

766292

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KLAS KURULUŞLARININ DİREKT HESAP
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Hakan GÜNDÜZ
508021003**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2005**

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Yalçın ÜNSAN
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Ertekin BAYRAKTARKATAL
Doç.Dr. Ömer BELİK

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin tamamlanmasına katkıda bulunan ve destek veren herkese teşekkürlerimi iletebilmek büyük bir mutluluk.

Öncelikle yoğun iş temposuna rağmen tez çalışmamda bana destek veren Tez Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yalçın Ünsan'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Veri toplamamda yardımcı olan Amerikan Loydu ABS, Japon Loydu NK, Norveç Loydu DNV ve İngiliz Loydu LR yetkilileri ile tezimin tamamlanmasında yardımları olan Bahadır Uğurlu ve özellikle gece gündüz demeden yanımda olan Cem Güler'e teşekkür ediyorum.

Sonsuz destek ve ilgileriyle tez çalışmam esnasında bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

En çok da eşim Arzu Gündüz'e teşekkür etmek istiyorum; eşsiz desteği, sabrı ve sevgisi için.

Mayıs 2005

Hakan GÜNDÜZ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. TANKER	2
2.1. Model Özellikleri	4
2.1.1. Model boyutu	4
2.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı	5
2.2. Sınır Koşulları	13
2.2.1. ABS	13
2.2.2. DNV	14
2.2.3. LR	20
2.2.4. NK	27
2.3. Yükleme Koşulları	27
2.3.1. ABS	27
2.3.2. DNV	28
2.3.3. LR	31
2.3.4. NK	32
2.3.5. Model lokal yükleme durumları	34
2.4. Kritik Bölgeler	34
3. KURU YÜK	36
3.1. Model Özellikleri	37
3.1.1. Model boyutu	37
3.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı	38
3.2. Sınır Koşulları	39
3.2.1. ABS	39
3.2.2. DNV	40
3.2.3. LR	44
3.2.4. NK	47
3.3. Yükleme Koşulları	47
3.3.1. ABS	47
3.3.2. DNV	49
3.3.3. LR	52
3.3.4. NK	55
3.3.5. Model lokal yükleme durumları	56
3.4. Kritik Bölgeler	56
4. KONTEYNER	59
4.1. Model Özellikleri	60
4.1.1. Model boyutu	60

4.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı	60
4.2. Sınır Koşulları	64
4.2.1. ABS	64
4.2.2. DNV	65
4.2.3. LR	67
4.2.4. NK	74
4.3. Yükleme Şartları	74
4.3.1. ABS	74
4.3.2. DNV	74
4.3.3. LR	78
4.3.4. NK	82
4.3.5. Model lokal yükleme durumları	83
4.4. Kritik Bölgeler	83
5. MODEL	85
5.1. Giriş	85
5.2. Model Yapısı ve Özellikleri	85
5.3. Dizayn Yükleri	86
5.4. Sınır Koşulları	86
5.5. Yapısal Analiz	86
5.6. Model Sonucu	86
6. SONUÇ	87
KAYNAKLAR	88
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	124

TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1 “Stifner” etkin alanı [1,13,19]	7
Tablo 2-2 ABS model için uygun eleman sayısı [2]	12
Tablo 2-3 DNV tanker tip A sınır koşulları [13]	16
Tablo 2-4 DNV tanker tip B sınır koşulları [13]	17
Tablo 2-5 DNV tanker tip C sınır koşulları [13]	18
Tablo 2-6 DNV tanker eğilme momenti sınır koşulları [13]	19
Tablo 2-7 DNV tanker kesme kuvveti sınır koşulları [13]	20
Tablo 2-8 LR simetrik yükleme sınır koşulları [19]	22
Tablo 2-9 LR asimetrik yükleme için sınır koşulları [19]	23
Tablo 2-10 LR eğilme momenti için sınır koşulları [19]	25
Tablo 2-11 LR kesme kuvveti için sınır koşulları [19]	26
Tablo 2-12 NK kargo ve balast nedeniyle oluşan hidrodinamik basınç [8]	34
Tablo 3-1 DNV lokal yükleme sınır koşulları [11]	41
Tablo 3-2 DNV global yükleme eğilme momenti sınır koşulları [11]	43
Tablo 3-3 DNV global yükleme kesme kuvveti sınır koşulları [11]	43
Tablo 3-4 LR lokal Yükleme Sınır Koşulları [17]	45
Tablo 3-5 LR global yükleme sınır koşulları [17]	46
Tablo 3-6 NK kargo dinamik basıncı [7]	56
Tablo 4-1 DNV lokal analiz sınır koşulları – I [12]	66
Tablo 4-2 DNV lokal analiz sınır koşulları – II [12]	66
Tablo 4-3 LR lokal analiz sınır koşulları – I [18]	70
Tablo 4-4 LR lokal analiz sınır koşulları – II [18]	71
Tablo 4-5 LR lokal analiz sınır koşulları – III [18]	72
Tablo 4-6 LR lokal analiz sınır koşulları – IV[18]	73
Tablo 4-7 LR global analiz yükleme tablosu [18]	79
Tablo 4-8 NK dinamik konteyner yükü [9]	83
Tablo A. 1 Tanker tip A yükleme koşulları [4,8,13,19]	90
Tablo A. 2 Tanker tip B yükleme koşulları [4,8,13,19]	92
Tablo A. 3 Tanker tip C yükleme koşulları [4,8,13,19]	93
Tablo A. 4 ABS kuru yük gemisi yükleme durumları [4]	94
Tablo A. 5 DNV kuru yük gemisi yükleme durumları [11]	96
Tablo A. 6 LR kuru yük gemisi yükleme durumları [17]	99
Tablo A. 7 NK kuru yük gemisi yükleme durumları [7]	105
Tablo A. 8 ABS konteyner gemisi yükleme durumları [4]	109
Tablo A. 9 NK konteyner gemisi yükleme durumları [9]	111

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tipik tanker en kesiti	2
Şekil 2.2 Tanker tip A en kesiti	3
Şekil 2.3 Tanker tip B en kesiti	3
Şekil 2.4 Tanker tip C en kesiti	4
Şekil 2.5 DNV ve LR tanker 3-D modeli [19]	4
Şekil 2.6 ABS tanker 3-D modeli [2]	5
Şekil 2.7 Görder ortalama kalınlığı [13]	6
Şekil 2.8 Simetrik alın laması etkin alanı [19]	8
Şekil 2.9 Simetrik olmayan alın laması etkin alanı [19]	8
Şekil 2.10 Tipik derin posta ağ yapısı [13]	9
Şekil 2.11 Tipik yatay düzlem ağ yapısı [13]	10
Şekil 2.12 Tipik braket ağ örgüsü [13]	10
Şekil 2.13 ABS braket ucu eleman yapısı [5]	11
Şekil 2.14 Yapısal eleman korozyon payları [5]	13
Şekil 2.15 ABS tanker sınır koşulları [2]	14
Şekil 2.16 DNV tanker tip A sınır koşulları [13]	16
Şekil 2.17 DNV tanker tip B sınır koşulları [13]	17
Şekil 2.18 DNV tanker tip C sınır koşulları [13]	18
Şekil 2.19 DNV tanker eğilme momenti sınır koşulları [13]	19
Şekil 2.20 DNV tanker kesme kuvveti sınır koşulları [13]	20
Şekil 2.21 LR simetrik ve asimetrik yükleme için sınır koşulları [19]	22
Şekil 2.22 LR simetrik ve asimetrik sınır koşulları [19]	24
Şekil 2.23 LR eğilme momenti için sınır koşulları [19]	25
Şekil 2.24 LR eğilme momenti ve kesme kuvveti için sınır koşulları [19]	26
Şekil 2.25 ABS toplam dış basınç gösterimi [4]	28
Şekil 2.26 NK orta kesitte hidrodinamik basınç dağılımı (dalga tepesi) [8]	32
Şekil 2.27 NK orta kesitte hidrodinamik basınç dağılımı (yalpa durumu) [8]	33
Şekil 2.28 NK orta kesitte hidrodinamik basınç dağılımı [8]	33
Şekil 2.29 Tankerlerde kritik bölgeler [2]	35
Şekil 3.1 Tipik bir kuru yük gemisi en kesiti	37
Şekil 3.2 DNV ve LR için kuru yük gemisi model boyutu [17]	37
Şekil 3.3 Kuruyük gemisi tipik boyuna kesit eleman yapısı [17]	39
Şekil 3.4 Kuruyük gemisi tipik enine kesit eleman yapısı [17]	39
Şekil 3.5 ABS kuru yük gemisi baş nihayet sınır koşulları [2]	40
Şekil 3.6 DNV lokal yükleme sınır koşulları [11]	41
Şekil 3.7 DNV global yükleme eğilme momenti sınır koşulları [11]	42
Şekil 3.8 DNV global yükleme kesme kuvveti sınır koşulları [11]	43
Şekil 3.9 LR lokal ve global yükleme sınır koşulları [17]	46
Şekil 3.10 İç dip duvar açısı [4]	49
Şekil 3.11 Enine perde duvar açısı [4]	49
Şekil 3.12 Ambar kargo yüzey şekli [11]	50
Şekil 3.13 Eğimli elemanlarda kargo kesme yükü [11]	51
Şekil 3.14 Kargo perdeleri için dizayn yük basınç yüksekliği [11]	51

Şekil 3.15 LR dalga tepesi ve çukuru basınç dağılımı [17]	52
Şekil 3.16 LR kargo yükü [17]	54
Şekil 3.17 NK kargo yükü [7]	55
Şekil 3.18 NK düzeltilmiş yük yüzeyi [7]	55
Şekil 3.19 Kuru yüklerde kritik bölgeler [2]	57
Şekil 4.1 Tipik bir konteyner gemisi en kesiti	59
Şekil 4.2 LR global analiz eleman yerleşimi [18]	62
Şekil 4.3 LR lokal analiz eleman yerleşimi [18]	63
Şekil 4.4 ABS model kış düzlemi sınır koşulları [2]	64
Şekil 4.5 ABS model baş düzlemi sınır koşulları [2]	64
Şekil 4.6 DNV lokal analiz sınır koşulları – I [12]	65
Şekil 4.7 DNV lokal analiz sınır koşulları – II [12]	66
Şekil 4.8 LR global analiz sakin su sınır koşulları [18]	67
Şekil 4.9 LR global analiz burulma sınır koşulları [18]	67
Şekil 4.10 LR yatay dalga eğilme momenti sınır koşulları [18]	68
Şekil 4.11 LR lokal analiz sınır koşulları – I [18]	69
Şekil 4.12 LR lokal analiz sınır koşulları – II [18]	70
Şekil 4.13 LR lokal analiz sınır koşulları – III [18]	71
Şekil 4.14 LR lokal analiz sınır koşulları – IV [18]	73
Şekil 4.15 DNV yükleme durumu – LC1 [12]	75
Şekil 4.16 DNV yükleme durumu – LC2 [12]	75
Şekil 4.17 DNV yükleme durumu – LC3 [12]	76
Şekil 4.18 DNV yükleme durumu – LC4 [12]	76
Şekil 4.19 DNV yükleme durumu – LC5 [12]	77
Şekil 4.20 DNV yükleme durumu – LC6 [12]	77
Şekil 4.21 LR yükleme durumu – C1 [18]	80
Şekil 4.22 LR yükleme durumu – C2a [18]	80
Şekil 4.23 LR yükleme durumu – C2b [18]	81
Şekil 4.24 LR yükleme durumu – C3 [18]	81
Şekil 4.25 LR yükleme durumu – C4 [18]	81
Şekil 4.26 LR yükleme durumu – C5 [18]	82
Şekil 4.27 Konteynerde kritik bölgeler [2]	84
Şekil B. 1 Global model alanları – I	112
Şekil B. 2 Global model alanları – II	112
Şekil B. 3 Model kış düzlem kayıcı mesnet sınır şartı	113
Şekil B. 4 Model baş düzlem ankastre mesnet şartı	113
Şekil B. 5 Global model von misses bileşik gerilme dağılımı – üstten görünüş	114
Şekil B. 6 Model von misses bileşik gerilme dağılımı – alttan görünüş	114
Şekil B. 7 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları	115
Şekil B. 8 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları	115
Şekil B. 9 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları	116
Şekil B. 10 DNV eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görünüş	116
Şekil B. 11 DNV eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş	117
Şekil B. 12 LR eğilme momenti lokal model sınır koşulları	117
Şekil B. 13 LR eğilme momenti lokal model sınır koşulları	118
Şekil B. 14 LR eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görünüş	118

Şekil B. 15 LR eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş	119
Şekil B. 16 DNV kesme kuvveti lokal modeli sınır koşulları	119
Şekil B. 17 LR kesme kuvveti lokal model sınır koşulları	120
Şekil B. 18 LR kesme kuvveti lokal model sınır koşulları	120
Şekil B. 19 LR Kesme kuvveti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görünüş	121
Şekil B. 20 LR kesme kuvveti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş	121
Şekil B. 21 Global model von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş	122
Şekil B. 22 Von misses bileşik gerilme karşılaştırması	123



KLAS KURULUŞLARININ DİREKT HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Klas kuruluşlarının direkt hesap yöntemlerinin karşılaştırılması isimli tez çalışmamda, İngiliz Loydu LR, Norveç Loydu DNV, Amerikan Loydu ABS ve Japon Loydu NK alınan bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Model boyutu, kullanılan eleman yapısı, uygulanan sınır koşulları ile test edilen yükleme durumlarına göre dört klas kuruluşu incelenmiştir.

Tez çalışması üç gemi tipi baz alınarak yapılmıştır: (1) tanker, (2) kuru yük ve (3) konteyner. Dört ana bölümden oluşan tez çalışmasının ilk üç bölümünde sırasıyla tanker, kuru yük ve konteyner gemileri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen benzerlik ve farklılıklardan bir kaç aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Genel olarak model boyutu ve eleman yapısında DNV ve LR’de benzerlikler gözlemlenmiş, ABS ve NK’nın da daha farklı yaklaşımlarda bulunduğu görülmüştür. ABS, DNV ve LR gerek kullandıkları destek elemanları, gerek uyguladıkları harici kuvvet/moment değer ve kuvvetlerin/momentin uygulama noktaları olarak farklılıklar göstermektedir. LR tarafsız eksen üzerinde yükleme yaparken, DNV momentleri kuvvet çiftleri şeklinde tanımlayarak ana elemanların kesişme hatları üzerine etkitmektedir. ABS destek elemanı olarak sadece yay elemanlar kullanmaktadır. Yükleme koşulları, klas kuruluşları arasında uygulanan yük, bulunulan su çekimi, test edilen mukavemet bölgesi açısından farklılıklar göstermektedir.

Son bölümde de elde bulunan veri detayına göre seçilen İngiliz ve Norveç loydlarının sınır koşulları tanker için ANSYS paket programı vasıtasıyla oluşturulan model kullanılarak incelenmiştir. Öncelikle global analiz için bir model oluşturulmuş, model baz alınarak oluşturulan lokal modellere klas kuruluşlarının belirtmiş olduğu sınır şartları uygulanmıştır. LR ve DNV’nin sınır şartlarına uygun kesme kuvveti ve eğilme momenti etkilerek yapılan hesabın sonucunda elde edilen sonuçlar global analizle ve kendi içinde benzer çıkmıştır.

COMPARISION OF DIRECT STRENGTH ANALYSIS OF CLASS SOCITIES

SUMMARY

In the thesis “Comparison of Direct Strength Analysis of Class Societies”, Lloyd’s Register (LR), Det Norske Veritas (DNV), Class NK (Nippon Kaiji Kyokai) and American Bureau of Shipping (ABS) are analysed according to the gathered information. Model dimensions, element structure, applied boundary conditions and loading conditions are considered throughout the study.

The study performed based on the three types of ships: (1) tanker, (2) bulk carrier, and (3) container ships. The thesis has composed of four parts; in the first three parts; tanker, bulk carrier and container are investigated in sequence.

Some of the similarities and differences obtained in the study can be summarized as follows: In general, similarities are recorded between DNV and LR in model length and element structure, whereas ABS and NK have different assumptions. ABS, DNV and LR differentiate in terms of the support elements used, the values of the external force/moment applied and the application points of these forces/moments. LR applies load on neutral axis whereas DNV applies to the intersection lines of main structural elements by defining moments with pairs of forces. ABS prefers spring elements as support elements. Also boundary conditions varies in terms of applied load, experienced draught, the tested strength area.

In the final section; LR and DNV are selected for further analysis due to the detailed data. The boundary conditions of these two are investigated with the model constructed via ANSYS pocket program. First of all a model is built for global analysis. The boundary conditions stated by two classes are applied to the local models, which are built based on the global model. The result of the local calculations is similar within each other and global model.

1. GİRİŞ

Klas kuruluşları gemi personelinin, taşınan malın, geminin, çevre ve üçüncü şahısların güvenliğini sağlamak amacıyla gemilerle ilgili kurallar oluşturan denetim kurumlarıdır. Her klas kuruluşu kendi kurallarını içeren bir kural kitabına sahiptir.

Klas kuruluşu denetimini yaptığı gemiye, eğer sonuç olumlu ise kendi sınıfını vermektedir. Klaslama süreci gemi projelerinin onaylanması ile başlayıp, inşaat safhasında, çelik konstrüksiyon, makine ve elektrik teçhizatının kontrol edilip, teslim alınmasıyla sonuçlanıp, geminin ömrü boyunca düzenli denetimlerle sürdürülmektedir.

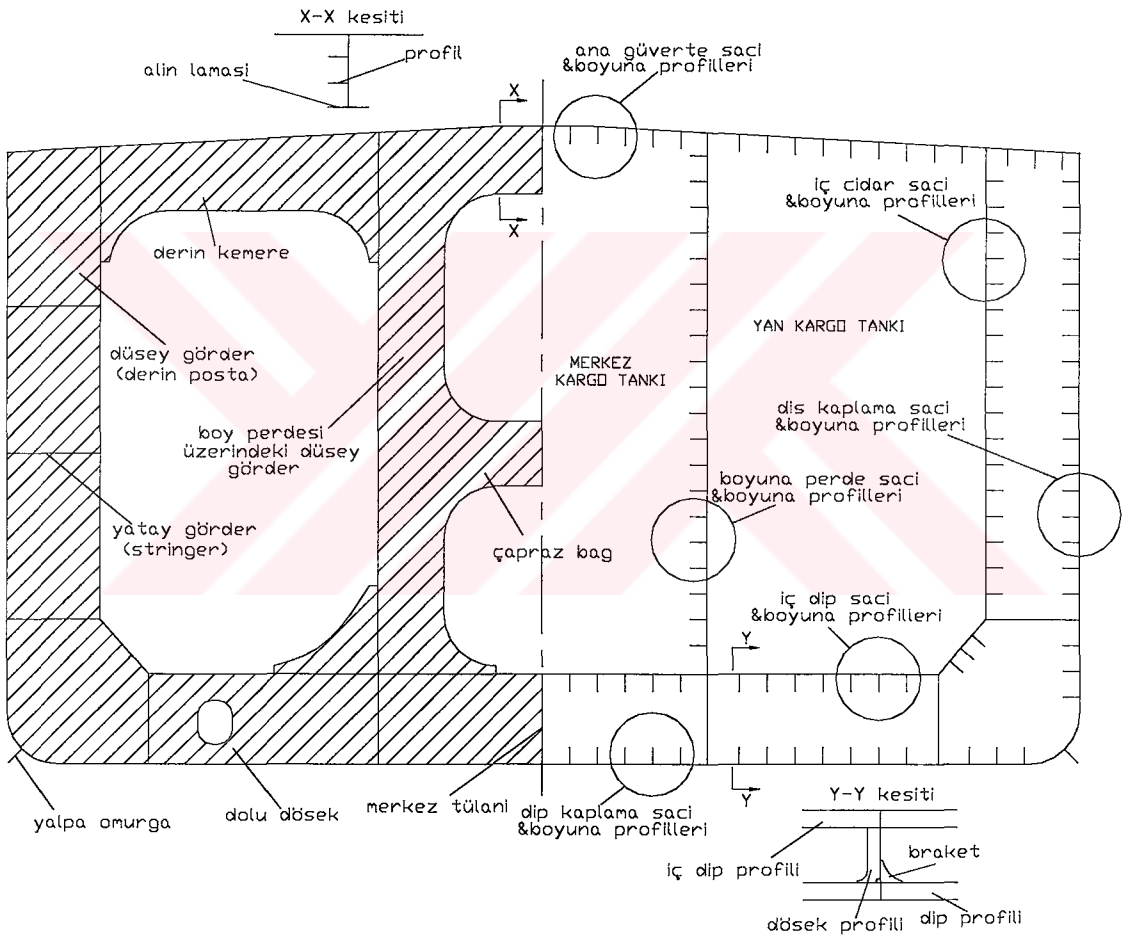
Tez çalışmamda konu olan direkt hesap yöntemleri, klas kuruluşlarının kural kitaplarında standardize edilmemiş olan durumlar (ambar kapağı, kreyn takviyeleri vb.) ve özellikle gemi genel mukavemet kontrolü için kullanılmaktadır.

Tez çalışmamda Norveç Loydu DNV, Japon Loydu NK, Amerikan Loydu ABS ve İngiliz Loydu LR'nin üç gemi tipi için direkt hesap yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaya konu olan gemi tipleri; (1) tanker, (2) kuru yük ve (3) konteyner olarak seçilmiştir.

Genel olarak çalışmanın ileriki bölümlerinde, her gemi tipi için model özellikleri, yükleme koşulları ve sınır koşulları incelenmiş; dört farklı klas kuruluşu için karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde elde mevcut olan en kapsamlı verinin sahibi olan İngiliz ve Norveç klas kuruluşlarının sınır koşulları tanker için ANSYS paket programı ile oluşturulan modele uygulanmıştır.

2. TANKER

Tankerler, sıvı yükleri taşıyabilmeleri için dizayn edilmiş gemi tipleridir. Temelde ham petrol ve işlenmiş ürün (zeytinyağı, parafin, benzin vb.) olmak üzere iki farklı kargo çeşidini taşımak için tasarlanırlar ve kullanılırlar. Aşağıda yük kapasitelerine göre isimlendirilmiş tanker türleri ve tipik bir tanker en kesiti (Şekil 2.1) yer almaktadır.



Şekil 2.1 Tipik tanker en kesiti

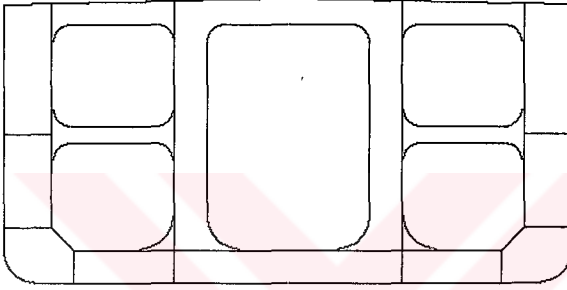
- “Handysize” Tanker: 20 000 – 30 000 DWT
- “Handymax” Tanker: 45 000 DWT
- “Panamax” Tanker: 80 000 DWT
- “Aframax” Tanker: 80 000 – 120 000 DWT

- “Suezmax” Tanker: 120 000 – 180 000 DWT
- “Very Large Crude Carrier (V.L.C.C.)” Tanker: 200 000 – 300 000 DWT
- “Ultra Large Crude Carrier (U.L.C.C.)” Tanker: > 300 000 DWT

Klas kuruluşları tankerleri yapısal farklılıklarına göre üç tipe ayırmakta ve incelemektedirler.

- Tip A

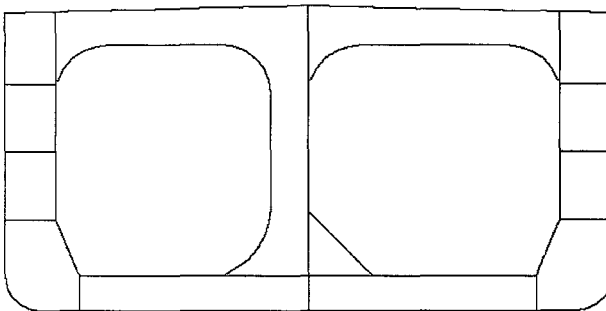
İki adet boyuna perdesi bulunan tankerler bu grubu oluşturmaktadır. VLCC ve servis tankerleri (çapraz bağlantılı) örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.2 Tanker tip A en kesiti

- Tip B

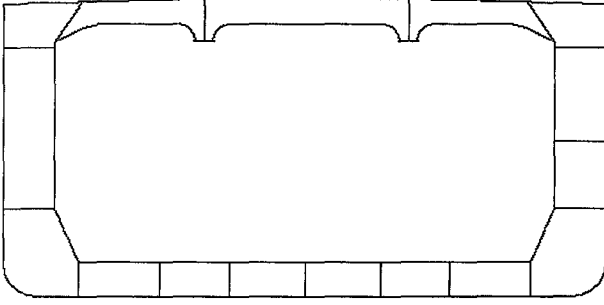
Merkezde bir adet boyuna perdesi bulunan tankerler bu grubu oluşturmaktadır. Suezmax, aframax ve servis tankerleri örnek olarak verilebilir. Tanker Tip B en kesiti Şekil 2.3’de sunulmuştur.



Şekil 2.3 Tanker tip B en kesiti

- Tip C

Boyuna perdesi bulunmayan tankerler bu grubu oluşturmaktadır. Diğer tanker tiplerine oranla daha küçük ebattaki tankerlerdir. Tanker Tip B en kesiti Şekil 2.4’de sunulmuştur.



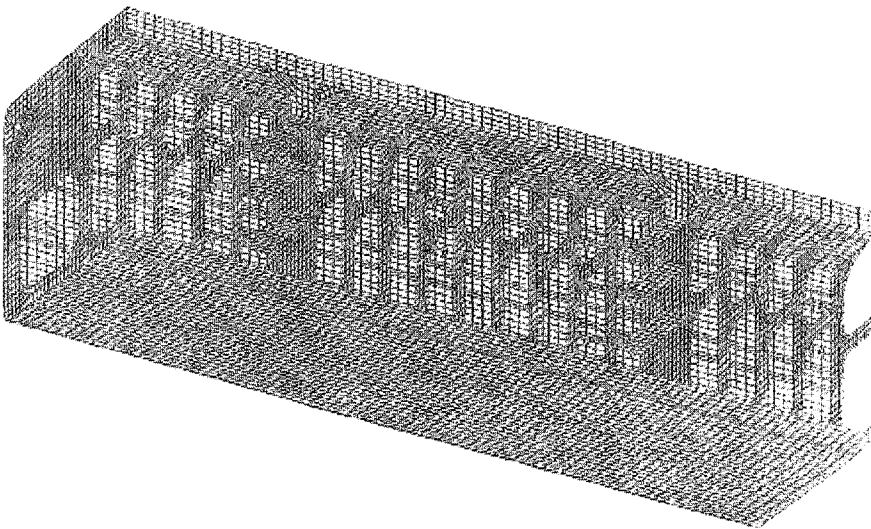
Şekil 2.4 Tanker tip C en kesiti

Klas Kuruluşları, yukarıda tanımlanan üç tanker tipini Sonlu Elemanlar Yöntemi ile modellerken, model boyutundan, eleman sayısı, sınır şartları ve yükleme koşullarına kadar değişik kabul ve varsayımlar kullanmaktadır.

2.1. Model Özellikleri

2.1.1. Model boyutu

DNV ve LR, merkez tank gemi boyunun $0.4L$ ortasında olmak üzere, iki yanında yarımşar tank boyu mesafeyle birlikte toplam iki tank boyu $(\frac{1}{2}+1+\frac{1}{2})$ modelleme yapmaktadırlar (Şekil 2.5). [8,13,19]

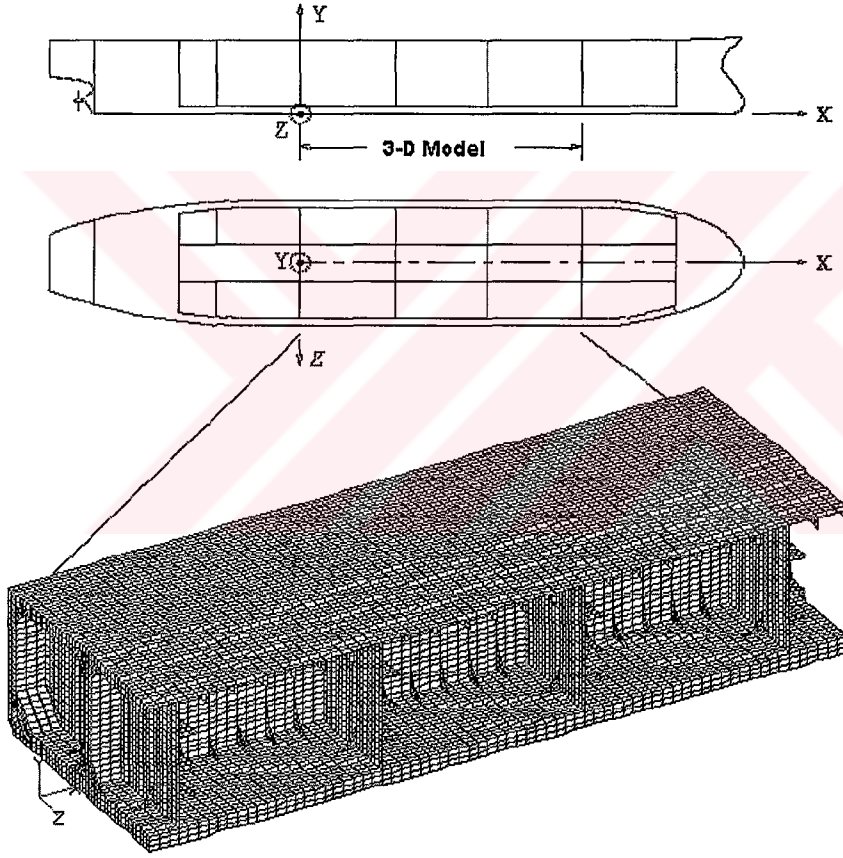


Şekil 2.5 DNV ve LR tanker 3-D modeli [19]

NK ortada enine tank perdesi olmak üzere iki yanında yarımşar tank boyu mesafe, yani toplam bir tank boyu ($\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$) modellemeyi yeterli bulmaktadır.

ABS model boyutunu üç tank boyu (1+1+1) olarak belirlemiştir. (Şekil 2.6)

Klas Kuruluşları asimetrik yükleme koşullarını göz önüne alarak geminin iskele – sancak yani tam genişliğinde modellenmesini önermektedir. Fakat zaman kısıtı ve maliyet artışı göz önüne alındığında, yapısal simetri olan durumlarda, gemi yarı genişliği kadar modellenebilmektedir. Eğer modelin baş ve kıç tarafında yapısal farklılık başlıyorsa model boyutu uzatılmalıdır.



Şekil 2.6 ABS tanker 3-D modeli [2]

2.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı

Model geometrisi, istenen sonuçların hassasiyetine göre detaylandırılmaktadır. İlerideki bölümlerden biri olan 2.4 Kritik Bölgeler konusundaki konumlarda istenen sonuçların alınması için o bölgelerde eleman boyutunun daha küçük olması gerekmektedir.

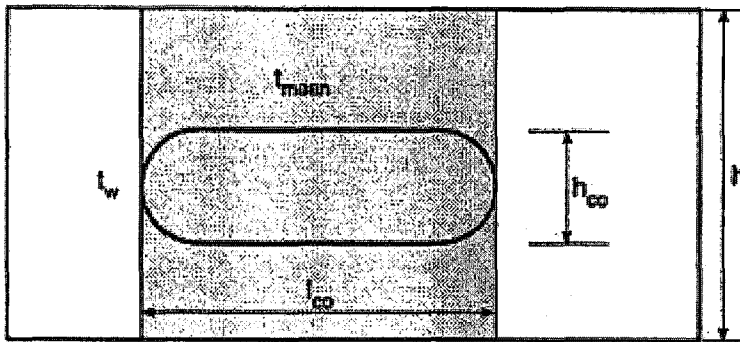
Klas Kuruluşlarının sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan model çalışmalarında, yapı bütün ayrıntıları ile modellenip, ağ örgüsü sık ve hassas sonuç verecek nokta sayısı ile ayarlanabileceği gibi, başta bir ön fikir vermesi için – ki kargo tank analizinde kullanılan yöntem budur – sadece ana elemanların modellenip kaba bir ağ örgüsüyle inceleme yapılabilir. Geometri istenen sonuçların yeterliliğine göre değiştirilebilir. Ancak Klas Kuruluşları gemiyi ana hatlarıyla modelleyip kaba bir eleman yapısıyla gerilim analizini tercih etmektedirler. Bu tercih gereksiz yerlerin detaylı modellenmesini önleyip, zaman ve işgücü tasarrufu sağladığı gibi konstrüksiyon bakımından kritik olan veya genel analizde anormal sonuç veren bölgeleri lokal olarak modelleyip değerlendirmesini beraberinde getirebilmektedir.

Kaba bir ağ yapısı oluşturularak yapılan bir tanker kargo tank analizinde aşağıdaki gemi elemanları mutlaka bulunmalıdır. [13]

- Enine ve boyuna perdeler
- Derin postalar
- Ana ve ara güverteler
- İç dip kaplama ve üzerindeki boyuna elemanlar
- Dış kaplama ve üzerindeki boyuna elemanlar
- Çalkantı perdesi

Yukarıdaki elemanlar birebir detaylı olarak modellenemediği gibi, yapılan bazı kabullerle model yapımında kolaylık sağlanabilmektedir.

- Üzerinde boru ve/veya insan geçişi amacıyla delik açılan döşeklerin ve tülanilerin model yapılırken kalınlığı azaltılabilmektedir. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 Görder ortalama kalınlığı [13]

$$t_{mean} = (h - h_{co}) / (h * r_{co}) * t_w$$

Denklem 2-1

t_w : Görder kalınlığı

$$r_{co} = 1 + (I_{co}^2) / (2.6 * (h - h_{co})^2)$$

l_{co} : Delik boyu

h_{co} : Delik yüksekliği

h : Görder yüksekliği

- “Stifner”ler uç detaylarına göre etkin alanları ile modellenenbildikleri gibi, üzerinde bulundukları panelin kalınlığı artırılarak da modelde temsil edilebilirler. Tablo 2-1’de Klas Kuruluşları’nın “stifner” modellerken kullandıkları etkin alanlar gösterilmektedir.

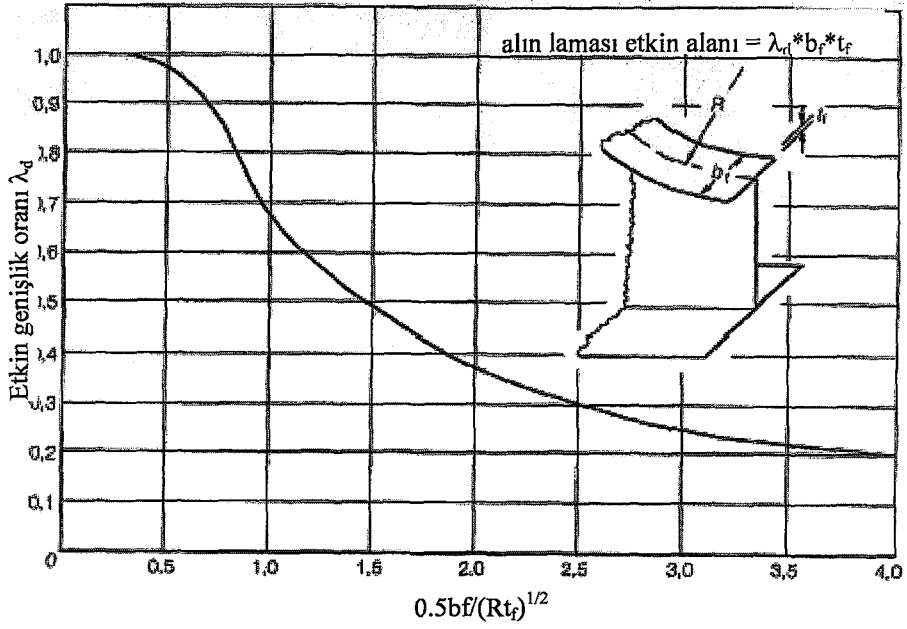
Tablo 2-1 “Stifner” etkin alanı [1,13,19]

Klas Kuruluşu Uç Detayı	Etkin Alan		
	DNV	LR	ABS
İki ucu detaylı	%30 GA*	%25 GA	%30 GA
Bir ucu bağlı, bir ucu detaylı	%70 GA	%75 GA	%65 GA
İki ucu bağlı	%100 GA	%100 GA	%100 GA

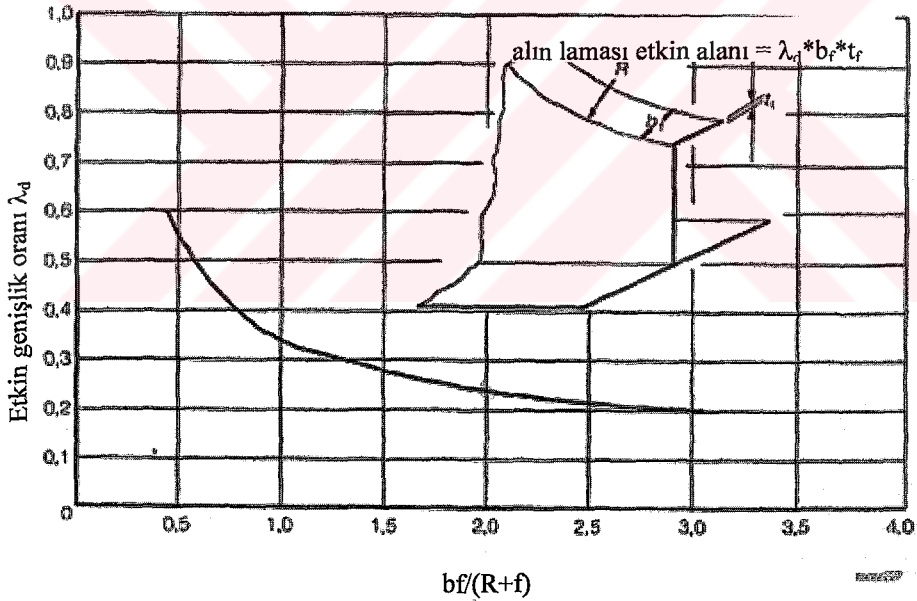
* GA: Gerçek alan

- Braket alın lamaları da “stifner”ler gibi etkin alanları hesaplanarak modellenmektedirler. (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9)

Modelin performansı kullanılan elemanların tipine, şekline, en/boy oranına ve ağ yapısına doğrudan bağlıdır. Ağ boyutu, uygun rijitlik gösterimi, tankın yük dağılımı, dış kaplama ve “membrane” elemanlar üzerindeki deniz basıncı göz önüne alınarak seçilmelidir. İyi bir ağ örgüsü en fazla 15t*15t ya da 200mm*200mm ebatındaki elemanlardan oluşturulmalıdır. Eleman boyutu $t*t$ ’den daha küçük olmamalıdır.



Şekil 2.8 Simetrik alın laması etkin alanı [19]

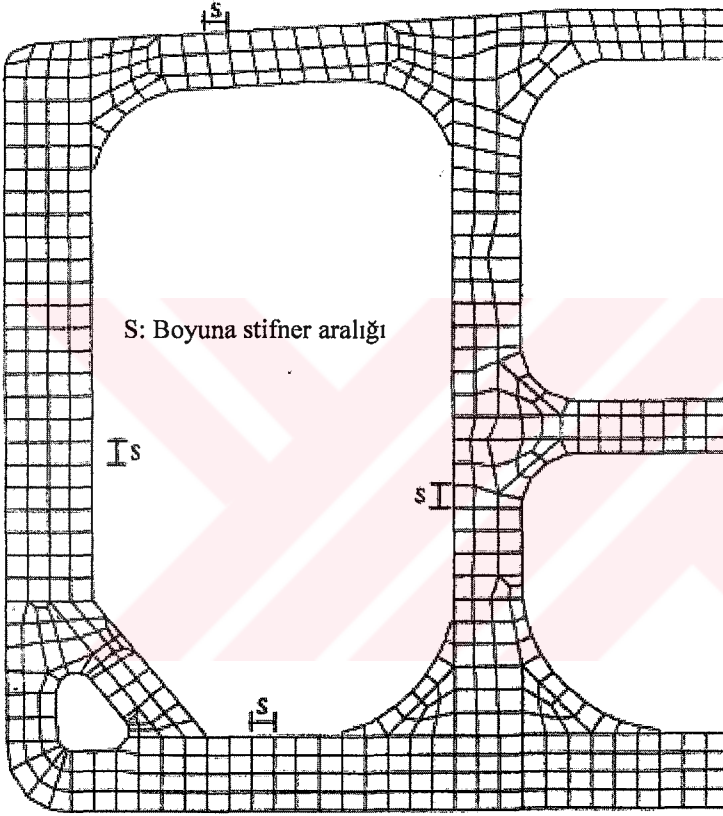


Şekil 2.9 Simetrik olmayan alın laması etkin alanı [19]

Kargo tank analizinde 4 noktalı kabuk ve “membrane” elemanlar ile 2 noktalı kiriş ya da çubuk elemanları kullanılmaktadır. Üçgen plak elemanları sınırlı bir alanda sadece kötü ağ yapısından kaçınmak amacıyla kullanılmalıdır. Özellikle, yüksek gerilimin olduğu yerlerde (ondüle perdelerin, iç dip, iç cidar ve “stool” la olan bağlantılarında, yapısal devamsızlıkların ve kırıklıkların bulunduğu yerlerde, deliklerin etrafında) kullanmak sonuçların anlamlı olmasını engellemektedir. Kritik

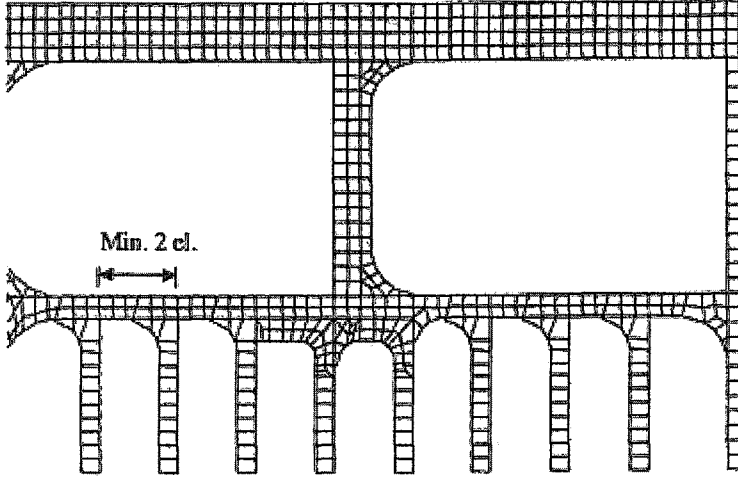
alanlarda dörtgen elemanlar kullanılmalıdır. Aşağıdaki eleman yapısını kullanmak yeterli sonuçların alınması için pratiklik sağlayabilmektedir. [19]

- Görder yüksekliği üzerinde en az 3 eleman bulunmalıdır. Ağ yapısı geminin boyuna “stifner” sistemiyle üst üste çakışacak şekilde alınabilir. (Şekil 2.10)
- Tülaniler arası 1 eleman olması, tülanilerden arzanilere doğru yük transferini sağlayabilmektedir. (Şekil 2.10)

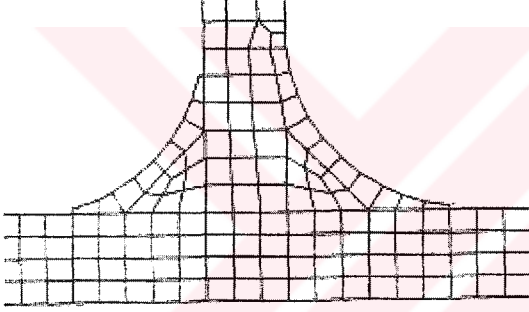


Şekil 2.10 Tipik derin posta ağ yapısı [13]

- Arzaniler arası en az 2 eleman kullanılmalıdır. Yatay “stringer”lerin ve arzani postaların üzerindeki bağlantı braketlerinin gerilim dağılımını daha hassas görebilmek için ağ yapısı daha da detaylandırılabilir. (Şekil 2.11)
- Büyük braketlerin gerilimi incelenirken “stifner” aralığı ölçüsündeki eleman boyutu yeterlidir. Ancak bu sadece braketin serbest kenarlarının ortasındaki gerilmeyi tespit için kullanılabilir. (Şekil 2.12) Kenar uçlarındaki gerilme analizi daha küçük ebattaki elemanlar kullanılarak yapılmalıdır.



Şekil 2.11 Tipik yatay düzlem ağ yapısı [13]

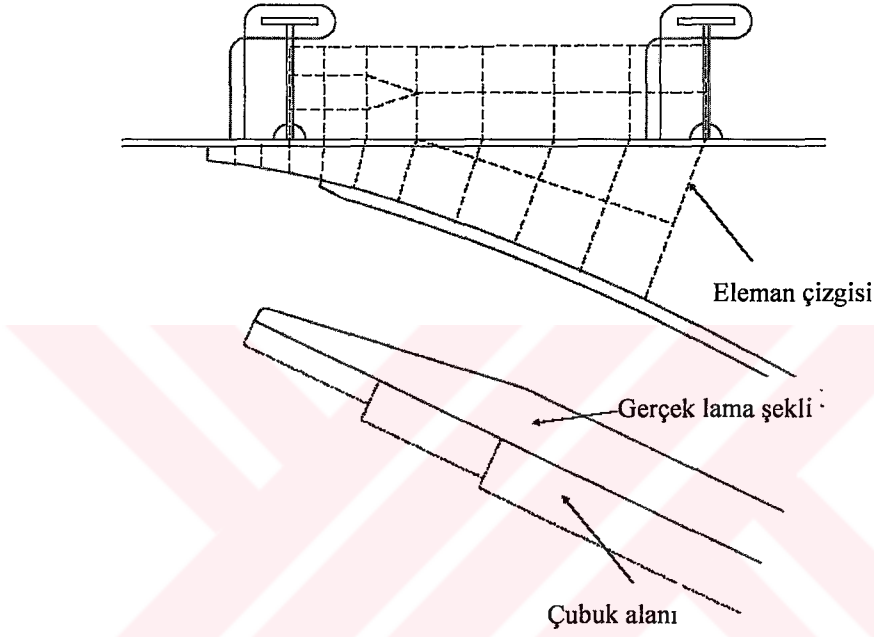


Şekil 2.12 Tipik braket ağ örgüsü [13]

ABS modellemede yukarıda anlatılan DNV'nin yaklaşımına ek olarak aşağıdaki konulara dikkat çekmektedir. [2]

- Geçiş açıklıkları ve braketler gibi yüksek gerilimli bölgelerde eleman boyutunu $1/5 - 1/10$ boyuna "stifner" aralığı olarak kullanmak iyi sonuç vermektedir. Kaba bir ağ yapısından, boyutu daha küçük elemanlara geçiş ya da aksi düzgün ve yumuşak bir ağ örgüsü ile olmalıdır. Bu gibi geçiş noktalarında üçgen elemanlar kullanılabilir. Stresli bölgelerden uzaktaki alanlarda bir deliği silerek, bulunduğu paneli inceltmek veya üzerindeki elemanları silmek her zaman gerçekçi sonuçlar vermeyebilmektedir.
- Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.13) ABS'ye göre kabul edilebilir olan bir braket ağ yapısı görülmektedir. Braketin ayaklarının ucunda çubuk eleman kullanılması önerilmektedir. Eğer bulunan gerilme değeri limite yakınsa daha iyi bir eleman yapısı ile incelemek gerekmektedir.

- “Hot-Spot” gerilme, eleman bağlantılarında yapılan kaynağa bağlı olmaksızın, tamamen yapıdaki bir detay nedeniyle oluşan sıradışı bir gerilmedir. Yapıdaki kırıklıklardan veya devamsızlıklardan kaynaklanabilmektedir. Hot-spot noktaları tespit etmek için ağ örgüsü boyuna stifner aralığının 1/10’undan daha küçük, sac kalınlığından daha büyük olmalıdır.



Şekil 2.13 ABS braket ucu eleman yapısı [5]

- Ondüle perdeler modelin içinde yer almalıdır. Eğimli sacların modelde bulunması ondüle perdeden diğer taraftaki “stool” sacına yük iletimini sağlaması açısından faydalı olmaktadır. Ondüle perdeden “stool” saclarına doğru bir eleman yerleşimi yapmak zor olabileceğinden “stool” saclarından ondüle perdeye doğru yapılan eleman yerleşimi hem pratiklik sağlaması açısından hem de ondüle perdenin doğru geometrik şekilde olması nedeniyle tercih edilmelidir. “Stool”daki diyaframlar ve üzerinde bulunan düşey stifnerler modelde temsil edilmelidir. Ondüle perdelerde gemi boy yönünde bir veya iki dört noktali eleman kullanılması ondüleyle aynı hatta destek braketleri varsa uygun bir gösterim sağlamaktadır. Bu braketlerin modellenmesi normalde, ondüleden “stool”a olan yük iletimini önemli derecede etkilememekle birlikte sonlu elemanların komşu elemanlara kuvvet

transferine olan meyili sebebiyle gerçekçi sonuçlar alınmasını engellemektedir.

- Boyuna elemanlar ve başka devamlı stifnerler modelde bulunmalı ve iki noktalı eksantrik kiriş elemanlarla modellenmelidir. “Stool” içindeki stifnerler kiriş ya da plak ve “membrane” elemanlarla tariflenmelidir.
- ABS eleman yapısının boyuna olarak enine perde civarlarında üç ya da daha fazla, boy – en oranı 1 olan elemanla; enine perdeden uzak yerlerde ise boy – en oranı 3’den fazla olmamak kaydıyla, en az 2 elemanla tanımlanmasını önermektedir. En boy oranı 1 olmak kaydıyla, diğer yönlerde (iç dip döşekleri, tülaneleri ve diğer elemanlar) 3 ya da daha fazla eleman kullanılmalıdır. (Tablo 2-2)

Tablo 2-2 ABS model için uygun eleman sayısı [2]

Yapısal Elemanlar	Y ve Z Doğrultusu	X Doğrultusu
Su Geçmez Elemanlar		
Dış Kaplama İç Cidar Dip Kaplama İç Dip Ana Güverte Boyuna Perdeler	1xs	ws/2’den ws/4’e kadar Enine perdeler civarında ws/4
Enine Perde	1xs	-
Su Geçer Elemanlar		
Derin ve Adi Postalar Çalkantı Perdesi	1xs	-
Stringerler Dip Tülaneleri Çapraz Güverte	1xs	ws/2’den ws/4’e kadar Enine perdeler civarında ws/4

s: Boyuna stifner aralığı

ws: Derin posta aralığı

- Stifnerler için çubuk ve kiriş eleman, saclar için “membrane” kullanılmalıdır.

Yapının modeli net sac kalınlıkları üzerinden olmalıdır. Yani, korozyon payı sac kalınlıklarından düşürülmelidir.

Aşağıda ABS’in eleman korozyon paylarına ilişkin şekil görünmektedir. (Şekil 2.14)

$$A = (1/(1 + \nu)) A_s * l / l_t = 0.77(A_s * l) / l_t$$

Denklem 2-2

A: Destek rod elemanının kesit alanı

A_s : Elemanın kesme alanı (Örneğin, dış kaplamanın ya da boyuna perdenin en kesiti)

ν : Poisson oranı

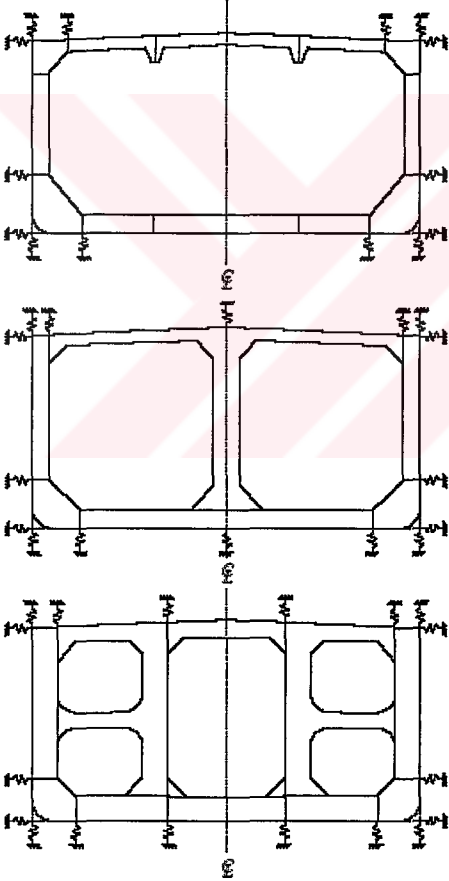
l_t : Kargo tank uzunluğu

l : Destek çubuk elemanı uzunluğu

Sonuçta hesaplanan A kesit alanı toplam çubuk elemanlarının kesit alanıdır. Her bir çubuk elemanının kesit alanını bulmak için A, çubuk eleman sayısına bölünür.

Düşey ve yatay desteklere ek olarak tarafsız eksen üzerinde boyuna perde ile stringerlerin kesiştiği iki nokta da gemi boy doğrultusunda mesnetlenmelidir. [2]

Aşağıda ABS'ye göre sınır koşulları uygulanmış tanker tipleri görülmektedir. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 ABS tanker sınır koşulları [2]

2.2.2. DNV

Simetri sınır koşulları modelin sonlarında ve merkez hat boyunca kullanılabilir. Model düşey doğrultuda, etkitilen kuvvetler veya yay

elemanları ile desteklenmektedir. Düşey yönde kullanılan yay elemanları enine ve boyuna perdelerin kesişim hattında yer almaktadır. Yay sabiti olan K aşağıda gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$K_i = 8 * A_{si} * E / (7.8 * l_i)$$

Denklem 2-3

A_{si} : i'ninci elemanın kesme alanı

l_i : Kargo tank uzunluğu

i: Dış kaplama, iç cidar veya boyuna perde

E: Elastisite modülü

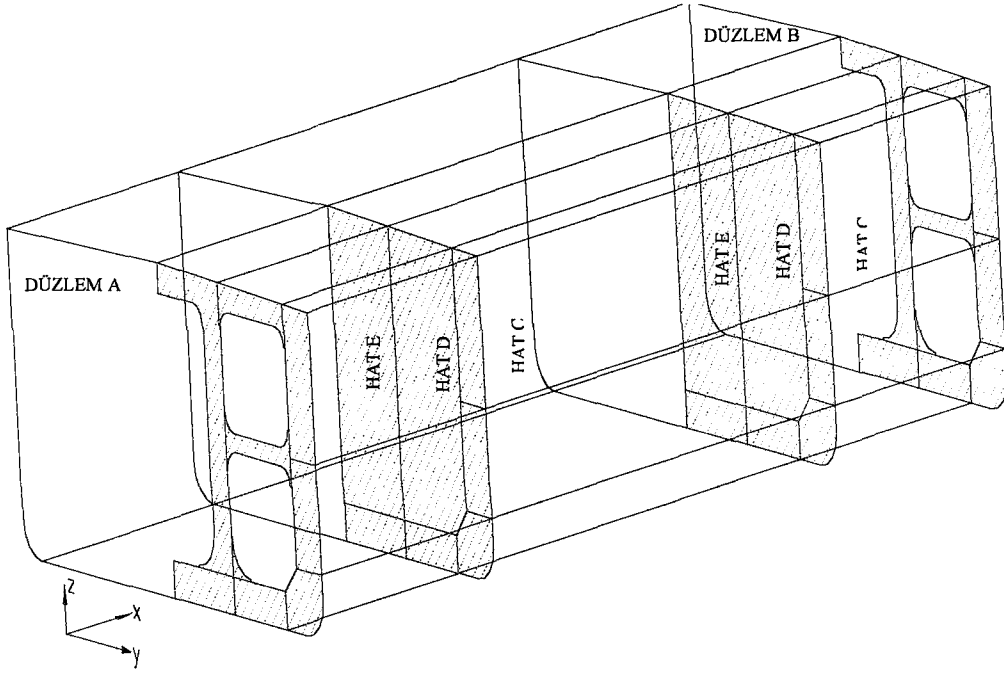
Yay elemanına alternatif olarak enine ve boyuna perdelerin kesişim hatları boyunca düşey kuvvetler uygulanabilmektedir. Bu düşey kuvvetlerin dağılımı kural kitabına göre veya kayma akım hesabına göre yapılabilmektedir.

Lokal Yükleme Sınır Koşulları

Tip A

Aşağıdaki tabloda baş ve kış sınırları ile merkez hatta simetri koşulları uygulanmıştır. C hattı dış kaplamayla enine perdenin kesişimi, D hattı iç cidar ile enine perdenin kesişimi ve E hattı da boyuna perde ile enine perdenin kesişimidir. Düzlem A ve B modelin baş ve kış nihayetleridir. (Şekil 2.16, Tablo 2-3)

İç dipte veya diğer boy yönünde bulunan elemanlardaki boyuna gerilmeler de dikkate alınmak istendiği takdirde, Tanker Tip C'de uygulanan hareket yönüne ters kuvvet uygulanmalıdır.



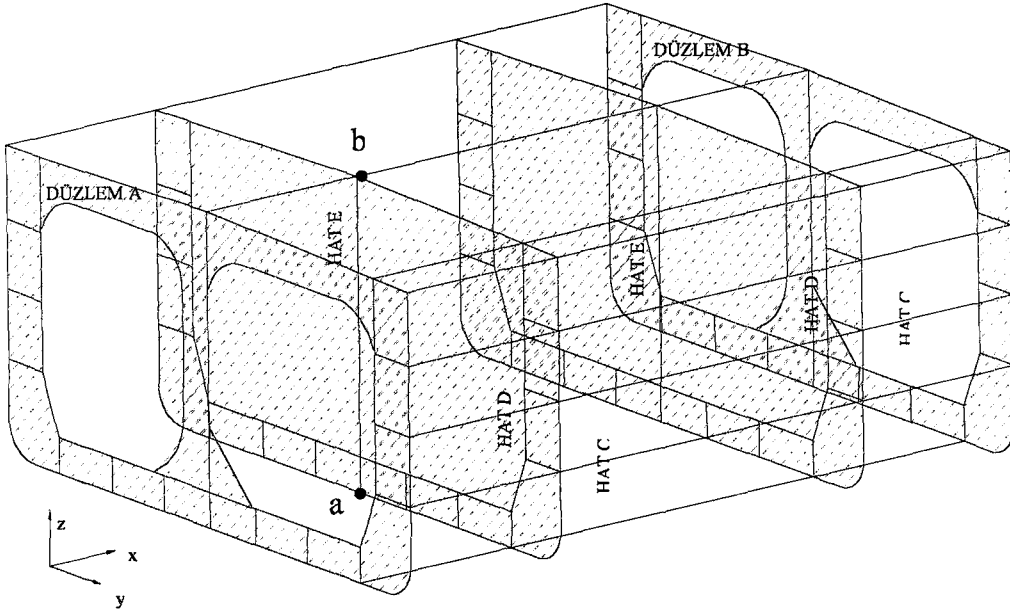
Şekil 2.16 DNV tanker tip A sınır koşulları [13]

Tablo 2-3 DNV tanker tip A sınır koşulları [13]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Merkez Hat	-	X	-	X	-	X
Hat C, D, E	-	-	S/F_v	-	-	-
X Yer değiştirmesi veya dönmesi mesnetlenmiş - Serbest S Yay (S/F_v yay ya da kuvvet anlamına gelmektedir.) F_v Düşey kuvvetler						

Tip B

Temelde Tip A ile aynı sınır koşulları uygulanmaktadır. Bununla birlikte merkez hat üzerinde simetrik olmayan yükleme koşulları uygulanabilmektedir. Boy yönünde iç dip ve güverte gerilmeleri düşünülmemektedir. Hat C, D ve E, Tip A'daki şekliyle aynı olmakla birlikte, hat C ve D merkez hattın iki yanında da bulunmaktadır. "a" noktası merkez hat, dip kaplama ve enine perdelerin, "b" noktası ise merkez hat, ana güverte ve enine perdelerin kesişme noktasıdır. (Şekil 2.17, Tablo 2-4) [13]



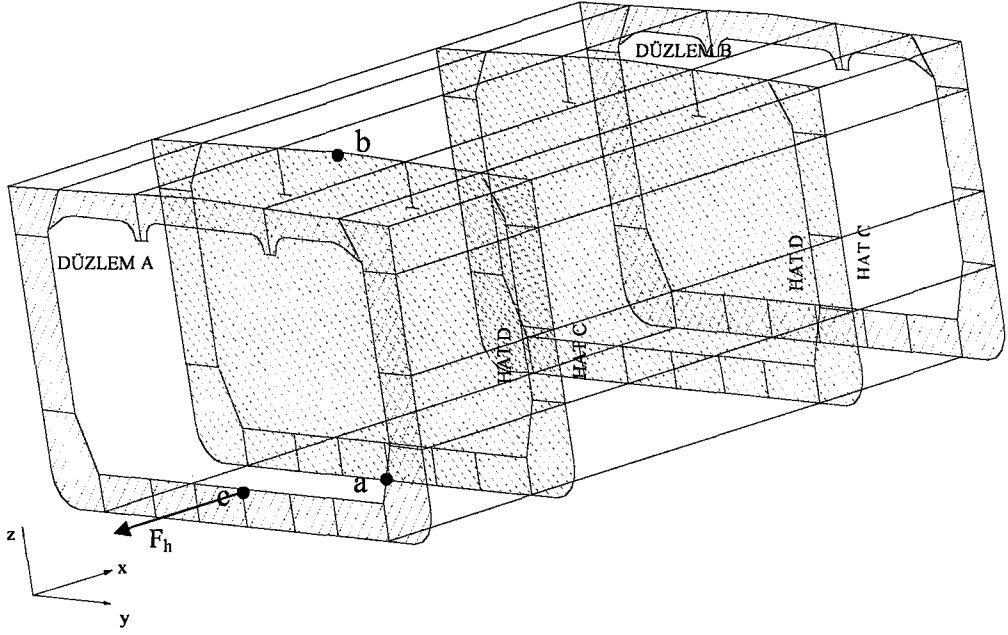
Şekil 2.17 DNV tanker tip B sınır koşulları [13]

Tablo 2-4 DNV tanker tip B sınır koşulları [13]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat C, D, E	-	-	S/F _v	-	-	-
Nokta a ve b	-	X	-	-	-	-

Tip C

C tipi tankerler genelde iç dipte ve dış kaplamada çok sayıda tülani elemana sahiptirler. Tablo 2-5’de tanker Tip A ve Tip B’nin sınır koşullarında rastlamadığımız, hareket yönünün tersine, gemi boyu doğrultusunda bir kuvvet bulunmaktadır. Bu kuvvet sadece merkez tank boş ve baş - kık taraftaki tankların dolu olduğu yükleme koşulunda etkililmelidir. Kuvvetin büyüklüğü enine perde üzerindeki yüke eşit alınmalıdır. “c” noktası hareket yönüne ters boyuna kuvvetin etkidiği noktadır. (Şekil 2.18, Tablo 2-5) [13]



Şekil 2.18 DNV tanker tip C sınır koşulları [13]

Tablo 2-5 DNV tanker tip C sınır koşulları [13]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	L	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat C, D	-	-	S/F_v	-	-	-
Nokta a ve b	-	X	-	-	-	-
Nokta c	F_h	-	-	-	-	-
L c noktasına doğrusal bağlı						
F_h Hareketin tersine, boyuna kuvvet						

Global yükleme sınır koşulları

Eğilme momenti

Baş nihayet sabitlenir. Kıç nihayet de rijit bir düzlem olarak tanımlanır. Modele etkitilen moment eleman korozyon paylarının düşürülmesi nedeniyle, $(M_s + M_w)$ momentinin, korozyon payı düşürülmüş kesit modülünün gerçek kesit modülüne oranı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Moment zıt yönlerde uygulanan kuvvet çifti ile elde edilebilir. Eşit büyüklükteki kuvvetlerden biri dip, diğeri ana güverte merkez hat kesişimlerinde uygulanır. (M_s : Sakin su eğilme momenti, M_w : Dalgadan kaynaklanan eğilme momenti) (Tablo 2-6, Şekil 2.19) [13]

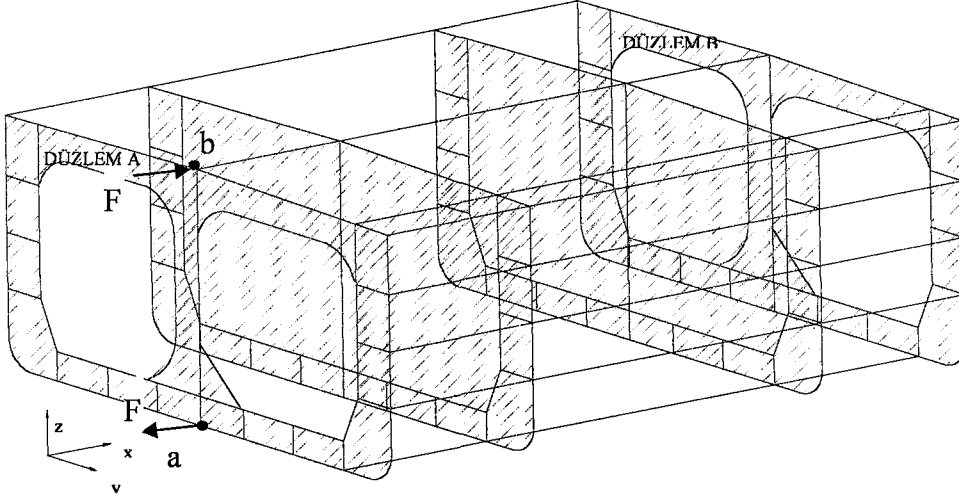
$$F = M / h$$

Denklem 2-4

F: Yapıya uygulanan kuvvet

M: Düzeltilmiş eğilme momenti

h: Ana güvertenin merkez hatta yüksekliği



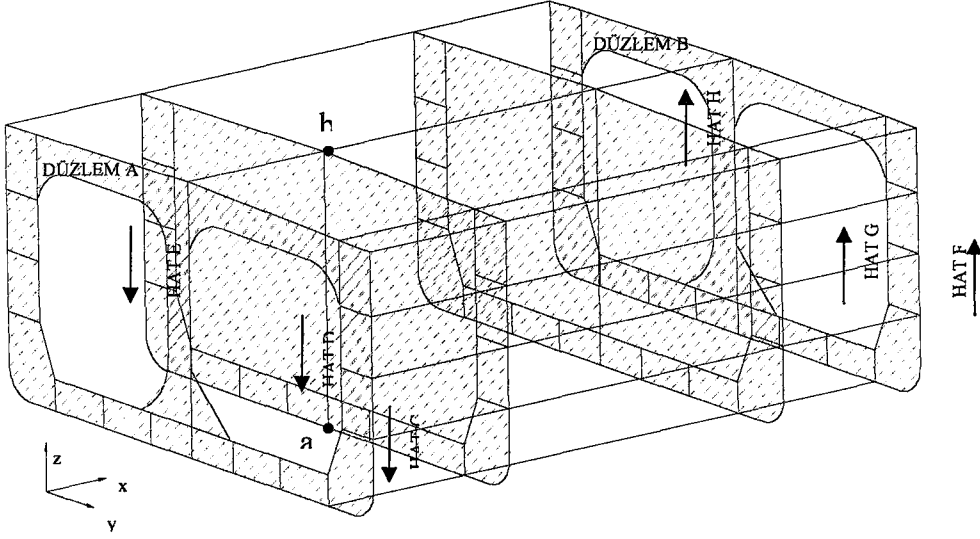
Şekil 2.19 DNV tanker eğilme momenti sınır koşulları [13]

Tablo 2-6 DNV tanker eğilme momenti sınır koşulları [13]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	L	L	L	L	L	L
Düzlem B	X	X	X	X	X	X
Merkez Hat (Simetri koşulunda)	-	X	-	X	-	X
Nokta a ve b	$F_{a,b}$	-	-	-	-	-
$F_{a,b}$ Eğilme momenti yaratan kuvvet						

Kesme kuvveti

Model, gemi eni doğrultusunda, enine perdelerin, boyuna perde ve tülânilerle kesişimlerinde iç dip üzerinde sabitlenir. Kesme kuvvetleri, boyuna perdelerin enine perdelerle kesiştiği yerlerde her iki nihayette ters yönlü olacak biçimde uygulanır. Kuvvetler kayma akım hesabı ile bulunabilir. Bir uçta yay elemanları da kullanılabilir. Kesme kuvvetinin büyüklüğü modelde izin verilen en büyük kesme kuvveti olmalıdır. (Şekil 2.20, Tablo 2-7) [13]



Şekil 2.20 DNV tanker kesme kuvveti sınır koşulları [13]

Tablo 2-7 DNV tanker kesme kuvveti sınır koşulları [13]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Merkez Hat (Simetri koşulunda)	-	X	-	X	-	X
Hat C, D, E	-	-	S&F _v	-	-	-
Hat F, G, H	-	-	F _v	-	-	-

2.2.3. LR

Sınır koşullarının ya da desteklerinin uygulandığı yerler civarından elde edilen gerilim sonuçları modeli değerlendirmek için uygun olmayabilir. Bu bölgelerden elde edilen değerler dikkate alınmamalıdır.

Aşağıda tarif edilen sınır şartları bir boyuna perdeli tanker tipi içindir. Diğer tanker tipleri için daha sonra açıklanacak olan K ve P hatlarındaki koşullar, diğer boyuna perdelerde de aynen uygulanmalıdır.

Simetrik yükleme için sınır şartları

Burada uygulanacak olan sınır şartları, lokal yüklerden kaynaklanan global eğilme momenti etkisini yok etmek içindir.

Modelin kış ve baş nihayetinde, merkez hat ve tarafsız eksenin kesişiminde noktada bağımsız nokta (“independent point”) olarak adlandırılan nokta belirlenir.

Tanımlanan bağımsız noktaların modelle tek bağlantısı, belirtilen hareket ve rotasyon yönleriyle sınırlı kalmaktadır. (Şekil 2.21, Tablo 2-8)

Modelin, ana güverte üzerinde boyuna ve enine perdelerin kesişme noktaları olan A ve B noktalarında, daha fazla sayıda boyuna perde bulunduran tanker tipleri için nokta sayısı artmak üzere, gemi eni doğrultusunda hareket mesnetlenmelidir. [19]

Düşey doğrultuda sınır şartları iki şekilde uygulanabilmektedir:

1. Yay eleman metodu: DNV ve ABS'deki uygulamaya benzer şekilde bir uçları ankastre, diğer uçlarından modele bağlanan elemanlar, enine perdelerin, dış kaplama, iç cidar ve boyuna perdelerle kesişimleri boyunca düğüm noktalarına uygulanmaktadır. Yay elemanlar sadece düşey doğrultuda dayanım sağlayabilmektedir. Yay elemanın k sabiti aşağıdaki gibidir:

$$K = 5 * G * A / (6 * l_i * n)$$

Denklem 2-5

G: Sacın kayma modülü

A: Dış kaplama, iç cidar veya boyuna perde kesme alanı

n: Yay elemanının etkitildiği düğüm miktarı

2. Kuvvetle Dengeleme Metodu: Yay elemanlarının kullanılmadığı durumlarda; uygulama yerleri benzer şekilde enine perde ile dış kaplama, iç cidar ve boyuna perdelerin kesişim hatları boyunca düğüm noktaları olmak üzere yapıyı dengelemek amacıyla harici kuvvetler uygulanmaktadır. Ayrıca dış kaplama ile ana güvertenin her enine perdede kesişim yerleri de düşey doğrultuda sabitlenmektedir. ($\delta_z = 0$)

Uygulanacak kuvvetler her bir yükleme durumu için farklılık göstermektedir. Noktasal kuvvetlerin toplamı kayma akım hesabından ya da ilgili elemanın kesme alanının toplam kesme alanına oranından bulunabilir. Kuvvetlerin toplamı her bir yükleme durumu için düşey yüklere eşit olmalıdır. Her bir düğüm noktasına etkitilecek f kuvveti aşağıdaki gibidir:

$$f = F * a / A * n$$

Denklem 2-6

F: Toplam kesme kuvveti

A: Toplam kesme alanı

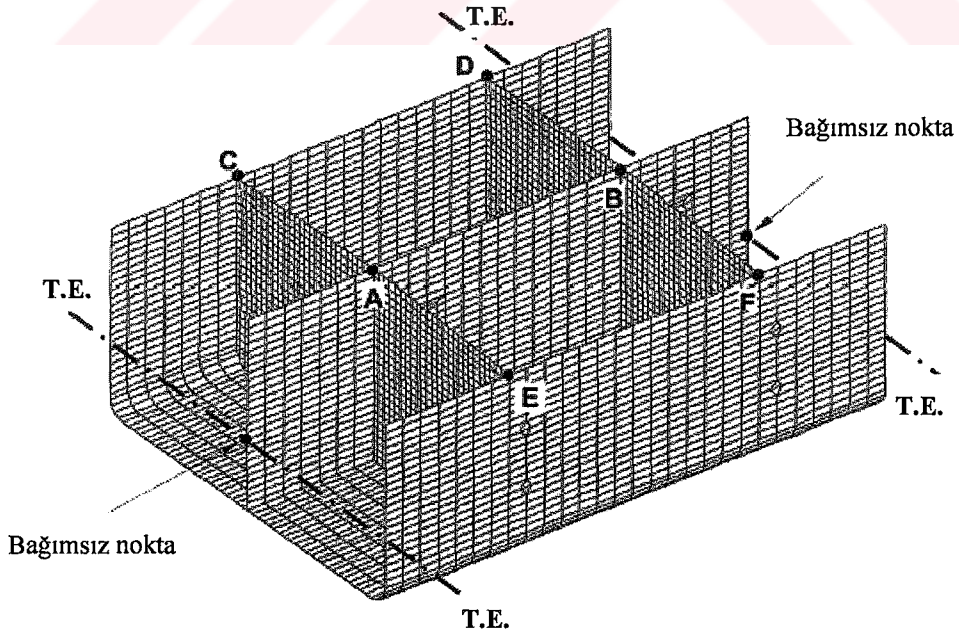
a: Her bir elemanın kesme alanı

n: Düğüm noktası sayısı

Yarım genişlikte modellenen yapılar için merkez hat üzerindeki her bir düğüm noktası için $\delta_y=0$, $\theta_x=0$, ve $\theta_z=0$ sınır koşulları uygulanmalıdır.

Tablo 2-8 LR simetrik yükleme sınır koşulları [19]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Model sonları						
Kıç nihayeti (kn)	L	-	-	-	L	L
Baş nihayeti (bn)	L	-	-	-	L	L
kn bağımsız nokta (Şekil 2.21)	X	X	X	X	X	X
bn bağımsız nokta (Şekil 2.21)	-	X	X	X	X	X
Gemi eni doğrultusunda						
A ve B noktaları	-	X	-	-	-	-
Gemi yüksekliği doğrultusunda						
I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R hatları (Şekil 2.22)	-	-	S	-	-	-
ya da;						
C, D, E, F noktaları (Şekil 2.22)	-	-	X	-	-	-
I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R hatları (Şekil 2.22)	-	-	F	-	-	-
Yarı genişlik modeli için merkez hat						
Merkez Hat	-	X	-	X	-	X



Şekil 2.21 LR simetrik ve asimetrik yükleme için sınır koşulları [19]

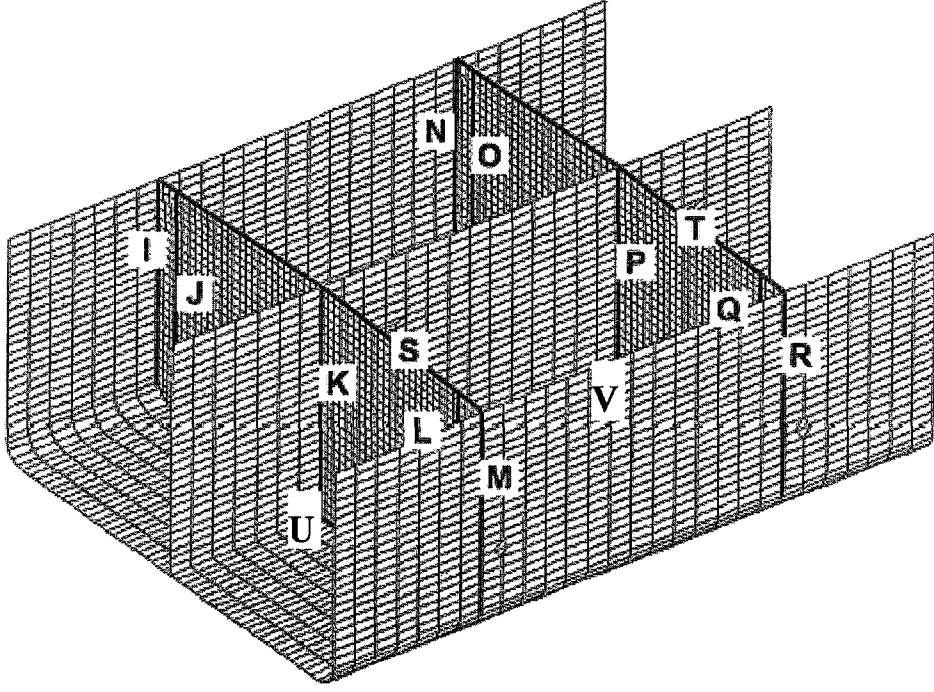
Asimetrik yükleme için sınır şartları

Simetrik yüklemede kullanılan sınır koşullarının aynısı kullanılabildiği gibi gemi en yönünde, ana güverte ve dip kaplamanın enine perde ile kesiştiği hat boyundaki düğüm noktalarına yay elemanı da konulabilir ki, elemanın dayanım kabiliyeti sadece gemi eni doğrultusundadır. Elemanın K sabiti simetrik yükleme koşulları için verildiği gibidir. Farklı olarak formülde bulunan A, ana güverte ve dip kaplamanın kesme alanını temsil etmektedir.

Yarım genişlikte modellenen sonlu elemanlar modeli için asimetrik yükleme, simetrik ve anti-simetrik parçalardan oluşmak üzere iki ayrı şekilde modellenmektedir. Bu yükleme koşulları modele simetrik ve anti-simetrik sınır şartları ayrı ayrı uygulanarak çözülür. Daha sonra çıkan sonuçlar birleştirilerek nihai sonuca ulaşılır. (Tablo 2-9, Şekil 2.22) [19]

Tablo 2-9 LR asimetrik yükleme için sınır koşulları [19]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Model sonları						
Kıç nihayeti (kn)	L	-	-	-	L	L
Baş nihayeti (bn)	L	-	-	-	L	L
kn bağımsız nokta (Şekil 2.21)	X	X	X	X	X	X
bn bağımsız nokta (Şekil 2.21)	-	X	X	X	X	X
Gemi eni doğrultusunda						
A ve B noktaları (Şekil 2.21)	-	X	-	-	-	-
ya da;						
S, T, U, V hatları (Şekil 2.22)	-	S	-	-	-	-
Gemi yüksekliği doğrultusunda						
I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R hatları (Şekil 2.22)	-	-	S	-	-	-
ya da;						
C, D, E, F noktaları (Şekil 2.22) (Şekil 2.21)	-	-	X	-	-	-
I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R hatları (Şekil 2.21) (Şekil 2.22)	-	-	F	-	-	-



Şekil 2.22 LR simetrik ve asimetrik sınır koşulları [19]

Global yükleme eğilme momenti durumu için sınır şartları

Burada uygulanacak sınır şartları, sonlu elemanlar modelinin eğilme momenti etkisi ile uygun şekilde yer değiştirmesini ve analiz yapılmasını sağlamaktadır. Modele baş ve kıç nihayetlerde eğilme momenti uygulanıp, başka hiçbir yükleme yapılmamaktadır. Baş ve kıç nihayette diğer durumlardaki sınır şartları geçerlidir. (Şekil 2.23, Tablo 2-10)

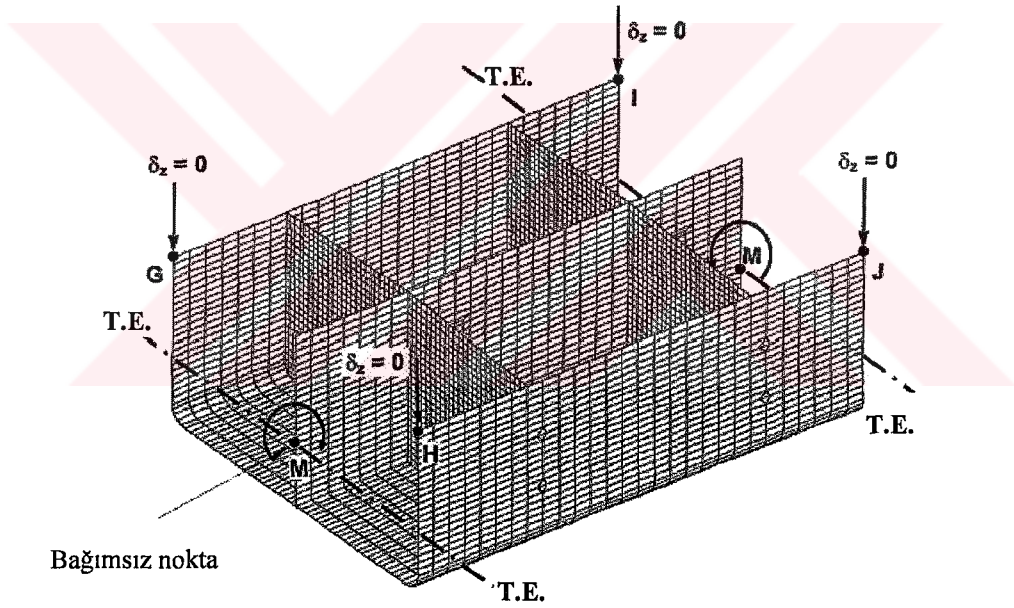
Gemi eni doğrultusunda dip kaplamalarda enine perde ve merkez hattın kesişme noktalarında hareket sınırlandırılmıştır. ($\delta_y=0$)

Düşey doğrultuda model kıç ve başının dış kaplama ve ana güvertenin kesişme noktaları sınırlandırılmıştır. ($\delta_z=0$)

Yarı genişlikte model yapıldığında, merkez hat üzerindeki her düğüm noktası sınırlandırılmaktadır. ($\delta_y, \theta_x, \theta_z = 0$) [19]

Tablo 2-10 LR eğilme momenti için sınır koşulları [19]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Model sonları						
Kıç nihayeti (kn)	L	-	-	-	L	L
Baş nihayeti (bn)	L	-	-	-	L	L
kn bağımsız nokta (Şekil 2.23)	X	X	X	X	M	X
bn bağımsız nokta	-	X	X	X	M	X
Gemi eni doğrultusunda						
K ve L noktaları (Şekil 2.24)	-	X	-	-	-	-
Gemi yüksekliği doğrultusunda						
G, H, I, J noktaları (Şekil 2.23)	-	-	-	-	-	-
Yarı genişlik modeli için merkez hat						
Merkez hat	-	X	-	X	-	X
M Bağımsız noktaya etkitilen eğilme momenti						



Şekil 2.23 LR eğilme momenti için sınır koşulları [19]

Global yükleme kesme kuvveti durumu için sınır şartları

Bu yükleme koşulları, global kesme kuvvetinin analizini uygun şekilde yapmak için oluşturulmaktadır. Kesme kuvveti modelin baş sınırına uygulanmakta olup, başka hiçbir yükleme yapılmamaktadır.

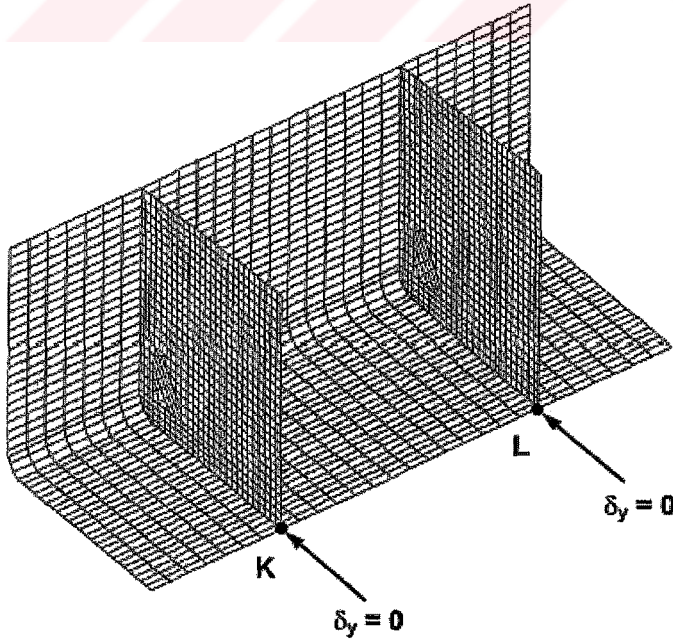
Model baş düzlemindeki dış kaplama, iç cidar ve boyuna perdelerin düşey hatları boyunca düğüm noktalarına kesme kuvvetleri dağıtılır. Model baş tarafı hiçbir hareket ve dönme yönünde kısıtlanmaz. (Tablo 2-11, Şekil 2.24)

Gemi eni doğrultusunda, dip kaplama, merkez hat ve enine perdelerin kesişim noktalarında hareket kısıtlanır. ($\delta_y=0$)

Gemi düşey doğrultusunda dış kaplama, iç cidar ve boyuna perdelerin gemi kıç düzlemindeki düğüm noktalarında hareket kısıtlanır. ($\delta_z=0$) [19]

Tablo 2-11 LR kesme kuvveti için sınır koşulları [19]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Model sonları						
Kıç nihayeti (kn)	L	-	-	-	L	L
Baş nihayeti (bn)	-	-	F	-	-	-
kn bağımsız nokta	X	X	X	X	X	X
Gemi eni doğrultusunda						
K ve L noktaları (Şekil 2.24)	-	X	-	-	-	-
Gemi yüksekliği doğrultusunda						
Kn	-	-	S	-	-	-
Yarı genişlik modeli için merkez hat						
Merkez hat	-	X	-	X	-	X



Şekil 2.24 LR eğilme momenti ve kesme kuvveti için sınır koşulları [19]

2.2.4. NK

Model, gemi yüksekliği ve gemi eni doğrultularında, enine perdede; gemi boyu yönünde kıç ve baş nihayetlerde desteklenmelidir. Destek noktalarının civarındaki elemanlar değerlendirmenin dışında tutulmalıdır. Destek noktaları civarındaki elemanların değerlendirilmeleri gerekiyorsa model sınırları genişletilip, destek noktalarının yeri değiştirilmelidir. [8]

2.3. Yükleme Koşulları

Hazırlanan modele iç (kargo ve/veya balast) ve dış (deniz ve/veya dalga) basıncı etkiltilerek gerilimler gözlemlenmektedir. İç ve dış basınçlar hidrostatik ve hidrodinamik olmak üzere iki şekildedir.

Gemi operasyon ömrü 20 yıla uygun olacak şekilde dalga eğilme momentleri ve dalga kesme kuvvetleri, olasılık seviyeleri $Q=10^{-8}$ olan dizayn değerleridir.

Kargo ve balast yükleri için madde yoğunluğu 1.025 ton/m^3 'ün altında olmamalıdır.

2.3.1. ABS

Dış basınç:

Üç boyutlu yapısal analiz yapılırken model bünyesine etkiyen dış basınç aşağıdaki gibidir(Şekil 2.25) [4]:

$$P_{es} = \rho g(h_s + k_f k_u h_{de}) \text{ N/cm}^2 \quad \text{Denklem 2-7}$$

$$k_f = k_{f0} \{1 - [1 - \cos 2\pi(x - x_0)/L] \cos \mu\} \quad \text{Denklem 2-8}$$

x: Yüklenecek noktanın kıç kaimesinden mesafesi

x_0 : Dalga tepesi ya da çukurunun kıç kaimesinden mesafesi (Üç tank modelinin ortası alınabilir.)

k_{f0} : ± 1

L: Gemi boyu

μ : Dalga açısı (0° - 90° arası alınabilir.)

$$p_2 = a(p_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0)$$

$$= \min 6.25 + 0.025L_1, \text{ borda sacları için}$$

$$= \min 5, \text{ ana güverte için}$$

Denklem 2-12

$$P_{dp} = p_l + 135y / (B + 75) - 1.2(T - z) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-13

$$P_l = k_s C_w + k_f$$

Denklem 2-14

$$= (k_s C_w + k_f)(0.8 + 0.15V / \sqrt{L}) \quad \text{if } V / \sqrt{L} > 1.5$$

$$k_s = 2, \text{ kış kaimesinden } 0.2L - 0.7L \text{ arası}$$

$$a = 1$$

h_0 : Yükleme yapılan noktanın su hattından düşey mesafesi

z : Yükleme yapılan noktanın su “baseline”ından yüksekliği (maksimum T olmak üzere)

y : Yükleme yapılan noktanın merkez hatta yatay mesafesi (minimum B/4 olmak üzere)

C_w : Dalga katsayısı

k_f : Su çekimi ya da friborddan küçük olan

L : Gemi boyu

Kargo yükleri ve gemi hareketleri nedeniyle oluşan tank basıncı aşağıda açıklanmaktadır.

$$p = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-15

$$a_v = k_v g_0 a_0 / C_B \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Denklem 2-16

a_v : Düşey ivme

k_v : 0.7, kış kaimesinden 0.3 L – 0.6 L arası

C_B : Blok katsayısı

$$a_0 = 3C_w / L + C_v C_{v1}$$

$$C_v = \sqrt{L/50}, \text{ maksimum } 0.2$$

$$C_{v1} = V / \sqrt{L}, \text{ minimum } 0.8$$

Yalpa durumunda deniz basıncı aşağıda açıklandığı gibi alınmalıdır:

$$p = 10(T_a - z) + 6.7y \tan(\varphi/2) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-17

$$p = 10(T_a - z) + 10y \tan(\varphi/2) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-18

$$\varphi = 50c / (B + 75)$$

$$c = (1.25 - 0.025T_R)k$$

Denklem 2-19

$$T_R = 2k_r / \sqrt{GM}$$

Denklem 2-20

$k = 1$, yalpa omurgalı gemiler için

k_r : Jirasyon yarıçapı (0.39B, tankerler için)

GM: Metasanır yüksekliği (0.12B, tankerler için)

Yalpa durumunda tank basıncı aşağıda açıklandığı gibi alınmalıdır;

$$p = g_0 \rho (h_s + 0.5\phi b - 0.1\sqrt{\phi H b_t}) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-21

ρ : Sıvı yoğunluğu

h_s : Yükleme yapılan noktanın tankın en üstüne mesafesi

b : Yükleme noktasının 0.5ϕ derece yalpa açısı varken tankın en üst noktasına mesafesi

b_t : Tankın en üst hattının yarı genişliği

H : Tank yüksekliği

Dizayn sakın su eğilme momentleri:

$$M_{SO} = -0.065 C_{WU} L^2 B (C_B + 0.7) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-22

$$= C_{WU} L^2 B (0.1225 - 0.015 C_B) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$M_S = k_{sm} M_{SO} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Denklem 2-23

M_s : Gemi boyunca eğilme momenti

$k_{sm} = 1$, gemi boyuna merkezinde $0.4L$ boyunca

Dizayn sakın su kesme kuvvetleri:

$$Q_S = k_{sq} Q_{SO} \text{ (kN)}$$

Denklem 2-24

$$Q_{SO} = 5 M_{SO} / L \text{ (kN)}$$

Denklem 2-25

$k_{sq}=0.8$, kış kaimeden $0.4L$ ve $0.6L$ arası

Kural düşey dalga eğilme momentleri:

$$M_{WO} = 0.11 \alpha C_W L^2 B (C_B + 0.7) \text{ (kNm)}$$

Denklem 2-26

$$= 0.19 \alpha C_W L^2 B C_B \text{ (kNm)}$$

$$M_W = k_{WM} M_{WO} \text{ (kNm)}$$

Denklem 2-27

$k_{WM} = 1$

Kural düşey dalga kesme kuvvetleri:

$$Q_{WP} = 0.3\beta k_{wqp} C_W LB(C_B + 0.7) \quad (\text{kN}) \quad \text{Denklem 2-28}$$

$\beta = 1$, k1ç kaimeden 0.4L – 0.6L arası

$$k_{wqp} = 0.7$$

Kural yatay dalga momenti:

$$M_{WH} = 0.22L^{9/4} (T + 0.3B) C_B (1 - \cos(360x / L)) \quad (\text{kNm}) \quad \text{Denklem 2-29}$$

x: Yükleme noktasının k1ç kaimeden mesafesi

2.3.3. LR

LR kural kitabına göre dizayn düşay dalga eğilme momenti ve dalga kesme kuvveti aşağıdaki gibidir [16]:

Dizayn düşey dalga eğilme momenti

$$M_W = f_1 f_2 M_{wo} \quad \text{Denklem 2-30}$$

f_1 : Gemi servis faktörü, 1.0

$f_2 = -1.1$, çökme durumu için

$$= 1.9 C_b / (C_b + 0.7)$$

$$M_{wo} = 0.1 * C_1 * C_2 * l^2 * B (C_b + 0.7) \quad \text{kNm}$$

C_1 : Dalga eğilme momenti faktörü, 90m < L < 300m için $10.75 - ((300 - L) / 100)^{1.5}$

C_2 : Boyuna mukavemet dağılım faktörü, 0.4L < x < 0.65L için 1.0

Dizayn dalga kesme kuvveti

$$Q_W = K_1 K_2 Q_{wo} \quad \text{kN} \quad \text{Denklem 2-31}$$

$$Q_{wo} = 0.3 C_1 LB (C_b + 0.7) \quad \text{kN} \quad \text{Denklem 2-32}$$

$$K_1 = 0.7, 0.4L < x < 0.6L$$

$$K_2 = 1$$

Deniz ve dalgadan kaynaklanan basınç bileşenleri kuru yük gemisi yükleme koşullarında açıklanmaktadır.

2.3.4. NK

Hidrostatik deniz basıncı, her bir yükleme durumu için bulundukları su çekimindeki statik basınç kadardır. Hidrostatik test durumunda tanka uygulanacak basınç, tank dip noktasından ana güvertenin üstünden itibaren 2.45m. yüksekliğindeki sıvı basıncına eşit alınmalıdır.

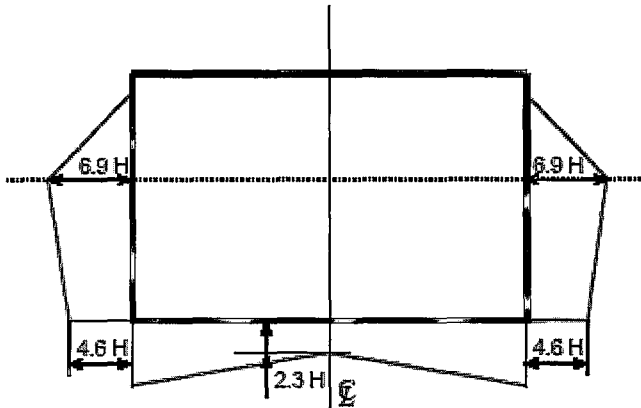
Hidrodinamik deniz basıncı, gemi dalga tepesinde, (düşey dalga eğilme momentleri maksimum) ve yalpa durumlarında aşağıda belirtilmiş olan gemi dalga karşılaşma açılarına göre açıklanmaktadır. [8]

- Dizayn durumu L180=Düşey dalga momenti maksimum olur.
- Dizayn durumu L0=Düşey dalga momenti maksimum olur.
- Dizayn durumu R=Maksimum yalpa durumunda
- Dizayn durumu P=Su hattın da hidrodinamik basınç maksimum

Dizayn durumları, düzensiz dalgaların eşdeğer ölçüdeki düzenli dalga değerlerine göre ayarlanmaktadır.

Yukarıdaki dizayn durumları için hidrodinamik deniz basıncı aşağıda açıklanmaktadır (Şekil 2.26, Şekil 2.27, Şekil 2.28):

- Dizayn durumu L180 ve L0:



Şekil 2.26 NK orta kesitte hidrodinamik basınç dağılımı (dalga tepesi) [8]

$$P_L = \pm 2.3(z/d_i + |2y|/B + 1)H_L$$

Denklem 2-33

z: Yükleme yapılacak noktanın gemi dibinden yüksekliği

d_i: Yükleme koşuluna uygun su çekimi

y: Yükleme yapılacak noktanın merkez hattan yatay mesafesi

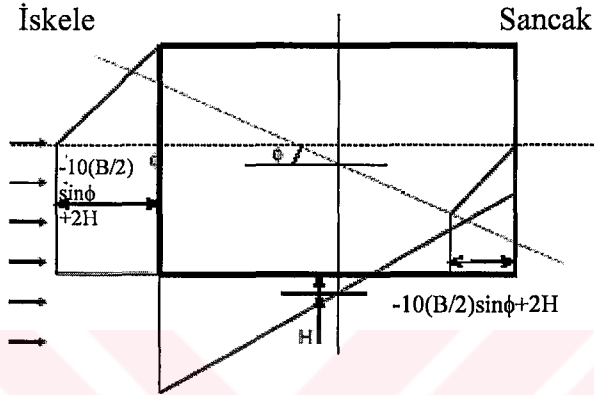
B: Gemi genişliği
 H_L : Dalga yüksekliği

- Dizayn durumu R:

$$P_R = \pm 10(y \sin \phi + 0.1(2y/B + 1)H_R)$$

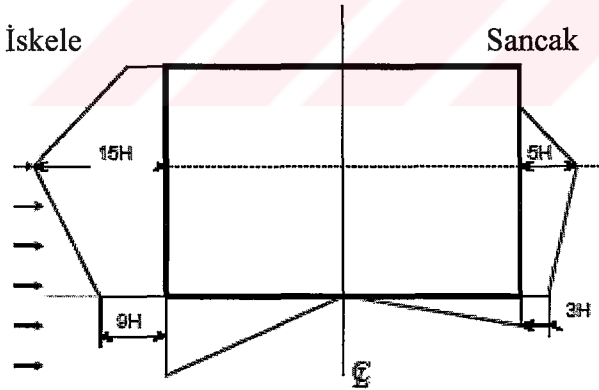
Denklem 2-34

ϕ : Yalpa açısı (radyan)



Şekil 2.27 NK orta kesitte hidrokinamik basınç dağılımı (yalpa durumu) [8]

- Dizayn durumu P:



Şekil 2.28 NK orta kesitte hidrokinamik basınç dağılımı [8]

$$P_{PW} = \pm 3(2z/d_i + 3|2y/B|)H_P \text{ iskele taraf,}$$

Denklem 2-35

$$P_{PL} = P_{PW} / 3 \text{ sancak taraf,}$$

Denklem 2-36

Hidrokinamik deniz ve tank basıncı model boyunca sabit şekilde uygulanmaktadır.

Kargo ve balast nedeniyle oluşan hidrokinamik tank basıncı, dizayn durumu L180, L0, P ve R için Tablo 2-12'de görülebilmektedir.

Tablo 2-12 NK kargo ve balast nedeniyle oluşan hidrodinamik basınç [8]

Dizayn Durumu	İç Dinamik Basınç (kN/m ²)	
	Kargo	Balast
L180	$P_C = \rho_c a_v z_c$	$P_B = \rho_B a_v z_B$
L0	$P_C = 0$	$P_B = 0$
R	$P_C = \rho_c (a_v z_c + a_t y_c)$	$P_B = \rho_B (a_v z_B + a_t y_B)$
P		

y_c : Yüklenecek noktanın tank merkezinden yatay mesafesi

z_c : Yüklenecek noktanın tank üstünden düşey mesafesi

y_B : Yüklenecek noktanın yalpa durumunda tank üst sınırı köşelerine yatay mesafesi

z_B : Yüklenecek noktanın tank üstündeki taşıntı borusunun üstünden düşey mesafesi

2.3.5. Model lokal yükleme durumları

Klas kuruluşları, sonlu elemanlar modellerini her bir tanker tipi için Ek'de yer almakta olan, Tablo A. 1, Tablo A. 2, Tablo A. 3'de sunulan yükleme durumları ile kontrol etmektedirler. Su çekimi, balast ve kargo yerleşimleri belirtilen tablolarda klas kuruluşlarının kullandıkları yükleme durumları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

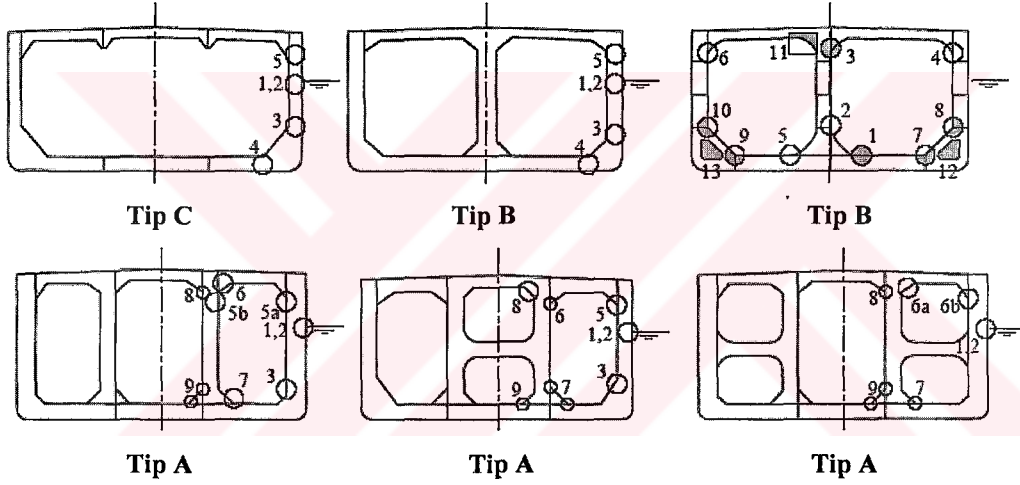
2.4. Kritik Bölgeler

Tankerlerde gerilimlerin yüksek çıktığı, ani gerilim artışlarının gözlemlendiği bazı kritik alanlar aşağıda açıklanmaktadır. Bu kritik konumlar daha detaylı modellenmeli ve değerlendirilmelidir (Şekil 2.29). [2]

- Konum 1 ve 2: Konum 1 ve 2, su hattı civarındaki boyuna dış kaplama ve iç cidar stifnerlerinin, enine perde ve derin elemanlarla bağlantısının olduğu yerlerdir. Deniz ve dalgadan kaynaklanan dış basınç ile kısmen iç basınç etkisi bu bölgelerde yorulma yaratmaktadır. Boyuna perdelerde de aynı bölgelerde benzer sorunlar görülmektedir.
- Konum 3: Konum 3, iç cidar en altı kısmını göstermektedir. Büyük yalpa açılara maruz kalan gemilerde, bu bölgelerde, kargo yüklerinin yalpa nedeniyle uyguladığı basınç kaynaklı yüksek kayma gerilmeleri oluşmaktadır.
- Konum 4: İç dip sacının veya ana güverte kemerlerinin, iç cidar sacına bağlandığı noktalarda yüksek kayma gerilmeleri gözlemlenmektedir. Ek

olarak, çift dip eğilme momenti, iç dip ve boyuna perde bağlantı noktalarının yakınında ekstra gerilmeler de yaratmaktadır.

- Konum 5: Konum 5, konum 3 ile benzerlik göstermektedir. Ancak konum 5 postaların üst kısımlarında yer almaktadır. Dış kaplama, iç cidar ve boyuna perdelerin bu bölgelerinde genellikle yüksek gerilme değerleri görülmektedir. Enine derin postaların sıklıkla üst kısımlarının hafif sactan imal edilmesi ve büyük yalpa açıları altında bu kısımlara ilave basınç etki etmesi, eleman nihayetlerinde yüksek gerilme değerlerine yol açmaktadır.
- Konum 6 – 9: Konum 6-9, çeşitli braket bağlantılarını göstermektedir. Braket bağlantılarında yüksek gerilme görülmesinin başlıca nedeni bağlantı elemanlarına etkiyen eğilme momenti ve kesme kuvvetidir.

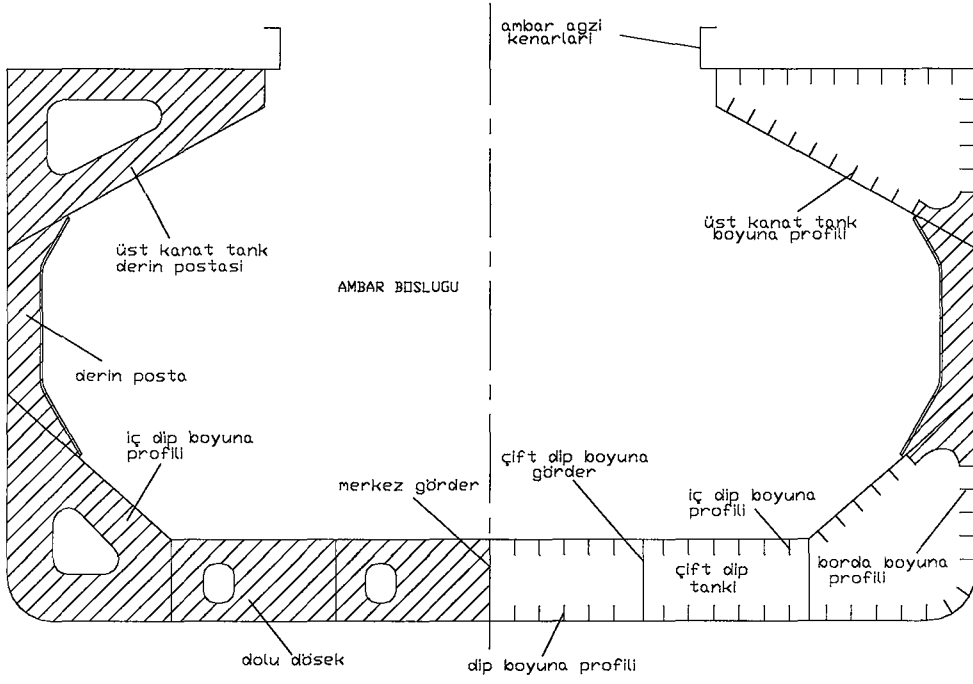


Şekil 2.29 Tankerlerde kritik bölgeler [2]

3. KURU YÜK

Kuru yük gemileri, öncelikle katı halde bulunan ve doğrudan ambara aktarılıp başka hiç bir kalıba veya taşıma birimine konulmayan yükleri taşımak amacıyla dizayn edilmişlerdir. Yük çeşitliliği maden cevherlerinde buğdaya, tuzdan orman ürünlerine kadar uzanmaktadır. Aşağıda taşıma kapasitelerine göre sınıflandırılmış kuru yük gemileri ve tipik bir kuru yük gemisi en kesiti (Şekil 3.1) yer almaktadır.

- “Handysize bulker”: Deplasmanı 25000 – 50000 ton arasında değişen, su çekimi 11.5m’den az olan “handysize bulker”ler kuru yük gemilerinin en yaygın olanıdır.
- “Handymax bulker”: Taşıma kapasitesi 35000 – 50000 DWT arasında değişen kuru yük gemisi türüdür.
- “Panamax bulker”: Boyutları Panama Kanalı’ndan geçiş için azami olacak şekilde ayarlanmış, deplasmanı 50000 – 100000 ton arasında değişen, en fazla tam boyu 289.5m., genişliği 32.2m. ve su çekimi 12.04m. olan kuru yük gemisidir.
- “Cape-sized bulker”: Taşıma kapasitesi 100000 – 180000 DWT arasında değişen, su çekimleri 17m. civarında bulunan kuru yük gemisidir.
- “Very large bulker carrier”: 180000 DWT’den fazla yük taşıyabilen, genellikle Brezilya/Avrupa ve Avustralya/Japonya güzergahında çalışan kuru yük gemileridir.

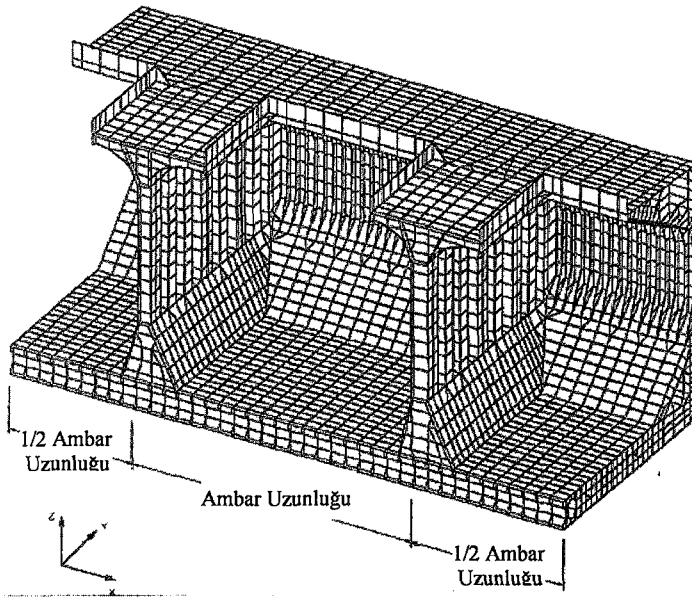


Şekil 3.1 Tipik bir kuru yük gemisi en kesiti

3.1. Model Özellikleri

3.1.1. Model boyutu

Model boyutu, tüm Klas Kuruluşları için tankerle aynı şekilde uygulanmaktadır. Yani, NK en az bir ambar boyu kadar, LR ve DNV en az iki ambar boyu uzunluğunda, ABS ise en az üç ambar boyunda model kullanmaktadır. Modelin sınırları ve kapsamı yine tankerdekiyle aynıdır. (Şekil 3.2) [2,7,11,17]



Şekil 3.2 DNV ve LR için kuru yük gemisi model boyutu [17]

3.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı

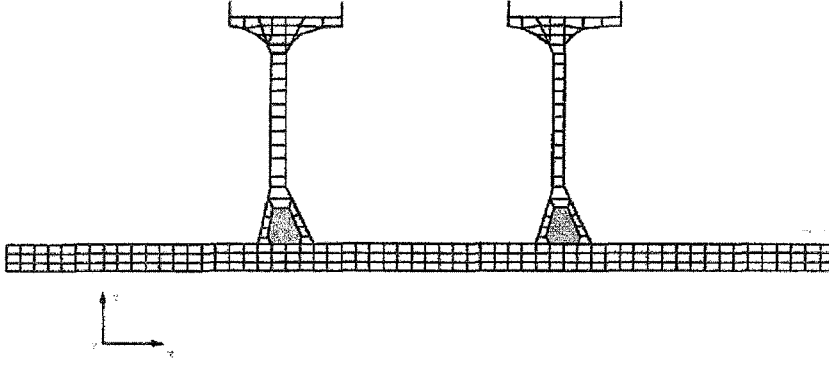
Kuru yük ve bundan sonra ele alınacak olan konteyner gemilerinde bahsedilecek olan model geometrisi ve eleman yapısı bölümü, tekrarı önlemek amacıyla, sadece tankerden farklı olan detayları ve/veya ilave unsurları içerecektir.

Yapısal elemanların yerleşimi (özellikle enine perdelerin alt “stool” yerleşimi) istenilen sonlu elemanlar model sayısını arttırmaktadır. Alt “stool” yerleşimlerinin simetrik olmadığı ya da başta ve kıçta değişik yerleşimde bulunduğu durumlarda, balast tankı cevher ambarı ve boş tank her modelin ortasında olacak şekilde üç ayrı model yapılmaktadır. Cevher ve boş tankın çok yakın yapısal yerleşim gösterdiği durumlarda, model ortasında bulunmak kaydıyla, balast tankı ve cevher – boş tank için iki ayrı model yeterli olmaktadır.

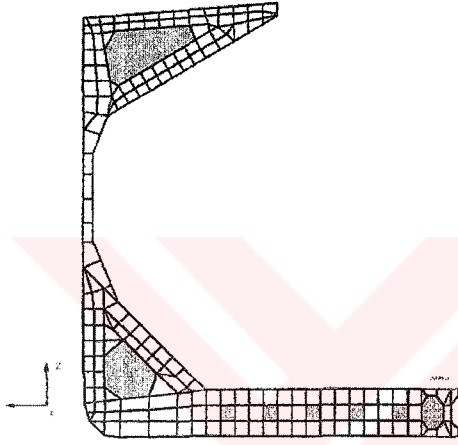
Yapısal simetrisinin bulunduğu durumlarda ortada cevher ambarı, baş taraf yarım ambarda balast ve kıç taraf ambar da boş olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde model boyutu uzatılabilmektedir. [11]

Ambar boyunca çift dipte bulunan yakıt veya diğer tanklar modele dahil edilmelidir. Geometriye göre kullanılan eleman yerleşiminin aşağıdaki gibi olması önerilmektedir:

- Eleman boyutu boyuna stifner aralığı kadar olmaktadır.
- Enine olarak, boyuna stifner aralığı için bir eleman,
- Boyuna olarak iç dip döşekleri arası iki eleman, veya her posta arası bir eleman,
- Düşey olarak çift dip tülaneleri ve döşekleri için üç veya daha fazla eleman kullanılmalıdır. (Şekil 3.3, Şekil 3.4)
- Postalar sac elemanlarıyla, alın lamaları çubuk elemanlarıyla modellenmelidir.
- Ondüle perdelerde her sac düzlemi için bir eleman kullanılmalıdır. Sac elemanlarında “membrane” eleman ile eğilme özellikleri tanımlanmalıdır. En boy oranı bir olan elemanlar kullanılmalıdır. (Şekil 3.2)
- İkincil elemanlar eğilme ve eksenel özelliklere sahip çizgi elemanlarla tanımlanmalıdır.



Şekil 3.3 Kuruyük gemisi tipik boyuna kesit eleman yapısı [17]



Şekil 3.4 Kuruyük gemisi tipik enine kesit eleman yapısı [17]

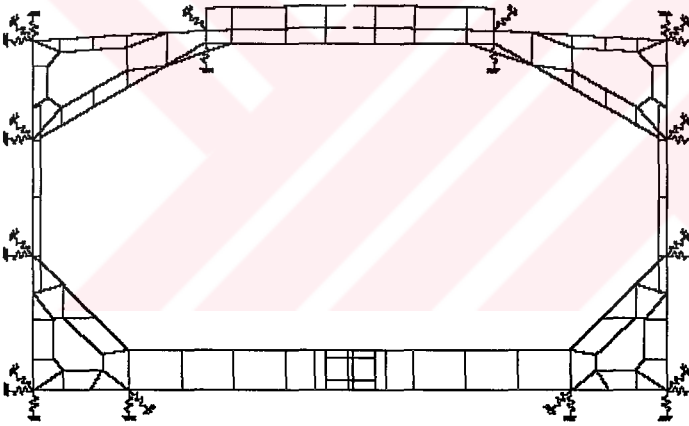
- Etkin kesit alanları, bağlı bulunduğu panelin ve kendisinin ortak tepkisini temsil edebilecek eğilme özelliklerine sahip olacak şekilde tanımlanmalıdır.

3.2. Sınır Koşulları

3.2.1. ABS

Kuru yük gemilerinde burulma momentleri hem meyilli hem de kiriş deniz durumlarında hesaplanmaktadır. Tankerlerin aksine sahip oldukları geniş ambar kapağı açıklıkları, meyilli deniz durumlarından kaynaklanan büyük boyuttaki burulma momenti etkisiyle büyük kayma ve çarpılma (warping) gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu, önemli ölçüde kayma merkezinin kaide hattının altında olmasından kaynaklanmaktadır. Tankerlerde kayma merkezi ağırlık merkezine yakındır. Kuru yük gemilerinin açık güverte yapısı tankere nazaran daha az dayanıklılık göstermektedir. Tankerlerde kış ve baş nihayetlerde uygulanan sınır koşulları kuru yük gemilerinde sadece baş tarafta tatbik edilmektedir. Düşey ve yatay çubuk

destekler modelin baş tarafında bulunmaktadır. Düşey destekler boyuna perdelere ve borda saclarına yerleştirilir. Yatay destekler ise iç dip, dış kaplama, ve ana güverteye iskele sancak olacak şekilde konumlandırılır. Yapının statik denge durumunu sağlamak için boy yönünde de desteklenmeye ihtiyacı vardır. Boy yönünde destek yay elemanları yatay ve düşey yöndeki destek elemanları ile aynı yere konulmaktadır. Yay elemanları ile desteklenen tüm düğüm noktalarının altı serbestlik dereceleri de sıfır olmalıdır. Kıç nihayetinde hiç bir destek elemanı kullanılmamaktadır. Düşey eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti ile yatay eğilme momenti ve kesme kuvveti kıç nihayete uygulanmaktadır. Düşey kesme kuvveti borda sacına etkitilen noktasal kuvvetlerle; yatay kesme kuvveti, dip kaplama ve ana güverteye etkitilen noktasal kuvvetlerle ifade edilmektedir. Düşey ve yatay momentler eğilme gerilimi olarak boyuna noktasal kuvvetlerle sağlanabilmektedir. Burulma momenti ise güverte ve dip kaplamaya etkitilen kuvvet çiftleriyle elde edilmektedir. (Şekil 3.5) [2]



Şekil 3.5 ABS kuru yük gemisi baş nihayet sınır koşulları [2]

3.2.2. DNV

Lokal yükleme sınır koşulları

Simetri koşulları model baş ve kıç nihayetine uygulanmaktadır. Eğer yarı genişlikte modelleme yapılıyorsa merkez hat boyunca simetri şartları oluşturulmaktadır. Model düşey doğrultuda yaylarla veya harici kuvvetlerle desteklenmektedir. Modele, iç cidar ve dış kaplamayla enine perdenin, iç cidar mevcut değilse dış kaplamayla enine perdenin kesişim hattı boyunca yay destek elemanı ya da kuvvet uygulanmaktadır. Yayın K sabiti şöyledir:

$$K = 8A_s E / 7.83l_h$$

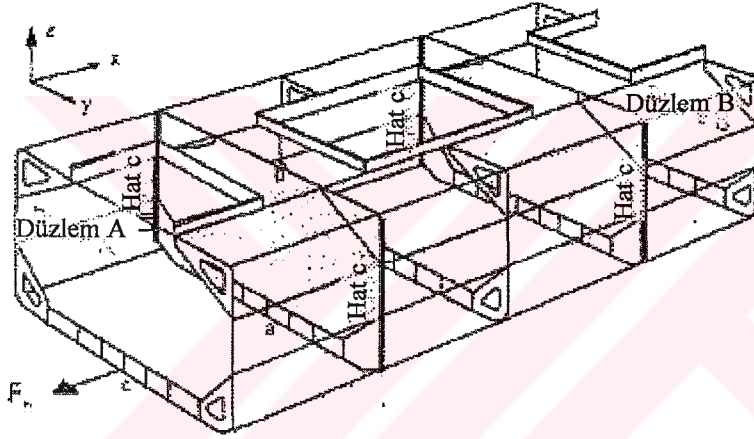
Denklem 3-1

A_s : Dış kaplama kesme alanı

l_h : Ambar boyu

Lokal yüklemenin uygulandığı durumlarda Tablo 3-1'deki sınır koşulları kullanılmaktadır. Model kış düzleminde simetri koşulu ve lineer bağımlılık, baş düzleminde ise sadece simetri koşulu uygulanmaktadır. Kış düzlemine etkitilen F_h kuvveti merkez ambar boş, baş ve kış ambar doluyken oluşan çekme etkisini sönmölemek için kullanılmaktadır. Kış düzlemindeki (düzlem A) bütün düğüm noktaları model boy doğrultusunda kuvvetin etkitildiği C noktasına doğrusal bağılıdır. F_h kuvveti herbir yükleme durumu için farklılık göstermekle beraber enine perde üzerindeki net yüke eşit olmalıdır. Hat C dış kaplama ve enine perdenin kesişimi, a noktası ise dip kaplama merkez hat ve enine perdenin kesişim noktasıdır. (

Şekil 3.6) [11]



Şekil 3.6 DNV lokal yükleme sınır koşulları [11]

Tablo 3-1 DNV lokal yükleme sınır koşulları [11]

Konum	Yer değıştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	L	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat C	-	-	S	-	-	-
A Noktası	-	X	-	-	-	-
C Noktası	F_h	-	-	-	-	-

Global yükleme sınır koşulları

Eğilme momenti

Modele eğilme momenti etkililerek yapılan global analizde kış veya baş düzlemden biri her serbestlik derecesi için mesnetlenir. Diğer düzlem de rijit olarak tanımlanır. Rijit bir düzlemden kasıt, içinde bulunan her bir düğüm noktasının birbirine bağlı olmasıdır. Yarı genişlikli modellerde simetri koşulları merkez hat boyunca uygulanmaktadır. Etkitilecek olan moment zıt yönlü kuvvet çiftleri şeklinde tanımlanmaktadır. Kuvvetlerden biri ana güverte diğeri dip kaplamaya uygulanmaktadır. (Şekil 3.7, Tablo 3-2)

Uygulanacak momentin büyüklüğü $M_S + M_W$ kadardır. Fakat sonlu elemanlar modeli net boyutlar üzerine kurulduğu için korozyon payının etkisi düşülmektedir. Bu amaçla bulunan moment, modellenen yapının (korozyon payı düşülmüş) kesit modülünün gerçek kalınlık değerleri için elde edilen kesit modülüne oranı ile çarpılır. Moment elde edebilmek için kullanılan kuvvet ise aşağıdaki gibidir [11]:

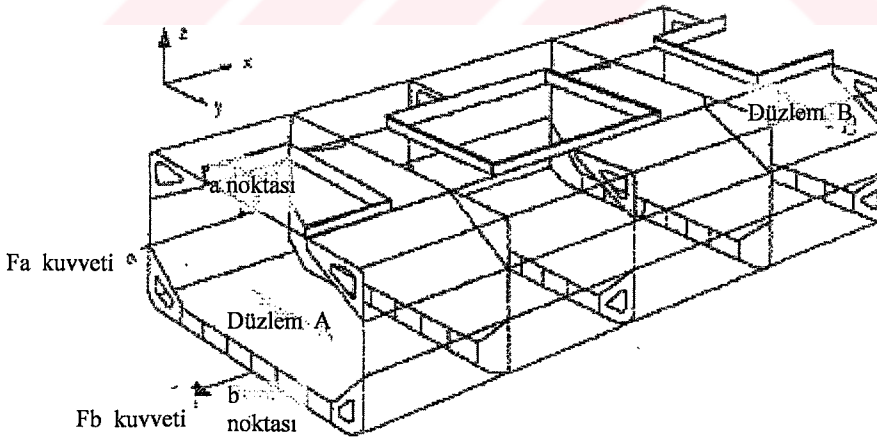
$$F = M / h$$

Denklem 3-2

F: Kuvvet çiftinden her biri

M: Düzeltilmiş eğilme momenti

h: Kaide hattından ana güverteye mesafe



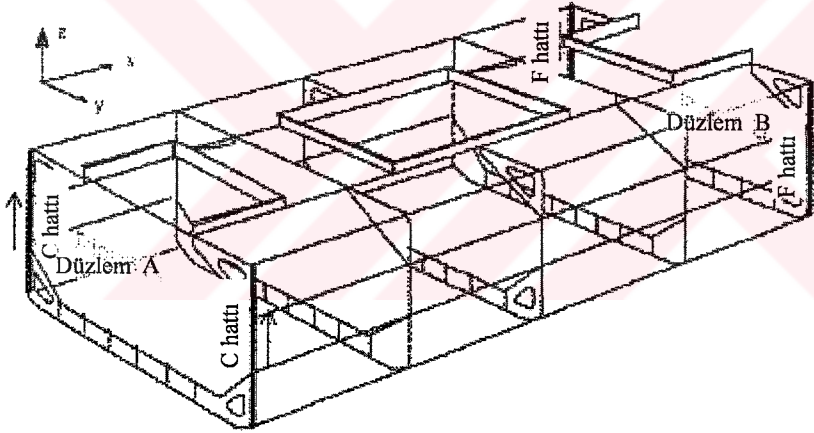
Şekil 3.7 DNV global yükleme eğilme momenti sınır koşulları [11]

Tablo 3-2 DNV global yükleme eğilme momenti sınır koşulları [11]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	L	L	L	L	L	L
Düzlem B	X	X	X	X	X	X
Merkez Hat	-	X	-	X	-	X
a, b Noktası	$F_{a,b}$	-	-	-	-	-

Kesme kuvveti

Yarı genişlikteki modeller için simetri koşulları uygulanmaktadır. Tam genişlikteki modeller genişlik yönünde iç dip üzerinde enine perde ve boyuna merkez görderin kesişme noktalarından sabitlenmelidir. Modele baş ve kıç nihayetinde, dış kaplamasına düşey doğrultuda kesme kuvvetleri uygulanmaktadır. İzin verilen en büyük kesme kuvveti büyüklüğünde uygulanan kuvvetlerin dağılımı kayma akımı hesabına göre yapılmaktadır. Baş ve kıç taraftaki kuvvetler zıt yönlüdür. (Şekil 3.8, Tablo 3-3)



Şekil 3.8 DNV global yükleme kesme kuvveti sınır koşulları [11]

Tablo 3-3 DNV global yükleme kesme kuvveti sınır koşulları [11]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Merkez Hat	-	X	-	X	-	X
Hat C	-	-	S, F_v	-	-	-
Hat F	-	-	F_v	-	-	-

3.2.3. LR

Simetri koşullarının uygulandığı durumlarda merkez hat üzerindeki her bir düğüm noktasının enine doğrultuda yer değiştirmesi ile boyuna ve düşey eksenlerde de dönme hareketi mesnetlenmiştir. ($\delta y=0$, $\theta x=0$, $\theta z=0$)

Lokal yükleme sınır koşulları

Uygulanacak olan sınır koşulları simetri şartlarını oluşturmak ve yükleme nedeniyle oluşan eğilmeyi en aza indirmek için kullanılmaktadır. Sınır koşulları aşağıdaki ve Tablo 3-4'deki gibidir [17]:

Yükleme sebebiyle oluşan eğilme momenti nedeniyle kış nihayet düzleminin (düzlem A) deforme olmaması için, kesit tarafsız eksen ve merkez hat üzerindeki bağımsız nokta kış düzlemindeki her bir düğüm noktasına rijit olarak bağlanmaktadır.

Baş ve kış düzlemlerindeki her bir düğüm noktasına model boy yönünde yer değiştirme, yatay ve düşey eksenler etrafında da dönme mesnetlenmektedir. ($\delta x=0$, $\theta y=0$, $\theta z=0$) Ya da rijit düzlem bağlantısı kullanılarak, A düzlemindeki d bağımsız düğüm noktası model boy yönünde yer değiştirme, yatay ve düşey eksenler etrafında da dönme mesnetlenmektedir. Tekillikleri önlemek için d noktasının ayrıca model eni ve düşeyi doğrultularındaki yer değiştirmesi ile boy eksen etrafındaki dönme hareketi mesnetlenmektedir. ($\delta z=0$, $\delta y=0$, $\theta x=0$)

Eğilmeyi en aza indirmek için borda kaplamasının ana güverteyle enine perdedeki kesişim noktaları gemi yüksekliği doğrultusunda mesnetlenmektedir. ($\delta z=0$) Aynı amaçla enine perdenin borda kaplamasıyla kesiştiği hat boyunca (hat C) her bir düğüm noktasına düşey yönde kuvvetler uygulanabilmektedir. Hat C üzerindeki her bir düğüm noktasına düşey yay elemanları bağlamak da eğilmeyi azaltmak için kullanılmaktadır. Yay elemanlarının K sabiti:

$$K = 5 / 6 (GA_s / L_h)$$

Denklem 3-3

G: Kayma modülü

A_s: Borda sacı kesme alanı

Toplam K sabiti, her bir yay elemanına yay aralığı oranıyla dağıtılmalıdır. Yani, her bir yayın rijitlik toplamı toplam rijitliği vermektedir.

Tablo 3-4 LR lokal Yükleme Sınır Koşulları [17]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Merkez Hat Düzlemi	-	X	-	X	-	X
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat C	-	-	F_v/S	-	-	-
D Noktası	-	-	-	-	-	-
E Noktası	-	-	X/S	-	-	-
F Noktası	-	-	-	-	-	-

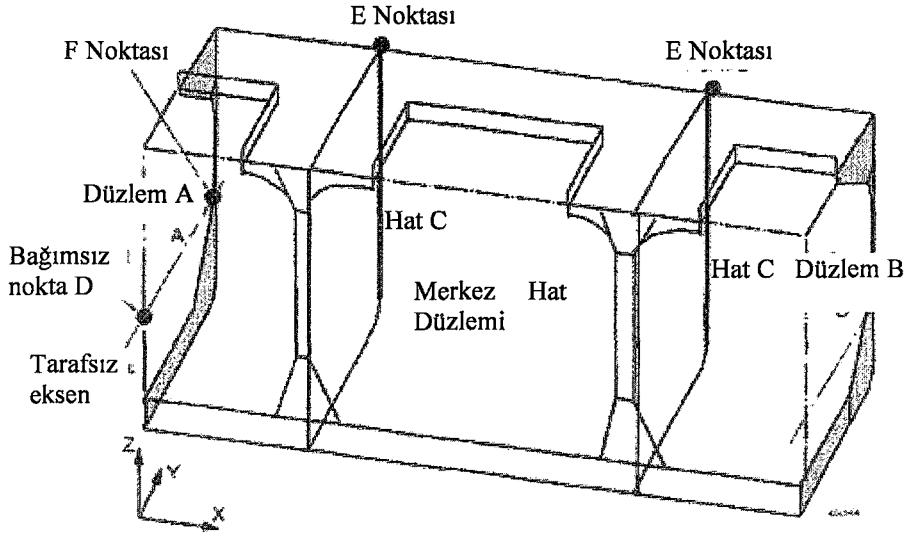
Global yükleme sınır koşulları

Global yükleme koşulunda, uygulanan sınır koşulları, yapılan yükleme model boyunca düzgün bir eğilme momenti oluşturmak içindir. Düzlem B'ye simetri koşulları uygulanmaktadır. Düzlem A'ya ise bağımsız noktadan düşey eğilme momenti etkitilmektedir. A düzlemini deformasyondan korumak için her bir düğüm noktası bağımsız noktaya rijit olarak bağlanarak, bağımsız noktanın gemi boy yönünde yer değiştirmesi ile yatay ve düşey eksenler etrafındaki dönme hareketi mesnetlenmektedir. ($\delta x=0$, $\theta y=0$, $\theta z=0$)

Tekillikleri önlemek için d noktasının ayrıca model eni ve düşeyi doğrultularındaki yer değiştirmesi ile boy ekseni etrafındaki dönme hareketi mesnetlenmektedir. ($\delta z=0$, $\delta y=0$, $\theta x=0$)

Rijit kütle hareketini bertaraf etmek için düzlem A'da borda sacının üzerindeki F noktası düşey doğrultuda mesnetlenmelidir. ($\delta z=0$)

Tablo 3-5 ve Şekil 3.9'da LR global yükleme sınır koşulları sunulmuştur.



Şekil 3.9 LR lokal ve global yükleme sınır koşulları [17]

Tablo 3-5 LR global yükleme sınır koşulları [17]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Merkez Hat	-	X	-	X		X
Düzlem A	L	-	-	-	L	L
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat C	-	-	-	-	-	-
D Noktası	-	X	X	X	M	X
E Noktası	-	-	-	-	-	-
F Noktası	-	-	X	-	-	-

3.2.4. NK

Model gemi yüksekliği ve eni doğrultularında enine perdelerde desteklenir. Model baş ve kıç nihayetlerinde boyuna doğrultuda simetri şartı uygulanmalıdır. [7]

3.3. Yükleme Koşulları

3.3.1. ABS

ABS, kargo basıncını, etkidikleri yüzeye göre ayırarak ele almaktadır. [4]

İç dip ve borda sacına etkiyen yük basıncı:

İç dip, borda kaplama ve eğimli ambar dip sacına etkiyen basınç bileşenleri, normal düzlemlerinde P_{cn} , enine doğrultuda paralel $P_{ct}(t)$, boyuna doğrultuda paralel $P_{ct}(\lambda)$ olarak ifade edilmektedir.

$$P_{cn} = P_{sn} + k_u P_{dn} \text{ N/cm}^2 \quad \text{Denklem 3-4}$$

$$P_{ct(t)} = P_{st(t)} + k_u P_{dt(t)} \text{ N/cm}^2$$

Denklem 3-5

$$P_{ct(\lambda)} = P_{st(\lambda)} + k_u P_{dt(\lambda)} \text{ N/cm}^2$$

Denklem 3-6

P_{sn} : Yer çekimine bağlı nominal statik basınç bileşeni

$$= \rho g h_c \{ \cos^2 \alpha + (1 - \sin \alpha_0) \sin^2 \alpha \} \quad \text{Denklem 3-7}$$

$P_{st(t)}$: Yatay doğrultuda yer çekimine bağlı teğet statik basınç bileşeni

$$= \rho g h_c \{ \sin \alpha_0 \cos \alpha \sin \alpha \} \quad \text{Denklem 3-8}$$

$P_{st(\lambda)}$: Boyuna doğrultuda yer çekimine bağlı teğet statik basınç bileşeni

$$= 0 \quad \text{Denklem 3-9}$$

P_{dn} : Gemi yalpa baş-kıç vurma hareketleri ile, yatay ve düşey ivmelere bağlı dinamik basınç bileşeni

$$= k_c [P_{qn} + \rho g h_c \{ (a_{ve} / g) \cos^2 \alpha + k_n (a_{te} / g) (b / 2 h_c) \sin^2 \alpha \}] \quad \text{Denklem 3-10}$$

P_{qn} : Yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı ilave normal basınç bileşeni

$$= \rho g h^* \cos \phi_e [\cos^2 (\alpha - \phi_e) + (1 - \sin \alpha_0) (\sin^2 (\alpha - \phi_e))] - P_{sn} \quad \text{Denklem 3-11}$$

$P_{dt(t)}$: Gemi eni doğrultusunda yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı teğet dinamik basınç bileşeni

$$= k_c [P_{qt}(t) + \rho g h_c \{a_{ve} / g\} \sin \alpha \cos \alpha - k_n (a_{te} / g) (b / 2 h_c) \sin \alpha \cos \alpha] \quad \text{Denklem 3-12}$$

$$P_{qt}(t) = k_c [\rho g h^* \cos \phi_e \sin \alpha_0 \sin(\alpha - \phi_e) \cos(\alpha - \phi_e) \sin \phi_e] \quad \text{Denklem 3-13}$$

$P_{dt(\lambda)}$: Gemi boy yönünde yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı teğet dinamik basınç bileşeni

$$= k_c [-\rho g h^* \cos \phi_e \sin \alpha_0 \cos(\alpha - \phi_e) \sin \phi_e] \quad \text{Denklem 3-14}$$

h^* : Meyil durumunda ambar yüzeyinden, yükleme noktasına dik mesafe

h_c : Baş kıç vurma durumunda ambar yüzeyinden, yükleme noktasına dik mesafe

k_c , k_u , α , α_0 , θ_e , ϕ_e , b , a_{ve} , a_{te} , k_n katsayıları her bir yükleme durumu için farklılık göstermekte olup, ABS Kural Kitabı'nın Bölüm 5, Kısım 3, Tablo 1'de verilmektedir.

Enine perdelere etkiyen yük basıncı:

Enine perdelere ve stoollara etkiyen yük basıncı, iç dipte benzer şekilde sac açısı β olacak şekilde ifade edilmiştir.

$$P_{cn} = P_{sn} + k_u P_{dn} \quad \text{N/cm}^2 \quad \text{Denklem 3-15}$$

$$P_{ct(t)} = P_{st(t)} + k_u P_{dt(t)} \quad \text{N/cm}^2 \quad \text{Denklem 3-16}$$

$$P_{ct(\lambda)} = P_{st(\lambda)} + k_u P_{dt(\lambda)} \quad \text{N/cm}^2 \quad \text{Denklem 3-17}$$

P_{sn} : Yer çekimine bağlı nominal statik basınç bileşeni

$$= \rho g h_c \{\cos^2 \beta + (1 - \sin \alpha_0) \sin^2 \beta\} \quad \text{Denklem 3-18}$$

$P_{st(t)}$: Yatay doğrultuda yer çekimine bağlı teğet statik basınç bileşeni

$$= 0 \quad \text{Denklem 3-19}$$

$P_{st(\lambda)}$: Boyuna doğrultuda yer çekimine bağlı teğet statik basınç bileşeni

$$= -\rho g h_c \{\sin \alpha_0 \cos \beta \sin \beta\} \quad \text{Denklem 3-20}$$

P_{dn} : Gemi yalpa baş-kıç vurma hareketleri ile, yatay ve düşey ivmelere bağlı dinamik basınç bileşeni

$$= k_c [P_{qn} + \rho g h_c \{(a_{ve} / g) \cos^2 \beta + k_n (a_{\lambda e} / g) (\lambda / 2 h_c) \sin^2 \beta\}] \quad \text{Denklem 3-21}$$

P_{qn} : Yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı ilave normal basınç bileşeni

$$= \rho g h^* \cos \phi_e [\cos^2 (\beta - \phi_e) + (1 - \sin \alpha_0) (\sin^2 (\beta - \phi_e))] - P_{sn} \quad \text{Denklem 3-22}$$

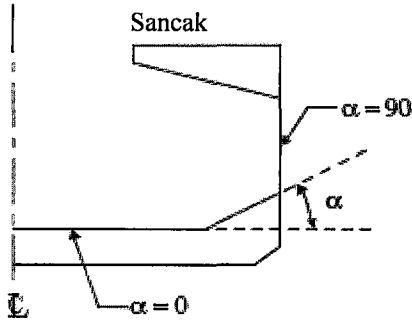
$P_{dt(t)}$: Gemi eni doğrultusunda yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı teğet dinamik basınç bileşeni

$$= k_c \left[-\rho g h^* \sin \alpha_0 \cos(\beta + \phi_e) \sin \theta_e \right] \quad \text{Denklem 3-23}$$

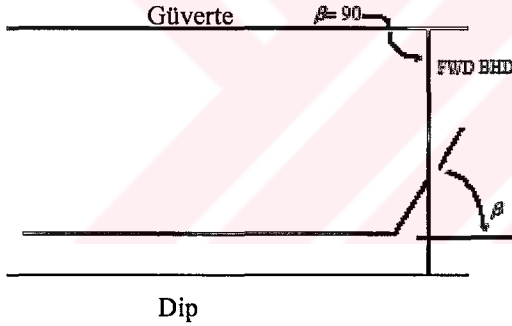
$P_{dt}(\lambda)$: Gemi boy yönünde yalpa ve baş-kıç vurmaya bağlı teğet dinamik basınç bileşeni

$$= k_c \left[P_{qt}(\lambda) - \rho g h_c \left\{ (a_{ve} / g) \sin \beta \cos \beta + k_n (a_{\lambda e} / g) (\lambda / 2 h_c) \sin \beta \cos \beta \right\} \right] \quad \text{Denklem 3-24}$$

Formüllerde karşılaştığımız bazı sembollerin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekiller (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11) faydalı olabilmektedir.



Şekil 3.10 İç dip duvar açısı [4]



Şekil 3.11 Enine perde duvar açısı [4]

Yük yoğunluğu en fazla, maksimum yük ağırlığının ambar hacmine oranı olarak alınmaktadır. Ağır yük alınıp bazı ambarların boş tutulması durumu da olabileceğinden maksimum yük yoğunluğu ağır kargoya göre hesaplanmalıdır.

3.3.2. DNV

Dizayn basınç yükleri, deniz basıncı, tanklardaki sıvı basıncı ve ambarlardaki yük basıncından oluşmaktadır. Deniz basıncı ve tanklardaki sıvı basıncı tankerle aynı olup, bu bölümde yalnız kargo basıncı incelenecektir. [11]

Ağır yükler için kısmen dolu ambar(Şekil 2.13):

$$P = \rho(g_0 + 0.5a_v)Kh_c \quad \text{kN/m}^2$$

Denklem 3-25

$$K = \sin^2 \alpha * \tan^2 \alpha (45 - 0.5\psi) + \cos^2 \alpha$$

Denklem 3-26

α : Söz konusu paneller kaide hattı arasındaki açı

Ψ : Repose açısı, 20° hafif yükler (buğday) için,

25° yoğunluğu 1.35 t/m³ civarı olan yükler (çimento) için,

35° ağır yükler (cevher) için

h_c : Kargo yüksekliği

H : Ambar yüksekliği

bf : Ambar genişliği

ρ : Kargo yoğunluğu

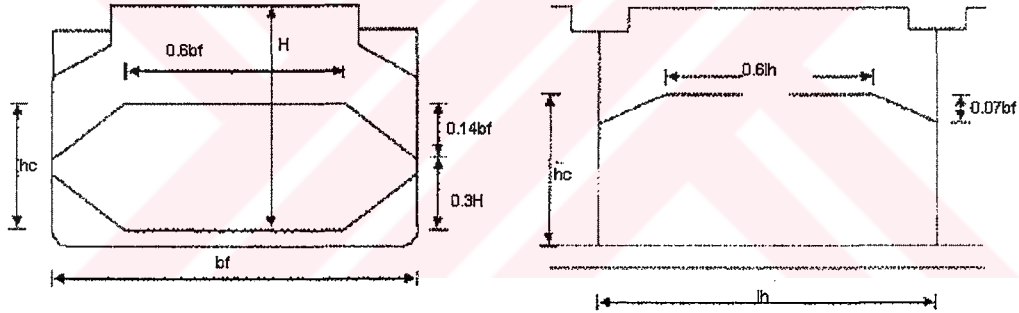
M : Ambardaki kargo ağırlığı

$$V_{HR} = V_{0.3H} + 0.10267bf^2lh$$

Denklem 3-27

V_{HR} : h_c kargo yüksekliğinin altındaki hacim.

$V_{0.3H}$: İç dip üzerinden 0.3H yüksekliğinin altında kalan hacim.

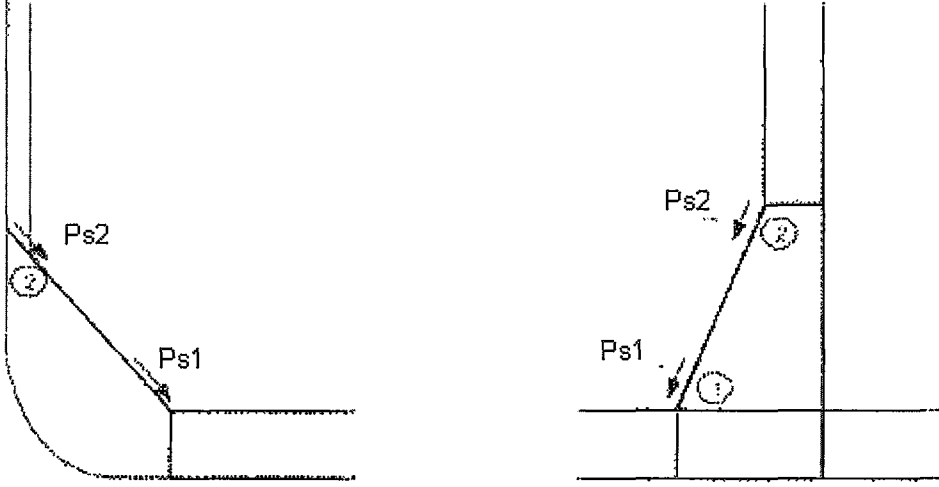


Şekil 3.12 Ambar kargo yüzey şekli [11]

Yük ağırlığına karşı gelecek şekilde eğimli yüzeylerde doğru bir düşey kuvvet elde edebilmek için dizayn kesme kuvveti ilave edilmelidir. (Şekil 3.13)

$$P_s = \rho(g_0 + 0.5a_v)(1 - K)h_c / \tan \alpha \quad \text{kN/m}^2$$

Denklem 3-28



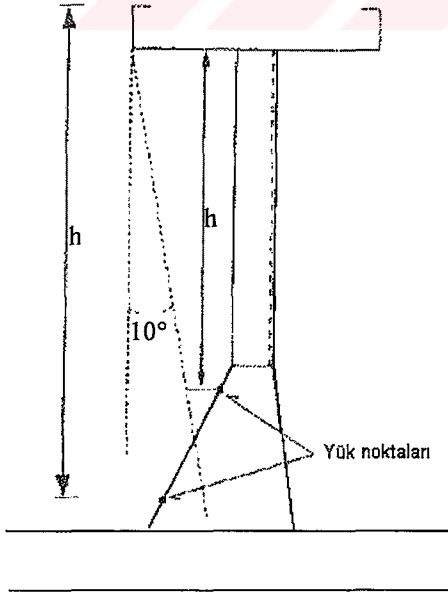
Şekil 3.13 Eğimli elemanlarda kargo kesme yükü [11]

Hafif yükler için tam dolu ambar:

Ambarın kapağa kadar dolduğu durumlarda aşağıdaki yükleme koşulları uygulanmaktadır:

$$P = \rho(g_0 + 0.5a_v)Kh_c \text{ kN/m}^2 \quad \text{Denklem 3-29}$$

h_c : Yüklenen noktadan, ambar en üst noktasına mesafe. Eğimli paneller için mesafe güverte yüksekliği alınmalıdır. Lakin ambar açıklığının %10 içinde bulunan yerler için ambar en üst noktası yüksekliği alınmalıdır. (Şekil 3.14)



Şekil 3.14 Kargo perdeleri için dizayn yük basınç yüksekliği [11]

$$M_E = M \tan^2(45 - 0.5\psi) \quad \text{Denklem 3-30}$$

M: Kargo ağırlığı

M_E : 0.43 ambar hacminden küçük alınamaz.

Dizayn kayma yükü, kısmi dolu ambardaki gibidir.

3.3.3. LR

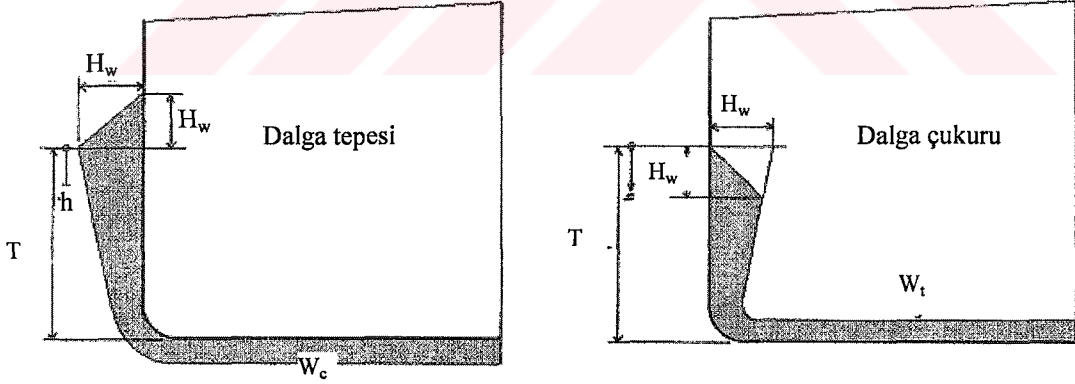
Balast ve yakıt gibi sıvılardan kaynaklanan yükler, bulundukları tankın tüm yüzeylerine eşdeğer basınç yükü uygulamaktadır. [17]

- Tam dolu durum için, basınç yükü tank üst sacı ile tank kaportasından uygun olanına göre alınır.
- Çift dip ya da sintine dönümü tankları için basınç yükü olarak tankın üst sınırı ile taşıntı yüksekliğinin yarısından hangisi büyükse o alınır.

Deniz ve dalgadan kaynaklanan dış basınç, şu şekilde modele yansıtılmaktadır:

Hidrostatik basınç, yükleme durumuna göre oluşan su çekimine göre belirlenmektedir.

Dalga tepesi veya dalga çukurunda bulunma durumuna göre ilave edilecek ya da azaltılacak basınç Şekil 3.15'deki gibi olup, model boyunca sabit alınacaktır.



Şekil 3.15 LR dalga tepesi ve çukuru basınç dağılımı [17]

$$W_c = \rho(H_w + h) \quad -H_w \leq h < 0 \text{ için}$$

Denklem 3-31

$$W_c = \rho H_w \{1 - (1 - k_z)h/T\} \quad 0 \leq h \text{ için}$$

Denklem 3-32

$$W_t = -\rho h \{1 - (1 - k_z)H_w/T\} \quad 0 \leq h < H_w \text{ için}$$

Denklem 3-33

$$W_t = -\rho H_w \{1 - (1 - k_z)h/T\} \quad H_w \leq h \text{ için}$$

Denklem 3-34

H_w : 3.846m.

h : Su hattı altı yüksekliği

k_z : e^{-d}

d : $2\pi T/L$

Global analizde, modele etkitilen düzeltilmiş toplam eğilme momenti aşağıdaki gibi bulunabilir:

- Model merkez ambar ortasındaki sakin su eğilme momenti (M_a) değeri bulunur.
- Aynı nokta için kural eğilme momenti (M_w) hesaplanır.
- Net yükler ve sınır koşulları kullanılarak, kiriş teorisine göre aynı konum için eğilme momenti hesaplanır. (ΔM_a)
- Düzeltilmiş toplam eğilme momenti aşağıdaki denklemle bulunur:

$$M_+ = M_a^* - \Delta M_a + M_w \quad \text{Denklem 3-35}$$

$M_a^* = 1.05M_a$ veya M_s 'den küçük olanı

M_s : İzin verilen sakin su eğilme momenti

Kargo yükleri

Taşınan kargonun malzeme özelliklerine göre, taşınma sırasında kargo yüzeyinin dış kuvvetler etkisiyle nasıl bir şekil alacağı kesin olarak belirlenememektedir. Bu nedenle kargo basıncı, gemi boyu yönünde sabit olmak üzere, madde yoğunluğu $3t/m^3$ ve oluşan parabolik şeklin kaide hattıyla açısı 35° olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.16) [17]

Kargo basıncı P_c aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_c = f * P_c * h_c \quad \text{Denklem 3-36}$$

$f = 1$, yatay ve eğimli yüzeyler için

$= \tan^2(45 - \Psi/2)$, tüm dik yüzeyler için

Ψ : Repose açısı, 35° .

P_c : Kargo yoğunluğu

h_c : Kargo lokal yüksekliği

Ambarın tam dolu olduğu durumlarda, basınç yüksekliği ambar kapağının seviyesine kadar alınmaktadır. Uygulanan yük yoğunluğu izin verilen en fazla yük ağırlığı, ambar kapağına kadar ambar hacmi oranından elde edilebilmektedir.

Tam dolu durumlarda, kargo kendi yüzeyi üzerindeki alanlara basınç uygulamaktadır.

$$h_c = h_y + h_2$$

Denklem 3-37

h_y : Parabolik yüzey lokal yüksekliği

$$= h_1 \left[1 - (2y/B)^2 \right]$$

Denklem 3-38

h_1 : Merkez hatta parabolik yüzey lokal yüksekliği

$$= (B/4) \tan 35 \approx 0,175B$$

h_2 : Parabolik yüzeyin altındaki lokal kargo yüksekliği

$$V_2 = V - V_1$$

Denklem 3-39

V : Kargo hacmi

$$= M_c / P_c$$

Denklem 3-40

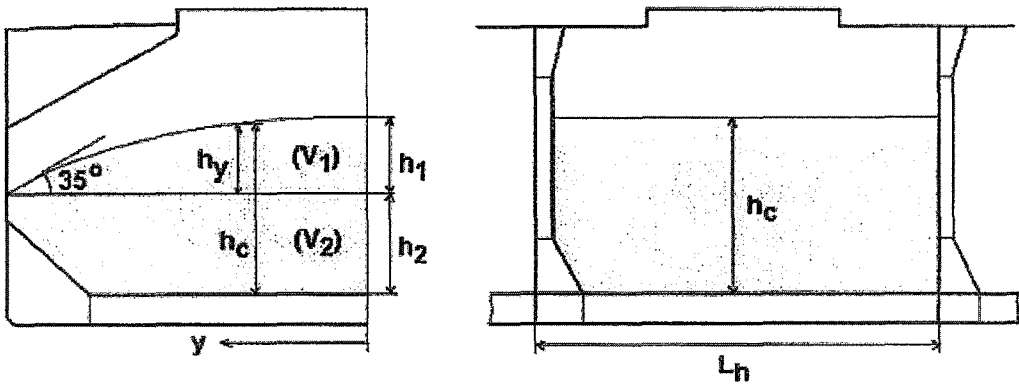
M_c : Kargo ağırlığı

V_1 : h_2 üstü kargo hacmi

$$= 2h_1 B(L_n/3) \approx 0,117B^2 L_n$$

Denklem 3-41

y : Yükleme yapılacak noktanın merkez hattan mesafesi



Şekil 3.16 LR kargo yükü [17]

3.3.4. NK

NK, ambardaki yükü iki şekilde ele alıp, yapısal analiz için kargo yüzeyini düzelterek değerlendirme yapmaktadır. [7]

Tam dolu ambar

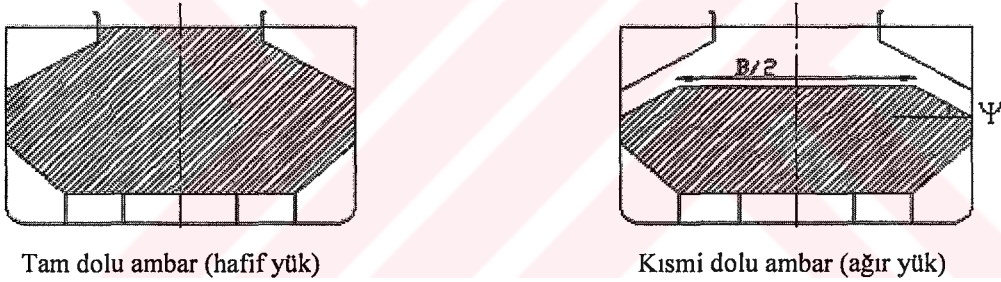
Yük ambar kapağı seviyesindedir. Fakat sonlu elemanlar analizi için, üst yan tanklar ihmal edilip, kargo hacmi homojen olarak gemi genişliğine dağıtılarak, yük yüzeyi düz hale getirilmektedir. Kargo yoğunluğu, yük ağırlığının kapak boşluğu hariç ambar hacmine oranıdır.

Ağır yük dolayısıyla kısmi dolu ambar

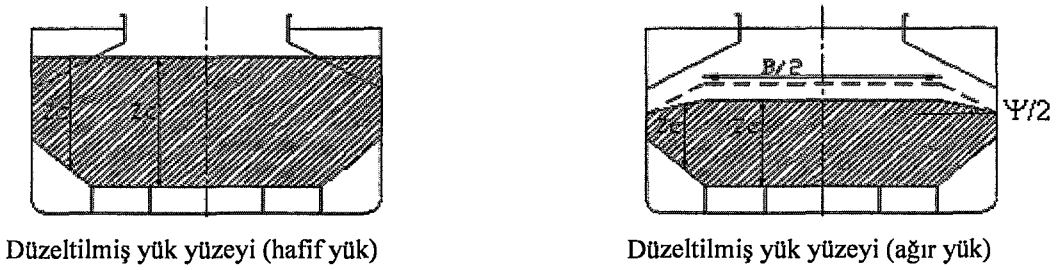
Gemi boyu doğrultusunda yük yüzeyi sabit ve yatay alınmaktadır. Kargo yoğunluğu aksi belirtilmedikçe $3t/m^3$ olarak kullanılmaktadır.

Yük en üst yüzey genişliği, ambar genişliğinin yarısı, yük “repose” açısı da oluşan (kabul edilen) açının yarısı alınmaktadır. (Şekil 3.17,

Şekil 3.18)



Şekil 3.17 NK kargo yükü [7]



Şekil 3.18 NK düzeltilmiş yük yüzeyi [7]

Kargo yükü statik basıncı:

$$P_s = K_c * P_c * g * z_c$$

Denklem 3-42

K_c : Sacın eğim açısına bağlı katsayı

$$= \cos^2 \alpha + K_0 \sin^2 \alpha$$

Denklem 3-43

$$K_0 = 1 - \sin \psi$$

Denklemler 3-44

z_c : Yüklenen noktanın aynı hattaki kargo yüksekliği

Kargo yükü dinamik basıncı:

Deniz ve dalga nedeniyle oluşan kargo hareketlerinin sonucu olan yük dinamik basıncı Tablo 3-6'da görülmektedir.

Tablo 3-6 NK kargo dinamik basıncı [7]

Dizayn Durumu	Kargo Dinamik Basıncı
L-180	$P_c = 0.75 K_c \rho_c a_v z_c$
L-0	$P_c = 0$
R	$P_c = \rho_c (0.75 K_c a_v z_c + 0.25 a_t y_c)$
P	

3.3.5. Model lokal yükleme durumları

Klas kuruluşları, sonlu elemanlar modellerini çeşitli su çekimi, yük dağılımı, deniz durumu, balast ve yakıt dağılımına göre kontrol etmektedirler. Yükleme durumları sadece homojen yükleme göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Armatör isteklerine göre yükleme durumları çeşitlendirilebilmektedir. Her bir klas kuruluşu için Ek'de yer almakta olan Tablo A. 4, Tablo A. 5, Tablo A. 6 ve Tablo A. 7 görülebilmektedir.

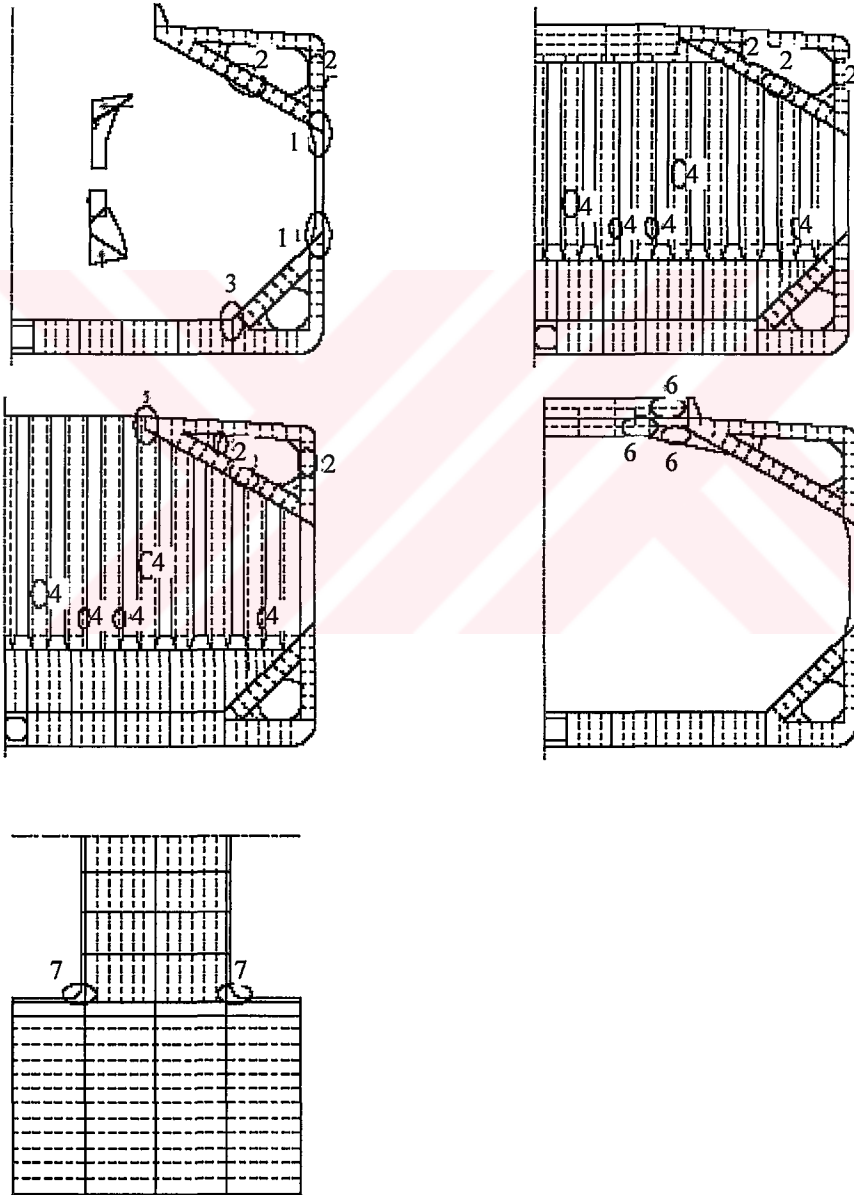
3.4. Kritik Bölgeler

Enine ve boyuna yapıların analizinde, iç destek yapıların toplam dayanımı gözönüne alınmakla birlikte, bu yapılarda oluşan lokal gerilmeler ile yorulma ve burkulmaya da dikkat edilmelidir. Kritik konumlar (Şekil 3.19) olarak adlandırılan bölgelerde yapılan analizler detaylı ve lokal çalışmalar olmalıdır. [2]

- Konum 1: Konum 1'de iki tip braket bağlantıları gösterilmektedir. (bindirme ve alından). Bindirme, braketin postanın üzerindeki kısmı sorun yaratabilmektedir. Alında olanda ise braket ucunda çatlaklar oluşmaktadır.
- Konum 2: Konum 2, üst kanat tankta enine elemanlardaki burkulma hatalarını işaret etmektedir. Daha çok boyuna stifner açıklıklarında kiremit-kapama

kullanılmaması ile ondüle perdeye etek sacı konmaması nedeniyle oluşmaktadır.

- Konum 3: Alt wing tankın derin döşeginde artık gerilmelerden kaynaklanan çatlaklar oluşmaktadır.
- Konum 4: Ondüle perdedeki burkulma problemi işaret edilmektedir.
- Konum 5: Ondüle sac üzerindeki artık gerilmelerden kaynaklanan ondüle, üst wing tank bağlantısında çatlak oluşabilmektedir.



Şekil 3.19 Kuru yüklerde kritik bölgeler [2]

- Konum 6: Ambar kapağı sacının braketlerinde oluşan burkulma problemine dikkat çekmektedir.
- Konum 7: Konum 7 tipik bir açıklık köşe problemidir. Artık gerilmeden kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki konumlara ek olarak, çıkabilecek durumlardan bazıları da şöyledir:

- Alt wing tank ve stool sacıyla iç dip sacının temas yerlerinde çatlaklar
- Ondüle perde stool sacının temas yerlerinde çatlaklar
- Yorgunluk
- Kapak braketlerinin ana güverte enine ve boyuna perde bağlantılarında çatlaklar.

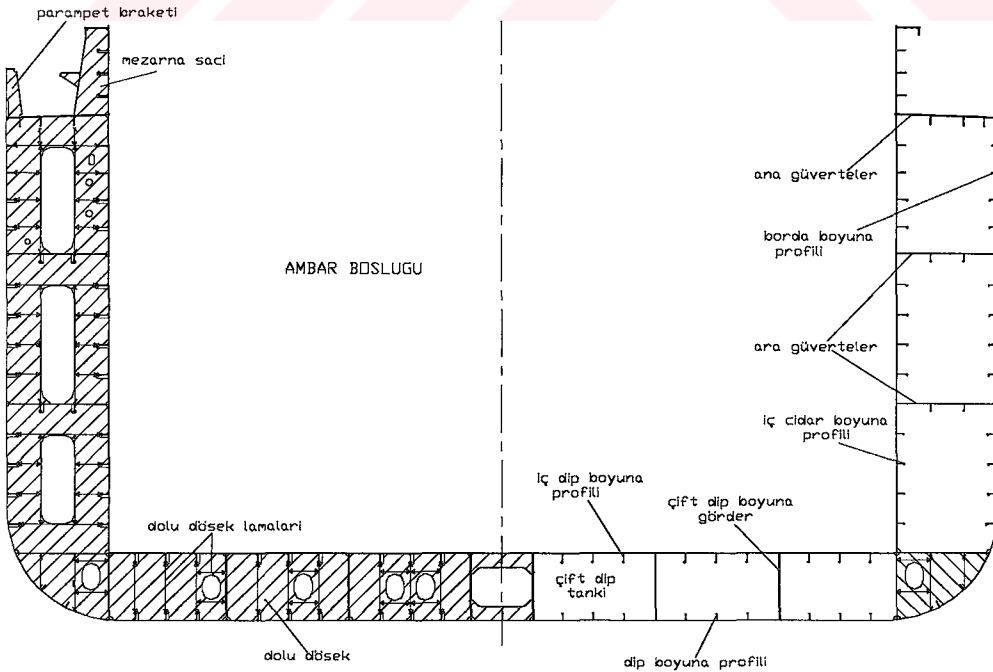


4. KONTEYNER

Konteyner, en yaygın kullanılanları, 20ft (TEU) ve 40 ft (FEU) boyunda olan standardize edilmiş yük birimlerini taşımak için dizayn edilmiş gemilerdir.

Boyutlarına göre sınıflandırılmış konteyner gemileri aşağıdaki gibidir:

- “Feeder” konteyner: 100 – 2000 TEU taşıma kapasitesi bulunan, genelde hızlı yükleme ve boşaltma için kendi kreynine sahip, ana limanlarla küçük limanlar arası bağlantıyı sağlayan konteyner gemileridir.
- “Sub-panamax” konteyner: 2000 – 3000 TEU arası yük taşıyabilen, hızı ve yükleme rahatlığı nedeniyle tercih edilen konteyner gemisidir.
- “Panamax” konteyner: Ana boyutları Panama Kanalı’nı geçebilecek üst limitlere ayarlanmış, 4800 TEU civarındaki taşıma kapasitesiyle genelde kıtalararası çalışan konteyner gemisidir.
- “Post Panamax” konteyner: Panama Kanalı’nı ebatları nedeniyle geçemeyen, yaygın olarak 5500 TEU civarında taşıma kapasitesine sahip gemi tipidir.



Şekil 4.1 Tipik bir konteyner gemisi en kesiti

4.1. Model Özellikleri

4.1.1. Model boyutu

ABS diğer gemi tiplerinde olduğu gibi 1+1+1 yapısındaki üç ambar modeli kullanmaktadır. NK, $\frac{1}{2}+1+\frac{1}{2}$ yapısında toplam iki ambar boyu modelleme yapmaktadır. LR, global burulma ve boyuna mukavemet kontrolü için gemiyi bütünüyle modelleyip, iç dip ve enine mukavemet kontrolü için $\frac{1}{2}+1+\frac{1}{2}$ şeklindeki iki ambar boyu modeli kullanmaktadır. DNV ve LR gibi iki farklı modelle kontrol yapmaktadır. İlk model tam boyda olup, global rijitlik ve global gerilme dağılımları incelenmektedir. İkinci model $\frac{1}{2}+1+\frac{1}{2}$ yapısındaki kargo tank analiz modelidir. Bu modelle birincil mukavemet elemanları kontrol edilmektedir. [2,9,12,18]

4.1.2. Model geometrisi ve eleman yapısı

DNV, kargo tank analizi için model geometrisini aşağıdaki gibi oluşturmaktadır [12]:

- Güverteler, dış kaplama, iç dip ve boyuna perdelerin yatay yükleri alabilmeleri için plak elemanlarla modellenmeleri gerekmektedir.
- Postalar, görderler ve stringerler, “membrane” elemanlarla modellenebilmektedir.
- Birincil elemanların alın lamaları, enine perdelerin stringerleri kiriş ya da çubuk elemanlarla tanımlanmalıdır.
- Plak elemanların üzerinde bulunan bütün devamlı boyuna elemanlar ve stifnerler, kiriş elemanlar olarak tariflenmelidir ki, iç ve dış yüzeyleri birincil yapısal elemanlara iletebilsinler.

DNV, global analizde model geometrisini aşağıdaki gibi oluşturmaktadır:

- Kargo tank analizine göre daha kaba bir sonlu elemanlar modeli kurulmaktadır.
- Amaç global olarak modelin değerlendirilmesi olduğu için lokal gerilme dağılımları daha az önemlidir.
- Geminin tüm yapısal parçaları modelde bulunmalıdır.
- Üst bina modelde olmalıdır.

- Tam boyuna ve enine birincil elemanları “membrane” ya da plaklar tariflenmelidir.
- Boyuna elemanlar ve stifnerler kiriş ya da çubuk elemanlarla modellenmelidir.
- Burkulma lamaları ihmal edilebilir.
- Genelde 4 noktalı plak veya “membrane” elemanlar ile 2 noktalı kiriş veya çubuk elemanlar kullanılmalıdır. Mümkün olduğunca dikdörtgen elemanlar tercih edilmelidir.
- Global analiz modeli en fazla %3 hatayla ağırlık dağılımını temsil etmektedir. Bu amaçla güverte üstündeki konteynerler, dümen, ana makine ve diğer yardımcı makineler de modelde bulunmalıdır. Dümen, plak elemanlar kullanılarak modellenmektedir. Güverte üstündeki konteynerleri çubuk ya da yay elemanlarla modellemek, elemanların düşük rijitlerinden dolayı yapının rijitliğini önemli ölçüde etkilemeyecek olmasından tercih sebebidir. Konteynerler direkt olarak model bünyesine düşük Young modüllü olması şartıyla bağlanabilmektedir. Önemli olan nokta, sadece ağırlıklarını temsil etmek adına, modelde yer alan parçaların, model rijitliğine katkıda bulunmaması gerekmektedir. Bütün kütlesi için modellenen parçalar yapıya bağlanmalıdır.

Konteyner gemileri için LR Panamax veya daha büyük ya da alışlagelmiş konstrüksiyonun dışındaki gemiler için model değerlendirmesi yapmaktadır.

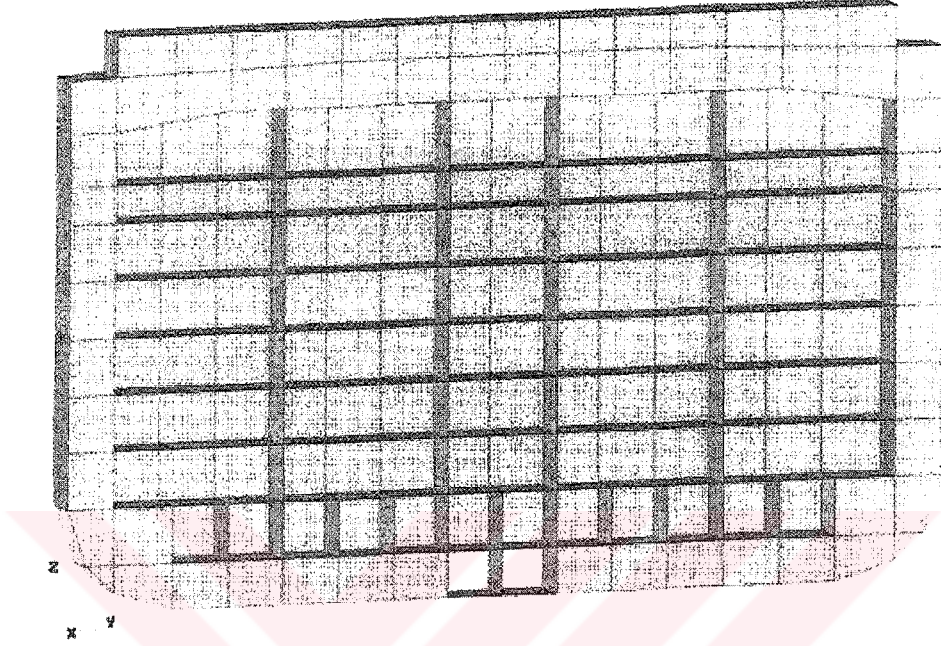
Konteyner gemilerinin yapısal yerleşimi ve yükleme dağılımları düşünüldüğünde tam boyda burulma ve boyuna mukavemet kontrolü yapılmalıdır. Özellikle kargo alanındaki ambar açıklıkları baş ve kıç tarafta bulunan kapalı mahallerden önemli ölçüde etkilenmektedir. [18]

Global yüklerin analizi için yapılan tam boy modeli, tam genişlik ve tam yükseklikte olup, bütün etkin boyuna ve enine elemanlar modelde bulunmalıdır.

Eleman boyut ve tipleri yer değiştirme ve gerilme dağılımını yeterli düzeyde yansıtabilecek şekilde seçilmelidir. Aşağıda kabaca verilen eleman yerleşimi ön fikir vermesi açısından kullanılabilir [18]:

- Gemi eni yönünde, boyuna gördeler arası bir eleman,

- Gemi boyu yönünde, çift dip döşekleri arası bir eleman,
- Gemi yüksekliği yönünde, stringer ya da güverteler arası bir eleman. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 LR global analiz eleman yerleşimi [18]

Birincil mukavemet elemanları düzenli bir yerleşime sahip değil, standart bir aralık düzeniyle sıralanmıyorlarsa, en/boy oranları yeterli memnuniyeti sağlayabilecek daha detaylı bir eleman yapısı düşünülmelidir.

Üst bina ve güverte evleri modelde bulunmalıdır. Üst binanın ikinci katından itibaren kaba bir eleman yapısı kullanımı yeterli olmaktadır.

Bütün birincil mukavemet elemanları (güverte sacları, dip ve borda kaplaması, boyuna gördeler, boyuna ve enine perdeler, döşek, stringer vb.) “membrane” elemanlarla temsil edilmektedir.

İkincil elemanlar, çizgi elemanlarla modellenmektedir. Çizgi elemanlar, stifnerlerin etkin alanlarını temsil edebilmelidir. Alın lamaları ve panel üzerinde bulunan stifnerler de çizgi elemanlarla modellenmektedir.

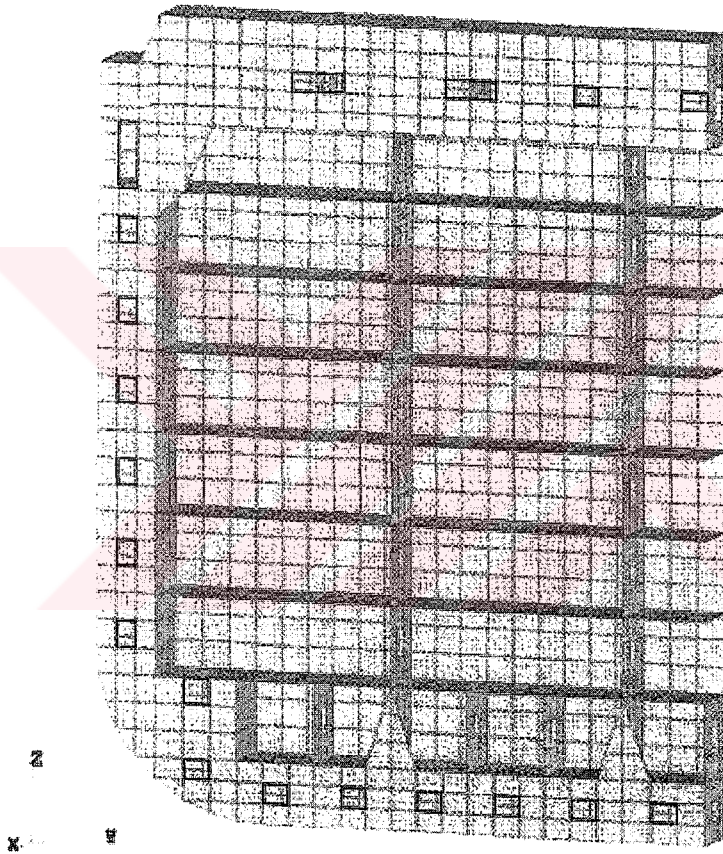
Boyuna mukavemet ve burulma kontrolünün yapılabilmesi için kullanılan tam boy modeli, çift dip ve enine mukavemet kontrolü için, iki ($\frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2}$) ambar boyuna düşürülerek detaylandırılmalıdır. Model tam yükseklik ve meyil analizini kolaylaştırması için tam genişlikte olmalıdır.

Birincil elemanlar “membrane”, ikincil elemanlar eksenel ve eğilme özelliklerine sahip çizgi elemanlarla temsil edilmelidir.

Alın lamaları, sadece eksenel dayanıma sahip çizgi elemanlarla modellenmektedir.

Modelde aşağıdaki eleman yerleşiminin kullanılması uygun olmaktadır(Şekil 4.3):

- Gemi eni yönünde, her boyuna eleman arası bir eleman,
- Gemi boyu yönünde, her posta arası bir eleman,
- Gemi yüksekliği yönünde, her birincil boyuna eleman arası üç eleman.



Şekil 4.3 LR lokal analiz eleman yerleşimi [18]

Japon klas kuruluşu NK, ambar içineki konteynerleri plak elemanlarıyla tariflemektedir. Plak elemanlarıyla enine perdelerin bağlantılarında yalnızca boy yönündeki kuvvetler, plak elemanlarıyla boyuna perdelerin bağlantılarında yalnızca en yönündeki kuvvetlerin ve plak elemanlarıyla iç dip bağlantısında düşey yönlü kuvvetlerin iletimi olmalıdır. [9]

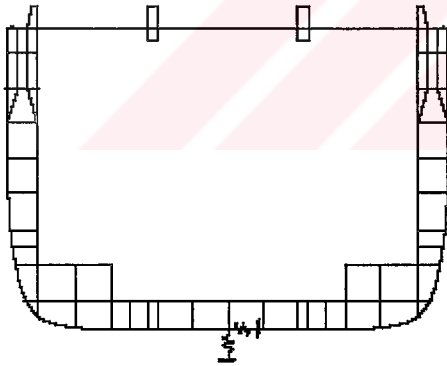
4.2. Sınır Koşulları

4.2.1. ABS

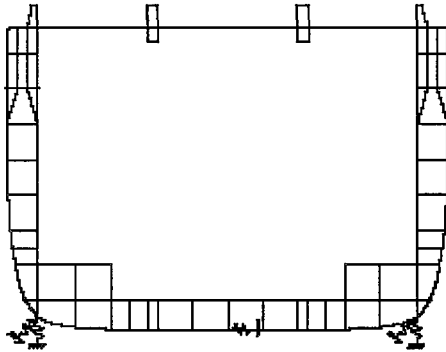
Konteyner gemileri için yay destek elemanları, modelin kıç ve baş düzlemlerine yakın bulunan enine perde veya derin postalara uygulanmaktadır. Bu şekilde mesnetlemek özellikle sınır yüklerinin yapı tarafından daha çok, yaylar tarafından daha az olarak absorbe edilmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de model baş ve kıçındaki sınır koşulları görülmektedir. Kıç düzleminde, biri düşey, diğeri gemi eni doğrultusunda destek sağlamak üzere, merkez hat ve kaide hattının üzerinde iki adet yay elemanı bulunmaktadır. Baş düzleminde, biri gemi eni, ikisi gemi boyu ve diğeri ikisi de düşey doğrultuda olmak üzere beş adet yay elemanı mevcuttur. Düşey ve boyuna yay elemanları iç cidar perdesi hattına bağlanmaktadır. Tanker ve kuru yük gemilerinde olduğu gibi global analizde dip boyuna görderleri ile yatay stringerlerde kesme kuvveti etkisi ihmal edilmektedir. [2]

Boyuna elemanın K sabiti, düşey elemanla aynı seçilebilir. Yay elemanları altı serbestlik derecesinde mesnetlenmektedir.



Şekil 4.4 ABS model kıç düzlemi sınır koşulları [2]



Şekil 4.5 ABS model baş düzlemi sınır koşulları [2]

4.2.2. DNV

Global yükleme sınır koşulları

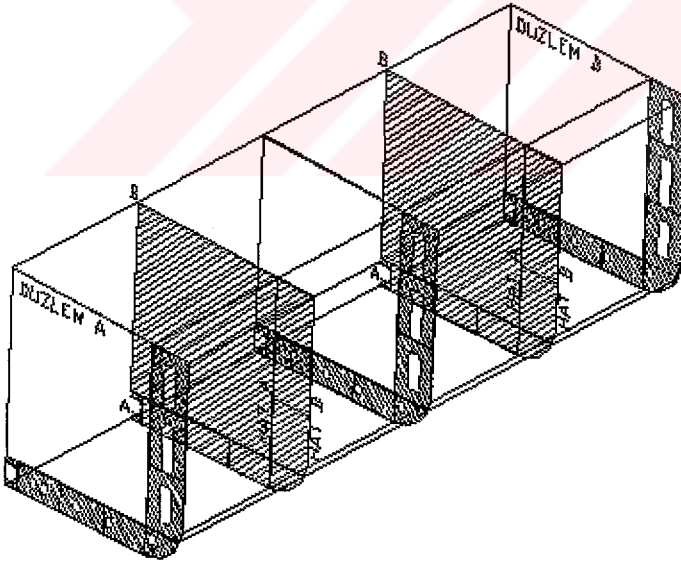
Tam boy modeline uygulanacak olan mesnetler gerilme bölgelerinden uzak konumlandırılmaktadır. Model üç yerinden mesnetlenmektedir. Modelin baş taraf dip düzlüğün sonunda merkez hat üzerinde gemi eni ve yüksekliği doğrultularındaki yer değiştirmeleri mesnetlenmektedir. Aynı şekilde kıç dip düzlüğün sonunda üç eksendeki yer değiştirmesi de mesnetlenmektedir. Aynı konumun ana güverteye izdüşüm yerinde modelin gemi eni doğrultusundaki yer değiştirmesi mesnetlenmektedir. [12]

Lokal yükleme sınır koşulları

Yükleme durumlarına göre şekillenen sınır koşulları aşağıda açıklanmaktadır. [12]

Sınır koşulu – 1

Yükleme durumu LC1, LC2, LC5, LC6 ve LC7 için kullanılmaktadır.(Şekil 4.6, Tablo 4-1)



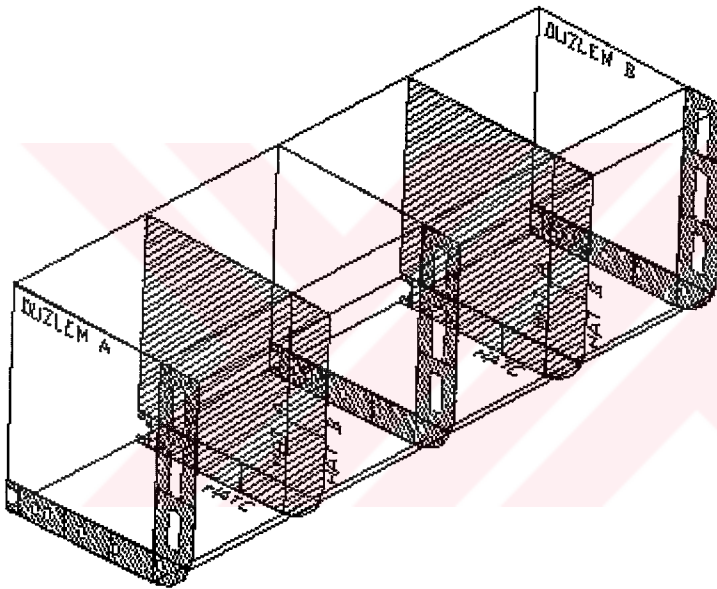
Şekil 4.6 DNV lokal analiz sınır koşulları – I [12]

Tablo 4-1 DNV lokal analiz sınır koşulları – I [12]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat A, B	-	-	S/F	-	-	-
Nokta A, B	-	X	-	X	-	X

Sınır koşulu – 2

Yükleme durumu LC3 ve LC4 için kullanılmaktadır. (Şekil 4.7, Tablo 4-2)



Şekil 4.7 DNV lokal analiz sınır koşulları – II [12]

Tablo 4-2 DNV lokal analiz sınır koşulları – II [12]

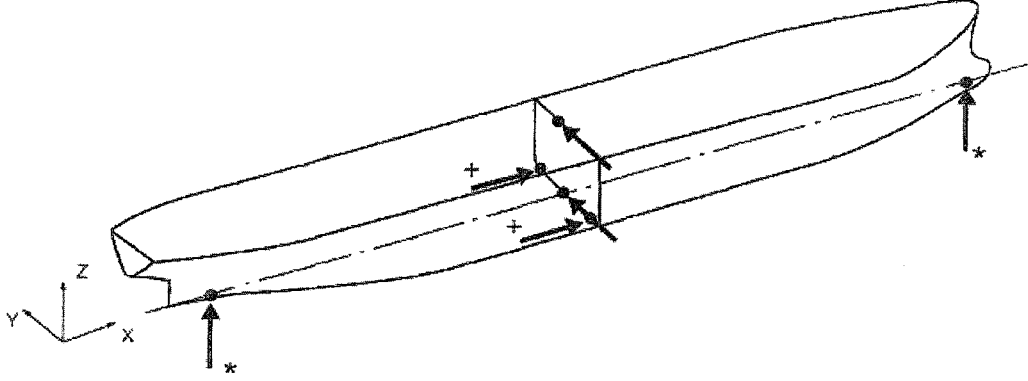
Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Düzlem A	X	-	-	-	X	X
Düzlem B	X	-	-	-	X	X
Hat A, B	-	-	S/F	-	-	-
Hat C	-	X	-	X	-	X

4.2.3. LR

Global yükleme sınır koşulları

Global analiz için yükleme durumlarına göre üç farklı sınır koşulu uygulanmaktadır. Sınır koşulları aşağıda açıklandığı gibidir [18]:

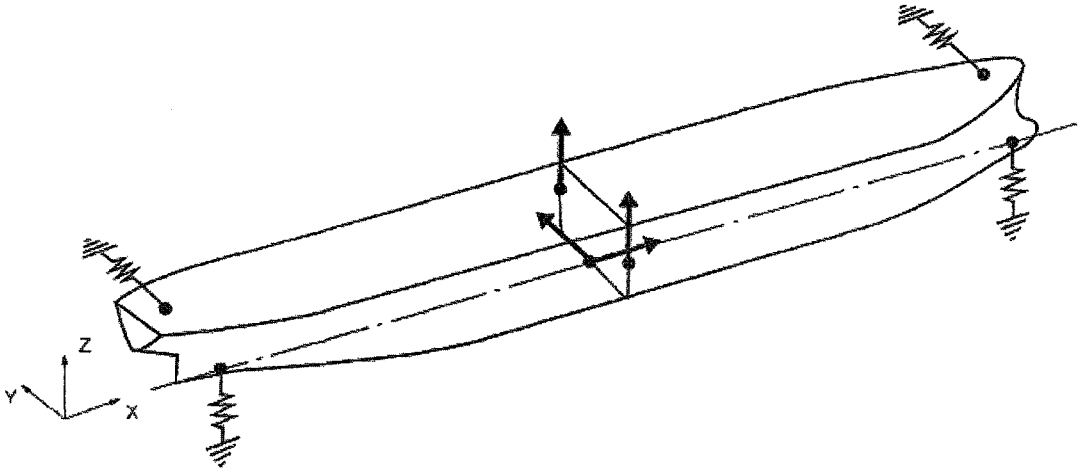
Sakin su veya dalga tepesi durumu



Şekil 4.8 LR global analiz sakin su sınır koşulları [18]

Model sadece rijit hareketini koruyabilsin diye baş ve kıçta gemi yüksekliği doğrultusunda, mastoride dip ve ana güverte merkez hatta gemi eni doğrultusunda, baş ve kıçta dip düzlüğün bitim yerlerinde gemi boyu doğrultusunda mesnetlenmiştir. (Şekil 4.8) Yarı genişlikli modellerde simetri koşulu olarak merkez hat düzleminin gemi eni yönünde yer değiştirmesi ile gemi boyu ve yükseklik eksenleri etrafındaki dönmesi mesnetlenmektedir. [18]

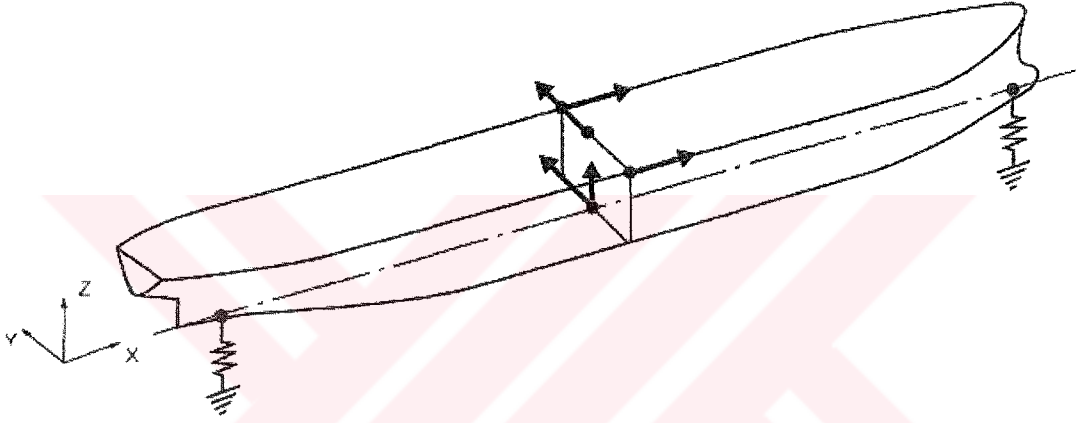
Kargo ve hidrodinamik burulma etkisi



Şekil 4.9 LR global analiz burulma sınır koşulları [18]

Mastori yakınlarında bulunan bir enine perdenin dış kaplama hatları yarı gemi yüksekliği noktasında gemi yüksekliği doğrultusunda, merkez hat üzerinde dipte gemi eni ve boy doğrultularında mesnetlenmektedir. Baş ve kıç dip düzlüğün bitiminde gemi yüksekliği doğrultusunda merkez hatta yay eleman kullanılmaktadır. Baş ve kıç kaideye merkez hatta gemi eni yönü doğrultusunda mesnetlenmektedir. Yarı genişlikte model yapıldığı takdirde merkez hat düzleminin antisimetri şartları kullanılarak gemi boy ve yüksekliği doğrultularında yer değiştirmesi ile gemi eni eksenini etrafında dönmesi mesnetlenir. (Şekil 4.9) [18]

Yatay dalga eğilme momenti



Şekil 4.10 LR yatay dalga eğilme momenti sınır koşulları [18]

Mastori yakınlarında bulunan bir enine perdenin merkez hat ve dip kesişiminin gemi eni ve yüksekliği doğrultularında yer değiştirmesi, enine perdenin ana güverte ve bordayla kesişim yerinin gemi boyu doğrultusundaki yer değiştirmesi ile enine perdenin merkez hat ve ana güverteyle kesişim yerinin gemi eni yönündeki yer değiştirmesi mesnetlenir. Gemi dip düzlüğünün bitim noktalarında gemi yüksekliği yönünde yay elemanlar mesnet elemanı olarak kullanılmaktadır. (Şekil 4.10) Yarı genişlikte model yapıldığı takdirde merkez hat düzleminin antisimetri şartları kullanılarak gemi boy ve yüksekliği doğrultularında yer değiştirmesi ile gemi eni eksenini etrafında dönmesi mesnetlenir.

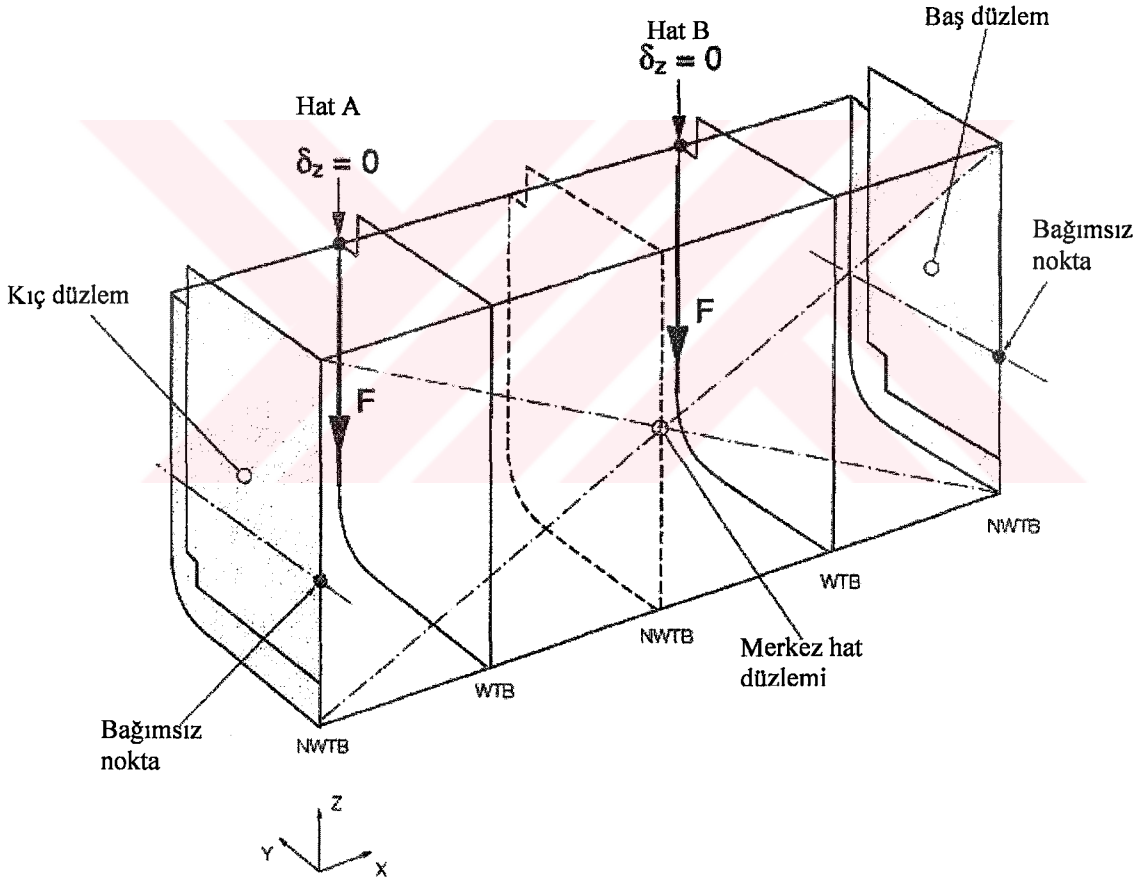
Kullanılan yay elemanlarının sabiti 1 kgf/m alınarak yaylardaki yüklerin önemli boyutta olmadığı kontrol edilmelidir.

Lokal yükleme sınır koşulları

Çift dip ve enine mukavemet kontrolü için sınır koşulları yükleme durumları ile kontrol bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. Aşağıda uygulanacak yükleme durumlarına göre sınır koşulları sunulmaktadır.

Sınır koşulu – 1

Yükleme durumları C1, C2a, C2b ve C3 için kullanılmakta olan sınır koşulları simetrik yükleme ve çift dip ile güverte kontrolü için kullanılmaktadır. Su geçer perdelerde borda hattı boyunca uygulanan F kuvveti kargo yükü, tekne ağırlığı ve sephiye arasındaki dengeyi kurmak için uygulanmaktadır. (Şekil 4.11, Tablo 4-3) [18]



Şekil 4.11 LR lokal analiz sınır koşulları – I [18]

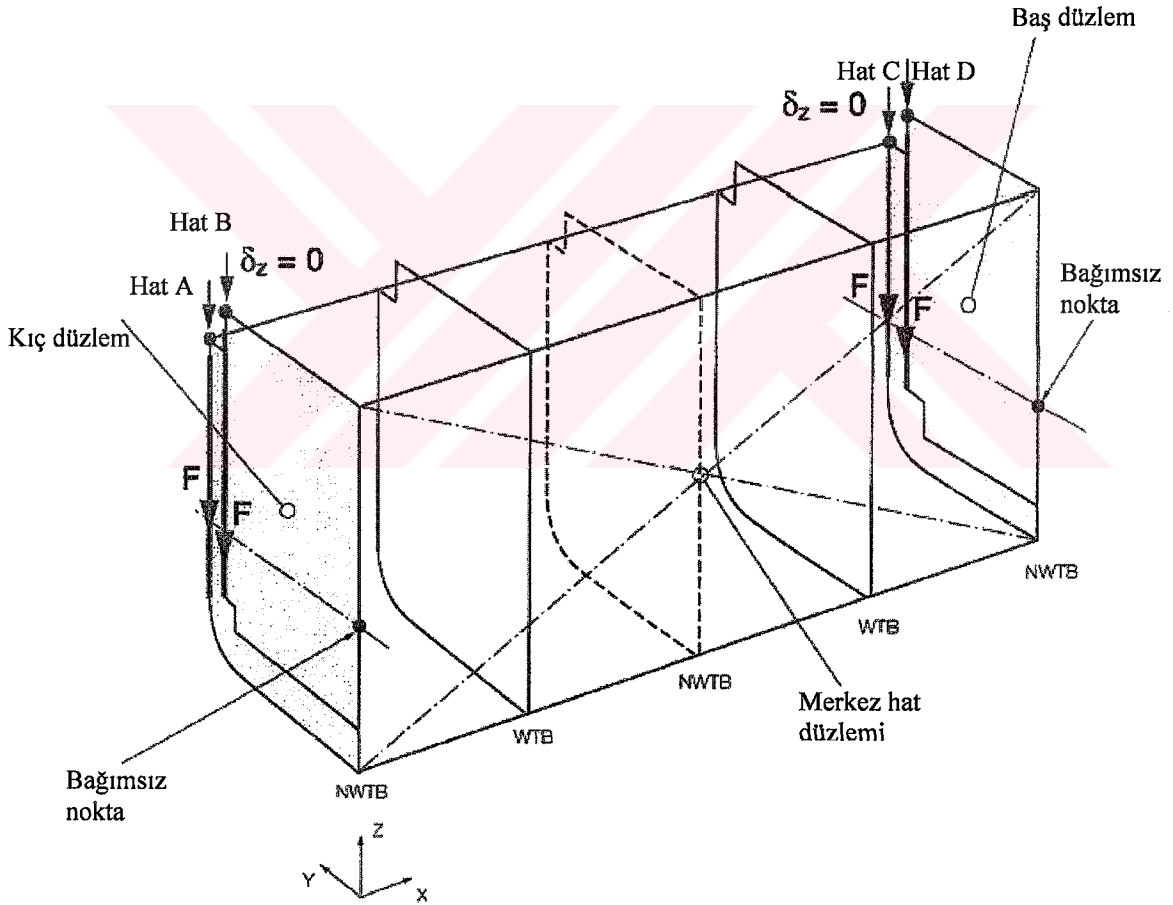
Tablo 4-3 LR lokal analiz sınır koşulları – I [18]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Kıç düzlem	L	-	-	-	-	-
Baş düzlem	L	-	-	-	L	L
Baş bağımsız nokta	-	-	-	-	X	X
Kıç bağımsız nokta	X	-	-	-	X	X
Hat A, B	-	-	F	-	-	-
Merkez düzlem (simetri koşulu)	-	X	-	X	-	X

Sınır koşulu – 2

Yüklemeler C1, C2a, C2b ve C3 için simetrik yükleme ve enine perdelerle borda kaplama kontrolü amacıyla kullanılan sınır şartları aşağıdaki Şekil 4.12 ve

Tablo 4-4’de gösterilmektedir. [18]



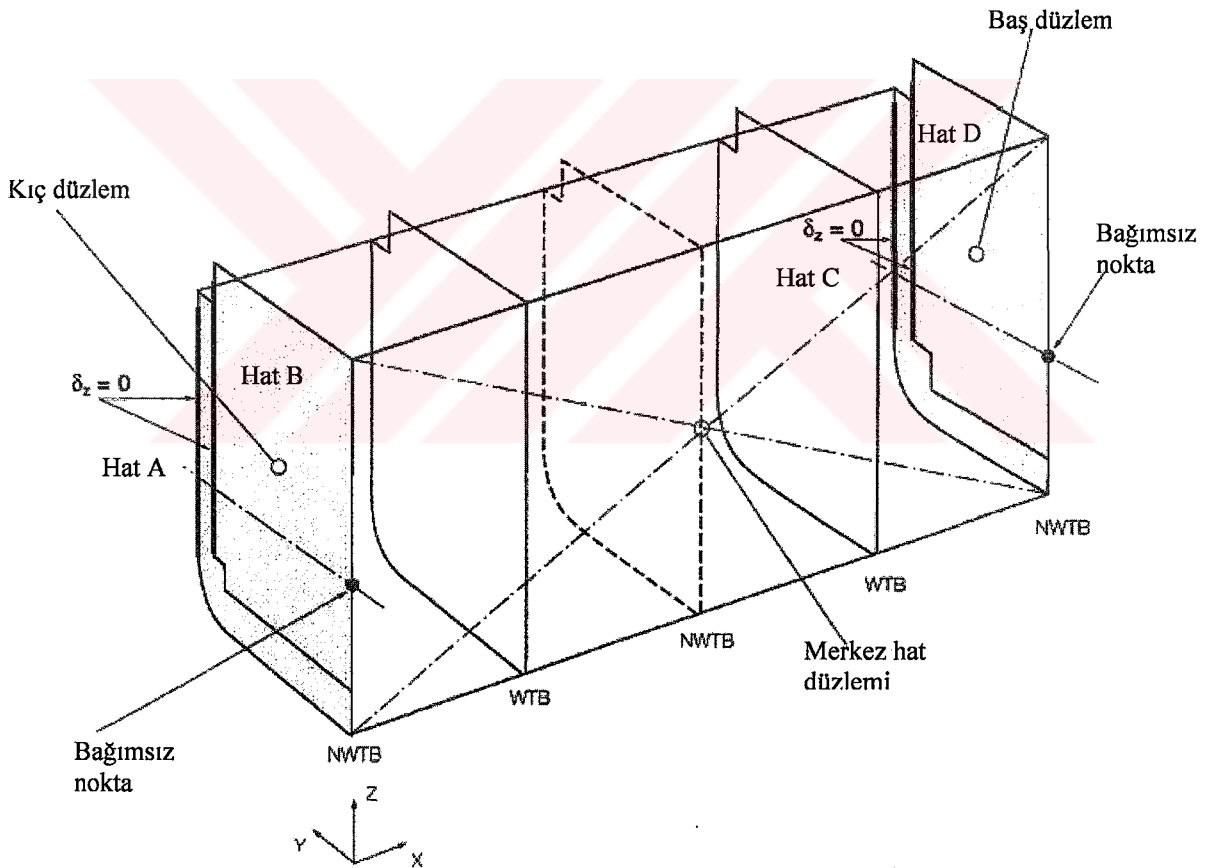
Şekil 4.12 LR lokal analiz sınır koşulları – II [18]

Tablo 4-4 LR lokal analiz sınır koşulları – II [18]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Kıç düzlem	L	-	-	-	-	-
Baş düzlem	L	-	-	-	L	L
Baş bağımsız nokta	-	-	-	-	X	X
Kıç bağımsız nokta	X	-	-	-	X	X
Hat A, B, C, D	-	-	F	-	-	-
Merkez düzlem (simetri koşulu)	-	X	-	X	-	X

Sınır koşulu – 3

Yükleme durmları C4 ve C5 için simetrik yüklem ve tüm yapı kontrolü amacıyla kullanılan sınır şartları Şekil 4.13 ve Tablo 4-5’de açıklanmaktadır. [18]



Şekil 4.13 LR lokal analiz sınır koşulları – III [18]

Tablo 4-5 LR lokal analiz sınır koşulları – III [18]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Kıç düzlem	L	-	-	-	-	-
Baş düzlem	L	-	-	-	L	L
Baş bağımsız nokta	-	-	-	-	X	X
Kıç bağımsız nokta	X	-	-	-	X	X
Hat A, B	-	-	X	-	-	-
Merkez düzlem (simetri koşulu)	-	X	-	X	-	X

Sınır koşulu – 4

Yükleme durumları C4 ve C5 için yarı genişlikli modelde antisimetrik yüklemeye veya tam genişlikli modelde yüklemeye ile tüm yapının kontrolü amacıyla kullanılan sınır şartları Şekil 4.14 ve Tablo 4-6’de gösterilmektedir. Yarı genişlikli modelde etki edilen yükler simetrik ve antisimetrik bileşenler şeklinde ayrı ayrı yüklenmelidir. Model her iki yüklemeye durumu için çözülmekte, sonuçlar birleştirilmektedir. Yay sabiti K aşağıdaki gibidir [18]:

$$K = G(A/l * N)$$

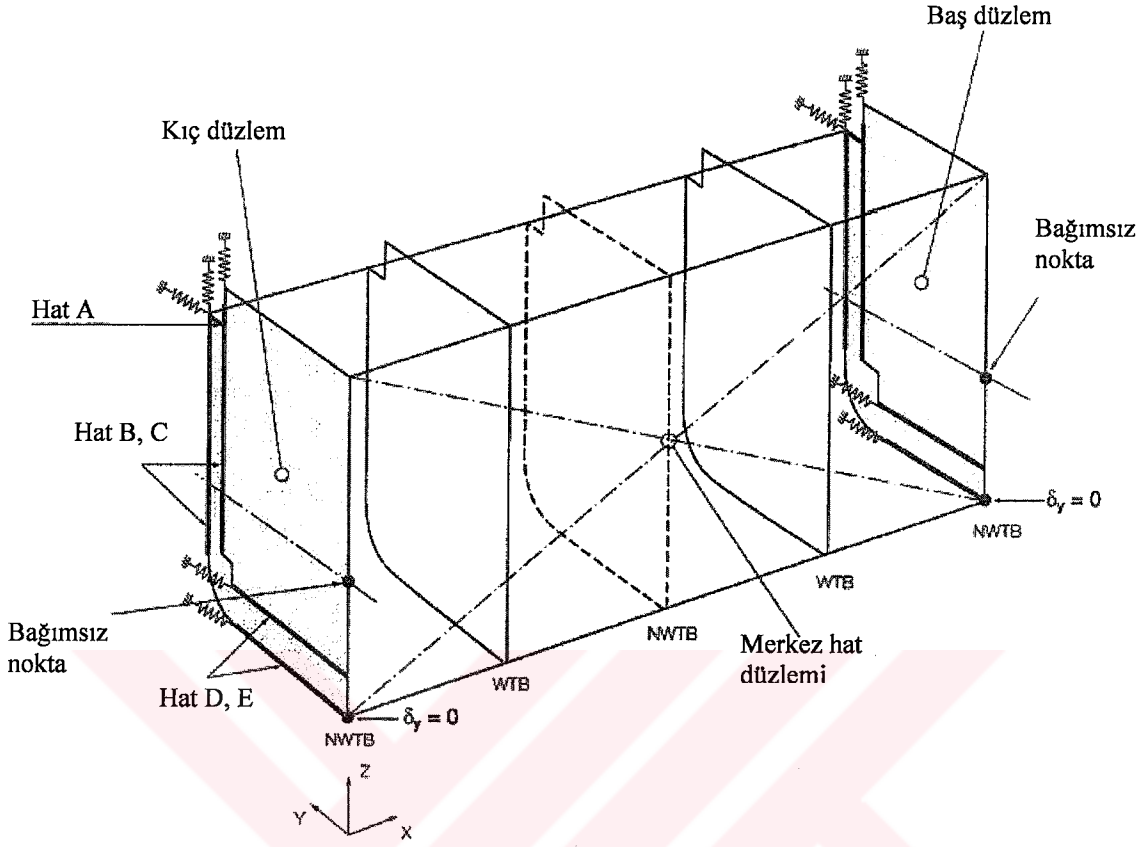
Denklem 4-1

G: Rijitlik sabiti

l: Kıç ve baş perdeyle modellenmeyen komşu perde arası uzunluk

A: Borda sacı, iç cidar, iç dip, dip sacı veya ana güvertenin en kesiti

N: Yay elemanının uygulandığı nokta sayısı



Şekil 4.14 LR lokal analiz sınır koşulları – IV [18]

Tablo 4-6 LR lokal analiz sınır koşulları – IV[18]

Konum	Yer değiştirme			Dönme		
	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Kıç düzlem	L	-	-	-	-	-
Baş düzlem	L	-	-	-	L	L
Baş bağımsız nokta	-	-	-	-	X	X
Kıç bağımsız nokta	X	-	-	-	X	X
Hat A	-	S	-	-	-	-
Hat B, C	-	-	S	-	-	-
Hat D, E	-	S	-	-	-	-
Merkez düzlem (antisimetri koşulu)	X	-	X	-	X	-

4.2.4. NK

$\frac{1}{2}+1+\frac{1}{2}$ yapısındaki iki ambar boyundaki model enine perdelerde gemi yüksekliği ve genişliği doğrultularında desteklemektedir. Simetri uygulanırsa model boy ve kık düzlemleri mesnetlenmelidir. [9]

4.3. Yükleme Şartları

4.3.1. ABS

Yapıya konteyner yük bileşenleri olarak statik konteyner ağırlığı, yalpa ve baş kık vurmaya bağlı dinamik kuvvetler ile ivmeye bağlı atalet kuvvetleri etkimektedir. Konteynerler “cell guide”lar yardımıyla sabitlenmektedir. Yüklü konteynerlere bağlı olarak oluşan statik ve dinamik kuvvetler “cell guide”lar yardımıyla ana mukavemet elemanlarına iletilirler. Güverte üstü konteyner yükleri ambar kenarlarına mezarna, parampet ve diğer destek yapılarına iletilirler. Her bir konteynerin ağırlığı merkezinden etkililir. Konteyner yükleri, bağlandığı dört köşesinden dağıtılarak yapıya etkitilmektedir. [5]

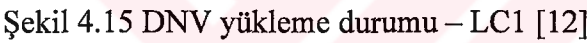
4.3.2. DNV

Kargo tank analizinde bulunması gereken yük bileşenleri aşağıda belirtilmiştir [12]:

Lokal analizde yükleme:

- Statik ve dinamik deniz basıncı
- Ambar içi ve güverte üstü konteyner yükleri
- Ambar kapağı
- Meyil ve baş-kık vurma hareketlerinde güverte üstü konteynerler için boyuna ve enine ivme etkisi
- Rüzgar kuvveti ihmal edilmektedir.
- Ambardaki konteynerler için enine ve boyuna kuvvetler her bir konteynerin merkezinde hesaplanarak “cell guide”lar vasıtasıyla enine perdeye uygulanmalıdır.
- Yükleme Durumu – LC1

Yükleme Durumu destek perdenin dip enine elemanlarının boyutlandırılması için kullanılmaktadır.

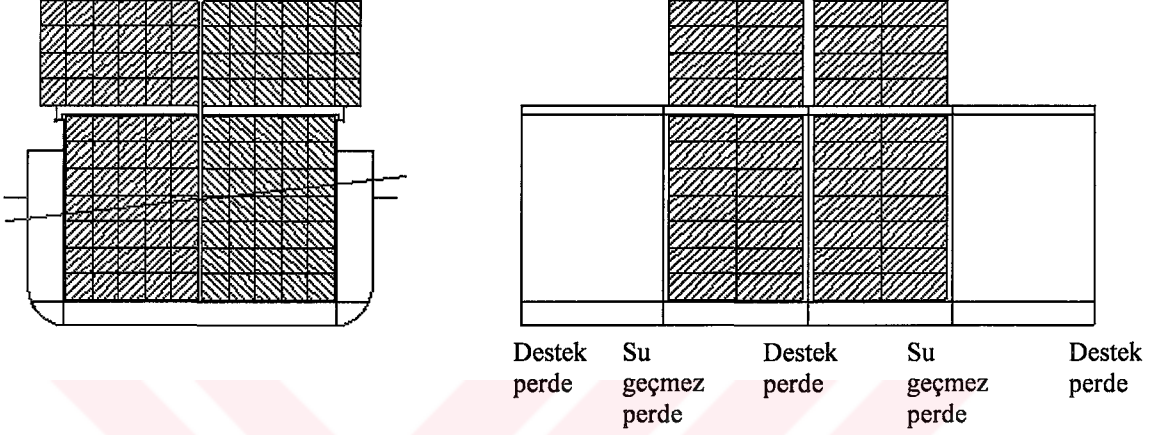


- Dip sacının ve dip kaplama görder ve döşekleri ile destek perdelerinin boyutlandırılması için kullanılmaktadır.
- Merkez ambarda maksimum kargo yükü taşınmakta olup, su çekimi tam yüklü durumdadır. (Şekil 4.16)



- Yükleme Durumu – LC3

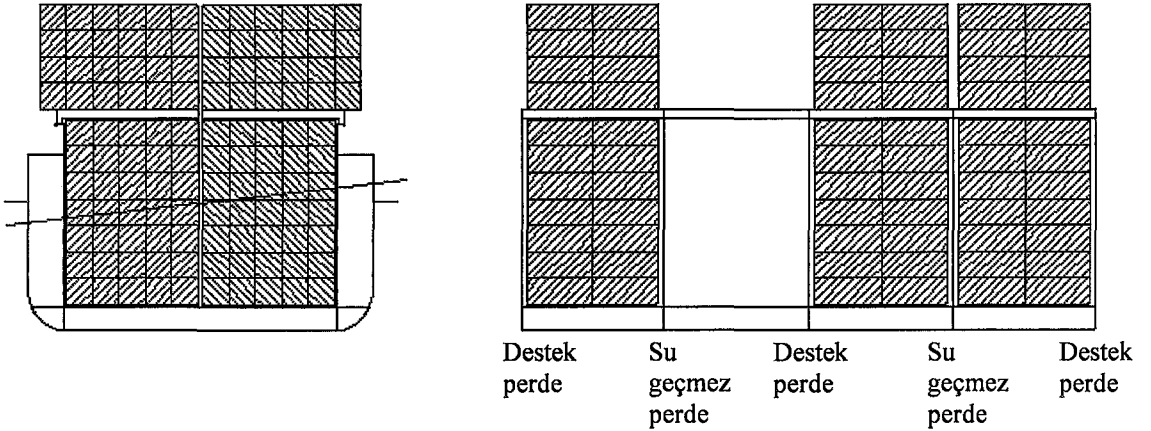
- Yükleme durumu ile destek perde ile iç cidarın üst bölümü boyutlandırılmaktadır.
- Modele meydana kaynaklanan ivme etkisi yansıtılmalıdır. Su çekimi $0.8T$ 'dir. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17 DNV yükleme durumu – LC3 [12]

- Yükleme Durumu – LC4

- Destek perde ve iç cidarın alt kısmının boyutlandırılması için uygulanan yükleme durumudur. Su çekimi tam yüklü durumdadır. (Şekil 4.18)

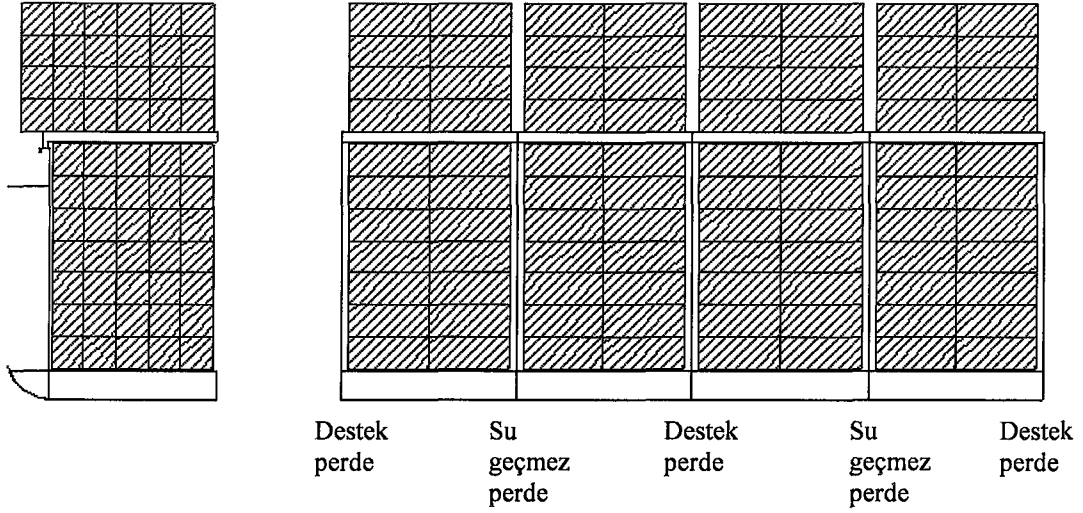


Şekil 4.18 DNV yükleme durumu – LC4 [12]

- Yükleme Durumu – LC5

- Ambar ve güverte üstünde azami yük bulunmaktadır.

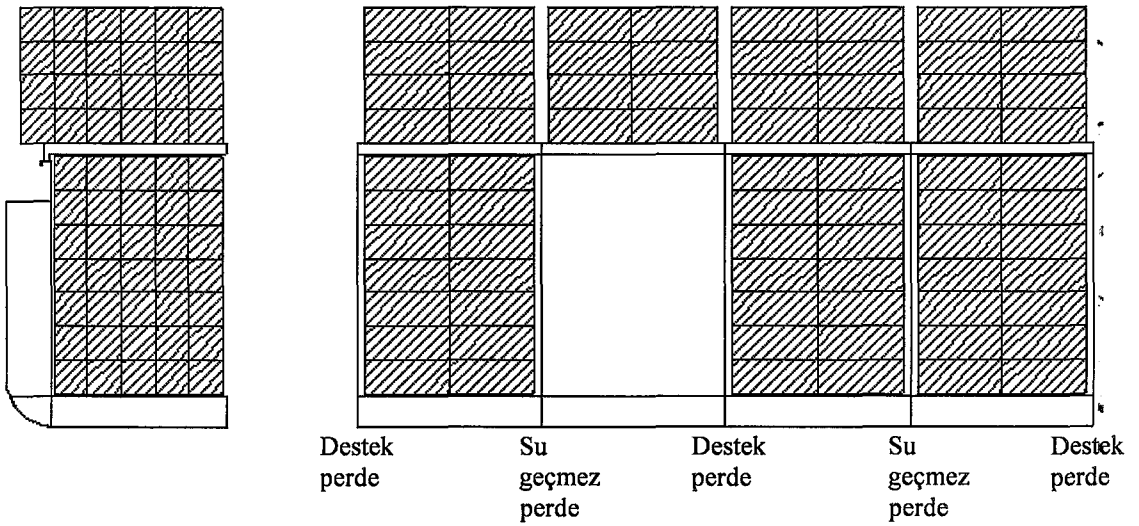
- Boyuna ivme yüklemeye etkitilmelidir.
- Destek ve su geçmez perde boyutlandırması için kullanılır. Su çekimi tam yüklü durumdadır. (Şekil 4.19)



Şekil 4.19 DNV yükleme durumu – LC5 [12]

- Yükleme Durumu – LC6

- Güverte üstünde maksimum, ambarda minimum kargo yükü bulunmaktadır. (Şekil 4.20)
- Destek perdenin düşey görderlerinin boyutlandırılması için kullanılır. Su çekimi tam yüklü durumdadır.



Şekil 4.20 DNV yükleme durumu – LC6 [12]

Dış kaynaklı yani deniz ve dalgadan ötürü gemi bünyesine uygulanan basınç değerleri diğer gemi tipleri ile aynıdır. Konteynerlerden kaynaklanan basınç değerleri aşağıdaki gibidir [12]:

Düşey kuvvet

$$P_v = (g_0 + 0.5a_v)M \quad \text{Denklem 4-2}$$

a_v : Dinamik düşey ivme

M : Konteyner ağırlığı

Meyil durumu

$$P_v = g_0 M$$

Yatay kuvvetler

$$P_t = 0.5Ma_t \quad \text{Denklem 4-3}$$

a_t : Dinamik enine ivme

Baş kış vurma durumu

$$P_v = g_0 M \quad \text{Denklem 4-4}$$

Boyuna kuvvetler

$$P_t = 0.5Ma_t \quad \text{Denklem 4-5}$$

4.3.3. LR

Global analiz modelinde, yapıya Tablo 4-7’de verilmekte olan yükleme durumları ve yük bileşenleri uygulanmaktadır. [18]

İç dip ve enine mukavemet analizi için yükleme bileşenleri şu şekildedir:

- Çelik donanım ağırlığı
- Konteyner yükleri
- Hidrostatik yükler, bulunulan su çekimine göre
- Basınç yükleri, dalga tepesi veya dalga çukuruna bağlı olarak

Meyil durumlarında geminin statik meyil açısında olduğu kabulüyle hesap yapılmaktadır. Konteynerlerin enine yük bileşenleri enine perdenin uygun

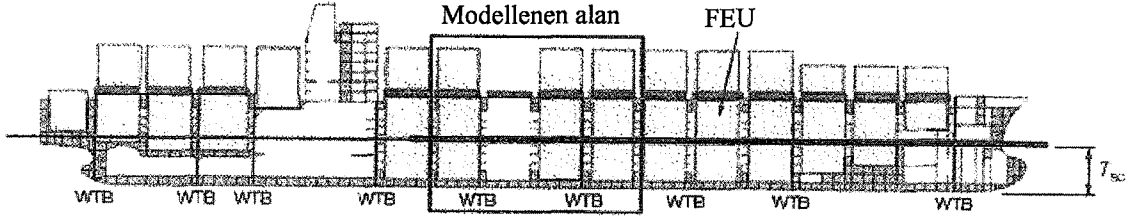
konumlarına dağıtılır. Güverte üstü konteyner yükleri ambar ağı kenarlarına kesme kuvveti şeklinde dağıtılır.

Tablo 4-7 LR global analiz yükleme tablosu [18]

Yükleme Durumu	Yük Bileşeni	Açıklama
Sakin su ve dalga tepesi durumu Dalga tepesi için: - Dalga boyu: L_{BP} - Dalga tepesi mastoride - Sinüs dalgası profili	Çelik ağırlığı	Model boyuna olarak çeşitli ağırlık bölgelere bölünerek, boyuna ağırlık merkezi ve doğru bir ağırlık dağılımı sağlanabilmektedir.
	Makina ve donanım ağırlığı	Tüm önemli ağırlık bileşenleri doğru koordinatlarında temsil edilmelidirler.
	Güverte üstü konteynerler	Düşey kuvvetler kullanılarak modelde temsil edilebilir.
	Ambar içi konteynerler	İç dibe ağırlıkları nispetinde yük etkitilmelidir.
	Sephiye	Gemi ıslak alanına sakın su ya da dalga çukuru ve tepesi olsun $P=\rho gh$ kadar basınç etkitilmelidir.
	Balast ve yakıt	Basınç yükleri tank sınırlarına etkitilerek noktasal yüklerle tariflenebilir.
Düşey dalga eğilme momenti	Kural düşey dalga eğilme momenti dağılımı	Sakin su ve dalga tepesi/çukuru durumlarının birleşimi şeklinde etkitilir.
Yatay dalga eğilme momenti	Kural yatay dalga eğilme momenti dağılımı	Kural yatay dalga eğilme momenti dağılımına göre etkitilir. Başka hiç bir yük bileşeni yoktur.
Hidrodinamik burulma momenti	Hidrodinamik burulma momenti dağılımı	Model boyunca borda sacı düzlemine dağıtılarak etkitilir. Başka hiç bir yük bileşeni yoktur.
Kargo burulma momenti	Kargo burulma momenti dağılımı	Model boyunca borda sacı düzlemine dağıtılarak etkitilir. Başka hiç bir yük bileşeni yoktur.

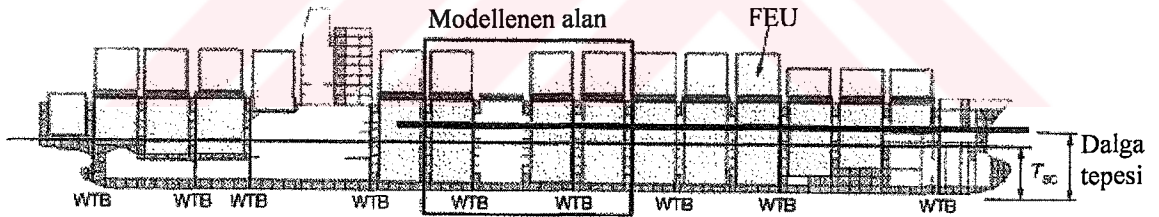
İç dip ve enine mukavemet kontrolü için aşağıdaki yükleme durumları kullanılmaktadır:

- Yükleme Durumu – C1
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Bir konteyner sırası güverte üstü ve ambar içi boş, diğer konteynerler 40ft boyunda ve azami yüklü (Şekil 4.21).



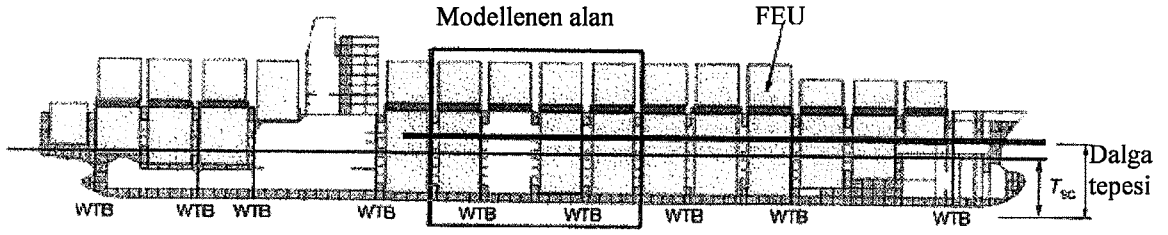
Şekil 4.21 LR yükleme durumu – C1 [18]

- Yükleme Durumu – C2a
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Bir konteyner sırası güverte üstü ve ambar içi boş, diğer konteynerler 40ft boyunda ve azami yüklü,
 - Dalga tepesi durumu (Şekil 4.22).



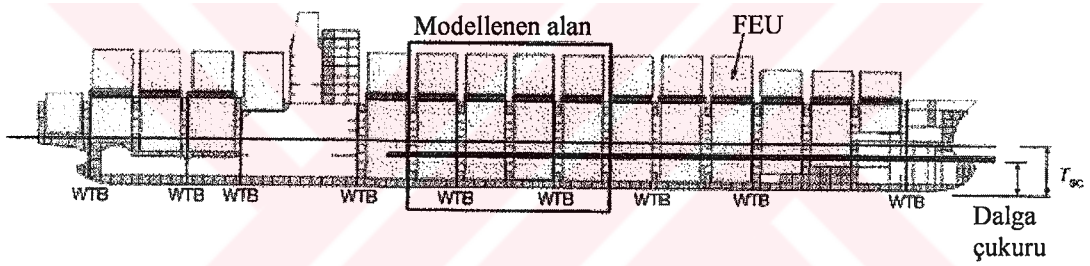
Şekil 4.22 LR yükleme durumu – C2a [18]

- Yükleme Durumu – C2b
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Bir konteyner sırası güverte üstü ambar içi boş, diğer konteynerler 40ft boyunda ve azami yüklü,
 - Dalga tepesi durumu (Şekil 4.23).



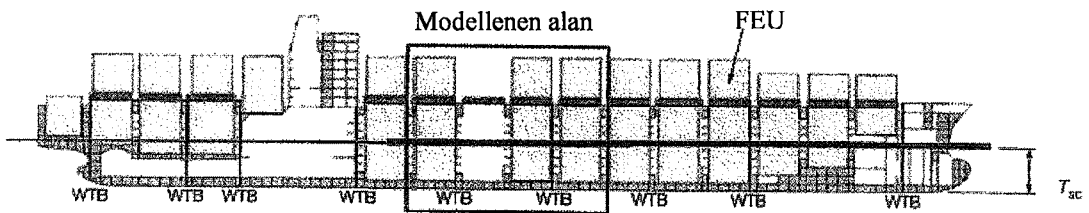
Şekil 4.23 LR yükleme durumu – C2b [18]

- Yükleme Durumu – C3
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Dalga çukuru durumu,
 - Tüm konteynerler 20ft boyunda ve azami yüklü (Şekil 4.24).



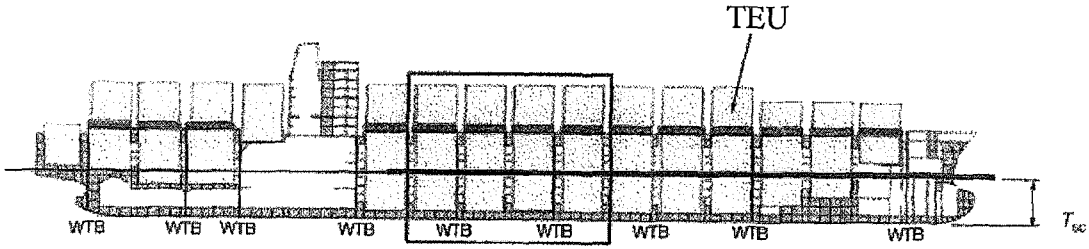
Şekil 4.24 LR yükleme durumu – C3 [18]

- Yükleme Durumu – C4
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Bir konteyner sırası güverte üstü ve ambar içi boş, diğer konteynerler 40ft boyunda ve azami yüklü,
 - Statik meyil açısı 30° veya $\tan^{-1}(2(D-T_{sc})/B)$ 'den küçük olanı (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 LR yükleme durumu – C4 [18]

- Yükleme Durumu – C5
 - Su çekimi tam yüklü durum,
 - Bir konteyner sırası güverte üstü ve ambar içi boş, diğer konteynerler 20ft boyunda ve azami yüklü,
 - Statik meyil açısı 30° veya $\tan^{-1}(2(D-T_{SC})/B)$ 'den küçük olanı (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 LR yükleme durumu – C5 [18]

4.3.4. NK

Ambar içinde aksi belirtilmedikçe 40 ft. boyundaki konteynerler düşünülmektedir. Her bir konteyner sırası ağırlığı tam yüklü durumda 300 kN, bir sıra boş durumda 200 kN olarak alınmaktadır. [9]

Ambar kapağı üzerinde genelde 20 ft. boyundaki konteynerler bulunmaktadır. Herbir konteyner sırası ağırlığı, ambar kapağının maksimum taşıma kapasitesine göre ayarlanmaktadır.

Balast durumunda, boş olarak alınan konteynerlerin kendi ağırlıkları hesaba katılmaktadır.

Sakin su ve dalgadan kaynaklanan yükler nedeniyle gemi bünyesine etki eden çeşitli yük bileşenleri oluşmaktadır.

Dış hidrostatik, konteyner yükünden kaynaklanan iç statik ve balast yükü, sakın su yükleri olarak düşünülmektedir. Dış hidrodinamik, konteyner yükünün dalga kaynaklı hareketinden dolayı oluşan iç dinamik ve balast yükleri, dalga nedeniyle oluşan yüklerdir.

Konteyner statik ve dinamik yükleri dışındaki yükler daha önceki gemi tipleriyle aynı olduğundan burada konuya değinilmeyecektir.

Kargo statik basıncı, konteynerin ağırlığından dolayı etkittiği yüküdür.

Konteyner dinamik yükü ise Tablo 4-8 her bir dizayn durumu için verilmektedir.

Tablo 4-8 NK dinamik konteyner yükü [9]

Dizayn Durumu	Dinamik Kargo Yükü		
	Düşey Yük	Enine Yük	Boyuna Yük
L-180	$W_s a_v / g$	–	$-W_s a_t / g$
L-0	–	–	–
R	$W_s a_v / g$	$-W_s a_t / g$	–
P			

4.3.5. Model lokal yükleme durumları

Klas kuruluşları, konteyner modellerini değişik su çekimi ve yük durumları için kontrol etmektedirler. ABS ve NK için Ek'de yer almakta olan Tablo A. 8 ve Tablo A. 9'da görülebilir.

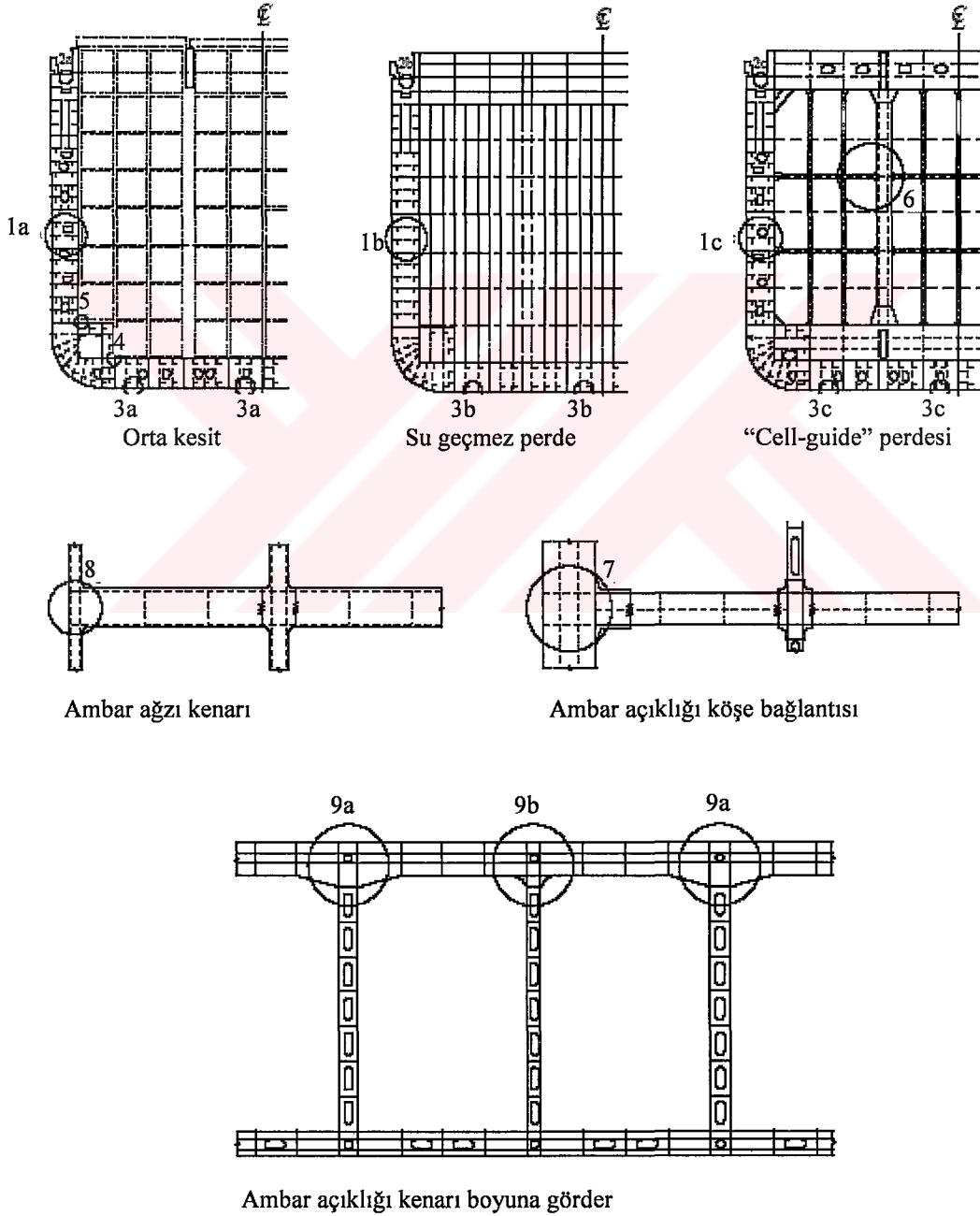
4.4. Kritik Bölgeler

Şekil 4.27'de görülen işaretli kısımlar, çeşitli yükleme durumlarında yüksek gerilmeye maruz kalan bölgeleri göstermektedir. Bu bölgelere lokal gerilme analizinde özellikle yorulma ve burkulma yönünden dikkat edilmelidir. [2]

Diğer gemi tiplerinde benzer sorunların yaşandığı konum 1, 2 ve 3 daha önce değinildiği için açıklanmayacaktır.

- Konum 4: İç dip sacı ile iç boyuna perdelerin bağlantı yerinde, yüksek kesme kuvveti ve iç dip sacının şekil değiştirmesine bağlı olarak yüksek gerilmeler gözlemlenmektedir.
- Konum 5: Boy perdesiyle kaide hattından ilk stringerin kesişim yerinde, yapısal devamsızlık nedeniyle gerilme artışları gözlemlenmektedir.
- Konum 6: Ambar kış ve baş nihayetlerinde, burulmaya bağlı olarak oluşan yüksek gerilmeyle karşılaşmaktadır.
- Konum 7: Ana güverte açıklıkları konteyner gemilerinin en kritik yerleridir. Açıklık köşe şekil değiştirmeleri genelde yorulma kaynaklı olmaktadır. Açıklıkların kenarlarında burulma yükleri nedeniyle aşırı gerilmeler gözlemlenmektedir.

- Konum 8: Destek perdeleri üzerinde bulundurdıkları konteyner bağlantı elemanlarıyla yük ağırlığını öncelikle desteklemektedirler. 3-D modelde bulunmalıdırlar. Bazı dizaynlarda konteyner yüklerinden kaynaklanan veya gemi bünyesiyle destek perde bağlantı yerlerinde oluşan yüksek gerilme değerleri gözlemlenmektedir.
- Konum 9: Burulma yüklerinin etkisiyle ana güverte altı merkez boyuna görderlerin kıç ve baş perdeyle bağlantı yerlerinde gerilme değerleri yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4.27 Konteynerde kritik bölgeler [2]

5. MODEL

5.1. Giriş

Klas Kuruluşlarından en detaylı bilgiye sahip olunan LR ve DNV'nin tanker sınır koşullarını karşılaştırabilmek için öncelikle yapısal model oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman hesabında ANSYS paket programı kullanılmıştır.

5.2. Model Yapısı ve Özellikleri

Yapısal analiz, bir adet global model ve global modelden elde edilecek sonuçların kullanılacağı dört adet lokal modelden oluşmaktadır. Global modelin boyutları 100mx15mx10m olup merkez hatta boyuna bir perde, ana güverte, borda ve dış kaplama saclarından oluşmaktadır. Model beş kargo tankı boyunda olup, iskele sancak olmak üzere on tank içermektedir.

Klas kuruluşlarının sınır koşullarını karşılaştıracağımız lokal modeller ise global modelin merkezinde bulunan tankı ve baş ve kıçında bulunan tankların yarısını kapsamaktadır. Toplam 40m. olan lokal modeller tam genişlik ve tam yüksekliktedir.

Global modelde 287 “key point”, 451 çizgi ve 166 alan oluşturulmuştur. Model mesh boyutu 0.5m. olarak alınmıştır. Maksimum node sayısı 27111, maksimum eleman sayısı 27600'dir. Lokal analiz modelinde 215 “key point”, 337 çizgi ve 121 alan oluşturulmuştur. Maksimum node sayısı 10703, maksimum eleman sayısı 10800'dür. Yapısal analizde ANSYS sonlu elemanlar paketinde verilen Shell63 elemanı kullanılmıştır. Shell63 elemanı iki düzlemde eğilme özelliği vardır. Bu elemanın her düğümü üç öteleme ve üç dönme olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir.

Modele malzeme özellikleri olarak;

$$\text{Elastisite modülü} = 2.1 \text{ E11 N/m}^2$$

$$\text{Poisson oranı} = 0.3$$

5.3. Dizayn Yükleri

Global modele, model boyunca dipten ve bordadan 250 N/m^2 'lik basınç etkililmiştir.

Lokal modellere etkililen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri basit mukavemet analizinden elde edilmiştir.

5.4. Sınır Koşulları

Global model kıç düzlemi altı serbestlik derecesinde mesnetlenmiştir. Baş düzleminin gemi yüksekliği doğrultusundaki yer değiştirmesi mesnetlenmiştir.

Lokal modellere ise Tanker Bölümünde verilen Tablo 2-6, Tablo 2-7, Tablo 2-10 ve Tablo 2-11'deki sınır şartları uygulanmıştır.

5.5. Yapısal Analiz

İlk olarak global model çözülmüş ve Von Misses bileşik gerilmeleri yapının tüm bölgelerinde incelenmiştir.

5.6. Model Sonucu

Yapılan global analizde maksimum von misses bileşik gerilme değeri 92.3 N/mm^2 ve maksimum deformasyon 0.453 m . olarak bulunmuştur. Daha sonra yapılan lokal analizlerde uygulanan değişik sınır şartları ve etkililen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri için von misses bileşik gerilme değerleri global analize benzer elde edilmiştir. İlgili şekiller ekte şekil B.1 – şekil B.22'de görülebilir.

Ayrıca ekte her bir lokal analiz için uygulanan sınır şartları sunulmuştur. (Tablo A.10-Tablo A.13)

6. SONUÇ

İngiliz Loydu LR, Norveç Loydu DNV, Amerikan Loydu ABS ve Japon Loydu NK edinilen bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Tez çalışması üç gemi tipi baz alınarak yapılmıştır: (1) tanker, (2) kuru yük ve (3) konteyner. Dört ana bölümden oluşan tez çalışmasının ilk üç bölümünde sırasıyla tanker, kuru yük ve konteyner gemileri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen benzerlik ve farklılıklardan bir kaçı aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Genel olarak model boyutu ve eleman yapısında DNV ve LR'de benzerlikler gözlemlenmiş, ABS ve NK'nın da daha farklı yaklaşımlarda bulunduğu görülmüştür. ABS, DNV ve LR gerek kullandıkları destek elemanları, gerek uyguladıkları harici kuvvet/moment değer ve kuvvetlerin/momentin uygulama noktaları olarak farklılıklar göstermektedir. LR tarafsız eksen üzerinde yükleme yaparken, DNV momentleri kuvvet çiftleri şeklinde tanımlayarak ana elemanların kesişme hatları üzerine etkitmektedir. ABS destek elemanı olarak sadece yay elemanlar kullanmaktadır. Yükleme koşulları, klas kuruluşları arasında uygulanan yük, bulunulan su çekimi, test edilen mukavemet bölgesi açısından farklılıklar göstermektedir.

Son bölümde de elde bulunan veri detayına göre seçilen İngiliz ve Norveç loydalarının sınır koşulları tanker için ANSYS paket programı vasıtasıyla oluşturulan model kullanılarak incelenmiştir. Öncelikle global analiz için bir model oluşturulmuş, model baz alınarak oluşturulan lokal modellere klas kuruluşlarının belirtmiş olduğu sınır şartları uygulanmıştır. LR ve DNV'nin sınır şartlarına uygun kesme kuvveti ve eğilme momenti etkililerek yapılan hesabın sonucunda elde edilen sonuçlar beklendiği şekilde global analizle ve kendi içinde benzer çıkmıştır.

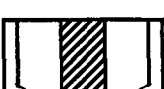
KAYNAKLAR

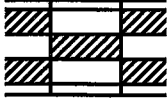
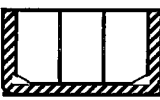
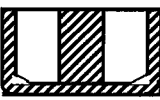
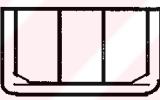
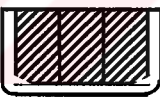
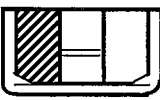
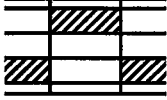
- [1] **American Bureau of Shipping**, Aralık 2004. Guidance Note on “Finite Element Analysis of Hull Structures – Local 3D Models Analysis, American Bureau of Shipping, Houston, USA.
- [2] **American Bureau of Shipping**, Aralık 2004. Guidance Note on “Safehull Finite Element Analysis of Hull Structures, American Bureau of Shipping, Houston, USA.
- [3] **American Bureau of Shipping**, Ağustos, 1996. Guide for Dynamic Based Design and Evaluation of Container Carrier Structures, American Bureau of Shipping, Houston, USA.
- [4] **American Bureau of Shipping**, Aralık 2004. Rules for Building Classing Steel Vessels, Part 5, Chapter 1, 3, 5, Section 3, American Bureau of Shipping, Houston, USA.
- [5] **American Bureau of Shipping**, Mayıs 2004. Guidance Note on “The Strength Assessment of Cargo Tank Structures Beyond 0.4L Amidships in Oil Carriers 150 Meters or More in Length”, American Bureau of Shipping, Houston, USA.
- [6] **Class NK (Nippon Kaiji Kyokai)**, Aralık 1998. Design and Construction of Recently Built Large Tankers, Japan.
- [7] **Class NK (Nippon Kaiji Kyokai)**, Ağustos 2002. Guidelines for Direct Strength Analysis – Bulk Carrier, Japan.
- [8] **Class NK (Nippon Kaiji Kyokai)**, Kasım 2001. Guidelines for Direct Strength Analysis – Tanker, Japan.
- [9] **Class NK (Nippon Kaiji Kyokai)**, Kasım 2003. Guidelines for Direct Strength Analysis – Container Ships, Japan.
- [10] **DNV (Det Norske Veritas)**, Ocak 2001. Rules for Classification of Ships, Part 3, Chapter 1, Section 4, 5, 13, DNV, Norway.

- [11] **DNV (Det Norske Veritas)**, Mayıs 2004. Strength Analysis of Hull Structures in Bulk Carriers, DNV, Norway.
- [12] **DNV (Det Norske Veritas)**, Nisan 2003. Strength Analysis of Hull Structures in Container Ships, DNV, Norway.
- [13] **DNV (Det Norske Veritas)**, Ocak 1999. Strength Analysis of Hull Structures in Tankers, DNV, Norway.
- [14] **Ertepinar, A., Demiray, H., İnan, E., Aksoğan, O. ve Aköz, Y.**, 1984. Şekil Değiştiren Cisimlerin Mekanığı, İntepe, Çanakkale.
- [15] **İnan, M.**, 1981. Cisimlerin Mukavemeti, Doyuran Matbaası, İstanbul.
- [16] **Lloyd's Register**, Temmuz 2003. Rules and Regulations for the Classification of Ships, Llyod's Register Marine Business Stream, London, England.
- [17] **Lloyd's Register**, Mayıs 2004. ShipRight – Structural Design Assessment – Primary Structure of Bulk Carriers, Guidance on Direct Calculations, Llyod's Register Marine Business Stream, London, England.
- [18] **Lloyd's Register**, Mayıs 2004. ShipRight – Structural Design Assessment – Primary Structure of Container Ships, Guidance on Direct Calculations, Llyod's Register Marine Business Stream, London, England.
- [19] **Lloyd's Register**, Mayıs 2004. ShipRight – Structural Design Assessment – Primary Structure of Tankers, Guidance on Direct Calculations, Llyod's Register Marine Business Stream, London, England.
- [20] **Türk Loydu**, 1998. Çelik Gemileri Klaslama Kuralları, Cilt A, Kısım 1, Tekne Yapım Kuralları, Türk Loydu, İstanbul.

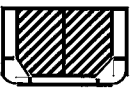
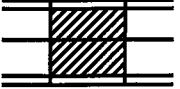
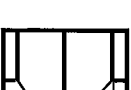
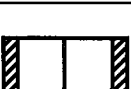
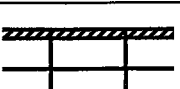
EKLER

Tablo A. 1 Tanker tip A yükleme koşulları [4,8,13,19]

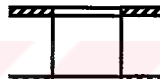
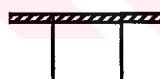
No	Draft	Dış Basiç	İç Basiç	DNV	LR	NK	ABS	Şekil	
1	T	Dinamik	Statik	✓	✓	✓	✓		
2	T	Dinamik	Statik	✓	✓	✓	✓		
3	0,35D	Dinamik	Statik	✓	—	✓	—		
4	0,35D	Dinamik	Statik	✓	—	✓	✓ Dr=T		
5	0,35D	Dinamik	Statik	✓	✓ Dr=0,4 D	✓	✓ Dr=T		
6	0,25D	Statik	Statik	✓	✓	—	✓		
7	0,25D	Statik	Statik	✓	✓	—	✓ Dr=T		
8	0,35D	Statik	Statik	✓	—	—	—		

No	Draft	Dış Basmaç	İç Basmaç	DNV	LR	NK	ABS	Şekil	
9	0.35D	Dinamik	Statik	✓	✓ Dr=T	✓	✓ Dr=0.2 5T Dr=0.6 7T		
10	0,25D	Statik	Statik	✓	—	—	—		
11	T	Dinamik	Statik	—	—	✓	—		
12	T	Dinamik	Statik	—	—	✓	—		
13	T	Dinamik	Statik	—	—	✓	—		
14	T	Dinamik	Statik	—	✓	—	—		
15	T	Dinamik	Statik	—	—	✓	—		
16	T	Dinamik	Statik	—	✓	—	—		
17	T	Dinamik	Statik	—	✓	—	✓		
18	0,25 D	Statik	Statik	—	✓	—	—		

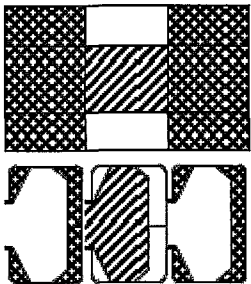
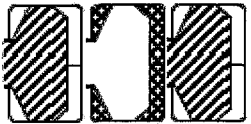
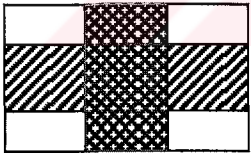
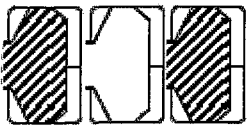
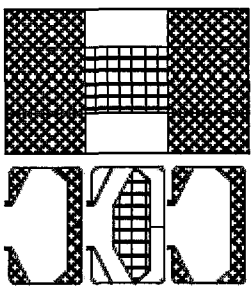
Tablo A. 2 Tanker tip B yükleme koşulları [4,8,13,19]

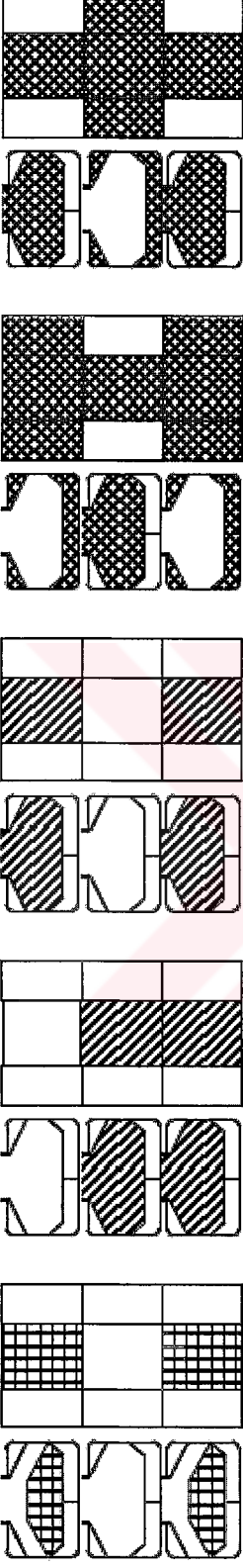
No	Draft	Dış Basınç	İç Basınç	DNV	LR	NK	ABS	Şekil	
1	T	Dinamik	Statik	√	√	√	√		
2	T	Dinamik	Statik	√	√	–	–		
3	0,35D	Dinamik	Statik	√	–	–	–		
4	0,35D	Dinamik	Statik	√	√ Dr=T	√	√ Dr=0,6 7T		
5	0,25D	Statik	Statik	√	√	–	–		
6	0,35D	Statik	Statik	√	–	–	√		
7	0,35D	Dinamik	Statik	√	–	√	√		
8	0,4D	Dinamik	Statik	–	√	–	√		
9	T _B	Dinamik	Statik	–	√	–	–		
10	T	Dinamik	Statik	–	–	√	–		
11	T _B	Dinamik	Statik	–	–	√	–		
12	T _B	Dinamik	Statik	–	–	√	–		

Tablo A. 3 Tanker tip C yükleme koşulları [4,8,13,19]

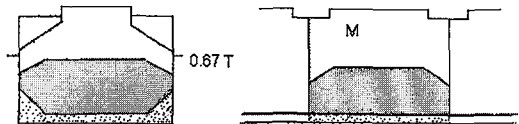
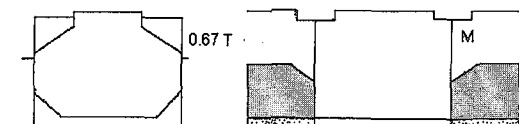
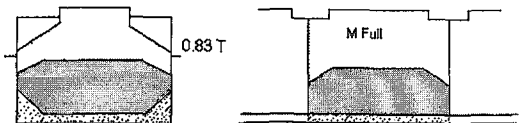
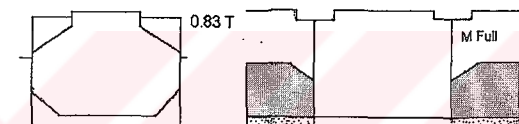
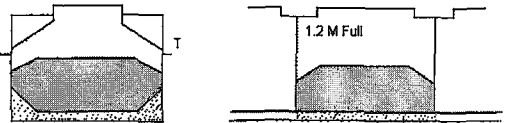
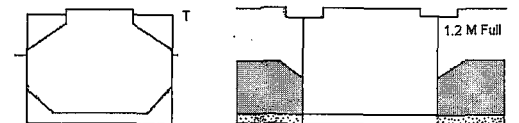
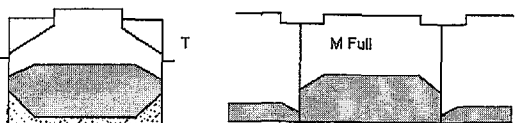
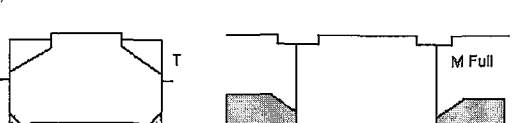
No	Draft	Dış Basing	İç Basing	DNV	LR	NK	ABS	Şekil	
1	T	Dinamik	Statik	√	√	LC	√		
2	0,35D	Dinamik	Statik	√	√	Dr=T	√		
3	0,35D	Statik	Statik	√	√ Dr= 0,25 D	—	√		
4	0,35D	Statik	Statik	√	—	—	—		
5	Tb	Dinamik	Statik	—	√	—	—		
6	T	Statik	Statik	—	—	LC	—		
7	Tb	Dinamik	Statik	—	—	√	—		
8	Tb	Dinamik	Statik	—	—	√	—		

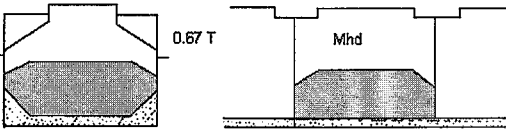
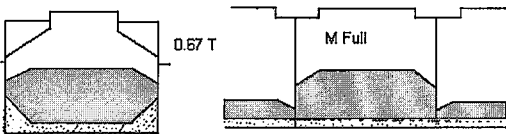
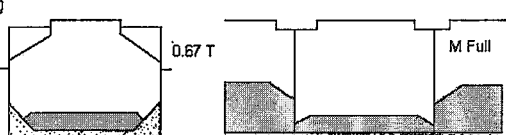
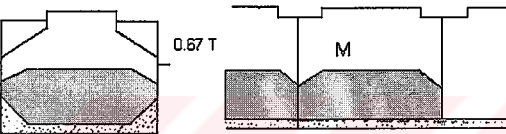
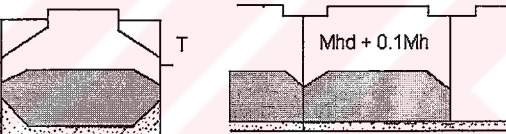
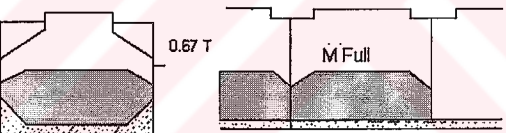
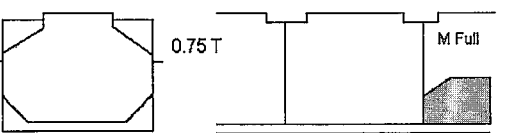
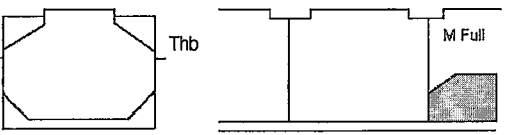
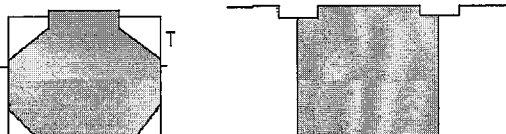
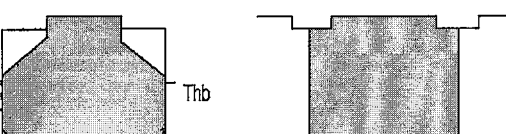
Tablo A. 4 ABS kuru yük gemisi yükleme durumları [4]

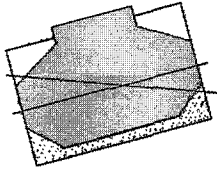
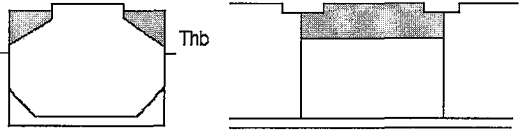
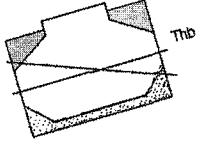
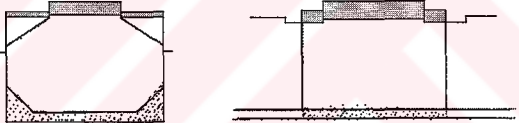
							
Yükleme durumu	1	2	3	4	5		
Dalga açısı	0°	0°	0°	0°	90°		
Baş kıç vurma	Baş aşağı	Baş yukarı	Baş aşağı	Baş yukarı	-		
Meyil	-	-	-	-	Sancak aşağı		
Su çekimi	2/3T	Tam	2/3T	Tam	2/3T		
Kargo yoğunluğu	1.0/1.5	1.0/1.5	1.0/1.5	1.0/1.5	1.66/3		
Balast yoğunluğu	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025		

						
Yükleme durumu	6	7	8	9	10	
Dalga açısı	90°	60°	60°	60°	60°	
Baş kıç vurma	-	Baş aşağı	Baş yukarı	Baş aşağı	Baş yukarı	
Meyil	Sancak yukarı	Sancak aşağı	Sancak yukarı	Sancak aşağı	Sancak yukarı	
Su çekimi	Tam	2/3T	Tam	2/3T	2/3T	
Kargo yoğunluğu	1.66/3.00	1.0/1.5	1.0/1.5	-	-	
Balast yoğunluğu	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	

Tablo A. 5 DNV kuru yük gemisi yükleme durumları [11]

	Uygulama	Su Çekimi	Gösterim
1	- Çift dip yapısı - Derin postalar	0.67 T	a)  b) 
2	- Çift dip yapısı - Derin postalar	0,83 T	a)  b) 
3	- Çift dip yapısı - Derin postalar	T	a) 
4	- Çift dip yapısı - Derin postalar	T	a)  b) 
5	- Çift dip yapısı - Derin postalar	T	a)  b) 

	Uygulama	Su Çekimi	Gösterim
6	- Çift dip yapısı - Derin postalar	0.67 T	a)  b)  c) 
7	- Enine perdeler - Güverte	0.67 T	
8	- Enine perdeler - Güverte	T	
9	- Enine perdeler - Güverte	0.67 T	
10	- Enine perdeler - Güverte	0.75 T	
11	- Enine perdeler - Üst kanat tank	T _{HB}	
12	- Tam yüklü durum	T	
13	- Ağır balast durumu	T _{HB}	

	Uygulama	Su Çekimi	Gösterim
14	- Ağır balast durumu - Meyilli durum	T_{HB}	 Thb
15	- Üst kanat tankta balast durumu	T_{HB}	 Thb
16	- Üst kanat tankta balast durumu - Meyilli durum	T_{HB}	 Thb
17	- Su geçmez perde	T_{DAM}	 Tdam
18	- Güverte üstü kargo durumu	T	 T

Tablo A. 6 LR kuru yük gemisi yükleme durumları [17]

Yük Durumu	Lokal Yükleme		Global Yükleme	Şekiller
	İç Yükleme	Dış Yükleme		
1	- Kargo alanı tam dolu - Yakıt tankı tam dolu - Balast tankları boş	- Dalga çıkuru yüklü su hattı durumu	$-M_{ss}-M_{ws}$	
2	- Merkez ambar $0.5M_{lb}$, diğer ambarlar M_{lh} - Çift dip tankları boş	- Dalga tepesi yüklü su hattı durumu	$M_{sb}+M_{wh}$	
3	- Tüm ambarlar ve merkez balast tankları boş - Diğer balast tankları dolu	$T_{bd}+W_c$	$1.05M_{lb}+M_{wh}$	

Lokal Yükler			
4	- Merkez ambar ve tüm balast tankları dolu - Diğer tanklar boş	$T_{bs} + W_t$	$-M_{ss} - M_{ws}$
5	- Sadece merkez ambar dolu, diğer ambar ve tanklar boş	T_{bs}	
6	- Sadece merkez ambar dolu, diğer ambar ve tanklar boş	$D/3 + \Delta_h$	
7	- Yakıt tankı dolu, balast tankları boş - Merkez ambar dolu, diğerleri $0.5M_{th}$	$0.67T_{sc}$	$-M_{ss}$

Lokal Yükleler			
8	- Merkez ve baş ambar dolu, diğeri $0.5 M_h$ - Yakıt tankı tam dolu, balast tankları boş	$0.67 T_{sc}$	
9	- Yakıt tankı tam dolu, balast tankları boş - Merkez ambar M_{hd}	$0.67 T_{sc}$	
10	- Yakıt tankı tam dolu, balast tankları boş - Merkez ambar dolu, diğerleri boş	$0.67 T_{sc} - W_t$	
11	- Merkez ambar boş, diğerleri dolu - Tüm iç dip tankları boş	$0.83 T_{sc} + W_c$	

Lokal Yükle			
12	- Merkez ve baş ambar dolu, diğerleri boş -Yakıt tankları dolu, balast tankları boş	$0.67T_{sc}-W_t$	$-M_{ss}-M_{ws}$
13	- Baş ambar dolu, merkez ambar balast yüklü, diğer ambar ve iç dip tankları boş	$0.67T_{sc}-W_t$	$-M_{ss}-M_{ws}$
14	- Kıç ambar M_{th}, diğer ambar ve tanklar boş	$0.75T_{sc}+W_c$	$M_{sh}+M_{wh}$
15	- Merkez ambar $M_{hd}+0.1M_{th}$, yakıt tankı dolu, balast tankları boş	$T_{sc}+W_c$	$1.05M_a+M_{wh}$

Lokal Yükle			
16	- Merkez ambar $M_{hd}+0.1M_h$, yakıt tankı dolu, balast tankları boş	$T_{sc}-W_t$	$1.05M_a-M_{ws}$ $M_{hd}+0.1M_h$ $T_{sc}+W_t$ $1.05M_a-M_{ws}$
17	- İki ambar M_{hd} , diğer tank ve ambarlar boş	$T_{sc}+W_c$	$1.05M_a+M_{wh}$ M_{hd} $T_{sc}+W_c$ $1.05M_a+M_{wh}$
18	- Merkez ambar $M_{hd}+0.1M_h$, diğer ambar ve tanklar boş	$T_{sc}-W_c$	$M_{hd}+0.1M_h$ $T_{sc}-W_t$
19	- Baş ve merkez ambar $M_{bk}+0.1M_h$, diğer boş - Yakıt tankları dolu, balast tankları boş	$T_{sc}+W_c$	$1.05M_a+M_{wh}$ $M_{bk}+0.1M_h$ $T_{sc}+W_c$ $1.05M_a+M_{wh}$

	Lokal Yükleler	
20	- Baş ve merkez ambar $M_{gik} + 0.1M_{th}$, diğer boş - Yakıt tankları dolu, balast tankları boş	$T_{sc} - W_t$ $1.05M_a - M_{ws}$
21	- Tüm iç dip ve balast tankları boş, merkez ambar boş, diğerleri M_h	$T_a + W_c$ $1.05M_a + M_{wh}$

T_{sc} : Yüklü su hatı

T_a : Gerçek su çekimi

T_{pd} : Balast durumuna göre maksimum su çekimi

T_{bs} : Balast durumuna göre minimum su çekimi

W_c : Dalga tepesi durumu basınç dağılımı

W_t : Dalga çukuru durumu basınç dağılımı

M_a : Yükleme durumuna uygun sakin su eğilme momenti

M_{sh} : Çökme durumu için maksimum sakin su eğilme momenti

M_{ss} : Sarkma durumu için maksimum sakin su eğilme momenti

M_{wh} : Çökme durumu için kural dalga eğilme momenti

M_{ws} : Sarkma durumu için kural dalga eğilme momenti

Balast yükü H : $h + \Delta h$

h : Tank en üst noktasına düşey mesafe

Δh : Ek yük, $\Delta h = b \sin\theta + h_t (\cos\theta - 1)$

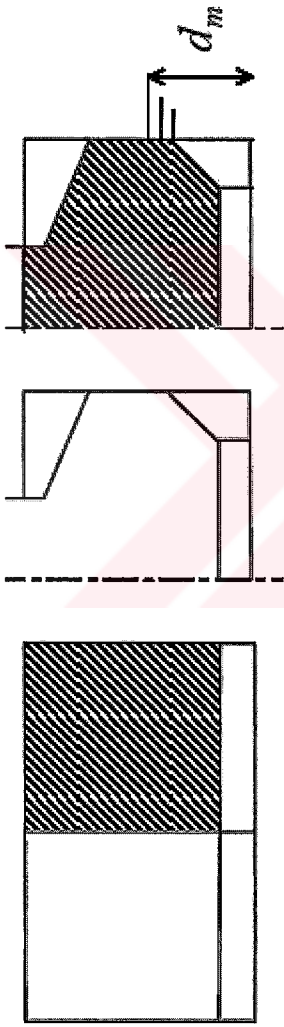
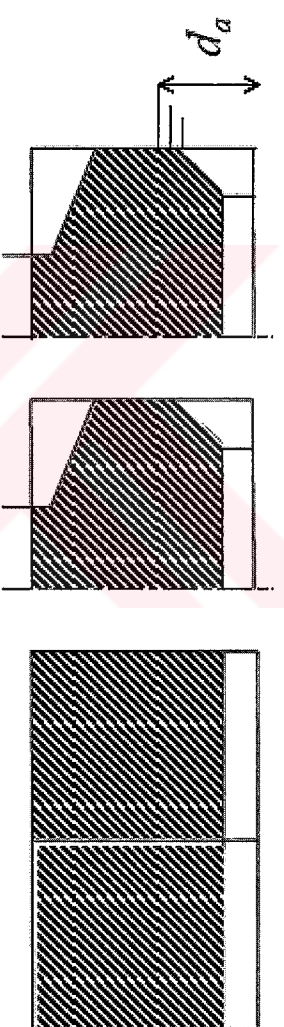
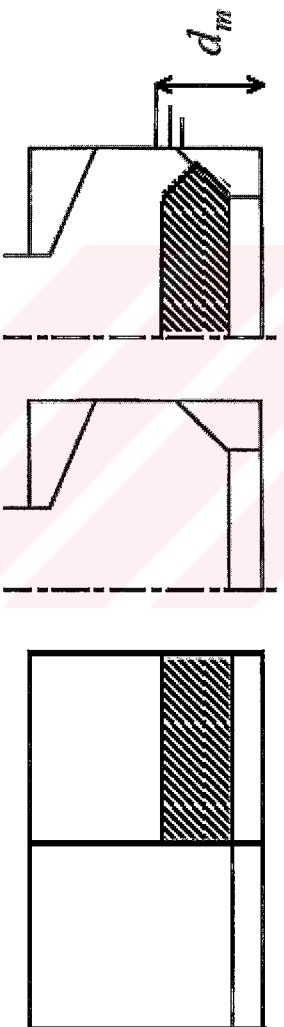
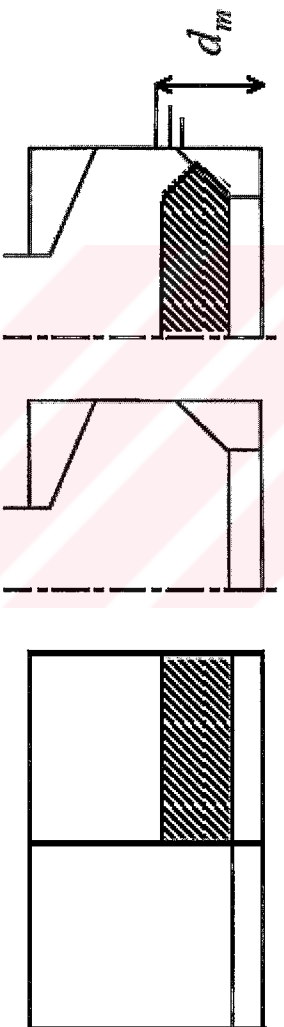
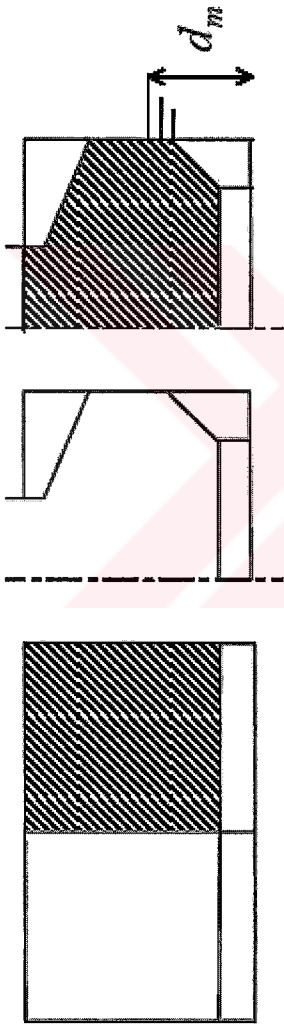
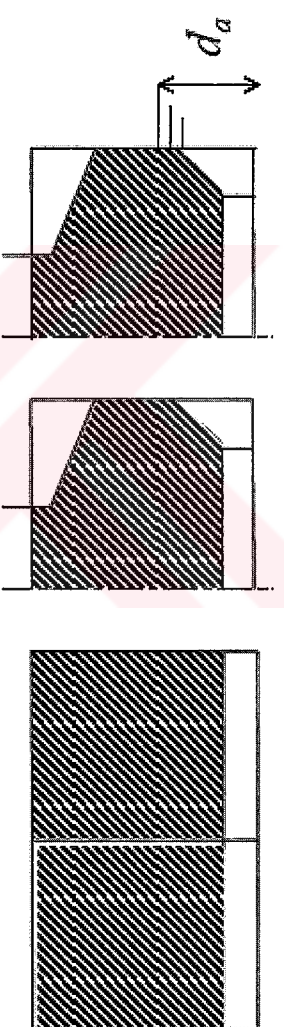
θ : Meyil açısı, $\theta = 0, \sin^{-1}((0.5 + 0.1/b)(0.4 - L/1270))$

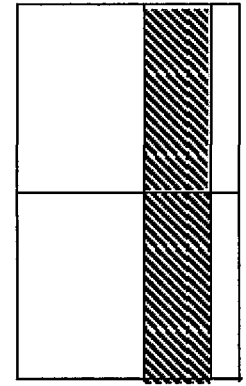
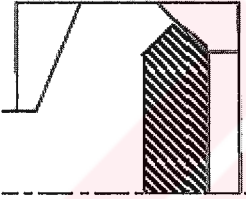
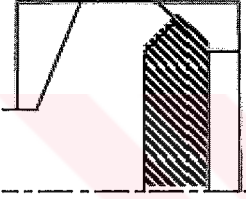
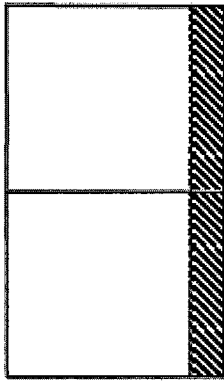
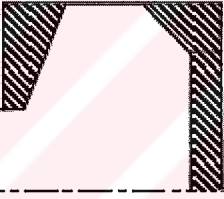
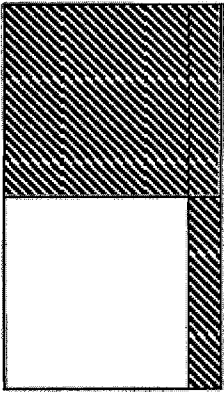
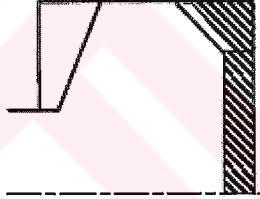
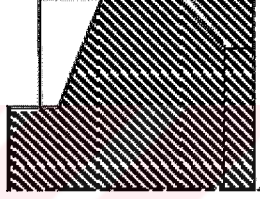
b : Tank en üst noktasının merkez hat en üst noktasına yatay mesafesi

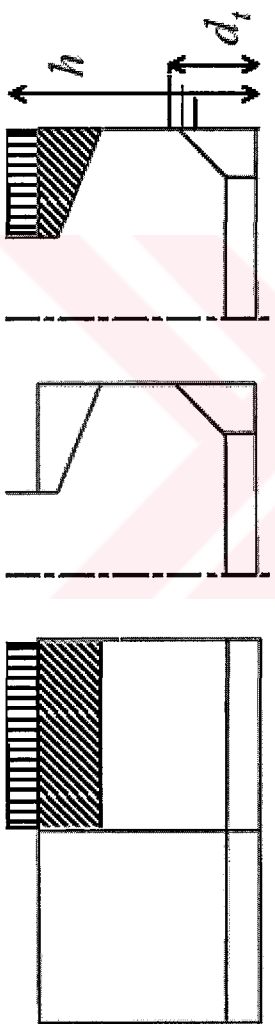
h_t : Tank en üst noktasının merkez hat en üst noktasına düşey mesafesi

Tablo A. 7 NK kuru yük gemisi yükleme durumları [7]

Yük Durumu		Şekil	Su Çekimi	
Tam yüklü durum	Düşük yoğunluklu kargo			Dizayn maksimum su çekimi
	Yüksek yoğunluklu kargo			
	Düşük yoğunluklu kargo			

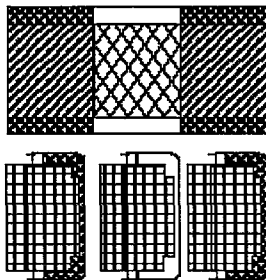
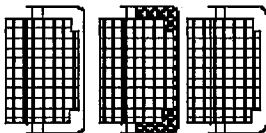
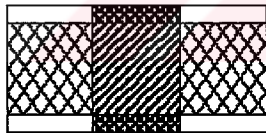
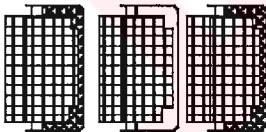
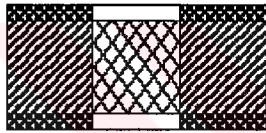
Yük Durumu	Şekil	Su Çekimi	
		Çoklu liman su çekimi	İki liman durumu su çekimi
İki liman durumu	Düşük yoğunluklu kargo		
Çok limanlı durum	Yüksek yoğunluklu kargo		
	Düşük yoğunluklu kargo		

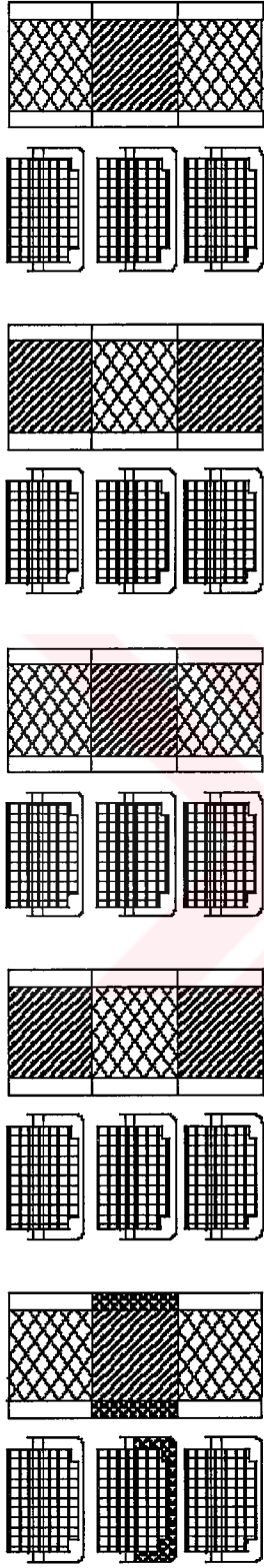
Yük Durumu		Şekil	Su Çekimi
Balast durumu	Yüksek yoğunluklu kargo	  	
	Normal balast	  	Normal balast su çekimi
	Ağır balast	  	Ağır balast su çekimi

Yük Durumu	Şekil	Su Çekimi
Hidrostatik test durumu		Maksimum su çekimi/3

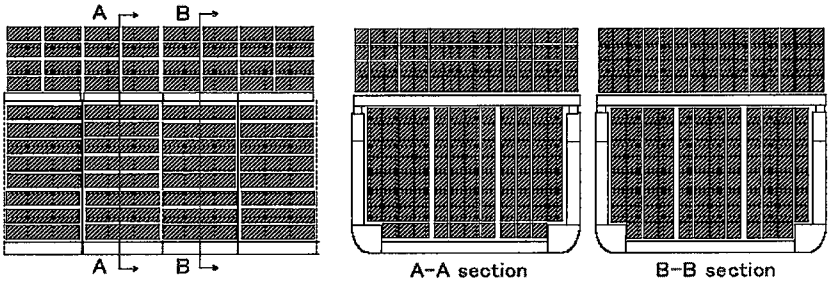
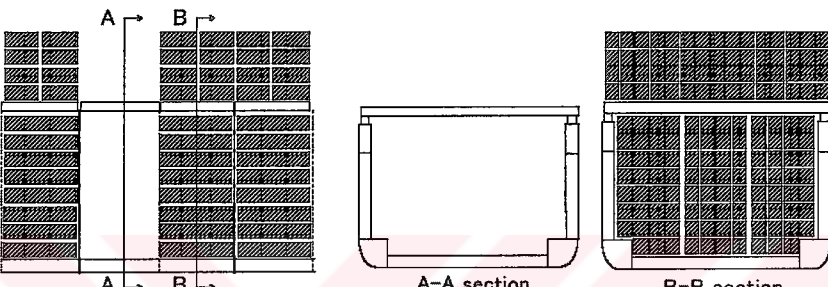
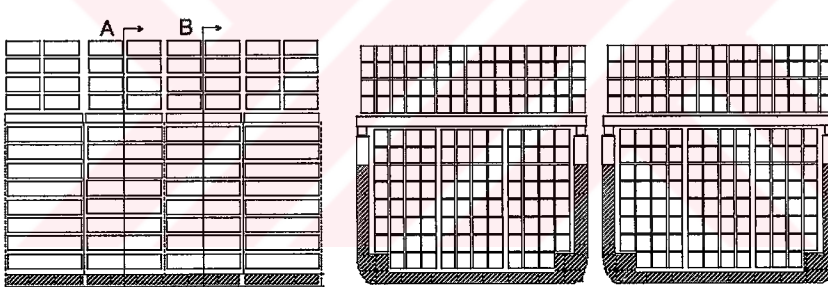
Düşük yoğunluklu kargo yoğunluğu 1 ton/m^3 olan maddeler için kullanılmaktadır. Yoğunluğu 1 ton/m^3 'den fazla olan maddeler yüksek yoğunluklu yük sınıfına girmektedir.

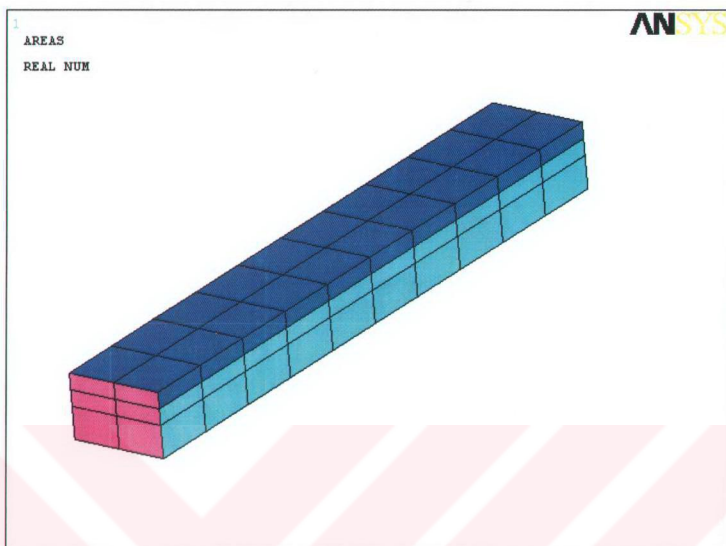
Tablo A. 8 ABS konteyner gemisi yükleme durumları [4]

	1			2			3			4			5		
Yükleme durumu															
Dalga açısı	0°			0°			0°			0°			90°		
Baş kıç vurma	Baş aşağı			Baş yukarı			Baş aşağı			Baş yukarı			-		
Meyil	-			-			-			-			Sancak aşağı		
Su çekimi	2/3T			Tam			2/3T			Tam			2/3T		

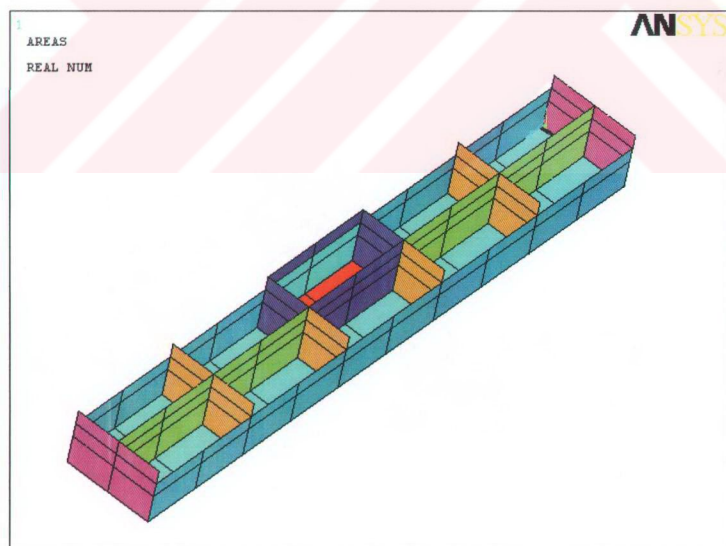
						
Yükleme durumu	6	7	8	9	10	
Dalga açısı	90°	60°	60°	60°	60°	
Baş kıç vurma	-	Baş aşağı	Baş yukarı	Baş yukarı	Baş yukarı	Baş aşağı
Meyil	Sancak yukarı	Sancak aşağı	Sancak yukarı	Sancak yukarı	Sancak yukarı	Sancak aşağı
Su çekimi	2/3T	2/3T	Tam	2/3T	2/3T	2/3T

Tablo A. 9 NK konteyner gemisi yükleme durumları [9]

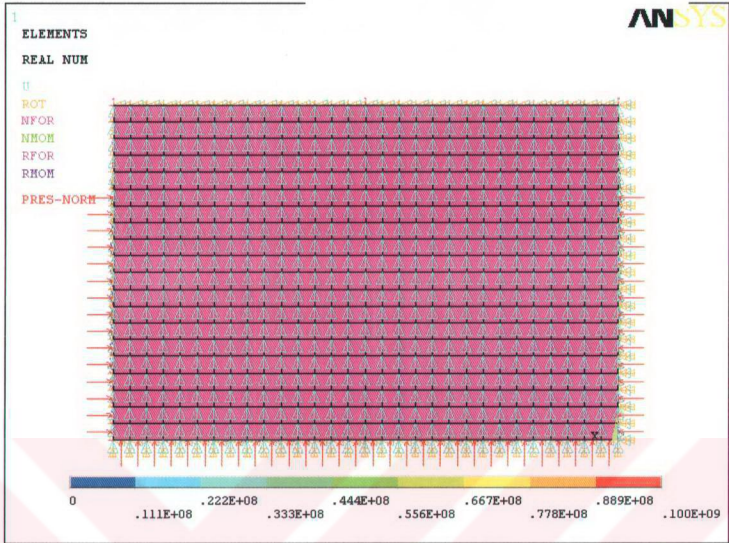
Yük Durumu	Şekil	Su Çekimi
Tam yüklü durum		Dizayn maksimum su çekimi
Bir konteyner sırası boş		Dizayn maksimum su çekimi
Balast durumu		Normak balast su çekimi



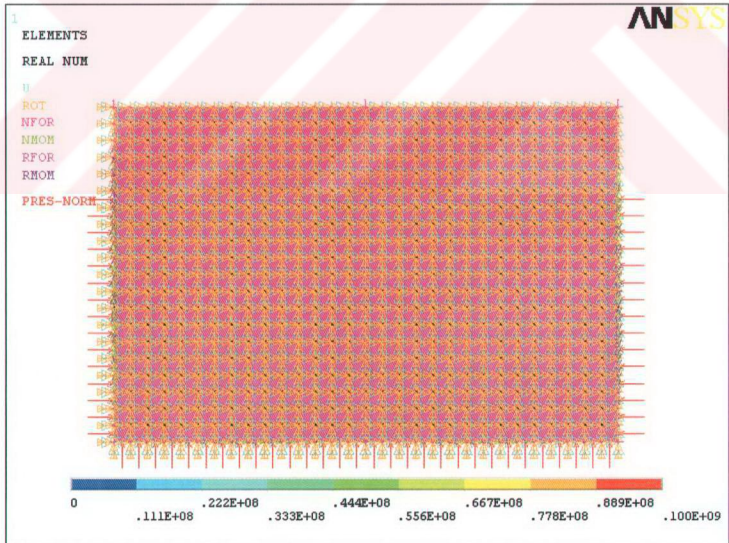
Şekil B. 1 Global model alanları – I



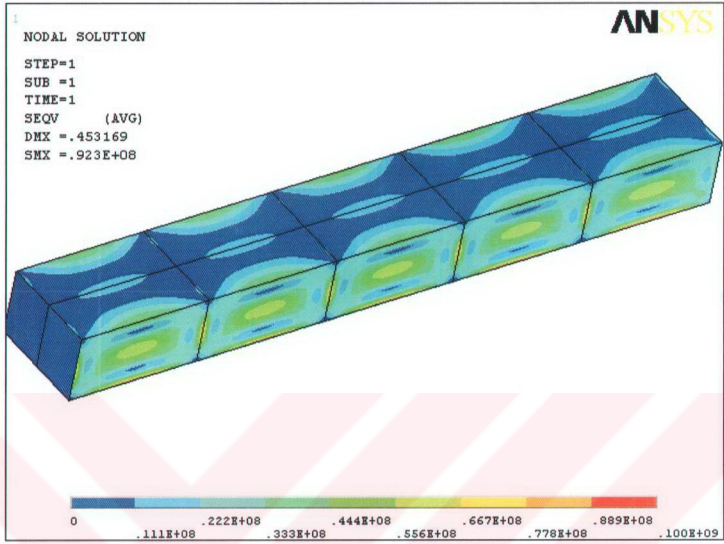
Şekil B. 2 Global model alanları – II



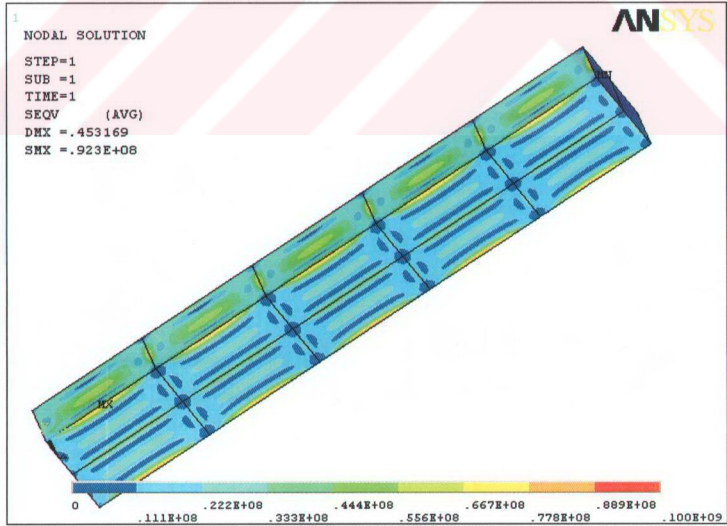
Şekil B. 3 Model kış düzlem kayıcı mesnet sınır şartı



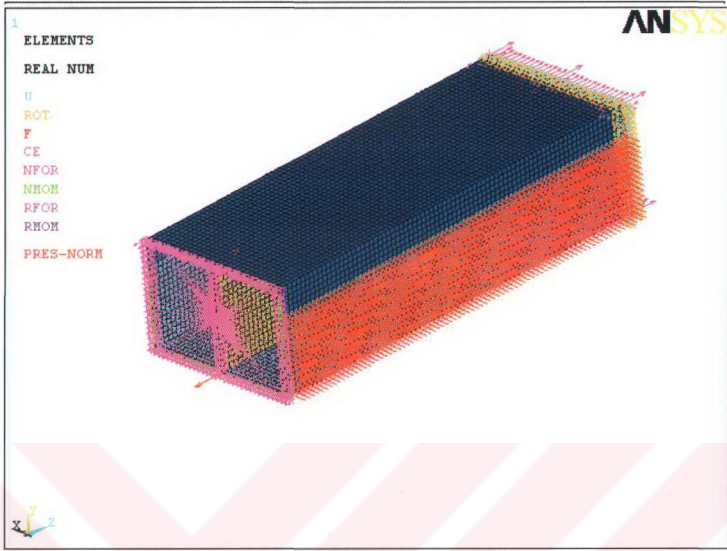
Şekil B. 4 Model baş düzlem ankastre mesnet şartı



Şekil B. 5 Global model von misses bileşik gerilme dağılımı – üstten görünüş



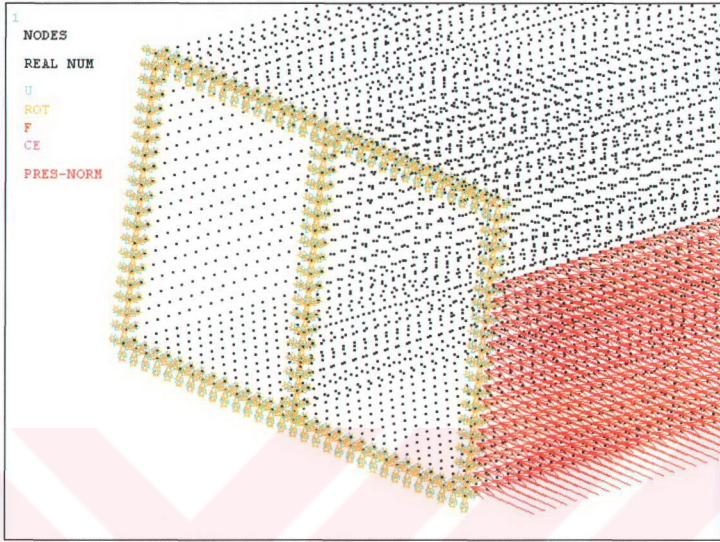
Şekil B. 6 Model von misses bileşik gerilme dağılımı – alttan görünüş



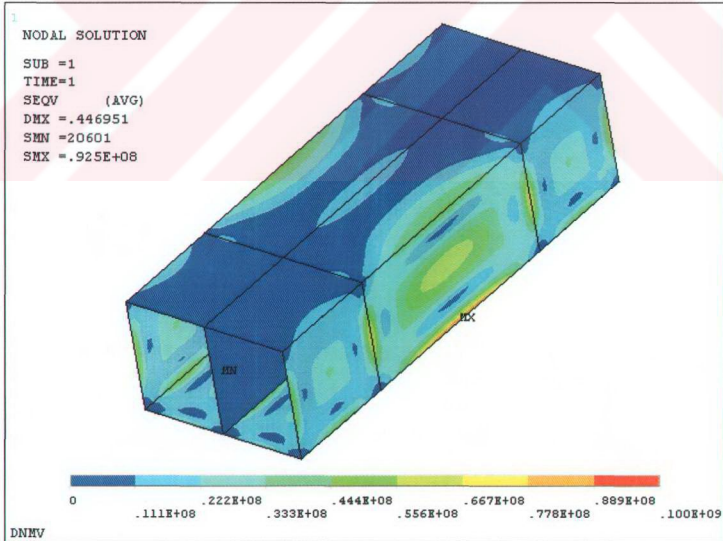
Şekil B. 7 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları



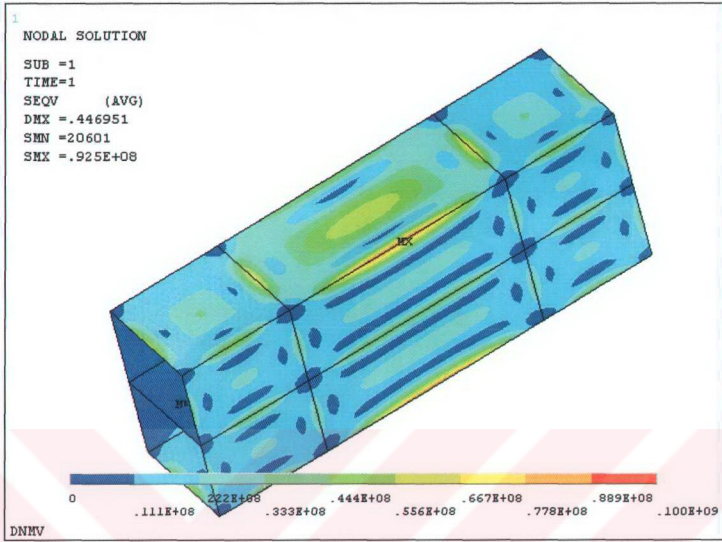
Şekil B. 8 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları



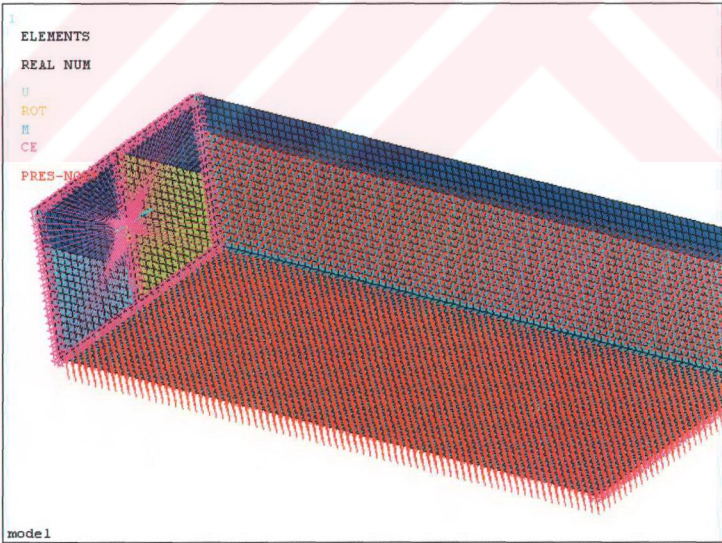
Şekil B. 9 DNV eğilme momenti lokal modeli sınır koşulları



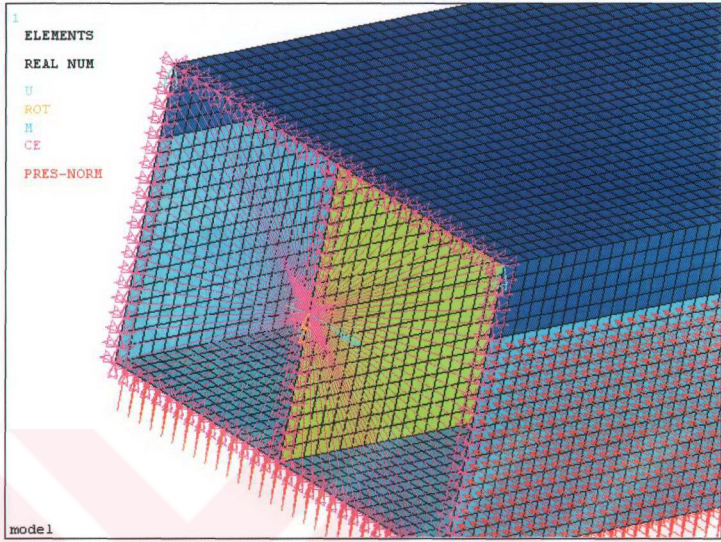
Şekil B. 10 DNV eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görünüş



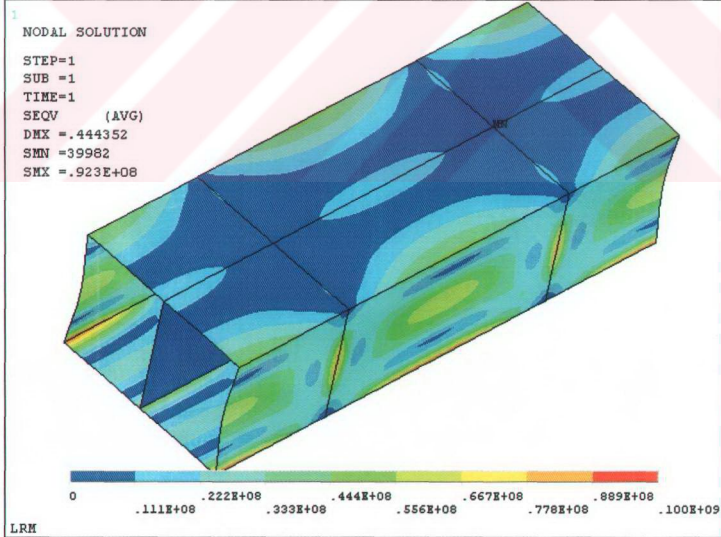
Şekil B. 11 DNV eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş



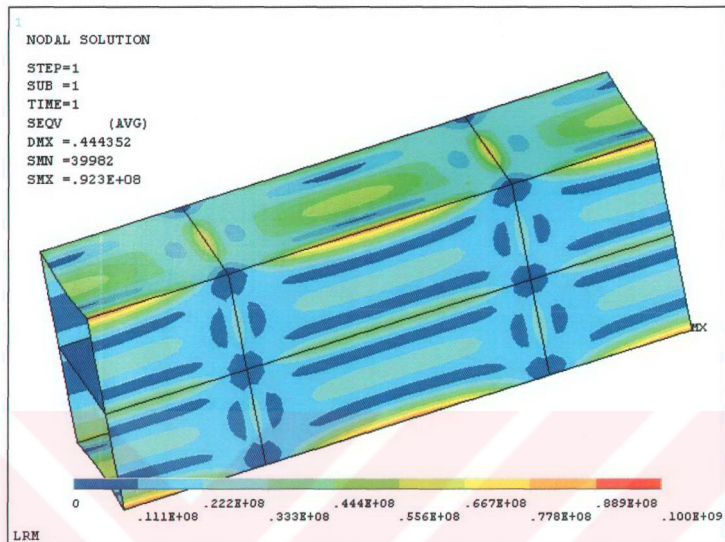
Şekil B. 12 LR eğilme momenti lokal model sınır koşulları



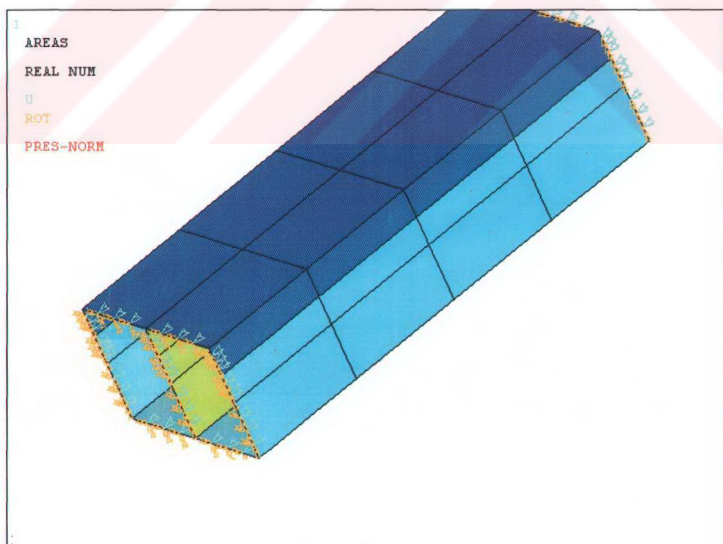
Şekil B. 13 LR eğilme momenti lokal model sınır koşulları



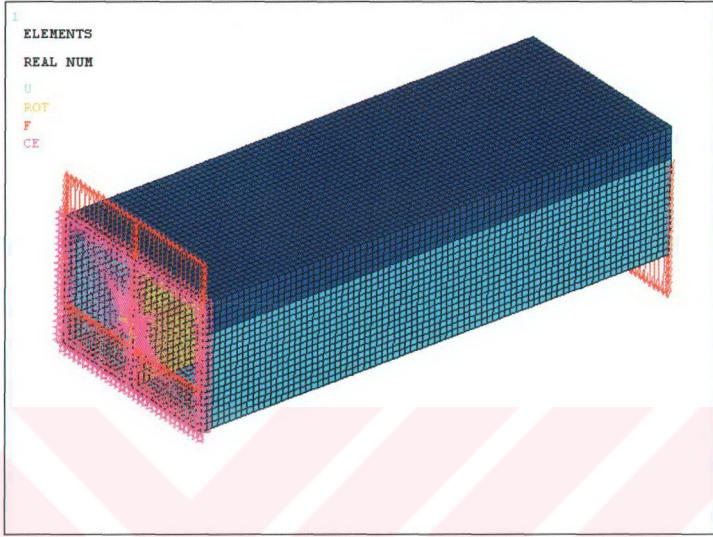
Şekil B. 14 LR eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görüntü



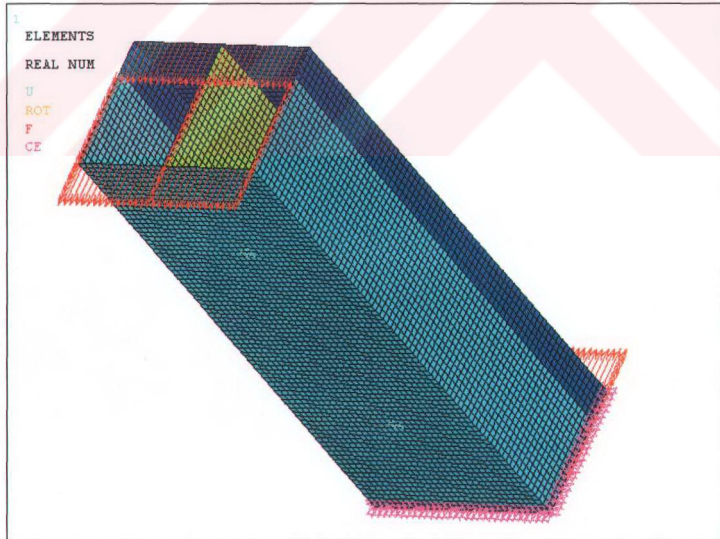
Şekil B. 15 LR eğilme momenti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş



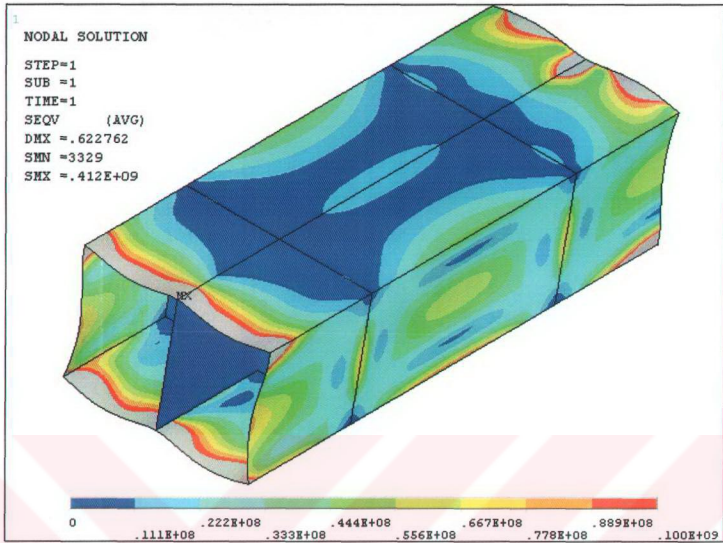
Şekil B. 16 DNV kesme kuvveti lokal modeli sınır koşulları



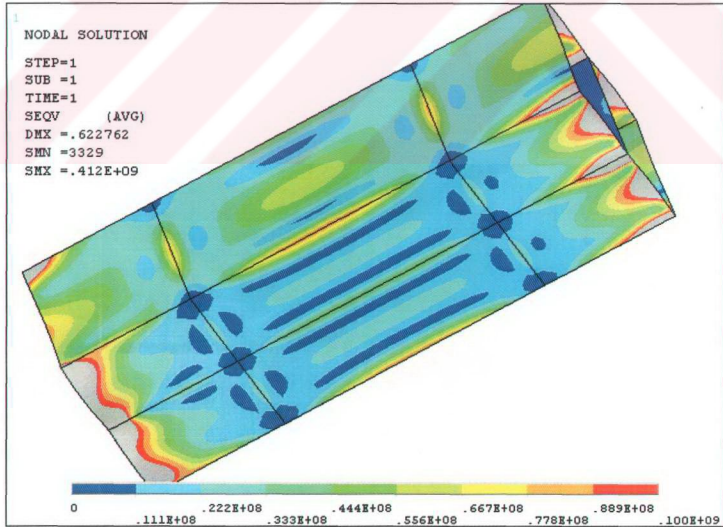
Şekil B. 17 LR kesme kuvveti lokal model sınır koşulları



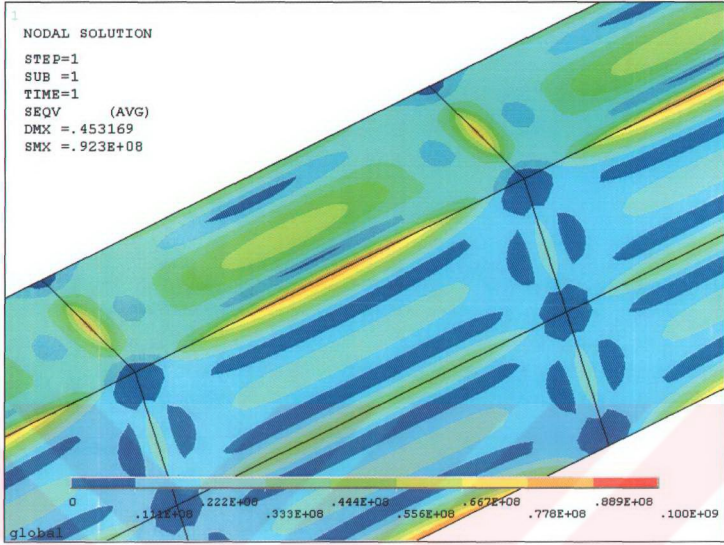
Şekil B. 18 DNV kesme kuvveti lokal model sınır koşulları



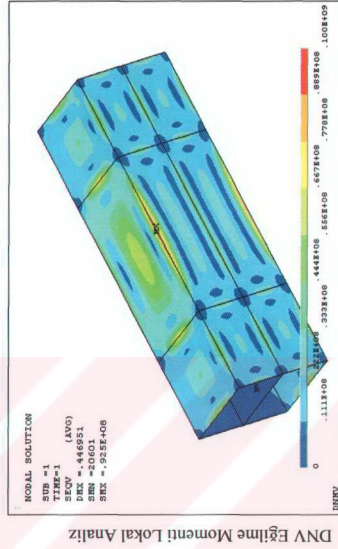
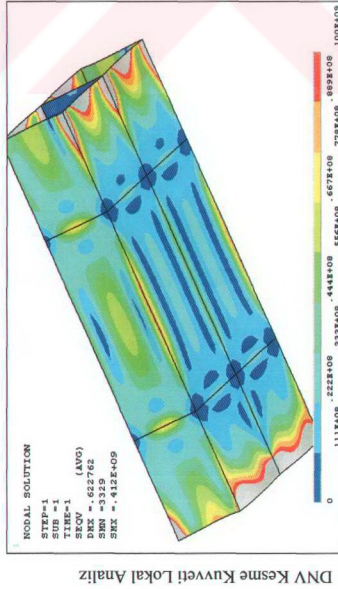
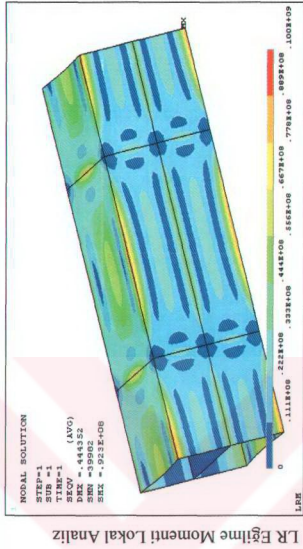
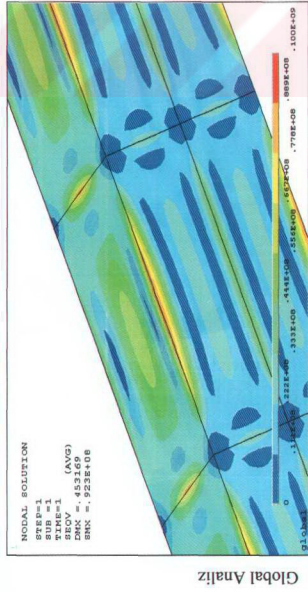
Şekil B. 19 DNV Kesme kuvveti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – üstten görünüş



Şekil B. 20 DNV kesme kuvveti lokal modeli von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş



Şekil B. 21 Global model von misses bileşik gerilmeleri – alttan görünüş



Şekil B. 22 Von misses bileşik gerilme karşılaştırması

ÖZGEÇMİŞ

Hakan GÜNDÜZ, 1979 yılında Çanakkale’de doğdu. 2002 yılında İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesinden Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi olarak mezun oldu. 2002 yılında Dizayn Mühendisi olarak Çeliktekne Tersanesi’nde başladığı görevine şu anda Proje Yöneticisi Yardımcısı olarak devam etmektedir. Evli ve İngilizce bilmektedir.