of the Ships, 1-2, Lecture Notes, IST, Lisbon.

[12] Moaveni S., (1999). Finite Element Analysis, Theory and Application with Ansys, Prentice Hall, New Jersey

[13] Madenci, E. ve Güven, İ., (2006). The Finite Element Method and Application in Engineering Using Ansys, Springer, New York.

[14] Baykut, N., (2009). Bir Gemi Bloğunun Sonlu Elemanlar Metodu ile Static Analizi, Lisans Tezi, YTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.

[15] Liu, G. R. ve Quek, S. S., (2003). The Finite Element Method, A Practical Course, Elsevier Science, Oxford.

[16] Stolarski, T., Nakasone, Y. ve Yoshimoto S., (2006). Engineering Analysis with Ansys Software, Elsevier Science, Oxford.

[17] Mechanica2, http://mechanika2.fs.cvut.cz/old/pme/examples/ansys55/html/elem_55/chapter4/ES4-93.htm, 11 Temmuz 2011.

[18] Bai Y., (2003). Marine Structural Design, Elsevier Sience, Oxford.

[19] Ünsal, Y., (2006). "Gemi İnşaatında Tekne Kirişi Üzerinde Sonlu Elemanlar Yönteminin Uygulaması, Kabuller ve Örnek Bir Tanker Uygulaması", Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, 26-28 April 2006, Balıkesir.

[20] Ansys Inc., (2010). User Manual.

EK-A

ORTA KESİT PLANI

Boyutlandırılan orta kesiti görünüşü, levha ve profil yerleşimleri devam eden sayfadaki orta kesit resminden takip edilebilir.

Ek-B

ENDAZE PLANI

Boyuna mukavemet hesaplarında kullanılmak üzere için 3 boyutlu modellenen tankerin endaze planı ve ofset tablosu devam eden sayfadaki endaze planı resminde verilmiştir.

EK-C

TANK YERLEŞİM PLANI

Tank yerleşim planı devam eden sayfada verilmiştir.

EK-D

POSTA VE TANK ALANLARI

Tank hacimlerini ve ambar hacimlerini elde edebilmek için orta kesit konfigürasyonu baz alınarak yapılan tank yerleşimine göre tank ve posta hacimleri devam eden sayfada verilmiştir.

EK-E

TANK YERLEŞİMİ ve HACİMLERİ

EK-F

HİDROSTATİK ÖZELLİKLER

Modellenen tankere ait hidrostatik özellikler aşağıda verilmiştir.

Deplasman, Δ (t)	41806.314
Draft, T (m)	10.42
L_{wl} (m)	193.417
B_{wl} (m)	27
Islak alan (m^2)	7551.682
Su hattı alanı (m^2)	4756.89
Cp	0.773
Cb	0.75
Cm	0.97
Cwp	0.911
LCB (m)	93.519
LCF (m)	88.662
LCB (%)	48.351
LCF (%)	45.84
KB (m)	5.703
BMt (m)	6.601
BMl (m)	312.028
GMt (m)	12.304
GMl(m)	317.731
KMt (m)	12.304
KMl (m)	317.731
Immersion (TPc) (t/cm)	48.758
MTc (t.m)	691.831

EK-G

ORTA KESİT MUKAVEMET MODÜLÜ HESAP TABLOSU

Orta kesit mukavemet modülünü hesaplayabilmek, orta kesit yapı elemanlarına göre oluşturulan tablo devam eden sayfalarda verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurbaki BAYKUT

Doğum Tarihi ve Yeri : 30/06/1986 - Çanakkale

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nurbakibaykut@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Gemi İnş ve Gemi Mak Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal	Çanakkale Milli Piyango Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Seta Mühendislik	Dizayn Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Bagbanci H., Baykut, N., Öktem A. S. ve Soares C. G., (2011). "Analysis of the Fluid-Structure Interaction of a Composite Motor Yacht", Martech 2011 Conference, Lizbon. (baskıda).

Proje

1. Baykut N., (2009). Bir Gemi Bloğunun Sonlu Elemanlar Metodu ile Static Analizi, Lisans Tezi, YTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.