

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEMİLERİN YAPISAL TASARIMI VE YAPI ANALİZ YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnş. Müh. Hasan ÖLMEZ

**ŞUBAT 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEMİLERİN YAPISAL TASARIMI VE YAPI ANALİZ
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Gemi İnş. Müh. Hasan ÖLMEZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Yüksek Lisans (Makina Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.01.2008
Tezin Savunma Tarihi : 06.02.2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ercan KÖSE
Jüri Üyesi : Prof.Dr. Ragıp ERDÖL
Jüri Üyesi : Prof.Dr. Hasan SOFUOĞLU**

Enstitü Müdür V. : Doç.Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Gemilerin bütün yapısının tasarımı ve tasarım yöntemleri, yapıyı oluşturan alt bloklar, bu blokları oluşturan yapı elemanları ele alınarak incelenmiştir. Yapı elemanlarının özellikleri ve kullanım amaçlarının yanı sıra, ulusal ve uluslar arası kurallar doğrultusunda boyutlandırılmaları anlatılmıştır. Alt yapı elemanlarından başlayarak tüm yapının boyutlandırılmasında mukavemet hesaplamaları önemli yer tutmaktadır. Genel anlamda mukavemet analizi olarak adlandırılan, gemiye etki eden iç ve dış kuvvetler altında, yapının bütün olarak veya yerel elemanların davranışlarının incelenmesi, kritik gerilme ve şekil değiştirme bölgelerinin belirlenmesi gemilerin yapısal analizini oluşturur.

Bu doğrultuda çalışma içerisinde, gemiye etki eden iç ve dış kuvvetler, bu kuvvetler etkisiyle oluşan ve/veya oluşabilecek durumlar (gerilme, şekil değiştirme, yorulma, kopma vb.) ile bunların analizleri ve özellikle sonlu elemanlar yöntemi olmak üzere uygulanan farklı analiz yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapan ANSYS yazılım programı ile CAD ortamında modellenen örnek iki gemi yapısının analizleri yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Ülkemizde bu alanda çalışmaların yetersiz olduğunu düşünerek, bu çalışmanın kendi açımdan ilerideki çalışmalarım için bir alt yapı, benzer yapılacak çalışmalar için ise bir kaynak oluşturmasını dilerim.

Çalışmalarım süresince pratik önerileriyle katkıları esirgemeyen, danışmanım olarak çalışmaktan zevk aldığım hocam Doç.Dr. Ercan KÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım

Çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm başta Arş.Gör.Murat YAYLACI olmak üzere tüm iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, ileriki meslek hayatımda da bana manevi güç verecek olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, hayatıma girdiğinden bu yana bana şans ve başarı getiren, çalışmalarım boyunca sabırla destek veren eşim Zübeyde ÇOLAK ÖLMEZ'e özel teşekkürlerimi sunarım.

Hasan ÖLMEZ
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	4
1.3. Yapısal Tasarım	7
1.3.1. Giriş	7
1.3.2. Genel Gemi Yapısı	9
1.3.3. Gemi Yapı Elemanlarının İncelenmesi	15
1.3.3.1. Dip Blok Yapısı	15
1.3.3.1.1. Tek Dip Yapılar	15
1.3.3.1.2. Çift Dip Yapılar	16
1.3.3.1.3. Dip Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları	21
1.3.3.1.3.1. Omurgalar	21
1.3.3.1.3.2. Döşekler	24
1.3.3.1.3.3. Dip ve İç Dip Boyuna Postaları	27
1.3.3.1.3.4. Marcin Levhası, Gasset Sacı ve Braketler	28
1.3.3.1.3.5. Çift Dip Kaplaması – İç Dip Levhası	29
1.3.3.2. Borda Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları	29
1.3.3.2.1. Ana Postalar, Diğer Posta Tipleri ve Uç Bağlantıları	29
1.3.3.2.2. Borda Stringerleri	33
1.3.3.3. Güverte Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları	34
1.3.3.3.1. Güverteler	34

1.3.3.3.2.	Güverte Kemereleri.....	37
1.3.3.3.3.	Punteller ve Güverte Altı Tülanileri.....	39
1.3.3.4.	Perdeler ve Stifnerler	42
1.3.3.5.	Gemi Kaplaması.....	43
1.3.4.	Yapısal Tasarımı Etkileyen Faktörler	45
1.3.4.1.	Çelik Ağırlığının ve Çelik İşçilik Ücretinin Azaltılması	47
1.3.4.1.1.	Destek Elemanlarının Sık Aralıklarla Kullanılması	48
1.3.4.1.2.	Kesit Tipinin Seçimi	48
1.3.4.1.3.	Perdelerin Sık Aralıklarla Kullanılması.....	49
1.3.4.1.4.	Ambar Kapaklarının Düzenlenmesi.....	49
1.3.4.1.5.	Yüksek Gerilmeli Çelik Kullanılması.....	49
1.3.4.1.6.	Oluklu Yapıların Kullanılması	50
1.3.4.2.	Yapısal Tasarımı Etkileyen Diğer Faktörler	50
1.3.4.2.1.	Yapısal Süreksizliklerden Kaçınılması	50
1.3.4.2.2.	Titreşimin Azaltılması.....	51
1.3.4.3.	Çeşitli Gemi Tiplerine Özgü Dikkate Alınması Gereken Mukavemet Durumları	51
1.3.4.3.1.	Hızlı Kargo Gemileri	51
1.3.4.3.2.	Büyük Yolcu Gemileri	52
1.3.4.3.3.	Savaş Gemileri (Fırkateyn ve Korvetler).....	53
1.3.4.3.4.	Konteyner Gemileri	54
1.3.4.3.5.	LNG Gemileri ve Dökme Yük Gemileri.....	55
2.	YAPISAL ANALİZ.....	56
2.1.	Giriş.....	56
2.2.	Modelleme ve Analiz.....	58
2.3.	Gemiye Etki Eden Yükler	59
2.3.1.	Giriş.....	59
2.3.2.	Gemiye Etki Eden Yüklerin Sınıflandırılması	61
2.3.2.1	Zamanla Sürekli Olan Yükler Sınıflandırması	62
2.3.2.1.1.	Statik Yükler.....	62
2.3.2.1.2.	Yarı-Statik Yükler.....	63
2.3.2.1.3.	Dinamik Yükler	63
2.3.2.1.4.	Diğer Yükler.....	63

2.3.2.2.	Yerel ve Global Yükler Sınıflandırması	63
2.3.2.2.1.	Tekne Kirişi Global Yükleri.....	64
2.3.2.2.1.1.	Sakin Su Global Yükleri	65
2.3.2.2.1.2.	Dalga Kaynaklı Global Yükler.....	67
2.3.2.2.2.	Yerel Yükler	68
2.3.2.3.	Dış Basınç Yükleri.....	68
2.3.2.4.	Sıvı Tankları ve Kuru Yük Ambarlarında Oluşan İç yükler	68
2.3.2.5.	Dinamik Yükler	69
2.3.2.6.	Diğer Yükler.....	70
2.3.2.6.1.	Termal Yükler.....	70
2.3.2.6.2.	Demirleme Yükleri	70
2.3.2.6.3.	Denize İndirme Yükleri.....	71
2.3.2.6.4.	Kaza Yükleri.....	72
2.3.2.6.4.1.	Çarpışma.....	72
2.3.2.6.4.2.	Karaya Oturma	72
2.3.2.7.	Yüklerin Birleşimi	73
2.4.	Gemi Mukavemeti Bileşenleri.....	73
2.4.1.	Gerilmeler ve Şekil Değiştirmeler	73
2.4.2.	Temel Yapı Bileşenleri	74
2.4.3.	Gerilme ve Sehim Bileşenleri.....	75
2.4.3.1.	Birincil Tepkiler (Boyuna Eğilme Momenti ve Düşey Kesme Kuvveti).....	78
2.4.3.1.1.	Basit Kiriş Teorisi ve Kesit Modülü	78
2.4.3.1.2.	Enine Gerilmelerin Etkisi.....	82
2.4.3.1.3.	Kesit Modülünün Hesaplanması.....	82
2.4.3.1.4.	Kesme Kuvveti ve Kayma Gerilmesinin Hesaplanması	84
2.4.3.1.5.	Burulmadan Kaynaklanan Kayma Gerilmeleri	89
2.4.3.1.6.	Burulma ve Çarpılma	90
2.4.3.1.7.	Yan Ötelenme ve Kıvrılma	90
2.4.3.2.	İkincil Tepkiler	91
2.4.3.2.1.	Desteklenmiş Paneller.....	91
2.4.3.3.	Üçüncül Tepkiler	93
2.4.3.4.	Enine Mukavemet Kriteri.....	94
2.4.3.5.	Yerel Mukavemet Durumları	95

2.4.3.6.	Gerilmelerin Süperpozisyonu	97
2.4.3.7.	Von Mises Eşdeğer Gerilmesi	99
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	101
3.1.	Giriş.....	101
3.2.	Limit Durumları ve Yapısal Bozulma Biçimleri	101
3.2.1.	Temel Yapısal Bozulma Biçimleri	102
3.2.2.	Bozulma Biçimlerinin Sınıflandırılması	104
3.2.3.	Yapısal Bozulma Durumlarının İncelenmesi	105
3.2.3.1.	Levhaların Burkulması ve Nihai Mukavemeti	105
3.2.3.2.	Problemin Diferansiyel Denkleminin Çözümü ve Sınır Şartları.....	107
3.2.3.3.	Desteklenmiş Panellerin Burkulması ve Nihai Mukavemeti	110
3.2.3.4.	Yorulma ve Kırılma	113
3.2.3.5.	Çarpışma ve Karaya Oturma	114
3.2.3.6.	Titreşim	116
3.2.4.	Enine Mukavemet.....	117
3.3.	Yapısal Tasarımlar İçin Sayısal Analiz Yaklaşımı.....	119
3.3.1.	Giriş.....	119
3.3.1.1.	Statik ve Yarı-Statik Analiz	119
3.3.1.2.	Dinamik Analiz.....	120
3.3.1.3.	Sapma Analizleri (Liner Olmayan Durum Analizleri)	120
3.3.1.4.	Gelişen Eğilimler	120
3.3.2.	Sayısal Analiz Yöntemleri	121
3.3.2.1.	Sonlu Elemanlar Analizi	121
3.3.2.1.1.	Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Ağ Örgüsü (Mesh) Üretimi.....	121
3.3.2.1.2.	Sonlu Elemanlar Yönteminin Gemilerdeki Uygulamaları.....	127
3.3.2.2.	Diğer Sayısal Çözüm Yaklaşımları.....	133
4.	ÖRNEK ANALİZLER VE BULGULAR	136
4.1.	Modelleme.....	136
4.2.	Yükleme ve Sınır Şartları.....	137
4.3.	Örnek Analiz I-1000 TEU Çift Cidarlı Konteyner Gemisi Modeli.....	137
4.3.1.	Modelleme ve Analiz Detayları.....	138
4.3.2.	Analiz Bulguları.....	141

4.4.	Örnek Analiz II-Karma Sistemde İnşa Edilmiş Çift Cidarlı Bir Kimyasal Tanker Modeli	149
4.4.1.	Modelleme ve Analiz Detayları.....	149
4.4.2.	Analiz Bulguları.....	151
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	158
6.	KAYNAKLAR.....	160
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Günümüzde gemilerin tasarım yöntemleri ve süreçleri, ulusal ve/veya uluslar arası kurallar çerçevesinde, gemilerin kullanım amaçlarına göre ülkeden ülkeye hatta aynı ülkede tersaneden tersaneye farklılık göstermektedir. Fakat genel anlamda düşünüldüğünde süreç benzer olarak şöyle işlemektedir. İlk olarak, ön tasarım ekibi tarafından genel yerleşim planı hazırlanır. Sonra, genel yerleşim planı temel alınarak yapısal yerleşim durumu tanımlanır. Daha sonra, klas kuralları doğrultusunda tasarım kriteri göz önüne alınarak yapı elemanlarının boyutlandırılması yapılır. Kontrol sonuçlarına göre gerekli yapısal yerleştirme ve boyutlandırma düzeltmeleri yapılır.

Bu sürecin uygulanması iki farklı temele dayanır. Birincisi, geminin ana boyutlarının, formunun, çift dip yüksekliğinin, maksimum sakin su eğilme momentinin vb. birincil değerlerinin belirlendiği ön tasarım aşaması, ardından klas kurallarının belirlediği kritik değerlere ve benzer yapılmış gemilere göre gerçekleştirilen yapı elemanlarının boyutlandırılması aşamasından oluşan yapısal tasarım sürecidir. İkincisi ise geminin basit veya üç boyutlu karmaşık modellerinin bilgisayar ortamında oluşturularak başta sonlu elemanlar yöntemi olmak üzere çeşitli yöntemlerle global veya yerel mukavemet, titreşim, yorulma analizlerinin gerçekleştirilip, yeterli dayanıma sahip, gereksiz ağırlıktan kaçınılmış daha ekonomik gemi yapılarının elde edildiği yapısal analizdir.

Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışma dört bölüm halinde sunulmuştur. Birinci bölümde geminin genel yapısı ve alt yapı elemanlarının özellikleri ve boyutlandırılmaları ile yapısal tasarıma etki eden faktörler anlatılmıştır. İkinci bölümde, gemiye etki eden kuvvetler ile gemi kirişinin ve gemi yapı elemanlarının bu kuvvetler altında maruz kalabileceği davranışlar (durumlar) anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, yapı analiz süreç ve yöntemleri ile kullanılan sayısal çözüm yaklaşımları üzerinde durulmuştur. ANSYS yazılım programı kullanılarak örnek yapı analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmakta, bu bölümü kaynaklar listesi ile yazarın özgeçmişini izlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi Yapısal Tasarımı, Gemi Yapı Elemanları, Gemi Yapı Analizi
Gemi Mukavemeti, Sonlu Elemanlar Yöntemi

SUMMARY

Ship Structural Design and Investigation of Structural Analysis Methods

Today, the methods and procedures of ship structural designs, differ from country to country, from shipyard to shipyard and differ between ship types, in the limits of classification rules. But in general, structural design procedure can be defined similarly as follows. First of all, general arrangement plan is prepared by the basic design team. Then, structural arrangement is defined based on the general arrangement. And then, initial scantling of structural members are determined within rule-based design criteria. As to control results, required changes can be made for structural element scantlings.

Application of these procedures is based on two different basis. First one is design point of view procedure that at the basic design stage, main dimensions, hull form, double bottom height, maximum still water bending moment and etc. basic properties have been determined. After this stage, the initial scantlings of structural members are determined according to classification rules limits and/or by using similar ships features. The second one is, analysis point of view procedure that the simple or complex models of ship blocks, sub-blocks and members are generated and their structural analysis are carried out in software programmes by using different methods.

This study is consist of four basic chapters. At first, the general structure of ship and it's sub-elements are told and factors that effect the structural design are mentioned. At second, the forces which ship is influenced and behaviours of whole ship and sub-elements under these forces are investigated. At third, structural analysis methods, procedures and numerical solution approaches are focused on. Also, two sample structural analysis are carried out by using ANSYS software programme. End of the study, results and suggestions obtained are represented. References and autobiography of the author are follows this chapters.

Key Words : Ship Structural Design, Ship Structural Members, Ship Structure Analysis
Ship Strength, Finite Element Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Bir koteyner gemisinin orta kısmının dalga tepesinde kaldığı sarkma durumu	3
Şekil 1.2. Bir konteyner gemisinin orta kısmının dalga çukurunda kaldığı çökme durumu	3
Şekil 1.3. Blok gemi inşa yönteminin aşamaları.....	8
Şekil 1.4. Bir konteyner gemisinin çift dip ve borda bloklarının gösterimi	9
Şekil 1.5. Gemi yapısını oluşturan elemanların genel gösterimi	9
Şekil 1.6. Çift dipli bir yük gemisinin orta kesitinde yapı elemanlarının gösterimi	12
Şekil 1.7. Çift dipli bir yük gemisinin orta kesitinde yapı elemanlarının gösterimi	14
Şekil 1.8. Tek dip yapısını oluşturan yapı elemanları	16
Şekil 1.9. Enine ve boyuna postalanmış çift dip uygulamaları.....	17
Şekil 1.10. Enine ve boyuna postalanmış çift dip uygulamaları.....	18
Şekil 1.11. Enine posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip kesit resmi	19
Şekil 1.12. Boyuna posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip kesit resmi	20
Şekil 1.13. Boyuna sistemde ile inşa edilmiş bir çift dip yapısının üç boyutlu modeli ...	20
Şekil 1.14. Omurga formlarının kesit görünüşleri	22
Şekil 1.15. Delikli ve su geçirmez omurgalar.....	23
Şekil 1.16. Dolu döşek ve su geçirmez döşek.....	24
Şekil 1.17. Marcin levhası, marcin braketi, döşek ve postaların farklı birleştirilme yöntemleri.....	28
Şekil 1.18. Enine posta destekli bir borda yapısı kesiti	30
Şekil 1.19. Braket bağlantı mesafeleri	31
Şekil 1.20. Ara güverte ve üst yapı postaları ile altlarındaki ana postalara veya güverteye bağlantı şekilleri	32
Şekil 1.21. Borda stringerleri ile kuvvetlendirilmiş enine posta sistemli bir gemi kesiti ...	33
Şekil 1.22. Enine ve boyuna sistemde inşa edilmiş güverte yapılarının kesit görünüşleri.....	34
Şekil 1.23. Enine ve boyuna sistemde inşa edilmiş güverte yapılarının 3-boyutlu perspektif görünüşleri	35
Şekil 1.24. Döşek-posta- kemere ve bunları bağlayan braketler ile oluşan geminin enine yapı halkası.....	38
Şekil 1.25. Bir güverte bloğunun perspektif kesit görünüşü.....	39

Şekil 1.26. Puntel kullanılmadığı zaman yapıda oluşan bozulma	40
Şekil 1.27. Düzenli yerleştirilmiş puntelli yapının gerilmeler karşısında davranışı	40
Şekil 1.28. Boyuna posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip yapısı	44
Şekil 1.29. Boyuna posta sistemli borda bloğu üç boyutlu gösterimi	44
Şekil 1.30. Gemiye oluşturan yapı elemanlarının üç boyutlu genel görünümü	45
Şekil 1.31. Gemi güvenilirliğine etki eden faktörler	47
Şekil 1.32. Bir gemi ambarında ondüla perdenin onarım çalışması	50
Şekil 2.1. Dünyadaki önemli klas kuruluşlarının benimsediği doğrudan analiz akış şeması	57
Şekil 2.2. Model ve alt modeller için uygulanan bir mukavemet analizinin akış şeması	59
Şekil 2.3. Sakin suda yerçekimi (gemi ağırlığı) ve su basıncı (deplasman) kuvvetleri .	60
Şekil 2.4. Geminin dalga tepesinde olması halinde yük ve deplasman eğrileri.....	61
Şekil 2.5. Geminin dalga çukurunda olması halinde yük ve deplasman eğrileri.....	61
Şekil 2.6. Gemiye Etki Eden Yüklerin Sınıflandırılması	62
Şekil 2.7. Tekne kirişine enine kesitte etkiyen ve boyuna eksende oluşan kuvvet ve momentler	64
Şekil 2.8. Statik ağırlık ve deplasman kuvvetlerinin gemi enine kesiti üzerindeki etkileri	66
Şekil 2.9. Denize indirme sırasında ağırlık merkezinin yer değiştirmesi.....	71
Şekil 2.10. Denize indirme sırasında oluşan kuvvetler	72
Şekil 2.11. Birincil ve ikincil tepki sehim durumları	76
Şekil 2.12. Tekne kirişi ve alt yapı elemanlarının yapısal tepki bileşenleri	77
Şekil 2.13. Elastik liner eğilme temel mekaniği	78
Şekil 2.14. Borda levhası veya güverte kaplamasının herhangi bir bölgesinde oluşan enine gerilme ve kayma gerilmesi	84
Şekil 2.15. Gemi kesitinde oluşan kayma gerilmesi dağılımı	85
Şekil 2.16. Sakin su kesme kuvvetleri ve düşey dalga kesme kuvvetleri	87
Şekil 2.17. Boru cidarına ait dx.ds elemanına x yönünde etki eden kuvvetler.....	89
Şekil 2.18. Desteklenmiş panel örneği	92
Şekil 2.19. Geminin iç ve dış yükler altındaki tepki dereceleri	94
Şekil 2.20. Enine yüklerin kesit üzerinde etkileri	94
Şekil 2.21. Levha-stifner birleşiminden oluşan yerel bir alt yapı elemanı örneği	96
Şekil 2.22. Stifner ve kirişin şematik gösterimi	96

Şekil 2.23. Alt yapı ve yerel yapı destek elemanları ve bunları oluşturan profil tipleri .	97
Şekil 3.1 Yapı bileşenlerinin gösterimi	104
Şekil 3.2. Desteklenmiş panellerin eğilmesi durumunda oluşan bozulma biçimleri	105
Şekil 3.3. Gemilerde, stifnerler arası levha kaplamalarına etki ettiği düşünülen dört yük bileşeni	106
Şekil 3.4. Sık aralıklarla yerleştirilmiş boyuna stifnerler ve seyrek yerleştirilmiş enine kirişlerden oluşan bir dip-yan blok levhası	107
Şekil 3.5. Eşit basınç kuvveti altındaki basit mesnetli levha	108
Şekil 3.6. Desteklenmiş panelde bir levha elemanın çeşitli sınır şartı durumları	109
Şekil 3.7. Levha eğilme durumu	111
Şekil 3.8. Levha boyunca alınmış bir kesitte mambran çeki etkileri	111
Şekil 3.9. Plastisitenin basınç altında artarak oluşma kademeleri	112
Şekil 3.10. Desteklenmiş bir panelde oluşabilecek farklı kırılma tipleri	113
Şekil 3.11. Enine kesitte meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeler	118
Şekil 3.12. ANSYS paket programında çizilmiş bir model.....	123
Şekil 3.13. Ağ örgüsü (meshing) tamamlanmış model hacmi.....	124
Şekil 3.14. Sınır şartları ve yüklerin modele tatbik edilmesi.....	124
Şekil 3.15. Problem çözüldükten sonra model için elde edilen gerilme dağılımı	125
Şekil 3.16. Modelin gerilme dağılımının başka bir açıdan görünüşü	125
Şekil 3.17. Tüm gemi yapısının, alt bloklarının ve yerel ayrıntı elemanlarının modelleri	127
Şekil 3.18. Kaba ağ örgüsü kullanılarak oluşturulmuş tüm gemi sonlu eleman modeli..	128
Şekil 3.19. Bir ambarın sonlu eleman model örneği.....	130
Şekil 3.20. Bir enine posta çerçeve yapısının örnek analiz modeli.....	130
Şekil 3.21. Kritik bölgelerdeki gerilme yığılmalarının belirlenmesi için yapılan ayrıntılı yerel analiz örneği	131
Şekil 3.22. Örnek bir yerel bölge analizi sonrası stifner eğilme gerilmesinin sonuçları	131
Şekil 3.23. Bir konsol kutu kirişin analizi için hazırlanmış sonlu eleman ve ideal yapısal eleman modelleri	134
Şekil 4.1. Simetri sınır şartları gösterimi.....	140
Şekil 4.2. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin çizgilerden oluşmuş görünümü	142
Şekil 4.3. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin alanlardan oluşmuş görünümü	142

Şekil 4.4.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) görünümü.....	143
Şekil 4.5.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin ağ örgüsünün yakın plan görünümü	143
Şekil 4.6.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin model genel görünümü üzerinde Von-Mises gerilme dağılımı.....	144
Şekil 4.7.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin elemanlı genel görünümü üzerinde Von-Mises gerilme dağılımı	144
Şekil 4.8.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı.....	145
Şekil 4.9.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde kayma gerilmesi dağılımı.....	145
Şekil 4.10.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde Von-Mises elastik şekil değiştirme dağılımı.....	146
Şekil 4.11.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde yönel deformasyon dağılımı.....	146
Şekil 4.12.	Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde toplam deformasyon dağılımı	147
Şekil 4.13.	Enine kesitin ağ örgülü görünümü.....	147
Şekil 4.14.	Enine kesit üzerinde Von-Mises gerilme dağılımı görünümü	148
Şekil 4.15.	Enine kesitte oluşan deformasyon görünümü	148
Şekil 4.16.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin çizgilerden oluşmuş görünümü.....	152
Şekil 4.17.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin alanlardan oluşmuş görünümü.....	153
Şekil 4.18.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) görünümü.....	153
Şekil 4.19.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) bir başka görünümü	154
Şekil 4.20.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) yakın plan bir başka görünümü	154
Şekil 4.21.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde Von-Mises gerilme dağılımı.....	155
Şekil 4.22.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı.....	155
Şekil 4.23.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgülü genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı	156
Şekil 4.24.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde Von-Mises elastik şekil değiştirme dağılımı.....	156
Şekil 4.25.	Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde toplam deformasyon dağılımı.....	157

Şekil 4.26. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde kayma gerilmesi dağılımı..... 157

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. c_Q dağılım faktörü.....	87
Tablo 3.1. Bazı özel gemi tiplerinin tekne kirişi ilk 4 mod değerleri	115
Tablo 4.1. Modelde kullanılan eleman tipleri.....	139
Tablo 4.2. Konteyner ambarı modelinin kütle ve atalet momenti değerleri.....	139
Tablo 4.3. Modelde oluşan gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon kritik değerleri..	141
Tablo 4.4. Modelde kullanılan eleman tipleri.....	150
Tablo 4.5. Kimyasal Tankerin ambar modelinin kütle ve atalet momenti değerleri.....	151
Tablo 4.6. Modelde oluşan gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon kritik değerleri..	152

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Yapı elemanları için kesit alanı
B	: Gemi genişliği
D	: Levha eğilme rijitliği
E	: Elastisite modülü
G	: Ambardaki kargo ağırlığı
M	: Moment
N	: Kayma gerilmesi bileşeni
P	: Yapı elemanları için tasarım yükü
V	: Ambar hacmi
I	: Eksenel atalet momenti
a	: Enine-boyuna normal yapı elemanları arası mesafe
e	: Enine-boyuna derin yapı elemanları arası mesafe
h	: Yapı elemanları için yükseklik
k	: Malzeme faktörü
ℓ	: Perdeler arası mesafe
t	: Yapı elemanları için kalınlık
Q	: Kesme kuvveti
DWT	: Geminin yük taşıma kapasitesinin büyüklüğü (Dead Weight Ton)
GT	: Gemilerde bütün kapalı mekanların hacimsel büyüklüğü (Gross Ton)
L _{BP}	: Geminin dümen rotundan çizilen dikme ile balbin yüzme su hattını kestiği noktadan çizilen dikme arası gemi boyu
L _{WL}	: Geminin yüzdüğü su hattı boyu
L _{OA}	: Geminin iki ucu arası tam boyu
d,T	: Draft, geminin su altında kalan kısmının yüksekliği
c _B	: Gemi blok katsayısı
TEU	: Konteyner sayısının büyüklüğü
h _{db}	: Çift dip yüksekliği
W	: Yapı elemanları kesit modülleri
W _D	: Güverteye göre yapı elemanları kesit modülleri

W_B	: Dibe göre yapı elemanları kesit modülleri
f_R	: Kesit modülü düzeltme faktörü
P_B	: Gemi dip yükü
P_L	: Kargo güvertesi yükü
P_0	: Ana dış dinamik yük
P_i	: Gemi iç dip yükü
P_D	: Açık güverte yükü
P_1	: Servis koşullarında tasarım basıncı
P_2	: Statik tasarım basıncı
c_f	: Dağılım katsayısı
c_0	: Dalga katsayısı
c_L	: Boy katsayısı
σ	: Gerilme
ε	: Birim şekil değiştirme
w	: Sehim miktarı
σ_0	: Akma gerilmesi
σ_b	: Eğilme gerilmesi
σ_p	: Müsaade edilen basınç gerilmesi
σ_v	: Eşdeğer gerilme
σ_e	: von-Mises eşdeğer gerilmesi
$\sigma_{eş}$: Eşdeğer burkulma gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi
q_D	: Gemi kesitinin düşey ekseninde etki eden bileşke kuvvet
q_Y	: Geminin enine ekseninde normal yönünde yatay etki eden bileşke kuvvet
m_E	: Geminin boyu yönünde x-ekseninde oluşan eğilme momenti
Q_{SW}	: Sakin su kesme kuvveti
Q_{WV}	: Dalgalı su kesme kuvveti
M_{SW}	: Sakin su eğilme momenti
M_{WV}	: Düşey dalga eğilme momenti
M_{BF}	: Dövünme yükleri nedeniyle geminin baş tarafında oluşan ek eğilme momenti
$b(x)$: Gemide birim boy başına deplasman kuvveti
$w(x)$: Gemide birim boy başına ağırlık

q_{SD} : Birim boy başına kuvvet
 G : Kayma modülü
 ν : Poisson oranı
 P_{st} : Stringer mesnet kuvveti
 I_p : Polar atalet momenti

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

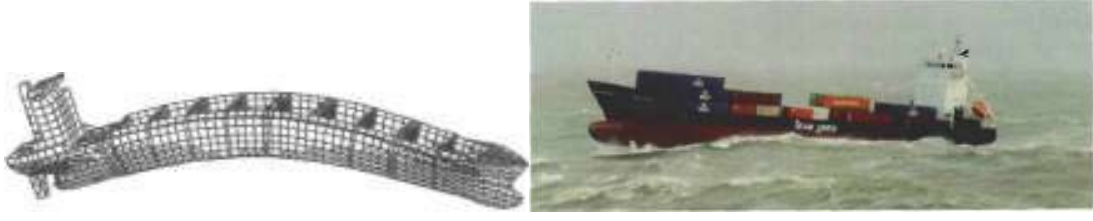
Bilindiği gibi gemiler yapısal olarak tasarımı çok karmaşık olan yapılardır. Yapısal olarak süreksizlikler ve doğrusal olmayan çizgiler taşıyan gemiler birer mühendislik harikasıdır. Teknolojinin gelişmesiyle paralel olarak bu mühendislik harikası yapıların ön tasarım hesaplarından seyir başlamalarına kadar geçen süreçteki tüm üretim aşamaları geçmişten bugüne kadar sürekli araştırma ve inceleme konusu olmuştur. Çok basit yapısal elemanlar kullanılarak başlanılan gemi inşası, tecrübeler, araştırma ve geliştirmeler sonucunda daha karmaşık, daha dayanıklı, daha modern ve amaca en uygun yapıda inşa seviyesine ulaşmıştır. Bunun yanında üretim yöntem ve sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte gemilerin denize indirilme süreleri kısalmış, güvenilirlikleri artmış ve üretim maliyetleri düşürülmüştür. Günümüz gemi inşa pazarını elinde bulunduran Uzakdoğu ülkeleri (Çin, Japonya, Kore) ve bunları takip eden Avrupa ülkeleri diğer çoğu sektörde de olduğu gibi bilime ve teknolojiye gerekli önemi vermişler ve bu alanda geçmişlerinden bugüne oldukça gelişme göstermişlerdir. Bu gelişmeyi, farklı amaçlara hizmet edecek gemilerin formları, gemileri oluşturan yapısal elemanlar, sevk sistemleri gibi teknik özellikleri üzerinde yapmış oldukları bilimsel çalışmaları üretime yansıtmaları ile göstermişlerdir. Türkiye’de de gemi inşa sektöründe son yıllardaki gelişmenin en önemli etkenlerinden birisi de, bilimin dolayısı ile teknolojinin ve uzmanlığın, mühendislik kontrolünde, üretimin hemen her aşamasında yerini almasıdır.

Gemileri oluşturan yapısal elemanlar, geminin, etkisi altında kaldığı yükler karşısındaki dayanımını ve ömrünü tayin etmesi açısından çok büyük öneme sahiptirler. Bu sebeple, genel anlamda ‘mukavemet analizi’ olarak tanımlanan, tüm tasarımın ve bu tasarımı oluşturan elemanların yapısal ve modal davranış (gerilme, burkulma, titreşim vb.) analizlerinin global ve yerel olarak yapılması gerekmektedir. Bu analizler yapılarak, dış etkilerden dolayı, yapıyı meydana getiren elemanlarda oluşan gerilmeler, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Nihai amaç ise elde edilen sonuçlar yardımı ile eleman boyutlarının belirlenmesidir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi oldukça karmaşık ve kalabalık işlemler gerektirmektedir ve gerçek sonuçlara ulaşmak

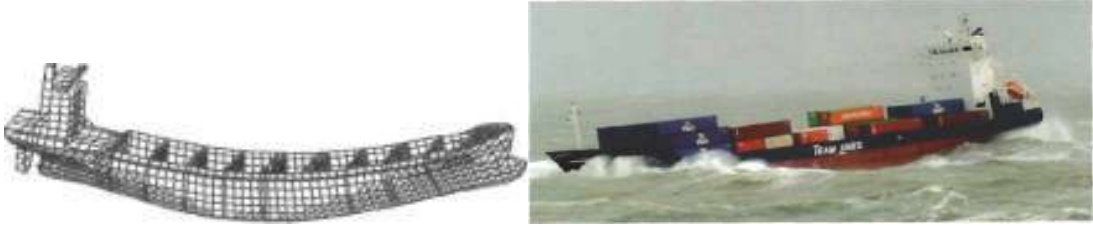
oldukça zordur. Bundan dolayı geliştirilen yöntemler en gerçekçi sonucu elde etmek amacıyla yönelik olmaktadır. Bu yöntemlerden en etkin olanlarından birisi, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle paralel olarak daha gerçekçi sonuçlar veren ve hemen hemen tüm mühendislik konularında kullanılabilen ‘sonlu elemanlar yöntemi’dir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak hesap yapan bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak ANSYS, ABAQUS ve SAP’ı verebiliriz. Ayrıca konuyla ilgilenen bilim adamlarının da amaca yönelik olarak kendilerinin hazırladıkları model yazılımlar da bulunmaktadır.

Gemiler, tam olarak analizlerinin yapılabilmesi için istatistiksel yöntemlerin kullanımını gerektiren çok çeşitli ve karmaşık yapıya sahip deniz yüklerine maruz kalırlar. Bu yükler altında hareket eden bir gemide, hem enine hem de boyuna gerilme ve şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu gerilme ve şekil değiştirmelerden, geminin dayanıklılığı açısından önemli olanı ve genellikle analizlerde daha çok önem arz edenleri boyuna olanlardır. Hareket halindeki bir deniz aracının sakin veya dalgalı bir suda maruz kalacağı durumları tam anlamıyla modellemenin güçlüğü ve meydana gelen liner olmayan problemlerin çözümünün tam olarak yapılmasının, karmaşık ve uzun işlemler gerektirmesi göz önüne alındığında, bu gerilme ve şekil değiştirmeleri belirlemek oldukça zordur.

Bu yüklerin analizlerini basite indirmek için, gemi tarımının ilk zamanlarından itibaren, gemi kirişlerindeki eğilme momentinin belirlenmesinde statik dalga yükü durumu benimsenmiştir. Bu yöntem günümüzde de uygulanmaktadır. Bu yöntemde genel olarak iki durum göz önüne alınır. Birincisi, sabit tasarım dalga çukurunun geminin ortasında olduğu ve ana güvertede basma gerilmelerine, dipte çekme gerilmelerine sebep olan ‘çökme durumu’, ikincisi ise tasarım dalga tepesinin gemi ortasında, dalga çukurlarının gemi baş ve kıçında olduğu, gemi dibinde basma gerilmelerine, ana güvertede çekme gerilmelerine sebep olan ‘sarkma durumu’ olarak tanımlanır. Geminin mukavemeti açısından çok tehlikeli sonuçlar doğurabilen bu sarkma ve çökme durumlarının teorikte ve şiddetli denizde seyir halinde olan gerçek bir konteyner gemisindeki oluşumları Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de gösterilmektedir. İlerleyen konularda sarkma ve çökme durumlarında gemi yapısında meydana gelen gerilmeler ve sonuçlarından ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.



Şekil 1.1 Bir konteyner gemisinin orta kısmının dalga tepesinde kaldığı sarkma durumu



Şekil 1.2 Bir konteyner gemisinin orta kısmının dalga çukurunda kaldığı çökme durumu

Tüm gemi gövdesinin nihai çökme dayanımı durumuna göre tasarımı için gemi gövdesinin nihai boyuna eğilme mukavemetinin belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Bu mukavemet değeri gemi gövdesini oluşturan yapısal elemanların davranışlarına bağlıdır. Bu elemanlar levhalar ve perdeler arasında uzanan, kiriş ve kolonlardan (posta-kemere) oluşan çerçeve sistemleri teşkil ederler. Yapı elemanlarında oluşan bası gerilmeleri, gemi gövdesinin bütün olarak mukavemetinde belirleyici faktör olan basınç kararsızlıklarını arttırabilir. Bu nedenle elemanların basınç etkisindeki davranışları, gemi mukavemetinin hesaplanmasında göz önüne alınan en önemli unsurdur.

Basınç etkisiyle oluşan kararsızlıklar ve bozukluklar, gemi bünyesini oluşturan çoğu yapısal elemanların, nihai dağılımda maksimum yük taşıma kabiliyetlerini kaybetmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu da, fazla yükün komşu elemanlara kaymasına ve o elemanların da görevlerini yerine getirememesine, bozulmalarına sebep olur. Bu nedenle, ilk elemanda oluşacak bozulma, bir tetikleme mekanizmasının başlangıcı gibi davranır ve gemi gövdesinin tümünde artarak ilerleyen bozulmalara yol açar. Bu olay yapısal çökme testi yapılan gerçek gemilerde de gözlenmiştir (Vatsa, 1958). Tetikleme sonucu ilerleyerek artan gemi gövdesinin çökme olasılığı sebebiyle, geminin tasarım felsefesinde, basıya zorlanan ilk önemli eleman, örneğin çift cidarlı bir gemide cidardaki kiriş-kolon bileşimi,

maksimum yük kapasitesine ulaştığında gemi gövdesinin nihai mukavemet değerine eriştiği kabulü yapılmalıdır (Faulkner, 1975). Fakat bu örnek yaklaşım çok tutucudur.

Çünkü geminin nihai mukavemeti, örnek yerel elemanın çökme değerine henüz ulaşmamış olabilir. Bunun sebebi ise, farklı elemanların farklı mukavemetlik derecelerinde olmaları ve bu nedenle de, belli bir zamanda farklı gerilme değerlerine sahip olmalarıdır (Ostapenko, 1981).

Bu nedenle, gemi gövdesinin mukavemetini belirlemenin doğru yolu, elemanlar arasındaki gerilme uyumluluğu ve kesit boyunca dengeyi sağlayacak şekilde ayrıntılı bir kesit analizi yürütmektir. Bu analizi yapabilmek için de gemi kesitini oluşturan tüm elemanların yük altındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, gemi gövdesinin nihai mukavemetinin hesaplanmasında kullanılan yapı elemanlarının, kopma öncesi, kopma esnasındaki ve kopma sonrası yük altındaki davranışlarının tam dağılımının belirlenmesi için güvenilir ve etkili yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada da özellikle üzerinde duracağımız ve örnek analizde kullandığımız ‘sonlu elemanlar yöntemi’, bu karmaşık, liner olmayan problemlerin çözümünde etkili sonuçlar veren sayısal yöntemlerden birisidir.

1.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Gemi bünyesini oluşturan yapısal elemanların gerilme analizinde, bilgisayar kapasite ve hızlarındaki gelişmelere paralel olarak, geçmişten günümüze, geleneksel hesap yöntemlerinden sayısal çözüm yöntemlerine geçiş yaşanmıştır. Bilgisayar destekli bu çalışmalar ilk olarak 1950’lerin sonunda yapılmaya başlanmıştır (McVee, 1986). Bu dönemde iki enine perde arasındaki gemi bloğu üzerinde yapısal modellemeler yapılmıştır.

Yuille ve Wilson enine sistemde inşa edilmiş tek cidarlı bir geminin iki enine perde arasındaki bloğunun enine mukavemetini incelerken ızgara sistem modellemesi kullanmışlardır. Sınır şartı olarak sistemin perdelerde rijit olduğunu kabul etmişlerdir. Hesaplamalar için matris yöntemlerini kullanmışlar ve bilgisayar programı geliştirmeye çalışmışlardır (Yuille ve Wilson, 1960).

Gemi bünyesindeki yerel sayısal gerilme analizleri devam etmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmalarla veya analitik hesaplamalarla karşılaştırılarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Yine bu yıllarda gemi yapısı, çerçeve ve ızgara yapısal modellemeleriyle ayrı ayrı düzlemsel yapı sistemleri olarak incelenmiş, gemi enine mukavemeti göz önüne

alınarak yapısal tasarım teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Gemi dip yapısı ızgara sistem olarak modellenmiş ve sistemin elastik zemine oturduğu kabulü ile problem çözülmüştür (Michelsen ve Nielsen, 1962).

İlerleyen yıllarda özellikle 1970'lerden itibaren bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda yapısal elemanların analizinde, tek boyutlu kiriş elemanlar yerine üç veya dört köşeli yüzey elemanlar kullanılmaya başlanmıştır.

Kendric (1970), süper tankerlerin yapısal tasarımı üzerine yapmış olduğu çalışmada güverte ve dip yapısı ızgara sistem olarak, gemi enine kesitlerini de çerçeve olarak modelleyerek, sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmıştır.

Marshall (1972), yüklemenin kirişin enine kesitinde bükülmeye sebep olmadığını, teorisinin temel kabulü olarak almış ve çok hücreli kirişlerde kesme kuvveti dağılımının analizi için bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Programın akış prensibi, az sayıda data girişi ve kodlama ile birlikte, farklı tiplerde kirişlere uygulanabilecek kiriş kesit planları tanımlama sistemine dayanmaktadır.

Shama (1975), bir dökme yük gemisinin kesme kuvveti gerilmesi analizini, gemi kesitini, gerçeğe çok yakın çift dip modeli ile göz önüne alarak daha gerçekçi kesme kuvveti gerilme değerlerine ulaşmak amacıyla yapmıştır.

Nilsen vd. (1971), tanker yapısı üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, tank perdelerini yüzeysel sonlu elemanlar kullanarak incelemişler, ayrıca bu perdeleri lineer boyuna kiriş elemanlarla birleştirerek gemi mukavemeti hesapları açısından diğer sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çalışmalara oranla daha az bilgisayar hafızası gerektiren bir yaklaşım getirmişlerdir.

Elbatouti vd. (1976), konteyner gemileri üzerinde üçgen sonlu elemanlar kullanarak üç boyutlu bir modelleme ile yapısal analiz yapmışlardır. Bu çalışmada gemi kesitleri idealleştirilmiş, gemi boyuna eksenine göre simetrik kabul edilerek, gemi yapısının bir yarısı üzerinde 3328 eleman, 1807 düğüm noktası üretilmiş ve bunun sonucunda 6672 serbestlik dereceli bir sistem elde etmişler ve problemin çözümüne gitmişlerdir.

Skaar ve Carlsen (1980), gemi titreşiminin analizi ve sonlu eleman modelinin oluşturulmasındaki zorluklar ve çözüm önerileri üzerine ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Mukhopadhyay (1981), düzlem gerilme altındaki levha elemanda bulunan stifnerlerin hesaplanması için yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım stifnerle ilgili bir boşluğu

gidermiş ve yönlendirici olmuştur. Çalışmada, stifnerler için izoparemetrik ve üçgen elemanlar kullanılarak, rijitlik matrisi türetilmiştir.

Hakala (1980), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak soğutularak sertleştirilmiş gemi kabuk yapısının lineer olmayan davranışlarını incelemiştir. Çalışmanın asıl amacı, gemi enine çerçevesinin plastiklik sınırını ve çökmesini belirlemektir ve hesaplanan yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak bu amaca ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bilinen plastik tasarım formülleri ve deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Chen vd. (1983), gemi bünyesinin güverte, dip, perde gibi yapısal kısımlarında şekil değiştirmelerin büyük olduğu kabulü ile yapısal analiz çalışmaları yapmışlar ve bu çalışmalarda düzlemsel sonlu elemanlar ve kiriş elemanları kullanarak burkulma ve burkulma sonrası durumu incelemiştir.

Gemi üretim teknolojisinin gelişmesi, taşınan yük tiplerinin farklılaşması, çevre ve insan sağlığı daha fazla göz önünde bulundurularak hazırlanan ulusal ve uluslararası kural ve sözleşmelerin önemli birer tasarım parametreleri haline gelmeleri ile klasik gemi yapısı değişim göstermiştir. Bu sebeple, farklı amaçlara hizmet etmesi için farklı tip gemiler geliştirilmiştir. Bu yeni tasarımlar yapılırken, benzer gemilerden ve klas kuruluşlarının kurallarının fazla tercih edilmemesi sebebiyle yukarıda bahsedilen çalışmaların gerçekleştirilmesi önem kazanmıştır. Sayısal çalışmalar sonucu çıkarılan yöntemlerin devamında bu çözüm yöntemlerini içersinde bulunduran bilgisayar paket programları geliştirilmiştir. Fakat böyle bilgisayar programlarında, en yaklaşık çözümü elde etmek, bilgisayarların kapasitelerinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Bu amaçla, hafıza kapasiteleri büyük bilgisayar sistemleri ile kıyaslandığında daha az olan, fakat sektörde çoğunlukla kullanılan kişisel bilgisayarlardan yararlanılarak yapısal analiz yapabilmek için model geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Bayraktarkatal (1995), İTÜ'de yapmış olduğu doktora çalışmasında, gemi yapı elemanlarının boyutlandırılması için gerilme analizi yapabilen bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen modelde, gemi dibi ızgara sistem, dip üzerindeki gemi yapısı da çerçeveler halinde düşünülmüştür. Daha önce yapılan benzer çalışmalardan farklı olarak da, gemi dibi ve çerçevelerin birbirlerine etkileri de göz önüne alınmıştır.

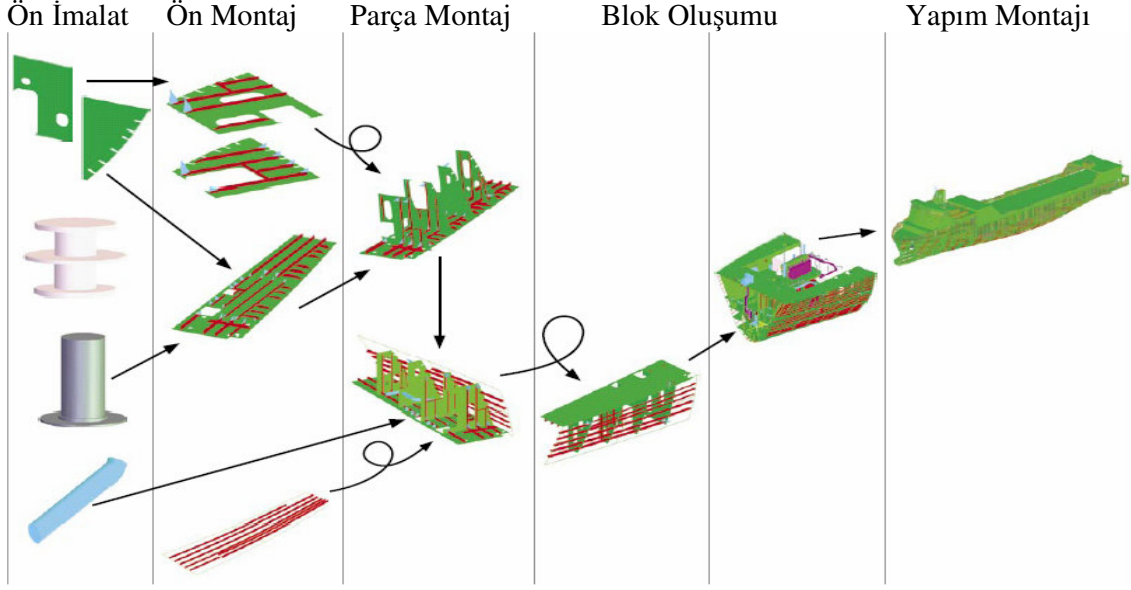
Ünsan (1995), daha özel bir konu seçerek, geniş ambar ağızlı gemilerin mukavemet yönünden incelenmesi üzerine bir yazılım geliştirerek, statik olarak belirsiz olan kapalı kesitlerdeki burulma momenti gerilmeleri ve kesme kuvveti gerilmelerinin belirlenmesini amaçlamıştır.

1.3. Yapısal Tasarım

1.3.1. Giriş

Gemiler, geçmiş yıllarda kızığa konulan ana omurga, omurgaya bağlı postalar, postalara bağlanan ve gemi boyunca uzanan boyuna elemanlar ve dış kaplama gibi basit tek cidarlı yapılardan oluşuyordu. Fakat ilerleyen teknoloji ve artan gereksinimler doğrultusunda, güvenlik, malın taşınacağı yere sağlam ulaşması, deniz kazaları, çevre kirliliği gibi nedenler göz önünde bulundurularak yeni yapı elemanlarının ve yapı türlerinin oluşturulmasına ve kullanılmasına geçilmiştir. Bu yapısal gereksinimlere, sürekli güncellenen IMO (Uluslar arası Denizcilik Örgütü) kriterleri, MARPOL (Deniz Taşıtlarından Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Anlaşması), SOLAS (Denizde Yaşam Güvenliği) gibi uluslararası sözleşmelerin getirdiği kuralların da eklenmesiyle günümüz gemileri ortaya çıkmıştır.

Bu anlaşmalar sonucunda meydana gelen en önemli yapısal gelişmelerden birisi de çift cidarlı gemi kavramının oluşmuş olmasıdır. Çift cidarlı gemiler, yeni yapı destek elemanlarının da eklenmesiyle oldukça karmaşık hale gelmişlerdir. Bu çok elemanlı lineer olmayan yapıyı artık tek parça halinde inşa etmek oldukça güçleşmiştir. Bu durum, eski gemiler gibi tek parça halinde inşa yönteminden vazgeçilmesini ve gemiyi belirli bloklara ayırarak, önce ayrı ayrı blokları inşa etmek ve sonrasında bu blokları birbirine ekleyerek bütün gemiyi oluşturma yöntemine geçilmesini zorunlu kılmıştır. Blokların oluşturulması ise ön parça imalat, bu parçalar ile yapılan alt montaj süreci, alt montaj elemanlarının bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilen panel oluşturma gibi aşamaların ardından diğer donanımların eklenmesiyle tamamlanmaktadır. Bu süreç Şekil 1.3 de örnek resimleriyle birlikte gösterilmiştir.

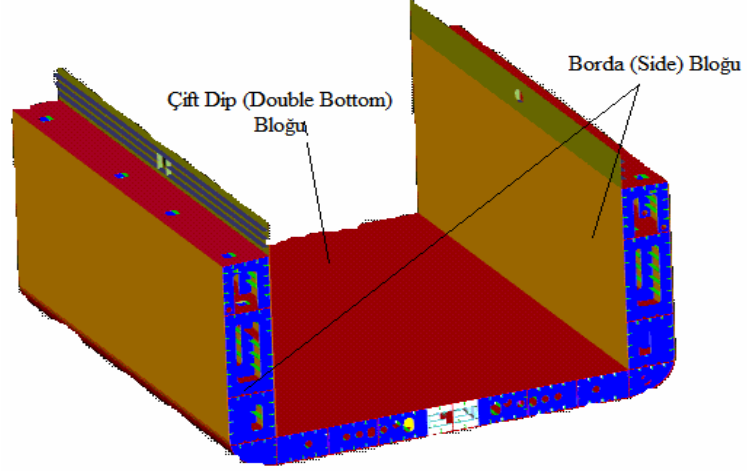


Şekil 1.3. Blok gemi inşa yönteminin aşamaları

Ne var ki, bu yöntem sayesinde gemilerin inşa süresi oldukça kısaltılmış, malzeme ve işçilik masrafları aşağıya çekilmiştir. Bu yöntemde gemi projelendirme sürecinde parçalara (bloklara) ayrılır. Her bir blok ayrı yerde inşa edilerek kızakta birleştirilir ve üst yapıları ve diğer donanımların eklenmesiyle gemi denize indirilmeye hazır hale getirilir. Her bir blok, yapı elemanlarının yanı sıra boru donanımları, elektrik donanımları gibi diğer yapı unsurlarını da içermektedir. Bu blokları aşağıda gibi ana başlıklar altında sınıflandırabiliriz.

- Dip (genellikle çift dip-double bottom) bloğu
- Borda bloğu (side block)
- Güverte bloğu (tankerlerde ve güverte yapısı olan gemilerde)
- Makine dairesi bloğu
- Baş ve kış pik blokları
- Yaşam mahalli bloğu

Bu bloklardan en önemlileri geminin esas taşıyıcı kısımları (mukavemetinden sorumlu) olan çift dip bloğu, borda bloğu ve geniş ambar açıklıklarına sahip olmayan gemi tiplerinde kullanılan güverte bloklarıdır. Bir konteyner gemisinin çift dip ve borda blokları Şekil 1.4 de gösterilmiştir.



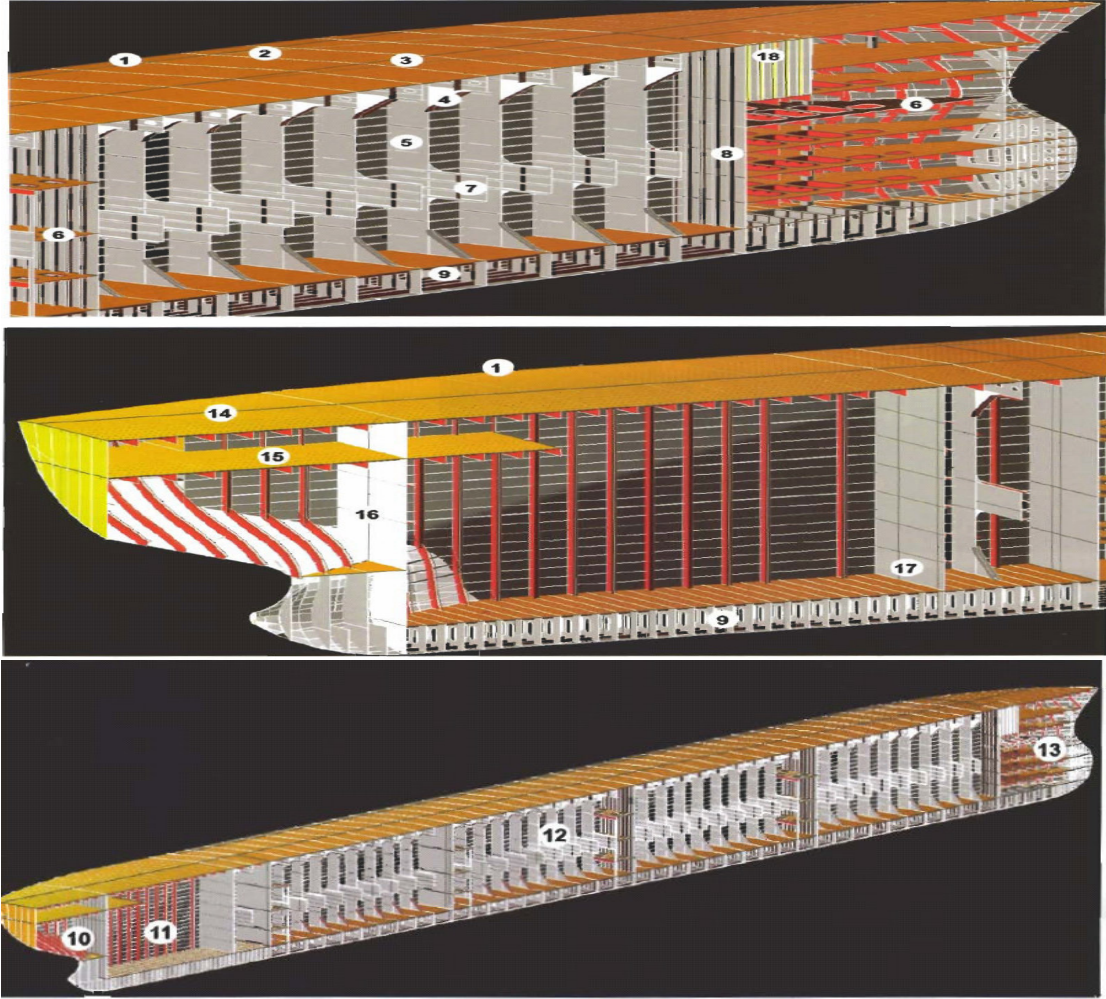
Şekil 1.4. Bir konteyner gemisinin çift dip ve borda bloklarının gösterimi

1.3.2. Genel Gemi Yapısı

Günümüzde gemilerin blok inşa yöntemi ile yapıldıklarını belirtmiştik. Aynı aynı inşası tamamlanan blokları oluşturan alt paneller ve bu panelleri oluşturan destek elemanlarını, bunların gemilere etki eden yükler karşısındaki davranışlarını ve nihai mukavemete olan katkılarını ayrıntılı olarak incelemek faydalı olacaktır. Gemi yapısını oluşturan elemanların genel gösterimi Şekil 1.5 de verilmiştir.

Gemilerin yapısal tasarımı en genel anlamda ön tasarım ve ayrıntı tasarımı olmak üzere iki birbirinden bağımsız bölümden oluşur. Ön tasarım aşamasında, temel yapısal elemanların yerleşimleri, aralarında bırakılan mesafeler ve boyutları belirlenir. Ayrıntı tasarımı aşamasında ise, breketler, stifnerler gibi yerel destek elemanlarının geometrileri ve boyutları belirlenir.

Gemi en genel anlamda bir dış kaplama ve bu kaplamayı içten destekleyen elemanlardan oluşur. Tüm bu elemanların boyutlandırılmaları geminin inşasının kontrolünün yapıldığı klas kuruluşlarının ve uluslar arası sözleşmelerin belirlediği kurallar çerçevesinde yapılmaktadır. Geminin dış kaplaması, dip kaplama, borda kaplaması ve güverte kaplamasından oluşmaktadır. Dip kaplamasının ortasında 'levha omurga' bulunur. Levha omurgadan sintine dönümünün üstüne kadarki kaplamalar 'dip kaplama', sintine dönümünün üst tarafından güverteye kadarki kaplamalar 'borda kaplaması' adını alır.



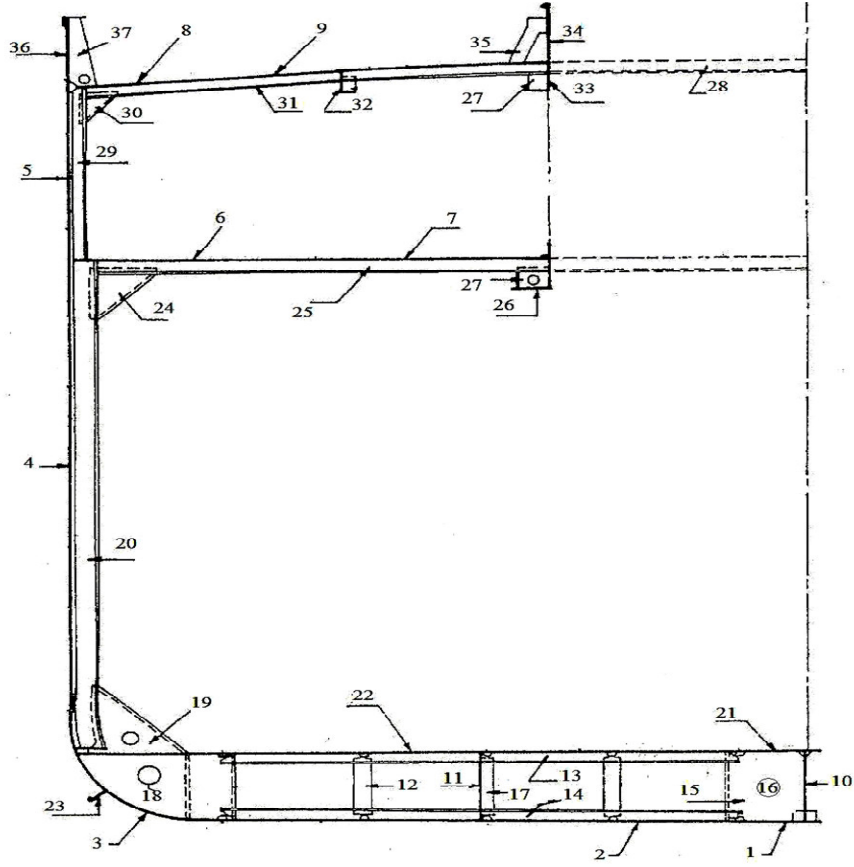
- | | | |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1- Dış yan kaplama sacı | 7- Çapraz bağlantı elemanı | 13- Baş pik su balast tankı |
| 2- İç yan kaplama sacı | 8- Baş pik perdesi | 14- Üst güverte |
| 3- Boyuna perde | 9- Çift dip | 15- Ara güverte |
| 4- Braket | 10- Kıç pik | 16- Kıç pik perdesi |
| 5- Enine posta | 11- Makina dairesi | 17- Makine dairesi perdesi |
| 6- Güverte stringer sacı | 12- Kargo tankları | 18- Zincir ambarı |

Şekil 1.5. Gemi yapısını oluşturan elemanların genel gösterimi (Dokum,2003).

Borda kaplamasının en üst sırasına 'şiyer sacı sırası' denir. Güvertede, bordaya bitişik olan şiyer sacı sırasına bağlanan sac 'güverte stringer sacı' adını alır. Şiyer sacı sırası ile güverte stringer sacı arasında bağlantı elemanı olarak 'güverte stringer köşebendi' bulunur. Güvertayı oluşturan saclara ise 'güverte kaplama sacı' denilmektedir. Gemiye dışarıdan saran ve yüzmeyi sağlayan bu dış kabuk, iç tarafından, birbirine bağlanan destek elemanlarının oluşturduğu çerçeve sistemler tarafından desteklenir. Bu destek sistemlerinin

gemi boyunca kurallar çerçevesinde sıklıkla konulmasına özen gösterilir. Geminin dip kaplamasında enine uzanan destek elemanlarına ‘döşek’ denir. Eğer döşek bir sac levhadan ibaret ise ‘dolu döşek’ adını alır ve gemi dibine kaynaklanır. Eğer döşek birisi dibe kaynaklı iki profil veya lamadan oluşuyor ise ‘boş döşek’ veya ‘braketli döşek’ adını alır. Geminin dibine bağlanan destek elemanına ‘iç dip postası’, çift dip üst sacına bağlanan destek elemanına da ‘iç dip ters postası’ denir. Geminin ortasında ve dip tarafta boyuna uzanan destek elemanına tek dipli gemilerde ‘orta iç omurga’, çift dipli gemilerde ise ‘orta iç tülani’ denir. Gemilerde ayrıca, genişliğe bağlı olarak sayıları değişen ve yine boyuna uzanan ‘yan iç omurga’ veya ‘yan iç tulaniler’ bulunmaktadır. Birbirine dik olarak veya belli bir açı ile bağlanacak elemanlarda bağlantıyı sağlayan elemanlara ‘braket’ adı verilir.

Sözü geçen çift dibin nasıl oluştuğuna gelecek olursak; boş döşeklerin üst tarafları bir su geçirmez sac levha ile örtülüyor ise buna ‘çift dip kaplama sacı’ ve dip kaplaması ile çift dip kaplaması arasında kalan sisteme de ‘çift dip yapı sistemi (double bottom)’ adı verilir. Çift dip kaplaması üzerinde tam ortada bulunan ve orta iç tülani üzerine gelen saca ‘çift dip kaplaması orta sacı’ denir. Çift dip sisteminin yan kenarını kapayan ve su geçirmez olan, sintine dönümüne dik olarak bağlanan saca ‘marcin sacı’ denir. Yatay olarak da bağlanabilen bu sac her iki durumda da sintine dönüm sacına kaynaklanır. Çift dipli bir yük gemisinin orta kesitini oluşturan yapı elemanları Şekil 1.6 ve Şekil 1.7 de gösterilmiştir (Özalp, 1977).



- | | | |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1- Levha omurga | 15- İç dip braketleri | 29- Ara güverte postası |
| 2- Dip kaplama | 16- Hafifletme deliği | 30- Posta-kemere braketi |
| 3- Sintine dönümü levhası | 17- Yan iç tülani | 31- Ana güverte kemeresi |
| 4- Borda kaplaması | 18- Hafifletme deliği | 32- Güverte altı tülani |
| 5- Şiyer levhası | 19- Sintine braketi | 33- Güverte altı tülani |
| 6- Alt güverte stringer levhası | 20- Ana posta | 34- Ambar ağız kenarı |
| 7- Alt güverte kaplaması | 21- İç dip orta sacı | 35- Ambar ağız kenar takviyesi |
| 8- Ana güverte stringer levhası | 22- İç kaplama saçları | 36- Küpeşte levhası |
| 9- Ana güverte kaplaması | 23- Yalpa omurgası | 37- Küpeşte brakti |
| 10- Orta iç tülani | 24- Posta-kemere braketi | |
| 11- Yan iç tülani | 25- Alt güverte kemeresi | |
| 12- Döşek dikmeleri | 26- Güverte altı tülani | |
| 13- İç dip ters postası | 27- Braket | |
| 14- İç dip postası | 28- Kemere | |

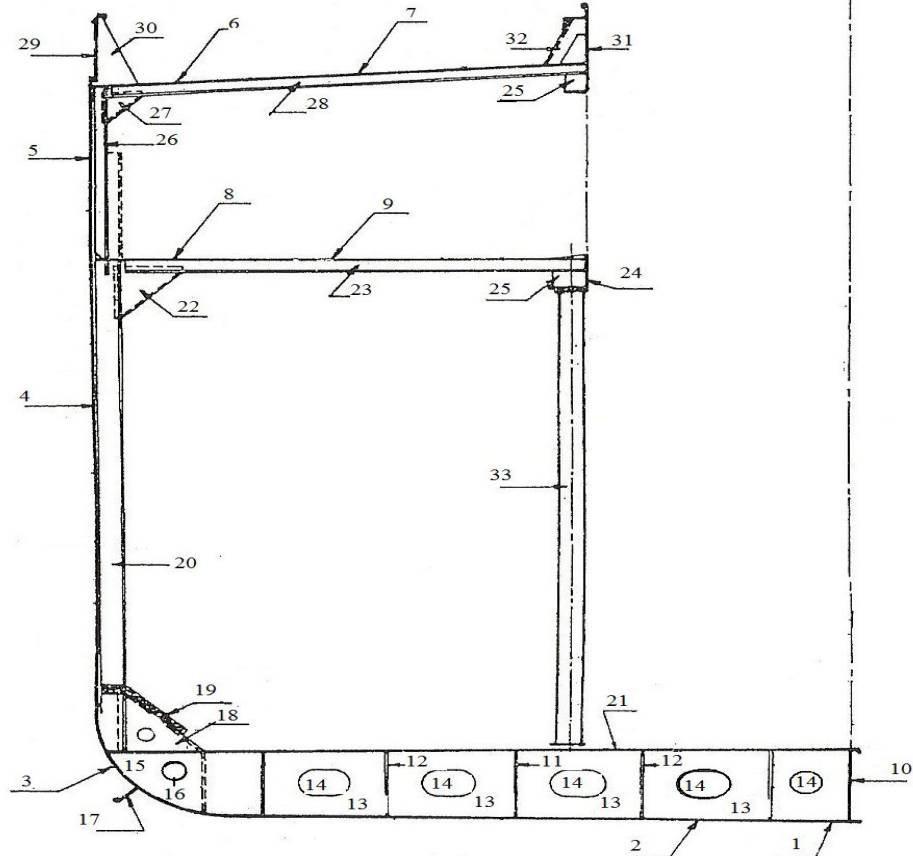
Şekil 1.6. Çift dipli bir yük gemisinin orta kesitinde yapı elamanlarının gösterimi

Borda kaplamasını içten destekleyen ana elemana 'posta' denir. Posta güverteden sintine dönümüne kadar uzanır ve borda kaplamasına kaynatılır. Çift dipli gemilerde posta, marcin levhasına 'marcin braketi' adı verilen büyük saç levha ile bağlanır.

Bordayı içeriden destekleyen ve boyuna uzanan elemanlara da 'borda stringeri' denir. Fakat bu eleman her zaman kullanılmaz.

Güverte kaplamasını destekleyen ve güverteyi taşıyan ana elemana 'kemere' adı verilir. Güvertede bir açıklık olmadığı sürece kemere bir bordadan diğer bordaya uzanır. Kemere ucu bordada postaya 'posta-kemere braket'i' adı verilen elemanla bağlanır. Güverteyi destekleyen diğer destek elemanı güvertenin altından boyuna uzanan ve güverte kaplamasına düşey olarak kaynaklanan 'güverte altı tulanisi'dir. Bu elemanlar genellikle ambar ağzı gibi güverte üzerindeki açıklıkların iki yanına kaynaklanırlar. Ayrıca, ana güverteden başka alt güvertelerin ve üst yapı güvertelerinin de kemereleri vardır. Güvertelerin altında güverte altı tulanisini taşıyan, güverte destek elemanı olarak kullanılan, birkaç 3-4 kemerede bir konulan ve bir güverteden diğer güverteye uzanan düşey desteklere 'puntel' adı verilir.

Gemiyi enine veya boyuna yönde bölmelere ayıran elemanlara 'enine perde' veya 'boyuna perde' denir. Perdeler genel olarak su geçirmez olarak yapılırlar. Perdelerin üzerinde destek elemanı olarak düşey yönde uzanan 'perde stifnerleri', yatay yönde uzanan 'perde stringerleri' bulunur.



- | | | |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1- Levha omurga | 15- Sintine braketi | 29- Küpeşte levhası |
| 2- Dip kaplama | 16- Hafifletme deliği | 30- Küpeşte braketi |
| 3- Sintine dönümü levhası | 17- Yalpa omurgası | 31- Ambar ağız kenarı |
| 4- Borda kaplaması | 18- Marcin braketi | 32- Ambar ağız kenar takviyesi |
| 5- Şiyer levhası | 19- Ağaç kaplama | 33- Puntel |
| 6- Ana güverte stringer levhası | 20- Ana posta | |
| 7- Ana güverte kaplaması | 21- İç dip kaplaması | |
| 8- Alt güverte stringer levhası | 22- Posta kemere braketi | |
| 9- Alt güverte kaplaması | 23- Alt güverte kemeresi | |
| 10- Orta iç tülani | 24- Güverte altı tülani | |
| 11- Yan iç tülani | 25- Braket | |
| 12- Boyuna döşek dikmeleri | 26- Ara güverte postası | |
| 13- Döşekler | 27- Posta-kemere braketi | |
| 14- Adam geçme delikleri | 28- Ana güverte kemeresi | |

Şekil 1.7. Çift dipli bir yük gemisinin orta kesitinde yapı elemanlarının gösterimi

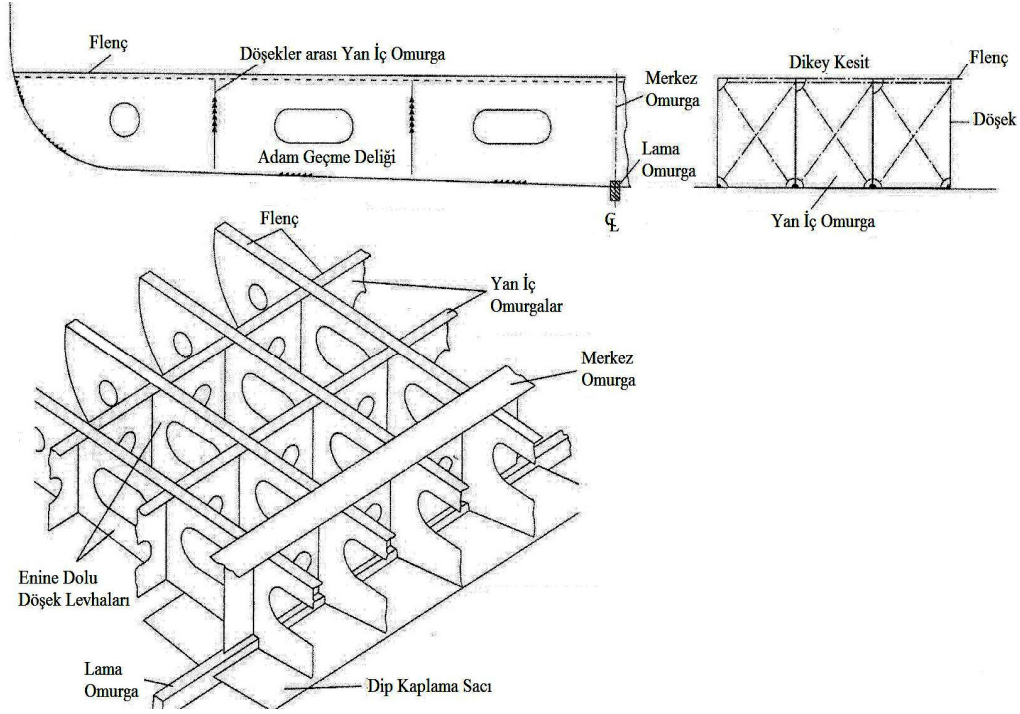
1.3.3. Gemi Yapı Elemanlarının İncelenmesi

1.3.3.1. Dip Blok Yapısı

Genel anlamda gemiler tek bir dip sacına sahiptirler ve sıvı yakıt ile içme suları ayrı olarak inşa edilmiş tanklarda bulunurlar. Fakat gereksinimler doğrultusunda, tek dipli gemi inşası römorkörler, feriler ve 500 GT'nun altındaki kargo gemileri gibi küçük tekneler dışında yerini, 20. yüzyılın başlarında geliştirilen ve dip sacının zarar görmesi durumunda güvenliği arttıran, aynı zamanda sıvı tankları için de geminin alt tarafında yer sağlayan çift dip yapı sistemine bırakmıştır.

1.3.3.1.1. Tek Dip Yapılar

Tek dibe sahip küçük boyutlu gemilerde, her postada bir döşek konulur ve üst taraflarından braketlerle postalara bağlanırlar. Bir merkez omurga ve yan taraflarına da gemi genişliğine bağlı olarak sayısı değişen yan iç omurgalar kullanılır. Genişliği 10 metreden az olan gemilerde merkez omurganın her iki yanına birer tane, genişliği 10-17 m arası olan gemilerde de her iki yanda ikişer tane yan iç omurga yerleştirilir. Ayrıca, boy-genişlik oranının 4 den büyük olması durumunda ek olarak devamlı veya döşekler arası stifnerler yerleştirilir. Devamlı merkez ve döşekler arası omurgalar üst kenarlarından bağlanırlar ve gemi başına ve kıçına doğru olabildiğince uzatılırlar. Şekil 1.8 de tek dip yapıyı oluşturan elemanlar gösterilmiştir. Günümüzde çevre ve insan sağlığına verilen önemin artmasına paralel olarak getirilen kural ve önlemler doğrultusunda artık gemi üretiminde tek dip uygulaması hemen hemen kalmamıştır. Fakat, küçük boyutlu gemiler, yatlar, balıkçı tekneleri gibi küçük boyutlu ve özel amaçlı gemilerde kullanımına devam edilmektedir.

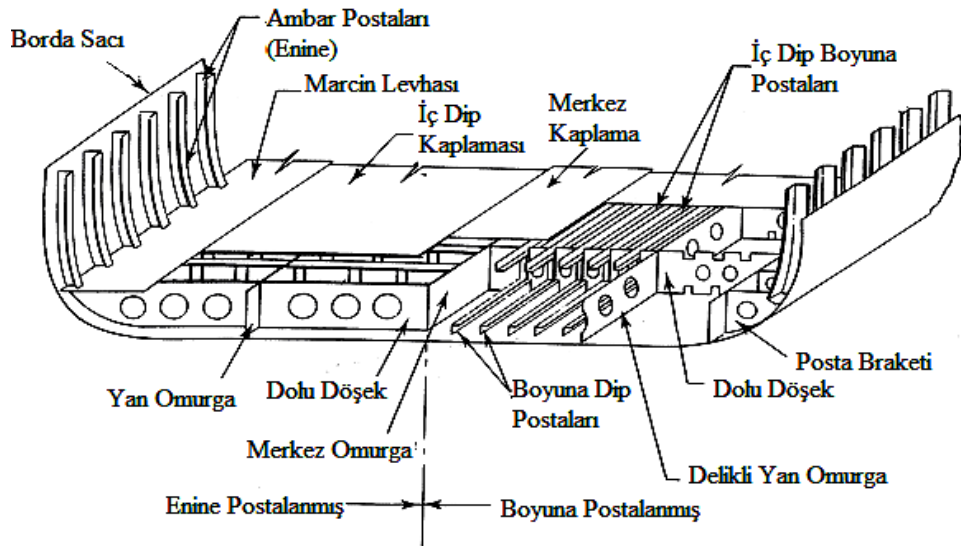


Şekil 1.8. Tek dip yapısını oluşturan yapı elemanları

1.3.3.1.2. Çift Dip Yapılar

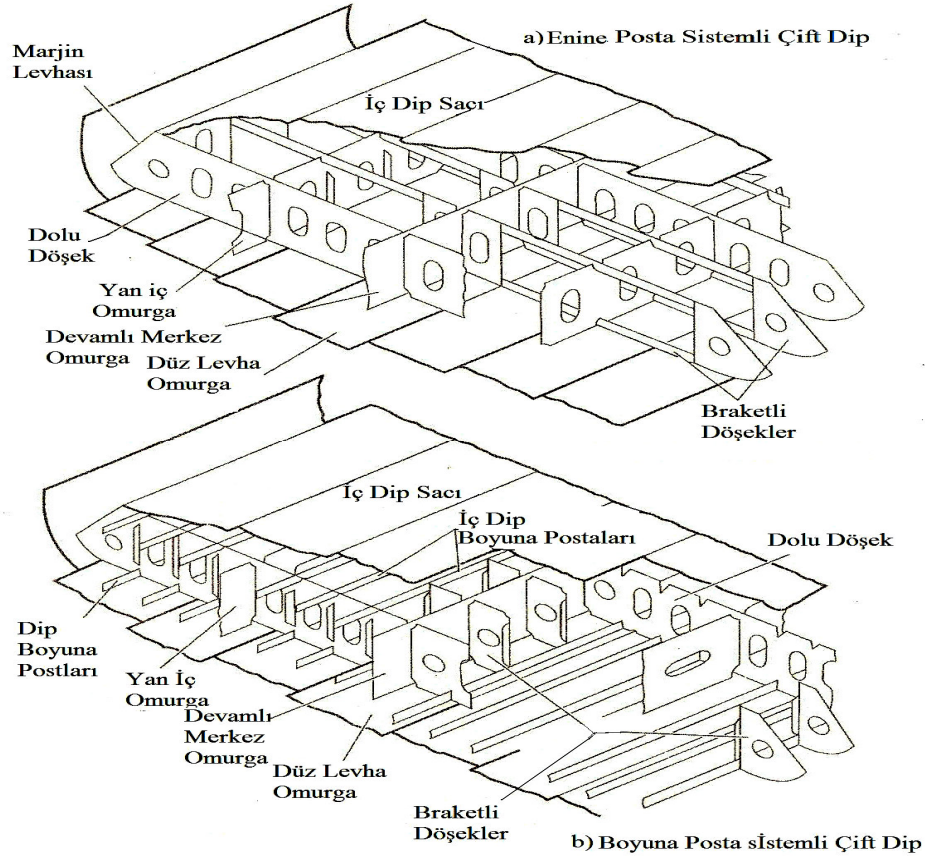
Dip sacından uygun minimum yükseklikte yerleştirilen ve su geçirmez olacak şekilde sintine saclarına bağlanan iç dip sacı ile çift dip yapı sistemi oluşturulur. Bu yapı, dip sacının zarar görmesi durumunda, emniyet payını arttırıcı etki yapar. Dip sacı ve iç dip sacı arasındaki alan, içersine yapılan tanklar sayesinde gemi için gerekli olan yakıt ve kullanım suyunun taşınmasını sağlar. Çift dip yüksekliği, klas kuruluşlarının belirlediği gerekli minimum merkez omurga yüksekliğine bağlı olarak seçilir. Bazen de bu yükseklik yeterli yakıt, tatlı su ve balast suyu taşıyabilecek derinliği sağlayacak şekilde seçilebilir. Dip balast suyu tankları genellikle trim durumları için sağ ön ve arka tarafa yerleştirilir ve çift dip yüksekliği gerektiğinde bu balast tanklarının yüksekliğine göre ayarlanabilir. Ayrıca, ana makine yerleşimi ve burada bulunacak olabildiğince fazla yağlama yağı ve fuel-oil kapasitelerini sağlayabilmek için çift dip yüksekliği arttırılabilir. İç dip yüksekliğindeki artış, boyuna yönde kademeli olarak küçülmektedir ve yapıda ani süreksizlikler istenmemektedir.

Çift dip yapısı, boyuna veya enine posta sistemiyle oluşturulabilir. Fakat boyu 120 m yi aşan gemilerde, özellikle boyuna posta sistemi kullanmaya özen gösterilmektedir. Çünkü, geçmişte yapılan testler ve tecrübeler sonucunda, çift dip yapıları enine posta sistemli ile oluşturulmuş büyük gemilerin iç dip ve dip levhalarının burkulma eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu burkulma olayı gemi gövdesinin eğilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bazı gemilerin çift dip yapıları hem boyuna hem de enine elemanlar kullanılarak inşa edilirler. Bu tip çift dip yapısı, karma sistemle inşa yöntemi adını alır. Şekil 1.9 da ve Şekil 1.10 da enine ve boyuna postalanmış çift dip uygulamalarının ayrıntı resimleri gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Enine ve boyuna postalanmış çift dip uygulamaları

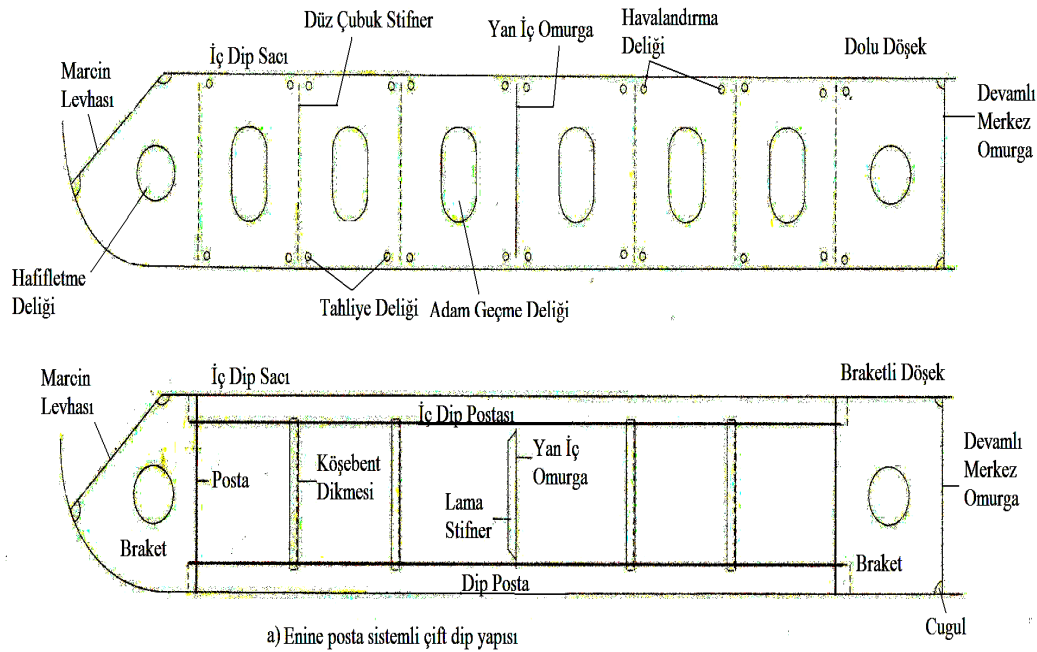
Enine posta sistemi ile oluşturulmuş çift dip yapısında enine yerleştirilmiş dolu döşekler, braketli döşekler ve postalar iç dip ve dip kabuk levhalarının başlıca destek elemanlarıdır. Dolu döşekler, makine dairesinde ve yük gemilerinde boşaltma yapılan kısımlarında her postada bir konurlar. Ayrıca, dolu döşekler kazan yerleşkeleri, enine perdeler, dip tank perdelerinde stifnerleri destekleyen braketler yönünde ve çift dip yükseklik değişimlerine uyacak şekilde yerleştirilirler.



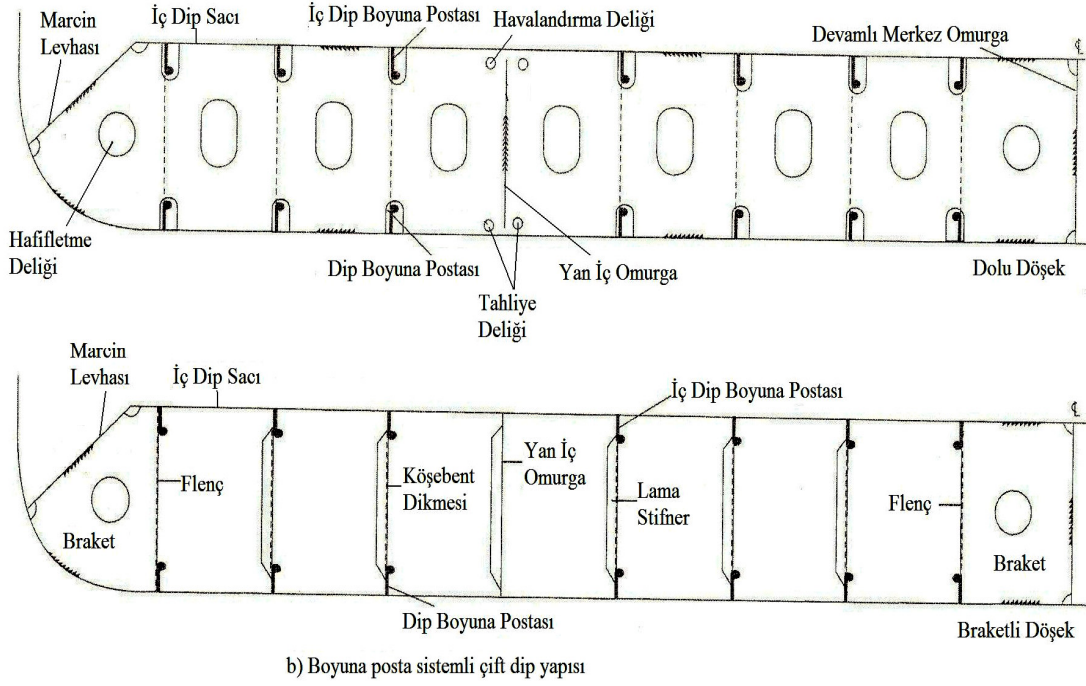
Şekil 1.10. Enine ve boyuna postalanmış çift dip uygulamaları

Dolu döşek levhaları braketli döşeklerle birlikte, dolu döşekler arasında, posta yerlerinde, 3 m uzaklıklarla yerleştirilirler. Braketli döşeklerin braket levhaları fleçli (kenarı çıkıntılı) yapılırlar ve genişlikleri merkez tulaninin yüksekliğinin %75'i kadardır. 2,5 m'yi geçmeyecek şekilde bırakılan postalar arası mesafeyi düşürmek için, braketli döşeklerde, dik açılı veya oluklu çubuk payandalar bağlanabilir. Genellikle düz kaynak yapılmış düşey stifnerler, tankların su geçirmez veya yağ geçirmez sınırlarını oluşturmaları durumunda daha fazla kuvvetlendirilen dolu döşek levhalarına bağlanırlar. Ayrıca, braketli döşekler yönünde, düşey düz kaynaklanmış stifnerler yan kirişe bağlanırlar. Ek yan kirişler, makine dairesinde ve yaralanma bölgelerinde de kullanılır.

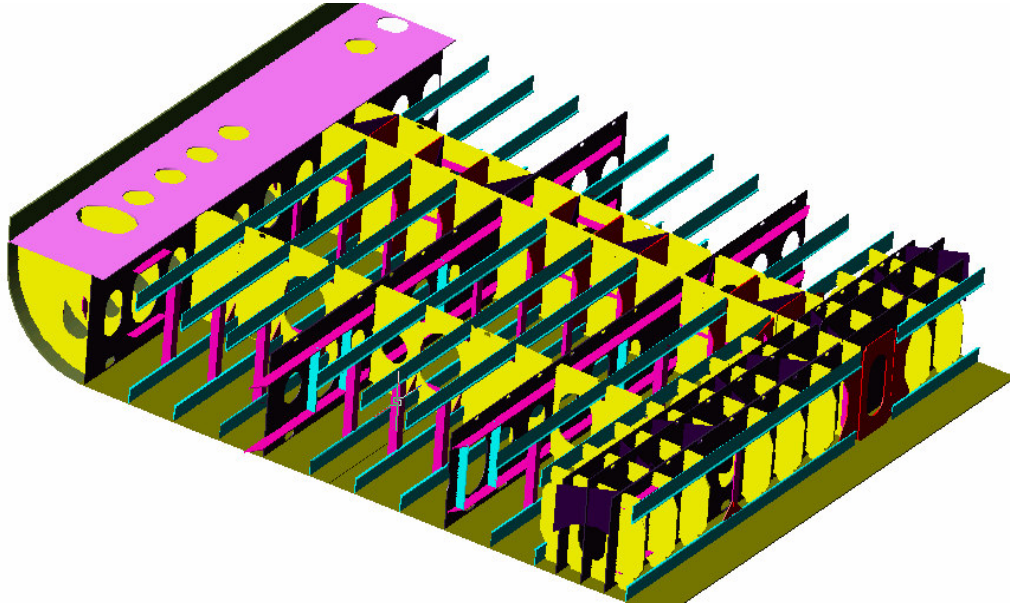
Boyuna posta sisteminde, makine dairesi altında ve diğer gerekli kısımlarda dolu döşek levhaları her postada bir yerleştirilir. Ayrıca, kazan yerleşkelerinde, enine perdelerde ve dip tank perdelerinde stifner braketlerin uçlarında bağlanırlar. Yaralanma bölgeleri hariç hiçbir kısımda, dolu döşek levhaları arası mesafe 3.8 m yi geçmemelidir. Aralık mesafesi 1,25 m olan ara posta boşluklarında braketler tank tarafında veya merkez omurgaya bağlanırlar. Yarı genişliği 4,5 metreyi aşan gemilerde iskele ve sancak taraflarında birer, 8 metreyi aşan gemilerde de her iki tarafta ikişer, 10,5 metreyi aşan gemilerde üçer adet olmak üzere yan iç omurgalar bulunur. Bu yan kirişler geminin kıçından başına kadar olabildiğince uzatılır. Ayrıca, bu ek yan kirişler makine dairesinde ve özellikle ana makine altında bulunurlar ve tüm makine dairesi boyunca ve buna ek üç posta arası mesafe kadar uzatılır. Yaralanma bölgelerinde de ek yan iç omurgalar kullanılmaktadır. Dip boyuna postalarının desteklenmeyen boyları 2.5 m yi geçmemelidir. Ayrıca, geniş aralıklı dolu döşeklerin arasındaki boyuna postaları desteklemek için dik açılı veya oluklu çubuk payandalar kullanılır. Şekil 1.11, 1.12 ve 1.13 de sırasıyla enine posta sistemli, boyuna posta sistemli çift dip kesit resimleri ile yine boyuna sistemle inşa edilmiş bir çift dip yapısının üç boyutlu modeli gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Enine posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip kesit resmi



Şekil 1.12. Boyuna posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip kesit resmi



Şekil 1.13. Boyuna sistemde ile inşa edilmiş bir çift dip yapısının üç boyutlu modeli

1.3.3.1.3. Dip Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları

Gemiyi oluşturan yapı elemanlarını inceleyeceğimiz bu kısımda, günümüzde tek dipli gemi yapısına oranla kullanımı ve inşası daha çok ön planda olan çift dipli gemi yapısını oluşturan elemanlar, işlevleri ve yapının maruz kaldığı yükleri karşılamada nasıl katkılarda buldukları anlatılacaktır. Çift dip sacı, marcin levhası, marcin braketleri ve gasset levhaları haricinde çift dibi oluşturan yapı elemanları, tek dip yapısında da farklı isimler fakat aynı görevler ile buldukları için tek dibi oluşturan yapı elemanları ayrı başlık altında incelenmemiştir. Ayrıca çift dip yapısının elemanları boyuna posta sistemi ve enine posta sisteminde uzantı yönleri ve boyutsal farklılık gösterirler.

1.3.3.1.3.1. Omurgalar

Geçmişten günümüze gemi üretiminde vazgeçilmeyen en temel eleman gemi omurgası olmuştur. Gemiyi oluşturan yapı elemanları omurgadan bağlanmaya başlanarak tüm yapıyı oluşturmaktadır. Gemi omurgası, boyuna mukavemette son derece önemli rol oynar ve havuzlama sırasında dip tarafta oluşacak yerel yüklemelerinin etkin bir şekilde yayılmasını sağlar. Form açısından genellikle dört tip omurga kullanılmaktadır. Bunlar, levha omurga, lama omurga ve kanal omurga ve yalpa omurgası olarak adlandırılırlar.

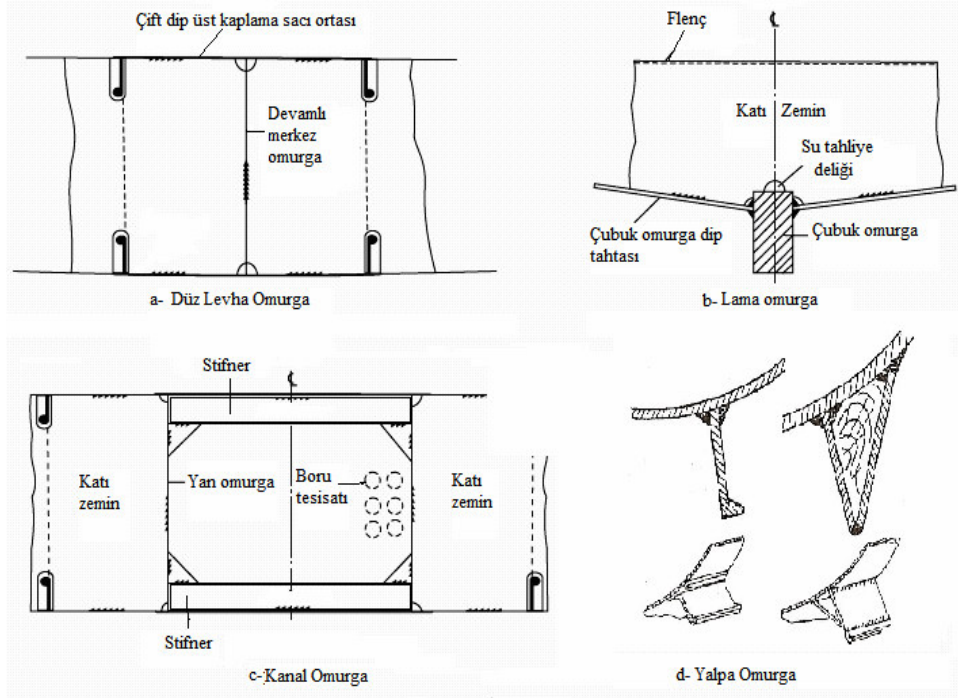
Aralarında en çok kullanılan omurga formu 'levha omurga'dır. Levha omurga saç levha şeklindedir. Bağımsız bir boyuna mukavemet elemanı olarak değil, merkez iç omurga ve çift dip sacı ile birlikte oluşturduğu 'I' kirişi şeklinde geminin boyuna mukavemetine katılır. Boyuna eğilme momentinin gemi sonlarında azalması nedeniyle bu I kirişinin boyutları sonlara doğru azaltılabilmektedir. İleride ayrıntılı olarak anlatılacak olan enine perdeler sayesinde bu kiriş ve gemi dibi su basıncına karşı korunurlar ve I kirişi uzun ve esnek bir kiriş olmaktan çıkarak daha rijid kısa kirişlerden oluşan bir seri kiriş halini alır.

Bir diğer omurga formu da 'lama omurga'dır. Önceleri bütün gemiler lama omurga ile inşa edilmekteydi fakat günümüzde yalnızca küçük boyutlu ve yelkenli gemiler, römorkörler ve balıkçı gemisi gibi özel amaçlı gemilerde kullanılmaktadır. Karaya oturma durumlarında malzemesinin ağır ve sağlam olması ve havuzlama sırasında doğan havuz basıncını uzun bir boyda döşeklerle iç omurgalara yayarak değişik gerilmeleri dağıtma

görevi görmesi sebebiyle kullanımı avantajlıdır. Fakat ek bir ağırlık olmaksızın draft artışına sebep olması da dezavantajdır.

Diğer bir omurga tipi olan kanal omurga, bazı gemilerin çift diplerinde bulunur ve makine dairesi ön perdesinden başlayıp, çatışma perdesine kadar uzanır. Çift dip boru sisteminin korunması ve taşınmasında yararlanır. Yük alındığında boru donanımına ulaşılabilir şekilde açıktır ve girişi makine dairesinin ön ucunda bulunur. Makine dairesinin arka tarafında şaft tüneli bulunduğu için böyle bir omurgaya gerek duyulmamaktadır.

Yalpa omurgaları, şiddetli deniz şartlarında geminin yalpasını azaltmak için kullanılmaktadır. Yalpayı azaltmaları yaralı iken, boyuna mukavemete katkıları olmamaktadır. Sintine dönümü üzerinde borda kaplamasına dike yakın doğrultuda geminin orta bölümünde ve belirli bir boyda bağlanan saçlardan yapılırlar. Levha ucuna yuvarlak lama kaynak edildiği gibi, düz levha yerine balblı lama veya Hollanda profili kullanılabilir. Şekil 1.14 de omurga formlarının kesit görünüşleri verilmiştir.

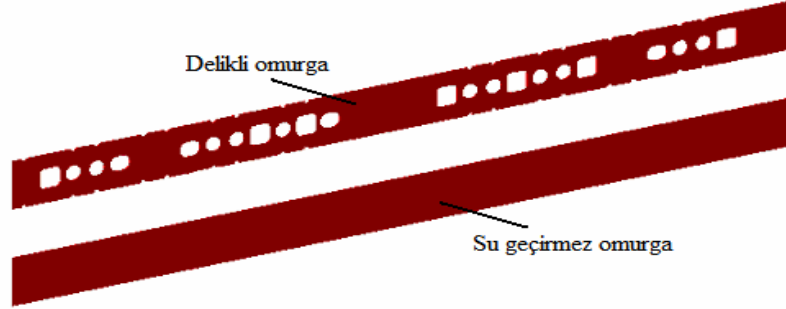


Şekil 1.14. Omurga formlarının kesit görünüşleri

Geminin merkezinde, merkez hat (center line) boyunca uzanan, levha omurgaya dik bağlanan omurgaya 'merkez omurga' denir. Merkez omurganın hemen yanındaki iskele ve

sancak taraflarında bulunan omurgalara ‘merkez yan omurga’, diğer yan omurgalara ise ‘yan iç omurga’ adı verilir. Borda bloğunda ise bu omurgalar ‘side omurga’ adını alır.

Omurgalar, geminin boyu doğrultusunda uzanan ana elemanlarındandır. Baş ve kıça doğru olabildiğince uzatılırlar. Borda bloğunda bulunan omurgalar dipte bulunan omurgalarla aynı yapıdadır, tek farkı yüzlerinin baktığı yöndür. Çift dipte bulunan omurgalar iskele ve sancağa bakarken, borda bloğunda bulunan omurgalar yukarı ve aşağıya bakarlar. Omurgalarda, hafifletme delikleri, adam geçme delikleri (manhole), hava ve su kanalları bulunur. Su geçirmez omurgalarda bu delikler bulunmaz. Düz dikdörtgen kesitli sac parçasından ibarettirler. Şekil 1.15 de gemi boyunca uzanan bu omurga tiplerinin perspektif görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1.15. Delikli ve su geçirmez omurgalar

Omurga yüksekliği ve kalınlığı klas kuruluşlarınca belirlenmiş hesaplamalara göre saptanır. Türk Loydu-2005 e göre, çift dip yapısındaki merkez omurga, yan iç omurga için yükseklik ve kalınlık değerleri aşağıdaki ampirik formüllerle belirlendiği gibi alınmalıdır.

Merkez omurga için;

$$h = 350 + 45 \cdot B \text{ (mm)} \quad (1)$$

$$h_{\min} = 600 \text{ (mm)}$$

$$t_{\min} = \frac{h}{h_a} \left\{ \frac{h}{100} + 1 \right\} \cdot \sqrt{k} \text{ (mm)}, 0,7L \text{ gemi ortasında } h \leq 1200 \text{ mm için,} \quad (2)$$

$$t_{\min} = \frac{h}{h_a} \left\{ \frac{h}{120} + 3 \right\} \cdot \sqrt{k} \text{ (mm)}, 0,7L \text{ gemi ortasında } h > 1200 \text{ mm için,} \quad (3)$$

h_a = Merkez omurganın fiili yüksekliği (mm)

k = Malzeme faktörü, normal mukavemetli gemi yapım çeliği için **1** olarak alınır.

Yan iç omurgalar için;

h = merkez iç omurga yüksekliği (mm)

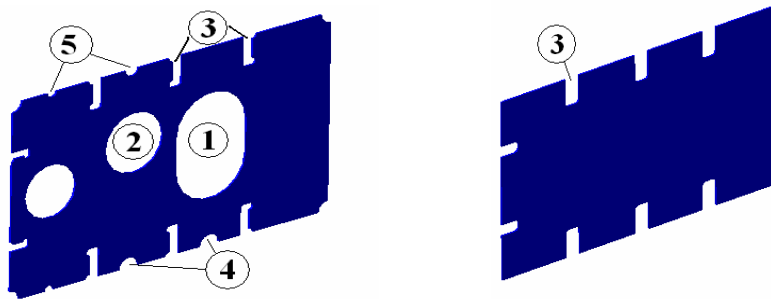
$$t = \frac{h^2}{120 \cdot h_a} \cdot \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (4)$$

Ayrıca yan iç omurgaların birbirlerinden, merkez iç omurgadan ve gemi bordasından uzaklığı; makina dairesinde ve makina temelleri içerisinde 1,8 m. den, bir yan iç omurga konulan yerlerde 4,5 m. den, iki yan iç omurga konulan yerlerde 4 m. den, üç yan iç omurga konulan yerlerde de 3,5 m. den büyük olmamalıdır.

1.3.3.1.3.2. Döşekler

Mukavemet yönünden önemli olan gemi dibinin etkili elemanlarından olan döşekler enine mukavemetin artmasını sağlarlar, havuzlama ve karaya oturma durumlarında omurgalara yardımcı olarak oluşan gerilmeleri karşılarlar. Düşey enine döşek levhaları, hem enine posta sisteminde hem de boyuna posta sisteminde, tek ve çift dipli yapılarda kullanılırlar.

Çift dip yapısında 3 tip döşek vardır. Bunlar su geçirmez döşek, dolu döşek ve braketli (boş) döşek adını alırlar. Şekil 1.16. da bu döşek türleri gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Dolu döşek ve su geçirmez döşek (1: Manhole 2: Hafifletme deliği
3: Hollanda cugulu 4: Su tahliye delikleri 5: Hava delikleri)

Su geçirmez döşekler, çift dip tanklarının sınırlarında ve su geçirmez perdelerin altında kullanılırlar. Bu döşeklerin levha kalınlıkları diğer döşek levhalarından 2 mm daha kalın olur.

Dolu döşekler, marcin braketleri ile postalara bağlanırlar. Geminin eni doğrultusunda merkez devamlı omurgadan sintine sacına kadar uzanırlar. Üzerlerine tanklar arasında dolaşabilmek için adam geçme (menhol) delikleri, mukavemeti değiştirmeyecek fakat ağırlıktan tasarruf sağlanacak şekilde hafifletme delikleri açılır. Ayrıca tankların bulunduğu kısımlarda, yine döşek levhalarının üst taraflarına havalandırma delikleri, alt taraflarına da su tahliye delikleri açılır. Bu döşekler, makine dairesinde, kazan temelleri altında, perde altlarında ve itme yataklarının altında her postada bir konulur. Geriye kalan kısımlarda da döşekler arası mesafe 3 m. yi geçmemelidir. Dolu döşeklerin boyutları yine Türk Loydu-2005'e göre aşağıdaki gibi belirlenir.

$$t_{pf} = t_m - 2 \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

$$A_w = \varepsilon \cdot T \cdot \ell \cdot e \left(1 - 2 \times \frac{y}{\ell}\right) \cdot k \quad (\text{cm}^2), \text{ döşek gövde kesit alanı} \quad (6)$$

e = dolu döşekler arası mesafe (m)

ℓ = Eğer varsa boyuna perdeler arası mesafe (m)

ℓ = B, Boyuna perde yoksa

y = Dolu döşegin mesnet noktaları (borda, boy perdesi) ile göz önüne alınan kesit arasındaki mesafe (m) ve y 0.4ℓ den büyük alınamaz.

$\varepsilon = 0,5$, makine dairesinde tam yüklü su çekimi durumunda boş kalan bölümler için

$\varepsilon = 0,3$, diğer kısımlar için

Boş (braketli) döşekler her postada bir dolu döşegin istenmediği durumlarda, dolu döşekler arasındaki diğer posta yerlerinde kullanılırlar. Bu döşekler, dip kaplamada dip postalar ve iç dipte iç dip postalarından meydana gelir ve bunlar merkez iç omurgaya, yan iç omurgaya ve bordaya braketlerle bağlanırlar. Boş döşekleri oluşturan enine dip ve iç dip postalarının özellikleri ve boyutları yine Türk Loydu-2005'e göre aşağıdaki gibi belirlenir.

Dip ve iç dip postalarının kesit modülleri aşağıdaki değerden az olamaz,

$$W = n \cdot c \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \cdot k \quad (\text{cm}^3) \quad (7)$$

p = Dizyn yükü, (kN/m^2), uygulandığı yere göre aşağıdaki gibi değişiklik gösterir.

Dip postaları için;

$$p = p_B = 10 \cdot T + p_0 \cdot c_F \quad (\text{kN/m}^2), \text{ gemi dip yükü,} \quad (8)$$

T = Draft,

p_0 = Ana dış dinamik yük,

c_F = Dağılım katsayısı

$$p_0 = 2,1 \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_o \cdot c_L \cdot f \quad (\text{kN/m}^2)$$

c_o = Dalga katsayısı

$$c_o = \left(\frac{L}{25} + 4,1 \right) \cdot c_{RW}, \quad L < 90 \text{ m için,}$$

$$c_o = \left\{ 10,75 - \left[\frac{300 - L}{100} \right]^{1,5} \right\} \cdot c_{RW}, \quad 90 \leq L \leq 300 \text{ m için,}$$

$$c_o = 10,75 \cdot c_{RW}, \quad 300 \leq L \leq 350 \text{ m için,}$$

$$c_o = \left\{ 10,75 - \left[\frac{L - 350}{150} \right]^{1,5} \right\} \cdot c_{RW}, \quad L > 350 \text{ m için}$$

c_L = Boy katsayısı

$$c_L = \sqrt{\frac{L}{90}}, \quad L < 90 \text{ m için} \quad \text{ve} \quad c_L = 1, \quad L > 90 \text{ m için}$$

İç dip postaları için;

$$p = p_i = 9,81 \cdot \frac{G^{**}}{V} \cdot h \cdot 8 \cdot (1 + a_v) \quad (\text{kN/m}^2), \text{ iç dip yükü} \quad (9)$$

G = Ambardaki kargo ağırlığı (t)

V = Ambar ağız hariç ambar hacmi (m^3)

** Bu oran aksi belirtilmedikçe 0.7 olarak kullanılır.

h = Ambar tam dolu olarak düşünüldüğünde iç dipten kargonun en üst ucuna kadar olan yükseklik (m)

a_v = İvme faktörü

p_i = Servis koşullarındaki tasarım basıncı

$p_2 =$ En büyük statik tasarım basıncı
veya

$$p = 10 \cdot (T - h_{db}) \quad (10)$$

$h_{DB} =$ Çift dip yüksekliği (m)

p_B, p_i, p_1, p_2 ve p değerlerinden büyük olanı kullanılır.

$n = 0,44$, $p = p_2$ ise,

$n = 0,55$, $p = p_i$ veya $p = p_1$ ise,

$n = 0,70$, $p = p_B$ ise,

$c = 0,60$, $\ell/2$ de payandalar konulmuş ise,
aksi halde $c = 1$ alınır.

$\ell =$ Payandalar göz önüne alınmaksızın, desteklenmeyen boy, (m)

1.3.3.1.3.3. Dip ve İç Dip Boyuna Postaları

Boyuna postalar, döşeklerden devamlı olarak geçerler. Gövdelerinin döşek gövdelerine bağlantısı mesnet tepkilerini iletecek şekilde yapılır. Boyuna postaların enine perdelerle kesilmesi durumunda perdenin her iki yanına aynı hizada braketler konularak devamlılık sağlanır. Uç tarafları, yine su geçirmez döşek ve perdelerle kesiliyorsa, boyuna postalar döşeklere, kalınlığı döşek levhası kalınlığında olan braketler ile bağlanırlar.

Boyuna postaların W_ℓ kesit modülü ve A_ℓ kesme alanı aşağıdaki değerlerden az olamaz;

$$W_\ell = \frac{83,3}{\sigma_{pr}} \cdot m \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3) \quad (11)$$

$$A = (1 - 0,817m_a) \cdot 0,05 \cdot a \cdot p \cdot \ell \cdot k \quad (\text{cm}^2) \quad (12)$$

$\sigma_{pr} =$ İzin verilen gerilme (N/mm²)

$p = p_B =$ Dip yükü (kN/m²)

$a =$ Postalar arası mesafe

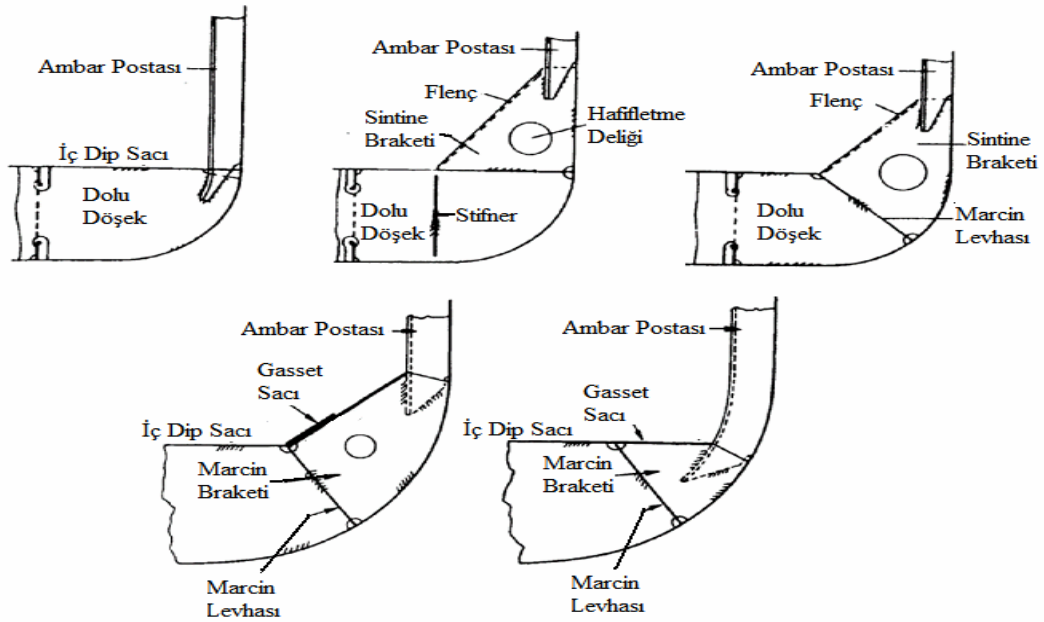
k = Malzeme faktörü

ℓ = Desteklenmeyen boy, (m)

1.3.3.1.3.4. Marcin Levhası, Gasset Sacı ve Braketler

Marcin levhası dış kaplamaya doğrudan bağlanan ve döşek ile sintine bakti bağlantısını sağlayan elemandır. Marcin levhasını eğimli yapmak gerekmediği için levha yatay bağlanabilmekte ve bu durumda marcin braketi sintine dönümü yarıçapının büyüklüğü ile çift dibin yüksekliği arasındaki orantıya bağlı olarak iç dip kaplamasının üstüne konulmaz ve dolu döşek yanı veya braketli döşegın yan braketi bu görevi görebilir. Marcin braketi üzerinde açılan hafifletme deliği sintine boşaltılması ve boru donanımları için kullanılmaktadır. Gasset sacı, dolu döşek ve marcin levhasına üstten yatay olarak bağ yapar. Gasset sacının görevi geminin enine mukavemetini artırmaktır. Ayrıca, yalpa ve burulma durumlarında meydana gelecek gerilmeleri karşılar. Özellikle makine dairelerinde titreşimler açısından önemi vardır.

Postanın bordaya bağlanma sistemlerini oluşturan marcin levhası, marcin braketi, döşek ve posta değişik yöntemlerle birleştirilirler. Şekil 1.17 de bunlardan bazıları gösterilmektedir.



Şekil 1.17. Marcin levhası, marcin braketi, döşek ve postaların farklı birleştirilme yöntemleri

1.3.3.1.3.5. Çift Dip Kaplaması – İç Dip Levhası

Çift dip saç kaplaması, çift dip yapısını oluşturan elemanların üzerini örten ve çift dip bloğunu tamamlayan ikinci bir dip kaplamasıdır. İç dip postaları ile desteklenirler. Orta kaplama sacı ve marcin levhalarının dışında kalan kısımlar genellikle en doğrultusunda yerleştirilmektedirler. Su akışını sağlayabilmek için bu saçlara ortadan bordalara doğru yukarı çok az eğim verilir. Türk Loydu-2005'e göre iç dip levha kalınlığı aşağıdaki değerden az seçilememektedir.

$$t = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} \cdot t_k \quad (\text{mm}) \text{ burada;} \quad (13)$$

p = Tasarım basıncı (kN/m^2), aşağıdaki değerlerden büyük olanı kullanılır.

$$p_1 = 10 \cdot (T - h_{DB}), \quad (14)$$

$$p_2 = 10 \cdot h, \quad (15)$$

$$p_3 = p_i,$$

h = İç dip üzerinden taşıntı borusu üstüne kadar olan yükseklik,

h_{DB} = Çift dip yüksekliği

t_k = Korozyon payı, Levha kalınlığı ≤ 10 mm ise $t_k = 1,5$ mm

$$\text{Levha kalınlığı} > 10 \text{ mm ise } t_k = \frac{0,1 \cdot t}{\sqrt{k}} + 0,5 \text{ mm, } t_{k\max} = 3 \text{ mm}$$

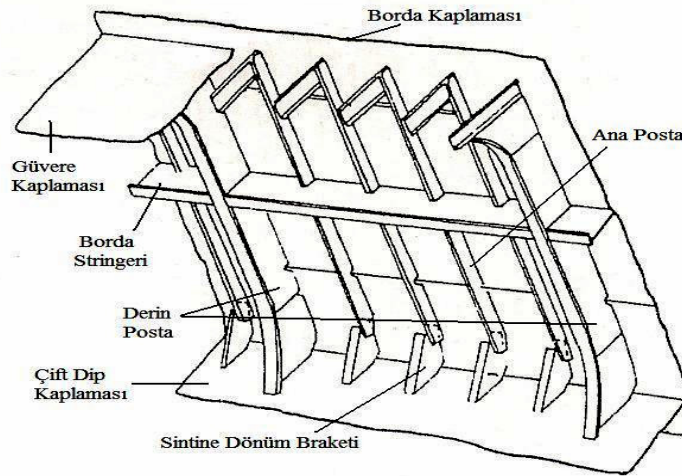
1.3.3.2. Borda Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları

1.3.3.2.1. Ana Postalar, Diğer Posta Tipleri ve Uç Bağlantıları

Ana postaların görevi, tekne kirişinin iki yan yüzünün mukavemetini artırmaktır. Postalar tekne kaplamasının eğilme ve bükülmesinin önüne geçmede önemli rol oynarlar. Genellikle gemi yapısında enine yönde yerleştirilen ana postalar kullanılır. Savaş gemilerinde ve tankerlerde boyuna yönde uzatılan posta sistemleri de kullanılabilir.

Bunun sebebi de daha az ağırlık ile daha fazla mukavemet sağlamaktır. Bu sisteme sahip gemilerde ya boyuna postalar çok kuvvetli yapılmalı yada enine derin postalar arası mesafe 3-5 m. ye kadar indirilmelidir. Bu sistemler normal yük gemilerinde tercih edilmezler. Çünkü yük yerleştirme ve elleçlemede kapasite problemleri yaşanabilir. Ancak tankerler ve dökme yük taşıyan gemilerde rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca, normal yük gemilerinin enine postalarla inşa edilmesi yükün daha kolay taşınması açısından daha iyi olmaktadır.

Günümüzde gemiler, güverte ve dipte boyuna, bordalarda ise enine posta sistemi ile inşa edilmektedirler. Bunun nedeni, tarafsız eksenden uzak olan dip ve güvertede boyuna gerilmeler fazla olduğu için boyuna posta sistemi burada daha uygun olmasıdır. Bordalarda ise her geminin etki altında olduğu enine zorlanmaya karşı koyması açısından enine posta sistemi daha uygundur. Ayrıca, bordadan çarpmalarda yaralanmayı önleme açısından enine sistem daha etkilidir. Şekil 1.18. de enine posta destekli bir borda yapısı kesiti gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Enine posta destekli bir borda yapısı kesiti

Normal postalar yanında ara postalar, derin postalar, baş gövde postaları, ara güverte postaları gibi özel posta tipleri vardır. Ara postalar ilave mukavemetin gerektiği yerlerde normal postaların arasında kullanılır. Derin postalar ise belirli aralıklarla yerine göre 4-5 postada bir konulan derin elemanlardır. Özellikle makine dairesinde titreşimler düşünülerek daha sık konulabilir. Ana postalar genellikle ana güverteye kadar uzatılır. Daha üst güverteler arasında ara güverte (gladora) postaları kullanılır. Baş bodoslamadan kıça doğru 0,15L uzunlukta bütün postalara braket takviyeleri kullanılır. Ayrıca ana postadan ara

postaya geçiş tasarımı da önem verilmesi gereken bir durumdur. Kullanılacak postaların gereken boyutları Türk Loydu-2005 e göre aşağıdaki formüller ile belirlenmektedir.

Uç bağlantılarını da içermek üzere postaların W_R kesit modülü aşağıdakinden az olmamalıdır.

$$W_R = n \cdot c \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \cdot c_r \cdot k \quad (\text{cm}^3), \text{ ana postalar için} \quad (16)$$

$$W_t = 0,55 \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \cdot c_r \cdot k \quad (\text{cm}^3), \text{ ara güverte ve üst yapı postaları için} \quad (17)$$

$$W = 0,55 \cdot e \cdot \ell^2 \cdot p \cdot n \cdot k \quad (\text{cm}^3), \text{ derin postalar için} \quad (18)$$

$$A_w = 0,05 \cdot e \cdot \ell_1 \cdot p \cdot k \quad (\text{cm}^2), \text{ derin postalar için mesnetlerdeki kesit alanı} \quad (19)$$

$$A_{RO} = (1 - 0,817m_a) \cdot 0,04 \cdot a \cdot p \cdot \ell \cdot k \quad (\text{cm}^2), \text{ ana posta üst uç kesme alanı} \quad (20)$$

$$A_{RU} = (1 - 0,817m_a) \cdot 0,07 \cdot a \cdot p \cdot \ell \cdot k \quad (\text{cm}^2), \text{ ana posta alt uç kesme alanı} \quad (21)$$

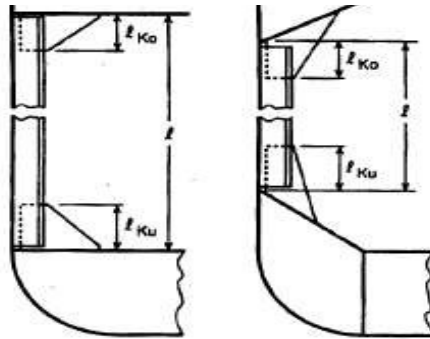
$$A_t = (1 - 0,817m_a) \cdot 0,05 \cdot a \cdot p \cdot \ell \cdot k \quad (\text{cm}^2), \text{ ara güverte, üst yapı postaları için} \quad (22)$$

$$n = 0,9 - 0,0035.L, \quad L < 100 \text{ m. için, ana postalarda} \quad (23)$$

$$n = 0,55, \quad L > 100 \text{ m. için, ana postalarda} \quad (24)$$

n = Derin postalarda çapraz bağlantı sayısına bağlı olarak çapraz bağlantı sayısı 0, 1, 2 ve >3 ise n sırasıyla, 1, 0.5, 0.3, 0.2 değerlerini alır.

$$c = 1 - \left(\frac{\ell_{Ku}}{\ell} + 0,4 \frac{\ell_{Ko}}{\ell} \right) \quad (25)$$



Şekil 1.19. Braket bağlantı mesafeleri

a = Postalar arası mesafe,

e = Derin postalar arası mesafe

ℓ = Postaların desteklenmeyen boyu,

$\ell_{\min} = 2 \text{ m}$

ℓ_1 = derin postalarda çapraz bağlantılar dikkate alındığında oluşan desteklenmeyen boy

$p = p_s$ = Gemi bordalarına etki eden dış yük (kN/m²)

c_r = Eğimli postalar için eğim faktörü, k = Malzeme faktörü

Ana postaların boyutları, mukavemet hesabı yapılarak belirleniyorsa, aşağıdaki müsade edilebilir gerilme değerleri aşılmamalıdır.

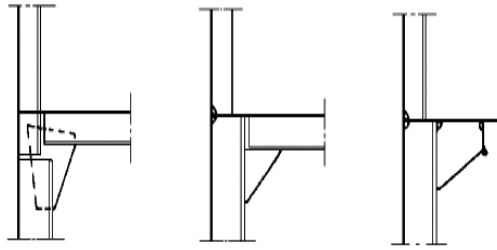
$$\text{Eğilme gerilmesi; } \sigma_b = 150/k \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (26)$$

$$\text{Kayma gerilmesi; } \tau = 100/k \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (27)$$

$$\text{Eşdeğer gerilme; } \sigma_v = 180/k \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (28)$$

Ara güverte ve üst yapı postaları, altlarındaki ana postalara veya güverteye bağlanırlar.

Bağlantı türleri Şekil 1.20 de gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Ara güverte ve üst yapı postaları ile altlarındaki ana postalara veya güverteye bağlantı şekilleri

Uç bağlantılar için; dip yapıya bağlantıyı sağlayan alt braket boyutları, ana posta kesit modülüne göre, güverte yapısına ve ara güverte postalarına bağlantıyı sağlayan üst braket boyutları, güverte kemerelerinin veya ara güverte postalarının kesit modüllerinden büyük olanına göre Türk Loydu-2005 te aşağıdaki gibi belirlenir. Kesit modülleri farklı profillerin birbirleri ile bağlanmalarında küçük olan profilin kesit modülüne göre hesap yapılır.

$$t = c \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} + t_k \text{ (mm)}, \quad t_{\min} = 6,5 \text{ (mm)} \quad (29)$$

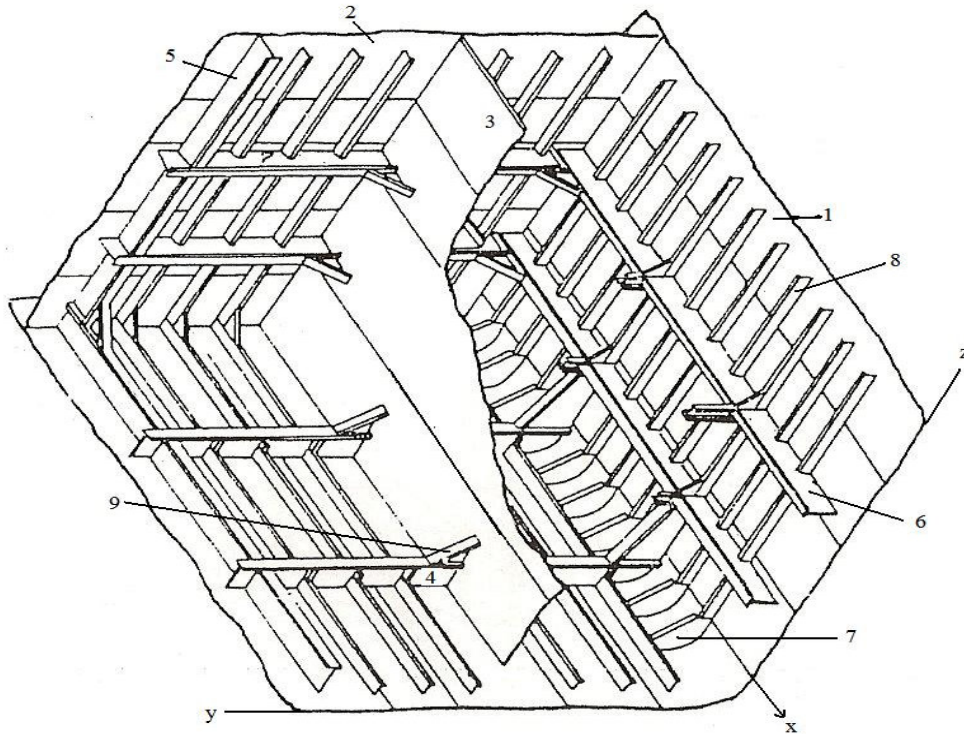
W = Küçük profilin kesit modülü (cm³)

$c = 0,95$, Flençli braketler için

$c = 1,2$, Flençsiz braketler için

1.3.3.2.2. Borda Stringerleri

Borda stringerlerinin temel fonksiyonları postaları eğilmeden korumalarıdır ve gemi postalarının desteklenmeyen aralık boyunu azaltmak amacıyla da kullanılır. Genellikle bir perdeden diğer perdeye kadar uzanırlar. Perdelere bağlantıları braketler ile olur. Genel olarak yatay durumda ve tarafsız eksene yakın oldukları için geminin bütün boyuna mukavemetine katılmazlar. Aynı zamanda, geminin belirli bölgelerinde tekne kaplamasının içeri göçmesine veya eğilmesine karşı yardımcı olur. Eğer postalar, boyuna sistemde inşa edilirse stringerler kullanılmazlar. Stringerlerin kullanımı gemi tipine göre de farklılık göstermektedir. Örneğin savaş gemilerinde perdelere daha güçlü bağlanarak kullanılır ve boyuna mukavemete katılırlar. Fakat ambar hacmini daraltacağı düşüncesiyle yük gemilerinde stringer kullanımı en aza indirilirken, postalar daha fazla mukavim olacak şekilde boyutlandırılır. Şekil 1.21 de borda stringerleri ile kuvvetlendirilmiş enine posta sistemli bir gemi kesiti gösterilmiştir.



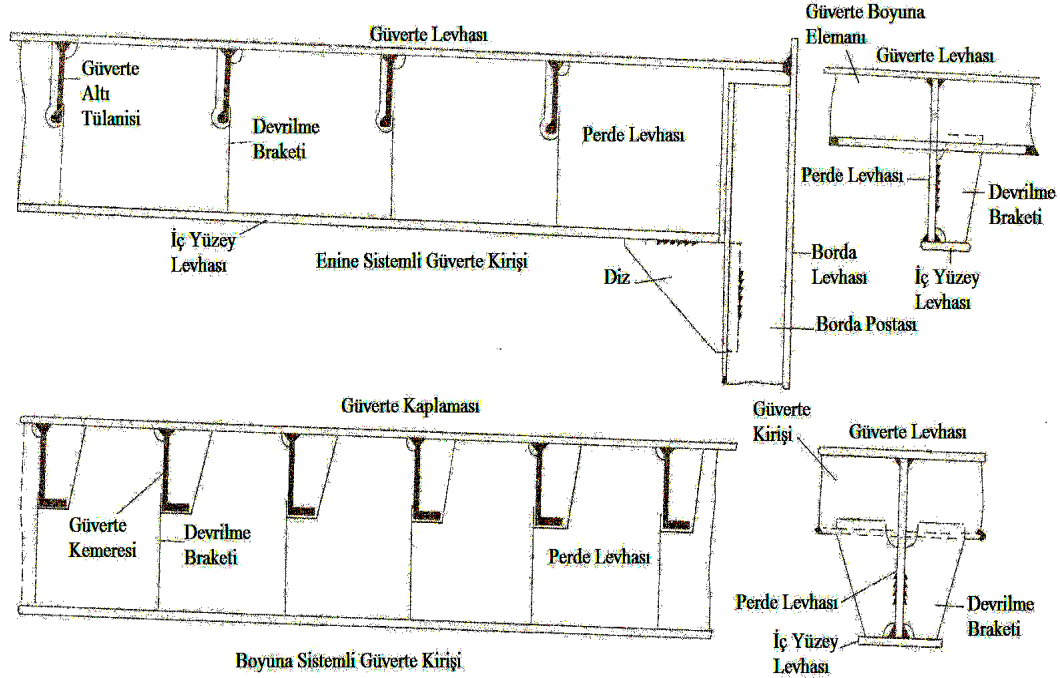
- | | | |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. Borda kaplaması | 4. Dip en takviyeli döşek | 7. Sintine dönüm braketi |
| 2. En perdesi | 5. Perde stifneri | 8. Enine borda ana postası |
| 3. Boy perdesi | 6. Borda stringeri | 9. Döşek-perde braketi |

Şekil 1.21. Borda stringerleri ile kuvvetlendirilmiş enine posta sistemli bir gemi kesiti

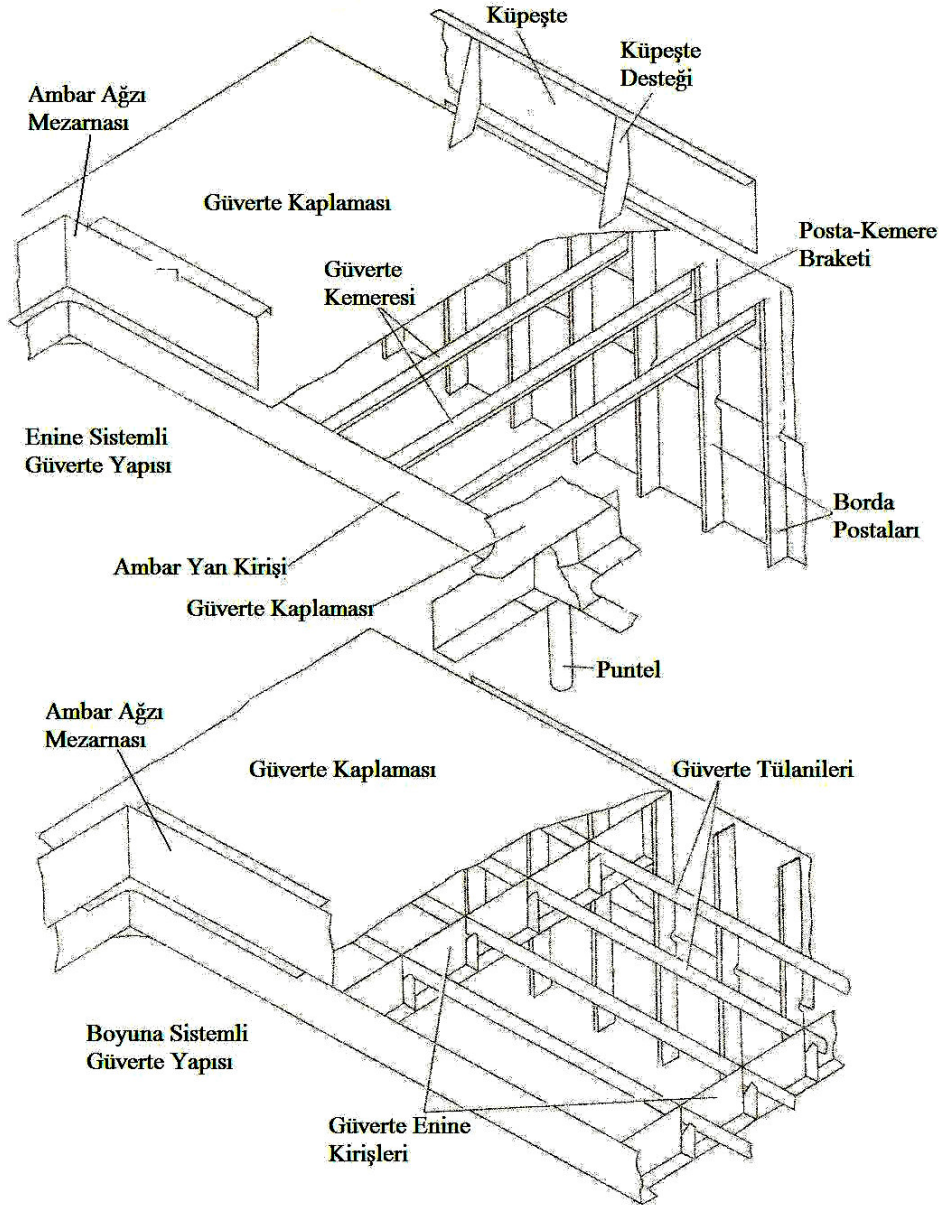
1.3.3.3. Güverte Bloğunu Oluşturan Yapı Elemanları

1.3.3.3.1. Güverteler

Geminin güvertesi çift dip kaplaması gibi geminin genişliğine ve boyuna devam eden yatay bir yüzeydir. Üst yapıların yerleştirildiği ana güverteden başka gemi tipine bağlı olarak alt ara güverteler de bulunur. Örnek olarak, yükün korunması ve yaşam mahallerinin oluşturulması için kullanılan ara güverteleri verilebilir. Alt güverteler her zaman devamlı olmayabilirler. Makine ve kazan dairelerinin bulunduğu yerlerde kesintiye uğrarlar. Bu durumda parçalanan güverte kısımları arasındaki mukavemet sürekliliğini borda stringerleri sağlar. Geminin boyuna mukavemetine tam olarak etki eden güverte yapıları, kısmen de enine mukavemete katılırlar. Güverteler, çift dipte olduğu gibi hem enine hem de boyuna sistemle desteklenebilir. Fakat, güverte açıklıklarının dışındaki yerlerde genellikle boyuna sistem tercih edilmektedir. Şekil 1.22. de enine ve boyuna sistemde inşa edilmiş güverte yapılarının kesit görünüşleri, Şekil 1.23 de ise bunların üç boyutlu perspektif görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Enine ve boyuna sistemde inşa edilmiş güverte yapılarının kesit görünüşleri



Şekil 1.23. Enine ve boyuna sistemde inşa edilmiş güverte yapılarının 3-boyutlu perspektif görünüşleri

Güverte kaplaması boyutları hesaplanırken boyuna mukavemete katılan ambar ağızları ve diğer güverte açıklıkları dışında kalan kısımlar dikkate alınır. Örneğin, ambar ağız kenarı ile borda arasında kalan kısım. Güvertelerin boyutlandırılması Türk Loydu-2005'e göre aşağıdaki gibi yapılabilmektedir.

Genellikle boyları $L < 65$ m. olan gemiler için, boyuna mukavemetin sağlanması istendiği zaman $0,4L$ gemi ortası içinde mukavemet güvertesi kesit alanı, minimum orta kesit modülü kurallarına göre hesaplanmalıdır. Buna göre;

$$W_{\min} = k \cdot c_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot c_{RS} \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3\text{)} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} c_0 &= \text{Dalga katsayısı} & L &= \text{Gemi boyu} \\ c_{RS} &= \text{Servis katsayısı} & B &= \text{Gemi genişliği} \\ c_B &= \text{Gemi blok katsayısı} \end{aligned}$$

Gemi ortası $0,4L$ de, ambar ağızları boyuna kenar hattının dışında kalan güverte kaplama levhasının kalınlığı, aşağıda verilen kalınlık değerlerinden büyük olanından az olmamalıdır.

$$t_{E1} = 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{p_D \cdot k} + t_k \text{ (mm)}, P_D = \text{Açık güverte yükü} \quad (31)$$

$$t_{E2} = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{p_L \cdot k} + t_k \text{ (mm)}, P_L = \text{Kargo güvertesi yükü} \quad (32)$$

$$t_{E\min} = (5,5 \pm 0,02L) \cdot \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (33)$$

$$t_{\min} = (4,5 + 0,05L) \cdot \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (34)$$

Boyları $L > 65$ m. olan gemiler için, mukavemet güvertesi kesit alanı, yine yukarıda olduğu gibi minimum orta kesit modülü kurallarına göre hesaplanmalıdır. Ayrıca, kalınlık hesabı aşağıda verilen kritik levha kalınlığı formülüne göre yapılır.

$$t_{\text{krit}} = c \cdot 2,32 \cdot a \cdot \sqrt{\sigma_{LB}} + t_k \text{ (mm)} \quad (35)$$

$$c = 0,5, \text{ Boyuna posta sistemi için}$$

$$c = \frac{1}{(1 + \alpha^2) \sqrt{F_1}}, \text{ Enine posta sistemi için} \quad (36)$$

$$\alpha = \text{İncelenen levhanın } a/\ell \text{ yan oranı}$$

σ_{LB} = Boyuna tekne kirişi eğilmesi nedeniyle maksimum basınç gerilmesi

ℓ = Levha panelinin uzun kenarı (m)

$F_1 = 1$, Düzeltme katsayısı, Boyuna posta sistemi için

1.3.3.3.2. Güverte Kemereleri

Borda kaplamasının postalar tarafından desteklenmesine benzer olarak güverte kaplamasını destekleyen elemanlardır. Ayrıca temel fonksiyonlarından birisi de iki borda arasındaki bağlantıyı kurmaktır. Genellikle her postada bir kemere konulur. Postalara bağlantıları posta-kemere braketleri ile olur. Güverte kemerelerinin yapısı için değişik köşebent tipleri kullanılabilir. Bunlara eşkenar köşebent, düz lama veya balblı lama örnek olarak verilebilir. Fakat, bunlardan başka ve en fazla kullanılanı Hollanda profilleridir. Bloğun boyuna veya enine sistemle inşa edilmesine bağlı olarak enine yada boyuna uzanırlar. Boyutları belirlenirken, güvertenin tipi, gemi genişliği, güverte üzerindeki yük durumu göz önüne alınması gereken unsurlardır. Türk Loydu-2005 aşağıdaki formüllerle boyutlandırılmalarını belirtmektedir.

Enine güverte kemereleri ve kaide hattı üzerinden $0,25H$ ile $0,75H$ arasında kalan boyuna kemerelerin W_d kesit modülleri ve A_d kesme alanları, aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır.

$$W_d = c \cdot a \cdot p \cdot \ell^2 \cdot k \quad (\text{cm}^3), \quad a = \text{Kemereler arası mesafe} \quad (37)$$

$$A_d = (1 - 0,817m_a) \cdot 0,05 \cdot a \cdot p \cdot \ell \cdot k \quad (\text{cm}^2), \quad p = \text{Güverte yükü} \quad (38)$$

$c = 0,55$ veya $c = 0,75$, bir ucundan veya iki ucundan basit mesnetli kabul edilen kemereler, boyuna ve enine kirişler için.

Kaide hattı üzerinden $0,25H$ nin altında veya $0,75H$ nin üzerinde yer alan güvertelerin boyuna kemerelerinin kesit modülleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$W_\ell = \frac{83,3}{\sigma_{pr}} \cdot m \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3) \quad (39)$$

$p = p_L$ veya $p_D =$ Kargo güvertelerinin veya ana güvertenin yükü (kN/m^2)

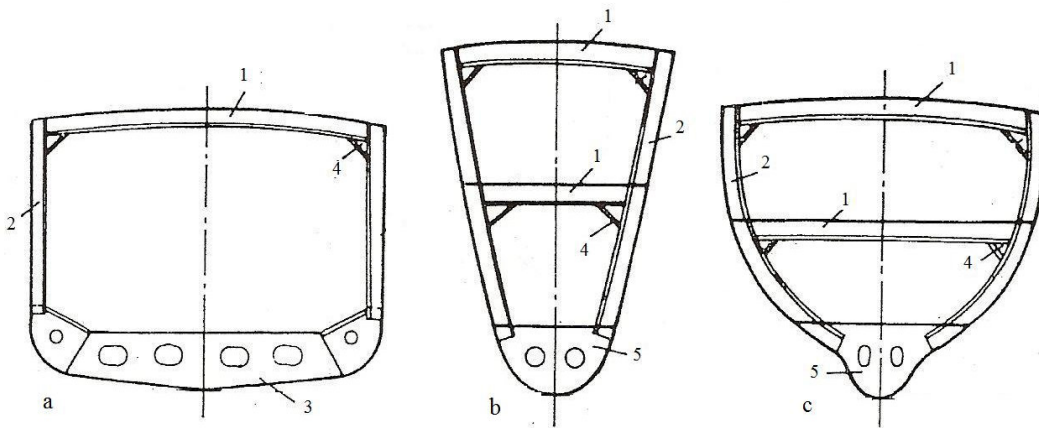
$\sigma_{pr} =$ İzin verilen gerilme (N/mm^2) $a =$ Kemereleler arası mesafe

$k =$ Malzeme faktörü , $\ell =$ Desteklenmeyen boy, (m)

Derin kemerelelerin kesit modülü aşağıdaki gibi olmayacak şekilde belirlenmelidir.

$$W_d = c \cdot e \cdot p \cdot \ell^2 \cdot k \quad (\text{cm}^3) , \quad a = \text{Desteklenen güverte genişliği (m)} \quad (40)$$

Döşek-posta- kemere ve bunları bağlayan braketler geminin enine yapı halkasını meydana getirirler. Belirli aralıklarla oluşturulmuş bu halkalar üzerindeki ana güverte ve diğer ara güverte kaplamaları ile geminin ana yapısı oluşur. Şekil 1.24 de bu halkadan örnekler gösterilmiştir. Kemere ve döşekler boy yönünde uzansa da en destekleri için derin elemanların oluşturduğu halkalar bu görevi görürler. Fakat, geminin tam anlamıyla mukavim olabilmesi için bu esas elemanların da diğer destek elemanları ile desteklenmeleri gerekmektedir. Yukarıda anlatılan borda stringerleri, punteller, güverte altı tulanileri ve diğer ayrıntı takviyeler bu yardımcı destek elemanlarını oluşturmaktadırlar. Bir bütün olarak geminin veya maruz kalınan çeşitli yüklerin etkilerinin önem arz ettiği yerel bağlantıların mukavemet ve titreşim analizleri yapılarak, elle yapılan çözüm sonuçları ve tecrübelerden elde edilmiş değerler ile kıyaslanır ve klas kuruluşlarının belirlediği sınır değerlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilebilmektedir.

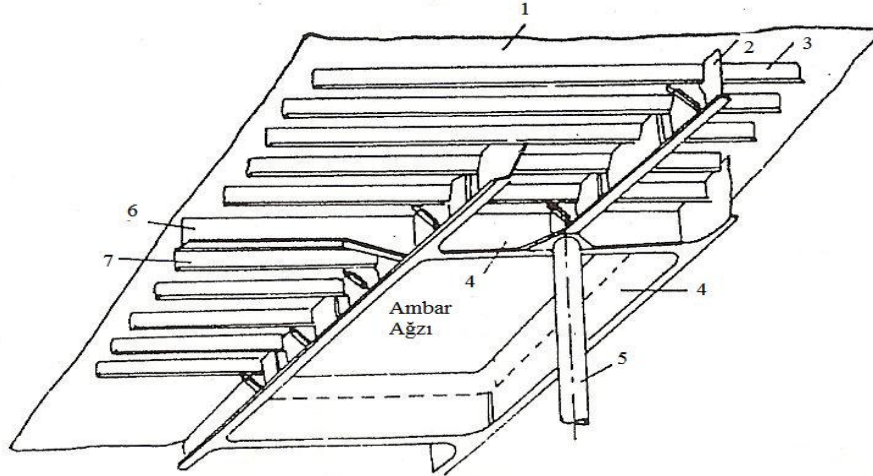


a. Orta kesit b. Baş gövde kesiti c. Kıç gövde kesiti
1. Güverte kemeresi 2. Ana posta 3. Döşek 4. Kemere braketleri 5. Döşek- Braket

Şekil 1.24. Döşek-posta- kemere ve bunları bağlayan braketler ile oluşan geminin enine yapı halkası

1.3.3.3. Punteller ve Güverte Altı Tülanileri

Güverteler, güverte sacını destekleyen ve taşıyan kemereler, kemere yüklerini postalara dağıtan posta-kemere braketleri ile bir bütün olarak düşünülür. Bu güverte bloğuna eklenen ek destek elemanları vardır. Bunlar kemerelere bağlanan punteller (dikme) ve yine kemereleri taşıyan güverte altı tülanileridir. Puntel, kendisini eğmeye çalışan kuvvet etkisindedir. Bu kuvvet geminin aldığı yükün ağırlığı ve puntelin gemi alt güvertelerinde bulunmasıyla artar. Puntelin boyutları ve sayısı üzerine etkiyen yüke, güverte tipine, punteller arası mesafeye ve gemi genişliğine bağlı olarak yapılır. Küçük teknelerde katı ve yuvarlak punteller vardır. Büyük gemilerde ise genellikle boru punteller kullanılır. Boru puntellerden başka özel olarak kullanılan levha punteller ve çok köşeli punteller de bulunur. Punteller ile güverte kemereleri arasındaki bağlantı, kemerelerin alt kenarlarına bağlanan ve gemi boyuna uzanan tülaniler ile sağlanır. Bunların boyutları da, puntel sayısı, gemi genişliği, tülaninin taşınmayan mesafesi (punteller arası mesafe) ve üzerine denk gelen yük ağırlığına göre hesaplanır. Şekil 1.25 de bir güverte bloğunun kesit görünüşü verilmiştir.



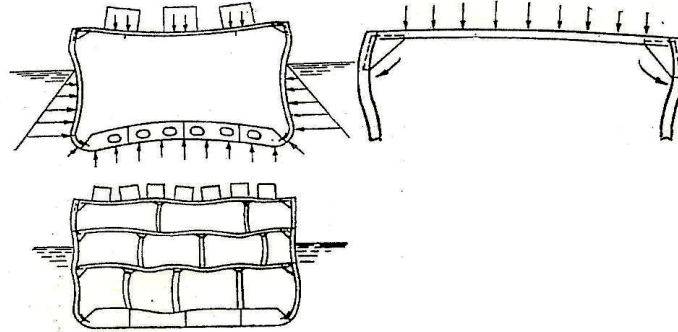
- | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| 1. Güverte kaplaması | 4. Ambarağzı kenarı | 7. Kesik kemere |
| 2. Güverte altı tülanisi | 5. Puntel | |
| 3. Güverte kemeresi | 6. Derin kemere | |

Şekil 1.25. Bir güverte bloğunun perspektif kesit görünüşü

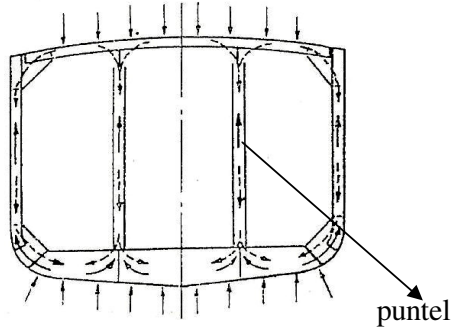
Bir güvertenin altına konan puntel yalnız kemerenin eğilmesini karşılamaz, aynı zamanda kemere braketlerinin ve bordadaki postaların mukavemetine katkıda bulunur. Güverte üzerindeki yük ele alındığında, puntel ve tülani arasında yükün taşınmasında fark şöyledir; bir puntel bütün üstteki güverteler üzerindeki yüklerin etkisi altında zorlanırken, bir

tülani ancak kendi güvertesi üzerindeki gelen yükün etkisiyle zorlanır. Tülaneler hesaplamalarda genellikle sonlarında serbest mesnetli ve puntel üstü gibi aradaki taşınma yerlerinde tam veya kısmen ankastre mesnetli kabul edilirler. Punteller ise bağlantı yeri ve durumuna göre, Euler'in düşey çubukların eğilmesi teorisine göre, iki ucu basit mesnetli, bir ucu basit bir ucu ankastre ve her iki ucu da ankastre bağlı kabul edilirler.

Örnek bir inceleme yapacak olursak; eğer punteller olmaz ise kesitte Şekil 1.26 da görüldüğü gibi deformasyon olur. Yük kemereyi eğerek ve braketlerin rijit bağları nedeniyle postanın üzerinde bir dönme meydana gelir. Dönen postanın üzerindeki gerilme, posta tarafından sintine dönümüne taşınır. Gemi dibindeki su basıncı tarafından oluşan kuvvet de dip ve döşekler tarafından sintine dönümüne gelir. Bu iki kuvvetin birleşmesiyle burada gerilme oluşur. Şekil 1.26 sırasıyla puntelsiz bir gemide ve iyi yerleştirilmemiş puntellerin bulunduğu bir gemide bahsedilen gerilmelerin neler doğurduğunu, Şekil 1.27 ise düzenli yerleştirilmiş puntel sistemine sahip geminin bu gerilmeler karşısında nasıl davrandığını göstermektedir.(Özalp, 1977)



Şekil 1.26. Puntel kullanılmadığı zaman yapıda oluşan bozulma



Şekil 1.27. Düzenli yerleştirilmiş puntelli yapının gerilmeler karşısında davranışı

Punteller ve güverte altı tülaneleri mukavemet güvertesi ve diğer alt güvertelerin taşınmasında ve desteklenmesinde çok önemlidirler. Geminin çoğunlukla maruz kaldığı alt taraftan ve üst taraftan gelecek basınç kuvvetlerine karşı konulmasında önemli rol oynarlar. Gemi tipi değiştiğinde, bu elemanların boyutlandırılması ve yerleştirilmesi de farklılık gösterir. Bu yüzden boyutlandırma hesaplarına özellikle dikkat edilmelidir. Fakat genel anlamda yerleşim durumları, kalınlık ve kesit alanı değerlerinde, Türk Loydu-2005 e göre aşağıdaki belirtilenlerin dışına çıkılmamalıdır.

Güverte altı tülanelerinin kesit modülleri en az,

$$W = k \cdot \ell \cdot N \text{ (cm}^3\text{)} \quad (41)$$

k = tülanelerin yerine göre değişen sabit

$k = 10$, boyuna mukavemete çalışan üst güverte tülaneleri için,

$k = 8$, boyuna mukavemete katılmayan üst güverte tülaneleri,

$k = 7$, diğer güverte tülaneleri

$$N = \ell \cdot B' \cdot p \quad (42)$$

ℓ = Tülanelerin taşınmayan boyu

B' = Tülanelerin taşıdığı güverte alanının genişliği

p = Güverte yükü (ana güverte, ara güverteler ve diğer güvertelere göre değişir)

Boru puntellerin et kalınlıkları en az;

$$t_w = 4,5 + 0,015 \cdot d_a \text{ (mm)}, \quad d_a \leq 300 \text{ mm} \quad (43)$$

$$t_w = 0,03 \cdot d_a \text{ (mm)}, \quad d_a \geq 300 \text{ mm} \quad (44)$$

d_a = Boru dış çapı (mm)

Puntelin kesit alanı en az;

$$A_{s,reg} = 10 \cdot P_s \cdot \sigma_p \text{ (cm}^2\text{)} \quad (45)$$

σ_p = Müsaade edilen basınç gerilmesi (Türk Loydu-2005 te ayrıntılı hesabı vardır)

$$P_s = p \cdot A + P_i, \text{ Puntel yükü (kN)} \quad (46)$$

p = Ana, ara veya açık güverte yükü (kN/m²)

A = Puntel için yük alanı (m²)

P_i = Puntele üstündeki diğer puntellerden aktarılan yük (kN)

1.3.3.4. Perdeler ve Stifnerler

Gemileri enine yada boyuna olarak bölmelere ayıran düşey levhalara genel olarak 'perde' denilir. Perdeler, su geçirmez perdeler, tank perdeleri ve geminin içersindeki yaşam mahallerini oluşturan adi perdeler olmak üzere üç ana başlıkta sınıflandırılır. Bunların temel amacı enine mukavemete katkı sağlamak ve yaralanma durumunda tüm geminin su almasını önlemektir. Bütün gemilerde bir adet baş çatışma perdesi, bir adet kış pik perdesi ve makine dairesinin baş ve kış sonlarında birer perde bulunması zorunludur. $L_c \leq 200$ m olan yük gemilerinde baş çatışma perdesi baş kaimeden en az $0,05L_c$ mesafede, $L_c > 200$ m olan yük gemilerinde ise bu mesafe en az 10 m olmalıdır. Ayrıca tüm yük gemilerinde bu mesafe en fazla $0,08L_c$ mesafeye yerleştirilmelidir (Türk Loydu-2005). Baş çatışma perdesi her zaman en üst ana güverteye kadar uzanır. Kış pik perdesi ise, su hattının üstünde kalan ilk güvertenin bir üstündeki güverteye kadar uzanır.

Su geçirmez perdeler, stifner adı verilen ve genellikle Hollanda profili olarak kullanılan profillerle desteklenirler. Bu elemanların sonlarındaki bağlantı şekli hesaplamalarda önem arz eder. Eğer, stifner sonları büyük braketlerle bağlanmışsa ankastre bağlı kabul edilirler, eğer braketsiz olarak kaynakla güverteye bağlanmışlarsa serbest uçlu mesnetlenmiş kabul edilirler. Stifnerlerin boyutları, aralarındaki mesafeye, desteklenmeyen boylarına, üst kenarlarından perde güvertesine olan mesafelerine ve sonlarının gemiye bağlantısına göre belirlenir. Boyutlandırmaları için Türk Loydu-2005 aşağıdaki formülleri önermektedir.

Perde levhaları kalınlığı en az;

$$t = c_p \cdot a \cdot \sqrt{p} + t_k \text{ (mm)}, \quad (47)$$

$$t_{\min} = 6 \cdot \sqrt{f} \text{ (mm) olmalıdır.} \quad (48)$$

$$p = 9,81 \cdot h \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (49)$$

t_k = Korozyon payı,

a = Stifner aralığı (m),

h = Yapının yük merkezinden, perde güvertesinin bordadaki kenarından veya çatışma perdesinin üst kenarından 1m yukarıdaki bir noktaya olan mesafe (m)

$$f = 235/R_{eH}, \quad R_{eH} = \text{Minimum akma değeri üst sınırı (N/mm}^2\text{)}$$

c_p = Perde levhaları için f ye bağlı katsayı

$$c_p = 1,1 \sqrt{f}, \text{ çatışma perdesi için,}$$

$$c_p = 0,9 \sqrt{f}, \text{ diğer perdeler için}$$

Perde stifnerlerinin kesit modülleri de en az;

$$W = c_s \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3) \quad \text{olmalıdır.} \quad (50)$$

c_s = Stifnerler için f ye bağlı katsayı

$c_s = 0,33 f$, her iki ucu ankastre,

$c_s = 0,45 f$, bir ucu basit mesnetli diğeri ankastre, → çatışma perdesi

$c_s = 0,66 f$, iki ucu basit mesnetli,

$c_s = 0,265 f$, her iki ucu ankastre,

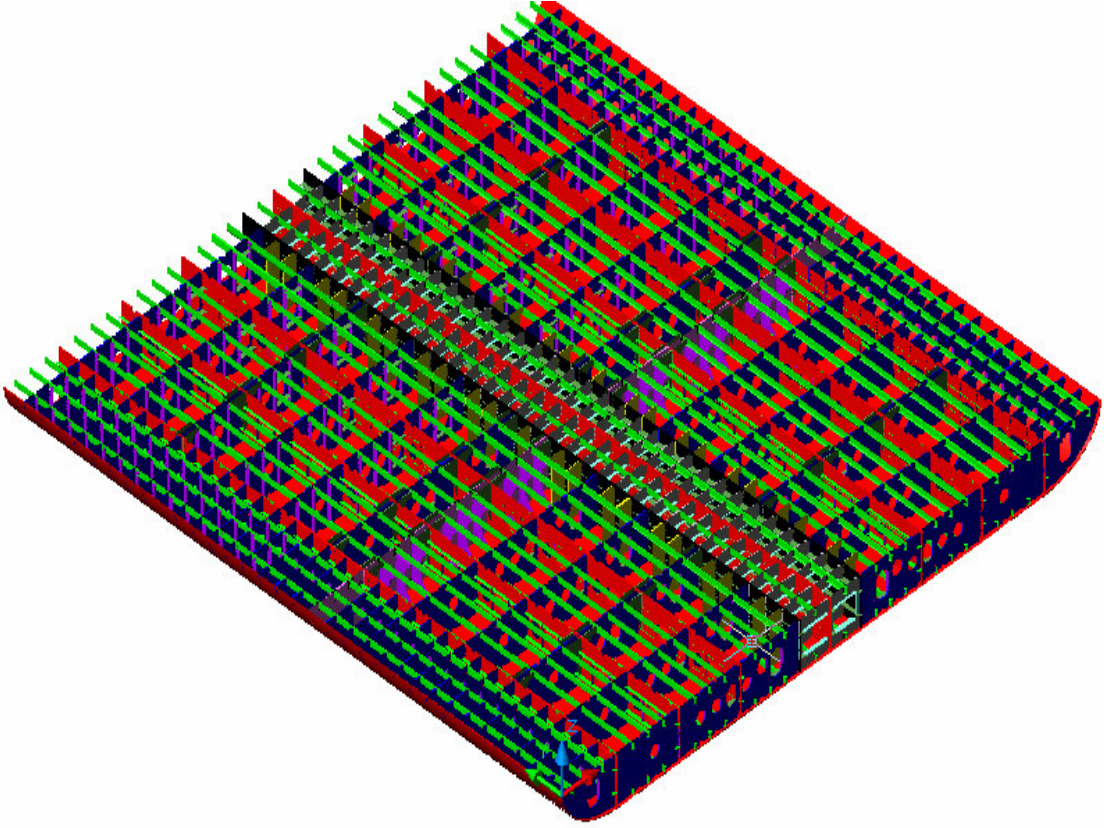
$c_s = 0,36 f$, bir ucu basit mesnetli diğeri ankastre, → diğer perdeler

$c_s = 0,53 f$, iki ucu basit mesnetli,

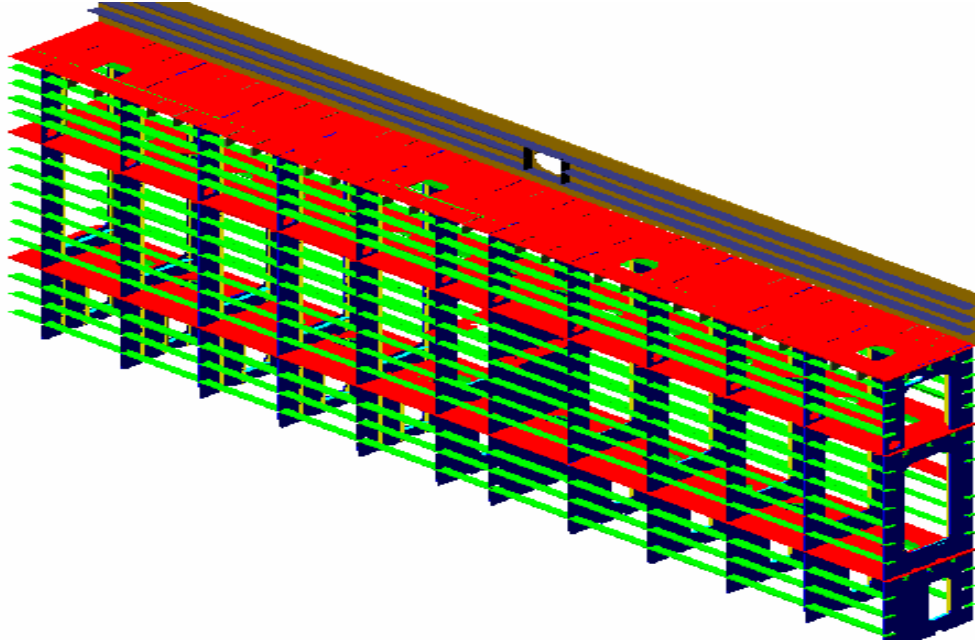
1.3.3.5. Gemi Kaplaması

Yukarıda anlatılan tüm yapı elemanlarının geminin mukavemetinde tek tek önemleri olduğu gibi, birbirlerine bağlanarak oluşturdukları yerel grupların da önemi çok büyüktür. Meydana gelen bu ayrı gruplar blokları oluşturdukları ve bu blokların da tüm gemiyi ortaya çıkardıkları düşünüldüğünde küçük gruplarda sağlanan mukavemet sürekliliğinin bloklar ve son olarak da tüm gemide sağlanması tasarım açısından en önemli kriterlerden birisidir. Genel gemi yapısının ve bu yapıyı oluşturan alt yapı elemanlarının incelendiği bu bölümün sonunda, anlatılanlar Şekil 1.28, Şekil 1.29 ve Şekil 1.30 daki örnek üç boyutlu blok resimleriyle özetlenmeye çalışılmıştır.

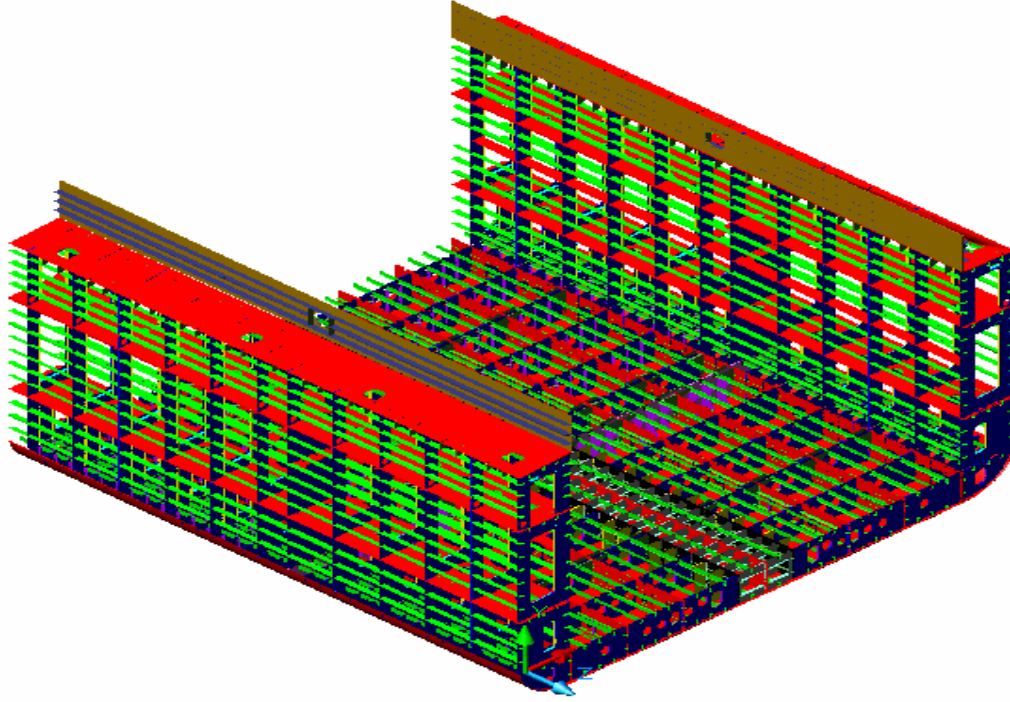
İlerleyen bölümlerde yapısal tasarımı etkileyen başlıca faktörler özetlenmiş, gemiye etki eden kuvvetler, bu kuvvetlerin yerel ve/veya tüm tekne girişinde doğuracağı gerilmeler ve şekil değiştirmeler ile oluşabilecek kırılma ve kopma durumları incelenmiştir.



Şekil 1.28. Boyuna posta sistemi ile inşa edilmiş çift dip yapısı



Şekil 1.29. Boyuna posta sistemli borda bloğu üç boyutlu gösterimi



Şekil 1.30. Gemiye oluşturan yapı elemanlarının üç boyutlu genel görünümü

1.3.4. Yapısal Tasarımı Etkileyen Faktörler

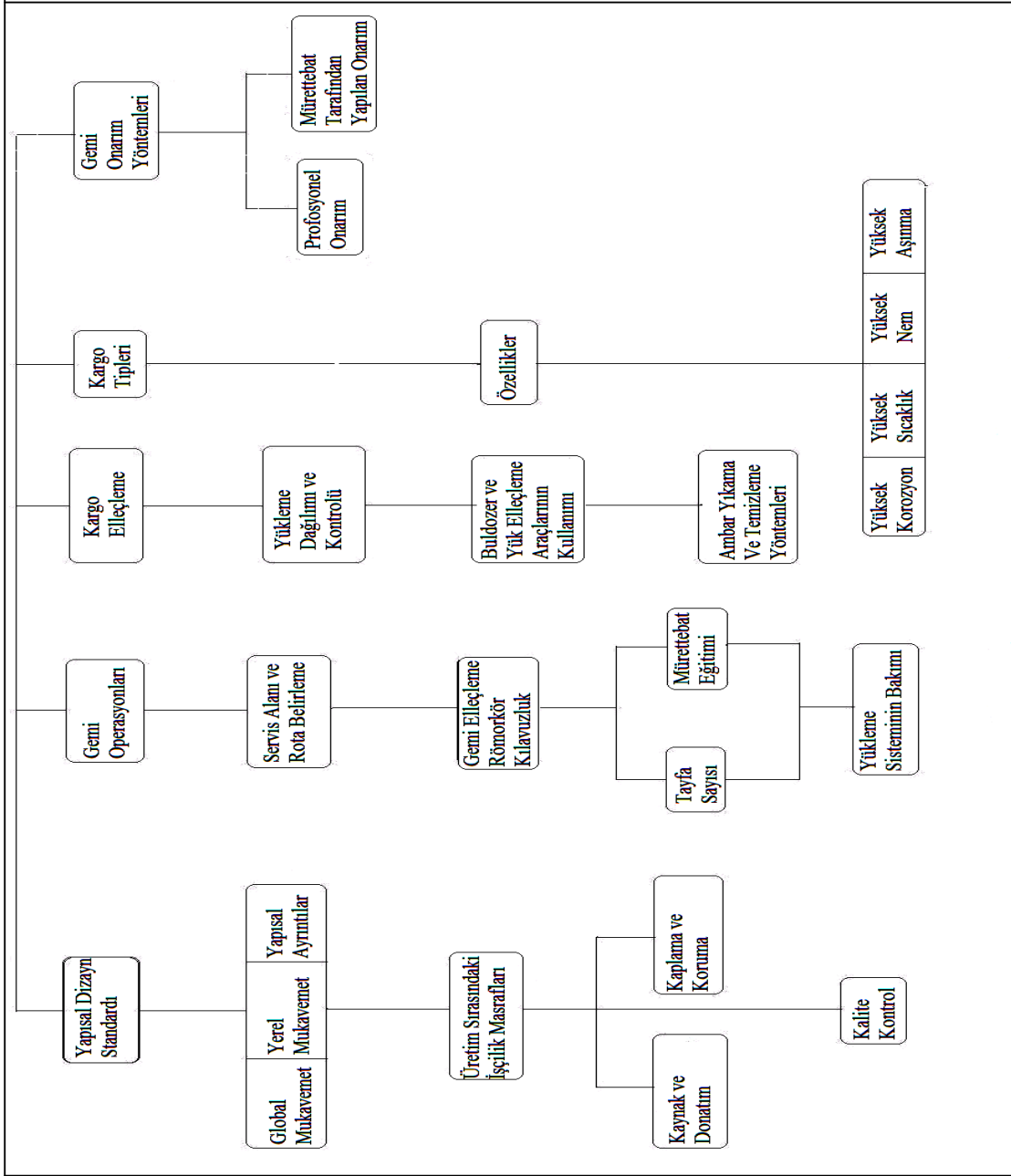
Yapısal tasarım kararlarının başlıca hedefini, üzerine etki eden kuvvetlerin tümüne karşı koyabilecek bir yapının geliştirilmesi oluşturmaktadır. Bu kuvvetlerin en önemlileri, gemilerin maruz kaldığı dalgalardan ve taşınan kargonun uyguladığı yüklerden dolayı meydana gelen eğilme momentleri ile kesme kuvvetleridir. Geminin ömrü boyunca bu yüklerle karşılaşacağı düşünülerek, yapısal elemanların boyutlandırılması, olası korozyon ve kırılma için kabulleri içermelidir. Mukavemet hesaplarında teorik yaklaşımların yanında çeşitli klas kuruluşlarının belirlediği pratik yöntemler de kullanılır. Fakat, klas kuralları çok karmaşıktır ve bu sebeple tasarımcılara katkısı fazla değildir. Buna rağmen, tasarımcılar tecrübelerine dayalı yaptıkları tasarımlarını tamamlamadan önce kontrol amaçlı olarak klas kurallarına başvururlar. Bunun yanında, Ansys ve benzeri bilgisayar programları yeni bir tasarımın boyutlandırılması aşamasında hemen hemen bütün işi görür. Ancak bu da, iyi bir tasarımcının ustalığını kullanarak, tasarım üzerinde iyileştirme yapmasına engel olmaktadır.

Klas kuruluşları, istenilen tipte yapısal tasarıma uygun çeşitli boyutlandırma kuralları belirlemektedirler. Fakat, çok ciddi bir sorun oluşturacak durum olmadıkça temel özellikleri değiştirmemektedirler. Oysa ki, yapılabilecek birkaç farklı değişiklik, yapının güvenilirliğini arttırabileceği gibi yapının daha basit bir şekilde inşa edilerek çelik ağırlığının azaltulmasını sağlayabilir.

Tasarımcılar ekonomik olmayı amaçladıkları için yapısal açıdan gereksiz fazlalıkları en aza indirmeye çalışırken, son zamanlardaki kazalar, aşırı çökmeler yaşanmadan, yapısal elemanların karşılayabileceği oranda, mukavemet kaybı yada azalma sağlayacak şekilde, bir miktar fazla yapısal eleman kullanılması gereğini akla getirmektedir. Tasarımda, yapının bazı kısımlarında, yerel mukavemet veya titreşim değerleri, diğer kısımlarında da eğilme limiti önemli olmaktadır. 1992 yılında, I.E.S.I.S raporunun, ‘ Dökme yük gemilerinin güvenliği’ başlıklı kısmı, gemilerin güvenliğine etki eden birçok faktörü kullanışlı bir hatırlatma olacak şekilde vermektedir. Raporda listelenen başlıca etki tipleri ve bunların etkili olduğu yerler şöyle sıralanmıştır.

- Ambar kapaklarının köşelerinde, ambar ağız mezarnalarında kırılmalar,
- Enine güverte şeritlerinde ve desteklenmiş yapılarda levha panel eğilmesi,
- Çift dip levhası ile yükleme boşaltma kovasının kesiştiği noktalarda kırılmalar,
- Yan postaların alt braketlerinde ve çift dip levhalarında, kreyn ve buldozerin sebep olduğu hasarlar,
- Ana postalar, braketler, enine perdelerde ve borda tanklarının içinde genel ve yerel korozyon,
- Borda tanklarının kış ve baş nihayetlerinde kırılmalar,

Şekil 1.31 de gemi güvenliğine ve güvenilirliğine etki eden faktörlerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.31. Gemi güvenilirliğine etki eden faktörler

1.3.4.1 Çelik Ağırlığının ve Çelik İşçilik Ücretinin Azaltılması

Yük taşıma kapasitesi için gerekli hacmin önemli olduğu yük gemilerinde, sınırlı draft değerine sahip olan gemilerde ve yüksek hız değeri istenen gemilerde çelik ağırlığının olabildiğince azaltılması önem taşımaktadır. Diğer gemi tiplerinde, malzeme masraflarının azaltılması için çelik ağırlığının en aza indirilmesi isteği ancak işçilik ücretlerinin,

malzeme masraflarının azaltılmasından elde edilen kazancı geçmeyecek ölçüde arttırılması ile mümkün olabilmektedir. Diğer taraftan, tasarım yönteminin basitleştirilmesi ile sağlanan inşa işçilik masraflarındaki azalma, çelik ağırlığının düşürülmesi ile sağlandığı takdirde fayda sağlamaktadır. Çelik ağırlığının azaltılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

1.3.4.1.1. Destek Elemanlarının Sık Aralıklarla Kullanılması

Enine ve boyuna elemanlarda aralık bırakılması çelik ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Birbirlerine oldukça yakın aralıkla kullanılmış enine ve boyuna destek elemanları toplam ağırlığı düşürmektedir. Fakat, bu durumda fazladan eklenecek elemanlar, daha fazla kesme ve kaynak işlemi gerektireceğinden işçilik masraflarının artması kaçınılmazdır.

1.3.4.1.2. Kesit Tipinin Seçimi

Yuvarlatılmış kesitlerin kullanılması önemli derecede işçilik masraflarını azaltmaktadır. Eğer bu tip kesit kullanılarak enine postaların, enine ve boyuna elemanların oldukça sık aralıklarla kullanılmaları, gerekli olan mukavemet modulünün elde edilmesi sağlanabilirse genellikle bu kesit tercih edilmektedir. Uzun T-elemanların sık kullanıldığı Admiralty tipi özel kesitler standart kesitlere oranla ton başına daha masraflı olmaktadır ve kullanılmasının önemli bir avantaj oluşturduğu yerlerde kullanılabilirler. Fazladan malzeme masraflarının olmasının yanında bu kesitlerin şekilleri dolayısıyla montajlarının zor olması dezavantajlarıdır. Düz yüzeye sahip asimetric kesitler aşamalı kaynaklanmış kiriş dirsekleri veya braketler ile birleştirilebilirler ve yapım masrafları açısından düşünüldüğünde genellikle tercih edilirler. Diğer taraftan, asimetric bulb levhaları ve dirsekler bası yükleri altında erken sarsıntılar doğurabilirler ve bu yüzden savaş gemilerinde genellikle simetric kesitler tercih edilmektedir.

1.3.4.1.3. Perdelerin Sık Aralıklarla Kullanılması

Dökme yük gemilerinde ve tankerlerde ana su geçirmez perdelerin sık aralıklı olmasının yanısıra, herhangi bir alt bölme ihtiyacı gerektiğinde perdeler, enine postaların aralığını arttıracak ve enine posta sayısını en aza indirecek şekilde, ambarların ve tankların boyları ayarlanarak yerleştirilirler.

1.3.4.1.4. Ambar Kapaklarının Düzenlenmesi

Geniş ambar açıklıklarına sahip gemilerde, sadece güverte levhası ve ambar mezarası dışında kalan ilgili boyuna elemanlar tekne kirişinin üst kenarını oluşturmaktadır. Yapısal etkinlik ve çelik işçiliğinde ekonomiklik açısından bakıldığında, ambar açıklıkları en etkin kargo elleçlenmesini sağlayacak genişlikten fazla geniş yapılmamalıdır.

Son yıllardaki dökme yük gemilerinin kazaları, ambar kapaklarının mukavemetine ve kötü deniz şartlarında su geçirmezliği sürdürmelerine eskiden olduğundan daha fazla önem gösterilmesi gerektiğini göstermektedir.

1.3.4.1.5. Yüksek Gerilmeli Çelik Kullanılması

Yüksek gerilme değerine sahip çeliğin özellikle büyük gemilerde kullanılması çelik ağırlığının azaltılmasının en iyi yollarından birisidir. Ton başına çelik masrafı yüksek olmasına rağmen, azaltılan tonaj toplam malzeme masrafının da azaltılması anlamına gelmektedir. Ayrıca aynı durumda işçilik masraflarında da azalma sağlanabilmektedir. Yüksek gerilmeli çelik kullanımının tercih edilmesinin işçilik masraflarında istenilen azalmayı sağlaması, kullanılan çeliğin ne kadarının özel ısıtma gerektiren yüksek kalite ve istenilen kalınlıkta olduğuna bağlıdır. Bu tür çelik kullanılarak oluşturulan ince yapısal elemanlardan inşa edilen yapı yüksek oranda yorulma ve korozyon riski taşımaktadır.

1.3.4.1.6. Oluklu Yapıların Kullanılması

Enine perdelerde oluklu yapının tercih edilmesi, gemilerde çelik ağırlığının ve işçilik masraflarının azaltılmasını sağlamaktadır. Fakat, taşınan yük sıvı veya olukların arasına istiflenebilecek şekilde parçalanabilen katı yük olmadıkça kargo kapasitesinin kullanılması açısından istenilen kazanç sağlanamamaktadır. Bir ambarda kullanılan ondüla perdenin onarımı Şekil 1.32 de gösterilmiştir.



Şekil 1.32. Bir gemi ambarında ondüla perdenin onarım çalışması

1.3.4.2. Yapısal Tasarımı Etkileyen Diğer Faktörler

Yapısal mukavemet, ağırlık ve işçilik masraflarından başka, iyi bir tasarım için önem arz eden fakat her zaman yeteri kadar dikkate alınamayan birkaç faktör daha bulunmaktadır.

1.3.4.2.1. Yapısal Süreksizliklerden Kaçınılması

Yapısal süreksizliklerin meydana geldiği taslak genel yerleşim planının çizimi sırasında, uçlarının süreksizlikler oluşturduğu yapıların tip, uzunluk ve pozisyonlarının dikkatle belirlenmesi ile bu süreksizliklerin en aza indirilebilmesine olanak sağlanır.

Çok büyük gemiler hariç tüm gemilerde denizcilik özellikleri açısından bakıldığında baş kasara önemli iken, küçük gemiler için de geminin kığı önemli olabilmektedir. Fakat, kık ve baş kasaranın uçları gemi ortasından oldukça uzakta olduğu için önemli bir yapısal problem oluşturmamaktadırlar. Gemi ortasının yakınlarında bordadan bordaya bir yapıdan

kaçınılmalıdır. Fakat önemli bir yerleşim özelliğine sahip ise olabildiğince uzun yapılmalıdır. Bunun iki sebebi vardır.

1. Yapının uçları geminin ortasından uzakta olacağı için süreksizlikten doğacak gerilme en aza indirilebilmektedir.
2. Boyuna mukavemete katılmasıyla maksimum değer elde edilmektedir.

1.3.4.2.2. Titreşimin Azaltılması

Titreşimi azaltmanın veya önlemenin en etkin yollarından birisi, konsol tipi veya serbest olan uçları birbiriyle temas halinde olan ve beraber birbirlerinin yükünü taşımayan yapıları kullanmaktan kaçınmaktır. Eğer kullanılması gerekiyorsa da mutlaka bir destek elemanı kullanılarak doğal titreşiminin önlenmesi yoluna gidilmelidir. Bu şekilde davranışa sahip olan ve dikkat edilmesi gereken yapılara köprü kanatları, gemi direkleri, vinç ayakları örnek verilebilir. Titreşimi önlemenin ve gerilme yığılmalarından kaçınmanın yollarından birisi de üstyapı güverte evlerinin sonlarının, çelik çerçevelerin veya perdelerin üzerine denk getirilmesidir. Güverte evlerinin uç tarafına yakın yerlerde açıklıklardan kaçınılmalıdır. Güverte evlerinin bulunduğu bölümlerin, üst güverteyi destekleyen boyuna perdeler, kirişler veya boyuna elemanlar ile düzenlenmesi gerekirken, üst yapılarda da, perdelerle düzenlenmiş çerçeve yapıların bulunması titreşimi azaltmada istenilen bir durumdur.

1.3.4.3. Çeşitli Gemi Tiplerine Özgü Dikkate Alınması Gereken Mukavemet Durumları

Gemilerin yapısal özelliklerine az yada çok oranda etki eden, bilinen durumlardan ayrı olarak, hızlı kargo gemileri, büyük yolcu gemileri, savaş gemileri, konteyner gemileri, LNG ve dökme yük gemileri gibi farklı tip gemiler için geçerli olan bazı özel durumlar mevcuttur.

1.3.4.3.1. Hızlı Kargo Gemileri

Hızlı kargo gemilerinin narin yapıya sahip olması, üst güvertede, geminin baş kısmında ambar ağzının özellikle baş taraftaki köşelerinde malzeme eksikliği sonucunu

doğurmaktadır. Bu bölge civarındaki yerel yapısal kısımlarda, bazı durumlarda tüm pruva bölümünün kaybedilebildiği hasarlar meydana gelmektedir. Klas kuruluşları, geminin hızına ve kesit şekline bağlı olan özel mukavemet şartları getirmektedirler. Ayrıca, deneyimli tasarımcılar da, böyle durumlardan kaçınmaya çalışmaktadırlar. Aşırı ağır baş flare yapımından kaçınılmalıdır. Çünkü, bu durum bazı gemilerde kayda değer hasarlar meydana getirebilen baş vurma hareketine sebep olmaktadır.

1.3.4.3.2. Büyük Yolcu Gemileri

Birçok gemi tipinde, gövde çerçevesinin üst kenarını oluşturan güverte, kendisine oranla daha kısa olan ve hemen üstünde bulunan üst binasıyla birlikte açıkça görülmektedir. Gemi boyuna oranla kısa olan bu üst yapılar boyuna mukavemete etki etmezler ve nihayetinde oldukça hafif yapılmaktadırlar. Fakat, yolcu gemilerinde durum bunun tam tersidir ve neredeyse bütün gemi boyunca uzanan bir üst bina kütlesi bulunmaktadır. II. Dünya Savaşından önce inşa edilen yolcu gemilerinde, üst yapıların oluşturduğu gerilmeleri düşürmek amacıyla bunların genişleyen noktalarda uygulanarak güverteye birleştirilmeleri yoluna gidilmiştir. II. Dünya Savaş'ından sonra ise üst yapılar için ana malzeme olarak alüminyum kullanılmıştır. Bu malzemenin kullanılmasının ana nedeni, ağırlığının hafif olması ve stabilite göz önüne alındığında ağırlık merkezinin düşey konumunun limitlerine bağlı kalınarak daha büyük boyutlarda inşa edilebilecek üst yapılara imkan tanınmasının yanında, alüminyumun çelikten daha düşük Young modülü (Malzeme Elastisite Modülü) değerine sahip olması nedeniyle iki malzemenin birleşimine ve önceki gemilerin genişleyen kısımlarındaki birleştirmelerdeki tepkilerin sağlanmasına uygun olmasıdır. Alüminyumun kullanımından, düşük erime noktaları nedeniyle yangın durumunda yapısal çökme tehlikesine sahip olmaları ve deniz içersinde yorulma özelliklerinin kötü olması sebepleriyle vazgeçilmiştir. Günümüz yolcu gemilerinde, daha ekonomik ürün arayışındaki tasarımcılar, pruvanın hemen sonrasında başlayıp kıç tarafa kadar uzayan ve birkaç kattan oluşan geniş üst yapılar yerleştirmektedirler. Bazı yolcu gemilerinde kasara güverte seviyesinde kalan üst yapıların yan tarafları, yaşam botlarını yerleştirmek için gemi bordalarından daha açıkta olacak şekilde tasarlanmaktadırlar. Bu şekilde tasarımın, yolcuların güvenliği açısından yaşam botlarının gerektiğinde denize indirilmesini geliştirmek, daha fazla yaşam alanı oluşturabilmek için üst tarafın ağırlığını azaltmak ve üst güverteleri yolcular için daha hoş hale getirmek gibi avantajları

bulunmaktadır. Bu tasarım kararları ile birlikte tasarımcılar, geminin boyuna mukavemetine katılacak en uygun üst yapıyı oluşturmayı da istemektedirler. Bunun için de sonlu elemanlar hesaplamalarını kullanmaya başlamışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi, güverte evlerindeki açıklıklar, güverte evlerinin desteklendiği güvertenin rijitliği ve bunların üç boyutlu etkilerinden meydana gelen karışık problemlerin çözümünde kullanılabilir.

Yolcu gemilerinin karmaşıklığı yanında pencereler ve bordadaki açıklıklar gibi çok sayıda açıklığın ve düşük dirence sahip güvertenin oluşu daha karmaşık bir davranış meydana getirmektedir. Rasyonel yaklaşım kuvvetlerin dağılımının gerçek durumunun belirlenmesi ve karmaşık davranış yapısının modellenmesi için önemlidir. Geniş açıklıklar ve süreksizlikler nedeniyle oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler iki önemli sorunu oluşturur. Yine bu geniş açıklıklar nedeniyle, borda levhalarında kayma gerilmeleri liner değildir. Bu da, ana giriş eğilme denkleminin geçerli olmayacağı anlamına gelmektedir. Günümüzde, yolcu gemilerinin tasarımında genellikle üç boyutlu sonlu eleman analizleri uygulanmaktadır.

1.3.4.3.3. Savaş Gemileri (Fırkateyn ve Korvetler)

Her donanmanın kendine ait yapısal tasarım kodları olduğu için, ticari gemilerin klaslama kuruluşlarının kurallarının ayrıntılı ve kullanılabilir şekilde sektörde bulunabildiği kadar deşifre edilmemektedir. Savaş gemilerinin özellikle fırkateyn ve korvet gemilerinin ince gövdelerine deniz tarafından uygulanan en önemli zorlama, gövde girişinin düşey eğilmesidir (Clarke,1986). Bu durum, güverte ve dip yapılarda, limitlerinin aşılmasından kaçınılan eğilme, kırılma, yorulma gibi sonuçlar doğuracak değişken bası ve çeki gerilmeleri oluşturmaktadır. Fırkateyn ve korvet tipi savaş gemilerinde en kritik faktör bası altındaki üst güvertenin mukavemetidir. Güvertedeki basının diptekinden oldukça fazla olduğu ve kritik durumun arttığı düşünüldüğünde, hidrostatik yükün karşılanabilmesi için dipteki yapının güverte yapısından daha ağır olması gerekmektedir.

Dip yapı çökme durumundan doğan eğilme momentine karşı, güverte yapısının sarkmadan doğan eğilme momentine karşı göstereceği dirençten daha iyi direnç gösterebilmektedir. Ayrıca, gövde formu genellikle, sarkma durumundan doğan dalga eğilme momentinin, çökmeden oluşan eğilme momentinden daha büyük olmasına ve başkıcı vurma hareketi de sarkmadan doğan eğilme momentine sebep olmaktadır. Bir savaş

gemisinin durgun sudaki eğilme momenti, dalgalı sudaki eğilme momenti ile karşılaştırıldığında daha küçük olmaktadır. Fakat tasarımın çökme durumundan oluşan durgun su eğilme momenti durumuna göre yapılması problemin çözümü için bir seçenek olmaktadır.

Üst yapılar, bazı öngörülü mühendislerin, operasyon sırasında zarar görebilecekleri ve servis halindeyken onarımları gerektiği olasılıklarını düşünerek mukavemet hesaplarında yok saymalarına rağmen, gerektiği takdirde geminin mukavemeti için önemli rol oynarlar. Boyuna mukavemete katılacak üst yapıların olabildiğince uzun yapılmaları gerekmektedir. Fakat, genellikle gövdeyi olabildiğince geniş tutma, üst yapıyı minimuma indirme ve üst yapıyı boyuna mukavemet hesaplamasına dahil etmeme düşüncesi ağır basmaktadır.

Savaş gemileri ile ticari gemiler arasındaki farklardan birisi, savaş gemilerinde birkaç tane kesitin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekirken, ticari gemilerde sadece orta kesitin ayrıntılı olarak incelenmesinin yeterli olmasıdır. Bu gereksinim savaş gemilerinin formu nedeniyle değişiklik gösteren kesitlerinin bulunmasından ve geniş açıklıkların olduğu ve üst yapıların sonlarında gerekli mukavemet değerlerinin kısmen sağlanabilmesinden ortaya çıkmaktadır. Savaş gemilerinde ticari gemilerle karşılaştırıldığında daha az geniş güverte açıklıklarına sahip olması burulmanın bu tip gemilerde nadiren problem yaratacağı anlamı taşımaktadır. Güverteler ve perdeler yanal kuvvetlerin problem oluşturmasını önlemektedir.

1.3.4.3.4. Konteyner Gemileri

5000-6000 TEU'luk bir konteyner gemisinin tasarımında 40 m. lik kiriş kullanılması, geniş güverte açıklığına sahip bu gemilerin standart burkulma problemlerini arttırmaktadır. Ambar kenarlarındaki burkulma mukavemeti ve eşdeğer gerilmelerin sınırlandırılması ana gövde yapısının mukavemetinin hesabında başlıca göz önüne alınması gereken hususlardır. Borda cidarlarında ve çift dipte çok hücreli yapılar kullanılmalıdır. Ayrıca, burkulma momenti dağılımı da dikkatlice hesaplanmalıdır.

1.3.4.3.5. LNG Gemileri ve Dökme Yük Gemileri

LNG gemilerinde başlıca sorunları tanklar ve bu tankların destek ayakları oluşturur. Hacim değişimi, ısı izolasyonu ve sızdırmazlık önemli faktörlerdir. Belirli tank tipleri, bağımsız tanklar, mambran tanklar, yarı-mambran tanklar ve tek parça tanklardır. Bunlardan sonuncusu hariç kendi içerisinde desteklenmişler ve tüm mukavemet için gerekli değildirler. Bu tanklar ayaklar tarafından destekleniyorsa, bu ayakların tasarımı ayrı bir önem gerektirir.

Dökme yük gemileri için temel problemlerin oluşma sebepleri bakım-onarım eksikliği, aşırı korozyon ve yorulmadır. Bu gemilerin zayıf noktası, borda levhasının alt kısmı ile sintine dönümünün üst kısmının birleştiği yerdir.

2. YAPISAL ANALİZ

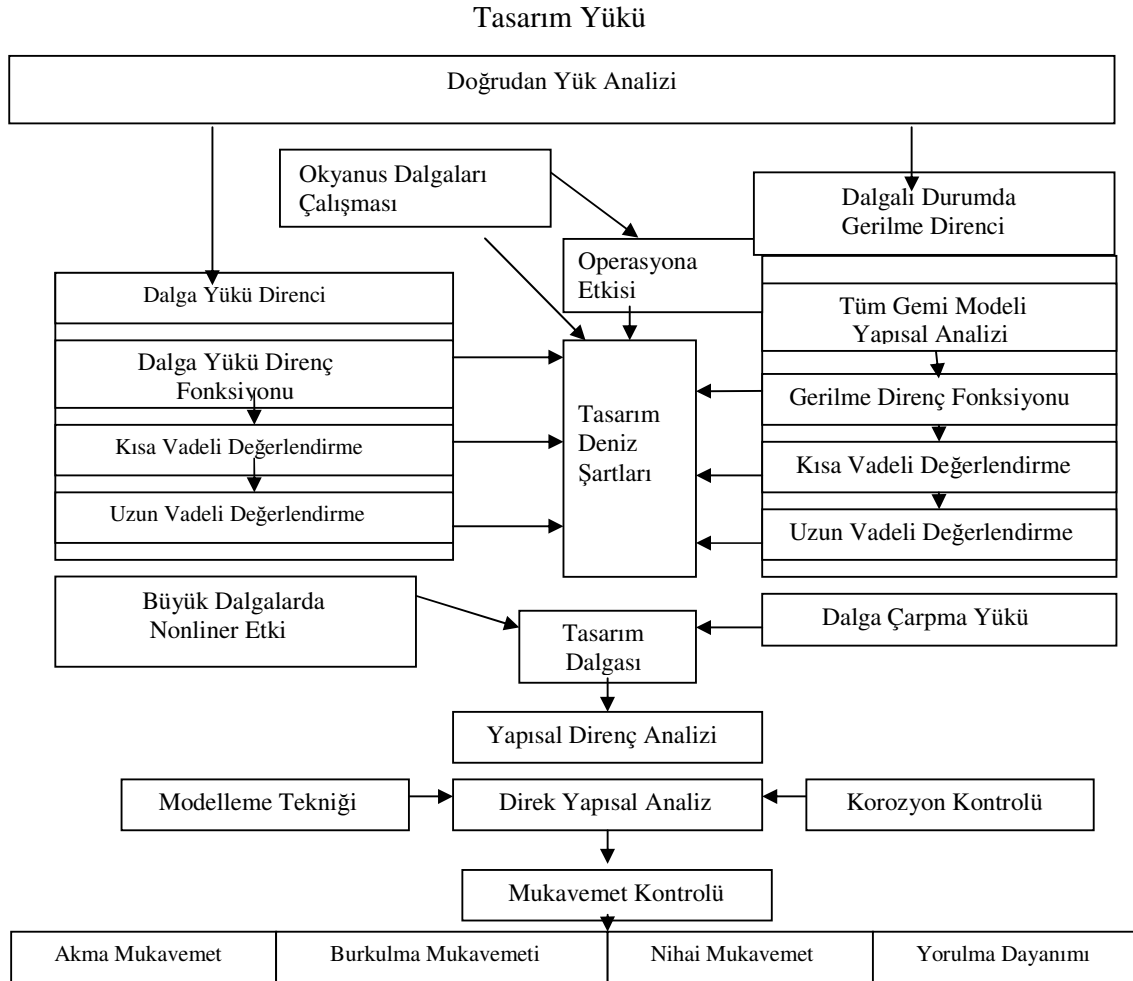
2.1. Giriş

Temel olarak iki farklı tarzda analiz yapma ve gemi yapısı tasarlama yöntemi vardır. Bunlardan ilki ve eski olanı, kural temelli tasarımıdır. Bu tür tasarım, yukarıda görüldüğü gibi, yapı elemanlarının boyutlandırılmasında Türk Loydu ve benzeri diğer ülke klas kuruluşlarının belirlediği kurallara dayanmaktadır. Hughes'e (1988) göre, geçmişte gemilerin yapısal tasarımı genellikle edinilen tecrübeler ve gemi performansına bağlı olarak oluşturulan ampirik formüllerle yapılmaktaydı ve bunlar çeşitli gemi klas kuruluşlarınca kurallar şeklinde yayınlanır veya geliştirilen gemi tasarım kodları şeklinde ifade edilmekteydi. Kurallar, yüklerle, mukavemetle ve tasarım kriteri ile ilgilidir ve gemi boyutları ile eleman boyutlandırması için basitleştirilmiş ve kullanımı kolay formüller içermektedir. Bu yaklaşım, tasarım sırasında ve geminin çizim ve hesaplarında klas kuruluşunun onayını gerektirdiğinden onay sürecinde zamandan kazanım sağlamaktadır.

İkinci yaklaşım ise, direk analize dayalı rasyonel temelli yapısal tasarımıdır. Bu yaklaşımı ilk başlatan Hughes'e (1988) göre, tamamen kural kitaplarına bağlı tasarım yaklaşımının bazı dezavantajları vardır. İlk olarak, yapısal yetersizliği belirleyen yaklaşımları çok sayıda, karmaşık ve birbirlerine bağlıdır. Basitleştirilmiş formüller sebebiyle, yetersizliğe karşı yeterlilik ölçütleri belirsiz kalmaktadır ve yapısal yeterliliğin sağlanıp sağlanmadığı sağlıklı olarak belirlenememektedir. Bir diğer ve önemli dezavantaj ise, bu tip formüller bazı basitleştirme kabulleri içerirler ve kesin limitler arasında kullanılabilirler. Bu sınırlar dışında işlem yapılırsa sonuçlar yeterince güvenli olmamaktadır.

Bu sebeplerden ötürü, eski yaklaşımdan direk analiz yaklaşımına geçiş olmuştur. Fakat diğer sektörlere göre geç kalınmıştır. Çünkü 2002 yılına kadar klas kuruluşları direk analiz yerine sayısal analizlerin sonuçlarını kalibre etme suretiyle kural kitaplarını güncellemeyi tercih etmişlerdir. Fakat bu yıldan itibaren sonlu elemanlar yöntemine dayalı direk analiz yöntemlerinin, örneğin, yeni tip gemilerin ve standart ölçülerin dışındaki gemilerin yapısal güvenilirliği hakkında bilgiyi alabilecekleri tek yol olması gibi birçok avantajlarının farkına vararak, bu şekilde yapılan hesaplama ve çizimlere onay vermeye başlamışlardır (Rigo ve Rizzuto, 2003).

Kuralların gerektirdikleri ile yapısal mukavemetin tutarlılığını kanıtlamak için yapılan doğrudan mukavemet analizi yaparken, klas kuruluşları analiz süresince yapılan her adımda gemi mukavemetinin sağlandığının belirtilmesine özen göstermektedirler. Dünyadaki önemli klas kuruluşlarının benimsediği doğrudan analiz akış şeması Şekil 2.1 de verilmiştir. Direk analize dayalı rasyonel temelli yapısal tasarım yaklaşımını zor kılan durum, hedefler, kriterler, öncelikler ve sınır şartları gibi önemli tasarım kararlarının başlangıçta verilmesi gerektiğidir. Artık hemen her modern tersanede ve tasarım ofislerinde tasarımcılar, gemi sahiplerinin isteklerini ve mukavemet gereksinimlerini en uygun şekilde sağlayabilmek için bilgisayar yazılımı destekli sonlu elemanlar yöntemine dayalı modelleme ve analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Sonuçlar, eski yaklaşım ve tecrübe değerleri ile kıyaslanarak doğruluğu ispatlanmaktadır.

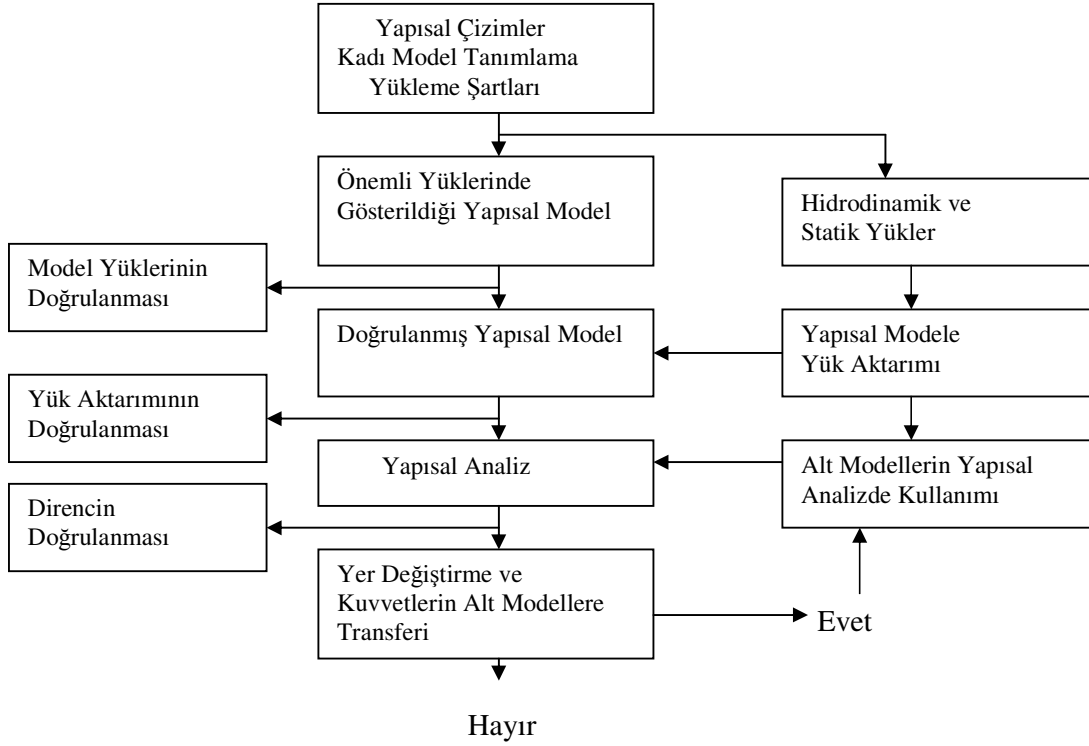


Şekil 2.1. Dünyadaki önemli klas kuruluşlarının benimsediği doğrudan analiz akış şeması

2.2. Modelleme ve Analiz

Yapısal analiz için modellemenin önemi, modelde yapılan burkulma, nihai ve yorulma mukavemeti ile titreşim kontrollerinde gerçek gemiye uygun sonuçlar verebilmesidir. Bu analiz, alt modellerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan üç boyutlu gemi modeliyle, çeşitli yaklaşımlarla gerçekleştirilebilir. Örneğin, geminin iç yapısını oluşturan elemanların ayrıntılı üç boyutlu model analizi yapılabilir. Bundan başka, alt modellerin kaba olarak ağ örgü yapılarından (meshing) oluşturulup tüm modelin tamamlanmasıyla analiz yapılabilir. Kaba meshleme kopma ve yorulma dayanımları için uygun değerleri belirlemede kullanılabilir. Ayrıca, daha ayrıntılı gerilme derecelerini belirlemek amacıyla alt modellerin sınır koşullarını uygulamada kullanılacak şekil değiştirme değerlerini elde etmek için de kullanılabilir.

Mukavemet analizi, kabul edilebilir gerilme ve burkulma davranışının incelenmesinden oluşmaktadır ve nihai mukavemet analizi de geminin mukavemetinin kontrolünü sağlar. Bu analizlere ek olarak, titreşim, çarpışma ve karaya oturma gibi özel analizler yapılması gerekmektedir. Hidrodinamik yük modellemesi geminin tüm ıslak yüzeyini geometrik olarak iyi tanımlayacak ve hidrodinamik gereksinimleri karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Hidrodinamik yük modelinin parçası olan katı modelde, global x-ekseni etrafında yerel ve global atalet momentleri kurallara uygun olarak tanımlanmalıdır. Hidrodinamik analizden elde edilen nihai hidrodinamik yükler, kopma, burkulma ve nihai mukavemet kontrolünün temelini oluşturmak için statik yüklerle birleştirilmelidir. Tüm boyutlandırma yüklerinin uygulanıp uygulanmadığının kontrolü için bütün yükleme durumları incelenmelidir. Tüm model ve alt modeller için uygulanan bir mukavemet analizinin akış şeması Şekil 2.2 de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Model ve alt modeller için uygulanan bir mukavemet analizinin akış şeması

2.3. Gemiye Etki Eden Yükler

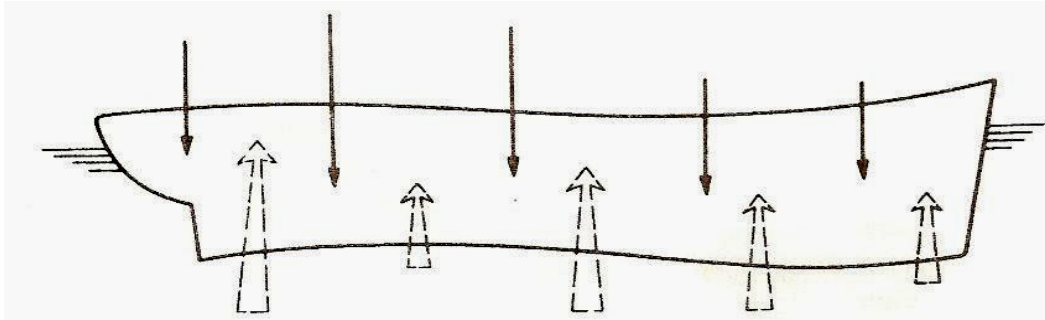
2.3.1. Giriş

Dalgalı veya sakin suda bulunan bir gemi yapısına etki eden kuvvetler çok çeşitlidir ve diğer statik yapılar ve araçların maruz kaldığı yüklere göre alışılmamış etkileşimler doğurmaktadır. Su, gemide, sonucunda gıcırdama, çatırdama ve titreşim doğuracak şekilde dalgalanma oluşturur ve gemiye çarpma kuvveti uygular. Gemi dalgayla ilk buluştuğunda baş taraf yukarıya kalkar, devamında dalga denizin içinde ve gemi ortasından geçer ve sonunda da geminin bir çukura düşme durumunu oluşturarak arka taraftan çıkar. Bu süreçte gemiye etkileyen kuvvetler, bunların toplam bileşkeleri ve yapının bunların etkisi altındaki direncinin analizleri mühendislik problemlerinin en zor ve karmaşık olanlarını meydana getirmektedir.

Geminin hareketi nedeniyle oluşan atalet kuvvetlerini saymazsak, gemiye etki eden kuvvetler yerçekimi ve su basıncından kaynaklanmaktadır. Gemi boyunca yerçekimi ve su basıncının etkisinin göz ardı edildiği bir durum düşünülemez. Durgun suda bile seyir

sırasında olduğu gibi yük değişikliklerinin sürmesi nedeniyle bu kuvvetler oluşur. Gemi, bütününde düzgün olmayan yükleme dağılımı ve yapı elastik olması sebebiyle eğilme davranışı gösterir. Gemi bütün olarak, elastik zemine oturmuş kirişin eğilmesi gibi davranış sergilediği için analizler yapılırken 'tekne kirişi' olarak kabul edilir ve hesaplamalarda yüzer çubuk olarak incelenmektedir.

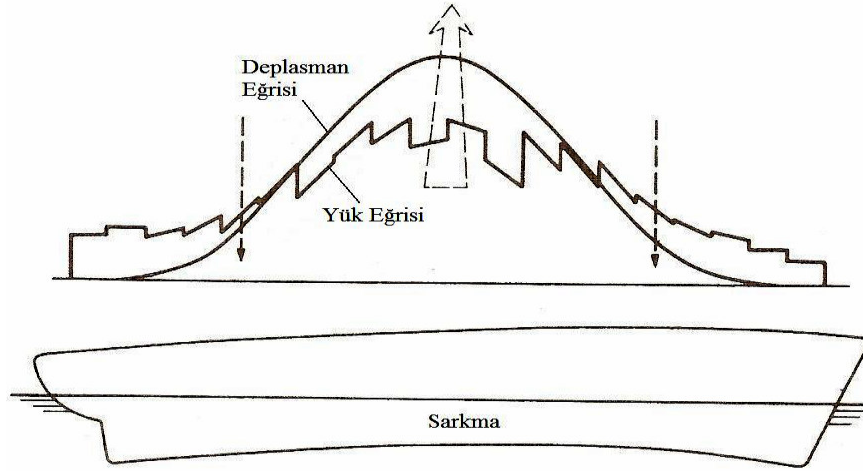
Sakin suda, yerçekimi ve su basıncı kuvvetlerini Şekil 2.3 de gösterildiği gibi sırasıyla geminin ağırlığı ve suyun deplasman kuvveti oluşturur. Gemi boyunca kaldırma kuvveti (deplasman kuvveti) dağılımı alanlar eğrisiyle ifade edilirken, gemi ağırlığı birim boylara ayrılarak hesaplanır ve uygun ölçeklerle aynı diyagram üzerinde geminin dalga tepesinde olması halinde Şekil 2.4 de veya geminin dalga çukurunda olması halinde Şekil 2.5 de olduğu gibi gösterilmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, toplam ağırlık ve toplam deplasman kuvvetini oluşturan alan değerleri birbirine eşit olmalıdır.



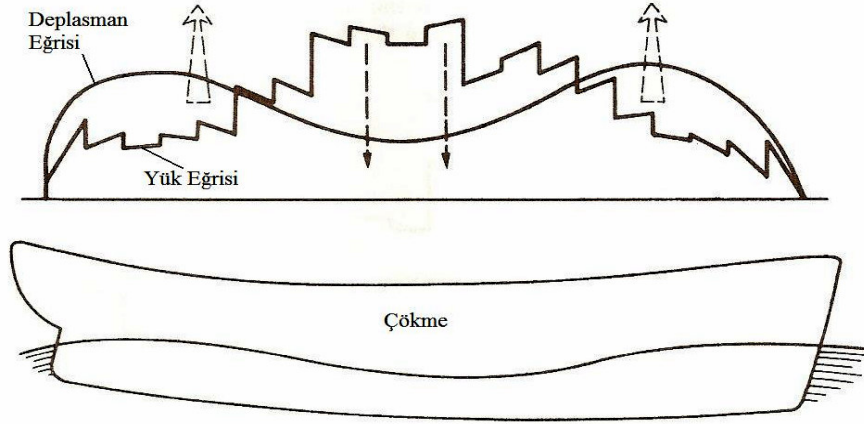
Şekil 2.3. Sakin suda yerçekimi (gemi ağırlığı) ve su basıncı (deplasman) kuvvetleri

Tüm tekne kirişine etki eden yük ve kuvvetlerin sebepleri aşağıda özetlenmiştir;

- 1.Gemi sakin suda hareketsiz düşünüldüğünde, aşağı yöndeki ağırlık kuvvetleri ile yukarı yöndeki deplasman kuvvetlerinin gemi boyunca farklı dağılmış olması.
- 2.Gemi hareket etmezken altından geçen dalga sıralarının sebep olduğu ek yükler.
- 3.Sakin suda bulunan geminin hareketlerinin sebep olduğu sıra dalgaların süperpozisyonundan oluşan kuvvetler.
- 4.Gemi hareketlerinin sebep olduğu ivmelenmeler nedeniyle ağırlık dağılımında oluşan değişkenlikler.



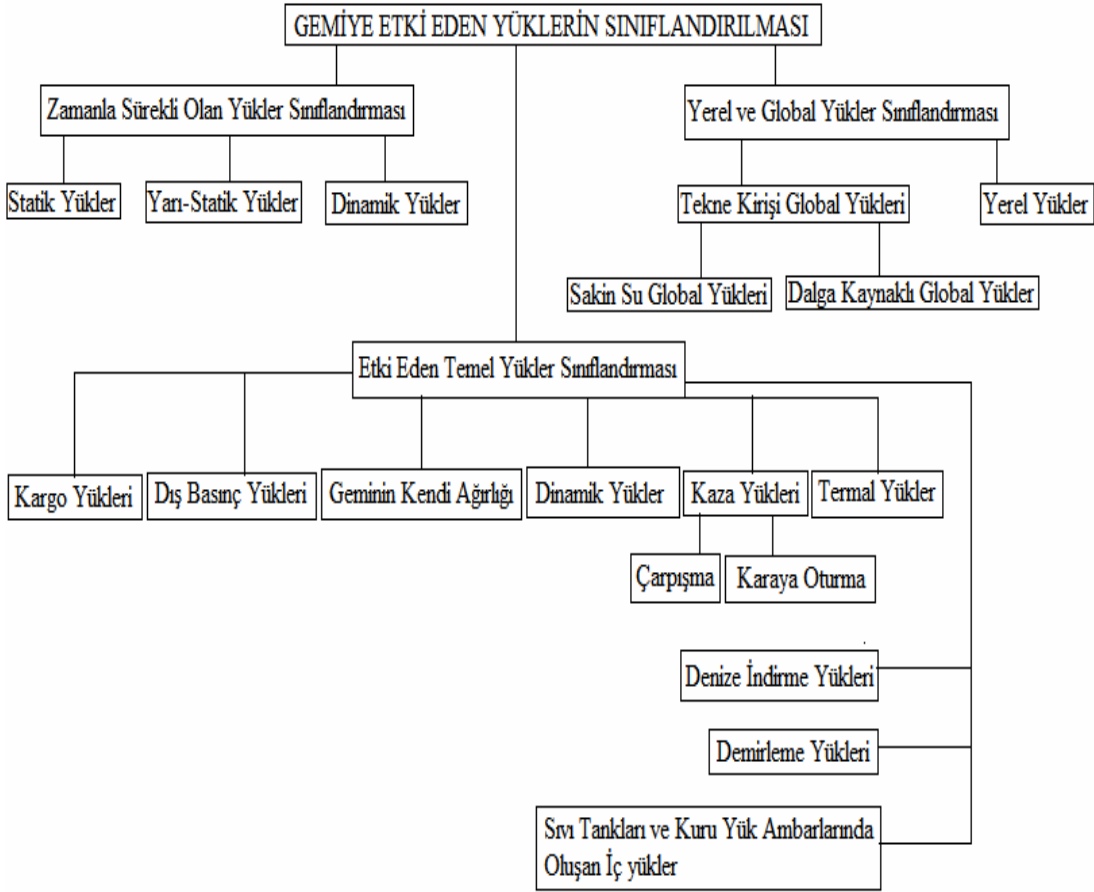
Şekil 2.4. Geminin dalga tepesinde olması halinde yük ve deplasman eğrileri



Şekil 2.5. Geminin dalga çukurunda olması halinde yük ve deplasman eğrileri

2.3.2. Gemiye Etki Eden Yüklerin Sınıflandırılması

Gemiye etki eden yükler birkaç farklı yaklaşımla sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma Şekil 2.6 da gösterilmiş ve alt başlıklar halinde anlatılmıştır.



Şekil 2.6. Gemiye Etki Eden Yüklerin Sınıflandırılması

2.3.2.1. Zamanla Sürekli Olan Yükler Sınıflandırması

2.3.2.1.1. Statik Yükler

Bu yükler geminin sakin suda maruz kaldığı yüklerdir. Oldukça yüksek dalga periyodu değerlerine kadar sürekli olarak etkirler. Sefer sırasında küçük ve yavaş değişkenlik gösterirler. Sadece yükleme ve boşaltma operasyonları sırasında önemli ölçüde değişiklik gösterirler.

2.3.2.1.2. Yarı-Statik Yükler

3-15 saniye arasında periyotlarla etki eden dalgaların meydana getirdiği yüklerdir. Bu tip yükler direk dalgalar tarafından oluşan yüklerdir. Ayrıca, aynı frekans derecesinde gemi hareketlerinden de (eylemsizlik kuvvetleri) oluşmaktadır.

2.3.2.1.3. Dinamik Yükler

Frekansa dayalı elemanların tepki durumları incelenirken, birinci yapısal rezonans değerine yaklaşıldığında, yapının dinamik özellikleri göz önüne alınır. Bu dinamik etki, sıçrama, çarpma gibi dalga hareketleri tarafından veya ana makine, pervane gibi mekanik tahrikin olduğu zamanlarda oluşan periyodik yükler şeklinde oluşur. Ayrıca, sürekli olmayan çarpma sonucu oluşan ani itme yüklerinin başlattığı titreşimlerde dinamik yüklerin etkisi sayılmaktadır.

2.3.2.1.4. Diğer Yükler

Yukarıda bahsedilen yük sınıflarına girmeyen ve özel modelleme gerektiren termal veya tesadüfi yükler gibi tüm yükler bu sınıfta sayılabilir. Gemi tasarımının büyük bir kısmı, tanımlanması daha uygun ve uzun süre incelenebilen statik ve yarı-statik yüklere dayalı yapılmaktadır.

2.3.2.2. Yerel ve Global Yükler Sınıflandırması

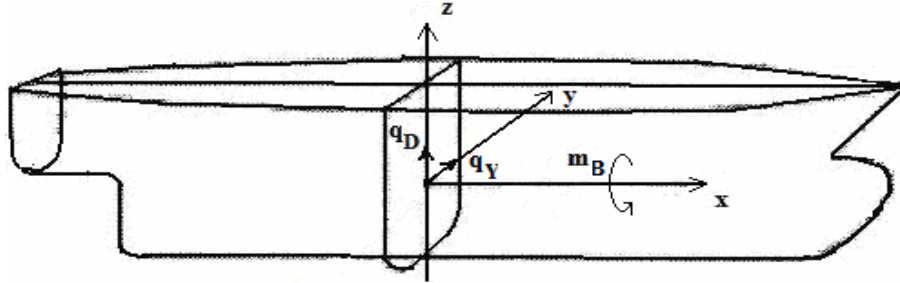
Bir diğer yük sınıflandırma yaklaşımı yapısal düzene dayalı olarak yapılmaktadır. Tekne kirişi kabulüyle, tüm gemiye etki ettiği düşünülen yükler global yükler adını alır. Desteklenmiş paneller, levha paneller, tek çubuklar gibi sınırları belirlenmiş alt yapı modellerine etki ettiği düşünülen yükler de yerel yükler adını alır. Aslında iki yük birbiriyle bağlantılı sayılabilir. Aynı bir dış kuvvet hem global hem de yerel olarak hesaba dahil olabilir. Örneğin, gemi gövdesinin bir kısmına etkiyen dinamik dalga hareketleri, ıslak yüzeyin üzerine etki eden iki boyutlu basınç dağılımı şeklinde tanımlanırsa gövde panel için yerel yük olarak kabul edilir. Eğer bu kuvvet, aynı yüzey üzerinde integre

edilirse tekne kirişine etkiyen eğilme momentine katkıda bulunan global kuvvet olarak kabul edilir.

Tüm geminin üç boyutlu modelinde, yapıya etki eden kuvvetler kendi gerçek pozisyonlarında uygulanırlar ve sonuçlar her pozisyon için ayrı değil toplam gerilme dağılımı şeklinde ifade edilir.

2.3.2.2.1. Tekne Kirişi Global Yükleri

Geminin global yapısal dayanımı incelenirken gemi için, daha önce de belirtildiği gibi, kesit özellikleri boyuna ekseninde yayılmış olan bir boyutlu yapısal eleman, tekne kirişi, kabulü yapılmaktadır. Kirişte oluşan hareketler bu kabul doğrultusunda, enine kesitte etkiyen ve boyuna ekseninde oluşan kuvvet ve momentler olarak tanımlanabilirler. Her enine kesitte üç bileşen etki eder. Bunlar, kesitin düşey ekseninde etki eden dikey bileşke kuvvet (q_D), enine yönde etkiyen yatay bileşke kuvvet (q_Y) ve x-ekseninde oluşan burulma momentleri (m_B) dir.



Şekil 2.7. Tekne kirişine enine kesitte etkiyen ve boyuna ekseninde oluşan kuvvet ve momentler

Oluşan bileşke kuvvetler ve momentler boyuna yönde x-ekseni boyunca dağılırlar. Yine bu kuvvet ve momentler sonucu 5 ana yük bileşkesi oluşmaktadır. Bunlar;

$$Q_D(x) = \int_0^x q_D dx \quad (51)$$

$$M_Y(x) = \int_0^x Q_Y dy \quad (54)$$

$$M_D(x) = \int_0^x Q_D dx \quad (52)$$

$$M_B(x) = \int_0^x m_B dx \quad (55)$$

$$Q_Y(x) = \int_0^x q_Y dy \quad (53)$$

Toplam denge şartından, iki ucu serbest kiriş için, tüm yük değerleri sonlarda, aşağıda görüldüğü gibi $x = 0$ ve $x = L$ de sıfır olur.

$$Q_D(0) = Q_D(L) = M_D(0) = M_D(L) = 0 \quad (56)$$

$$Q_Y(0) = Q_Y(L) = M_Y(0) = M_Y(L) = 0 \quad (57)$$

$$M_B(0) = M_B(L) = 0 \quad (58)$$

Tekne kirişine etkiyen global yükler, sakin suda oluşan ve dalga kaynaklı oluşan global yüklerin lineer süperpozisyonundan elde edilir. Bunlar son durum, ilk kopma ve yorulma gibi, farklı analizlerde farklı değerlerle ifade edilirler.

2.3.2.2.1.1. Sakin Su Global Yükleri

Sakin su yükleri genellikle sakin su yüzeyine simetri düzlemi normalinde etki eder. Bu durumda, sadece hidrostatik basıncın simetrik dağılımı, düşey yerçekimsel kuvvetlerle birlikte etki eder. Sonraki kesitler simetrik değilse, bir kesitsel burulma momenti (m_{Tg}) ve deplasman kuvveti $b(x)$ ile ağırlık $w(x)$ arasındaki farktan doğan düşey yük (q_{SD}) oluşur. Bir gemiye etki eden deplasman kuvvetlerinin toplamda geminin ağırlığına eşit olması gerektiğini yüzme şartı olarak söylemiştik. Ancak, gemide herhangi bir noktada bu denge olmayabilir. Birim boy kütlesi m ve su hattı en kesit alanı A ise bu noktada;

$$\rho \cdot g \cdot A(x) = b(x) = \text{Birim boy başına deplasman,}$$

$$m \cdot g = w(x) = \text{Birim boy başına ağırlık ise}$$

$$\rho \cdot g \cdot A(x) - m \cdot g = q_{SD} = \text{Birim boy başına kuvvet olur.} \quad (59)$$

Düşey kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri 48 ve 49 denklemlerinden hesaplanmaktadır. Fakat yatay kesme kuvveti ve buna bağlı yatay eğilme momenti yoktur. Ayrıca burulmayı hesaba katmak için 52 denklemi kullanılmaktadır. Yük değerinin ilk integresinden kesme kuvvetinin, ikinci integresinden de yani kesme kuvvetinin integresinden moment değerinin hesaplandığı açıktır.

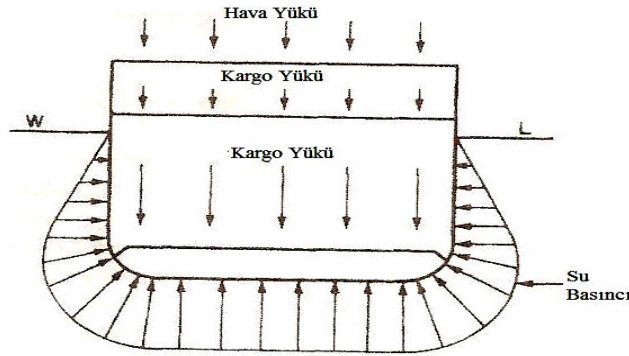
$$q_{SD} = \frac{dQ}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2} \quad (60)$$

Deplasman kuvveti dağılımı tasarımın başlarından itibaren belirli iken, ağırlık dağılımı tam anlamıyla tasarımın sonunda belli olur. Ancak benzer gemilerin ağırlık dağılımlarının kalibre edilmesiyle oluşturulan istatistiki formüller yardımıyla hesaplanan gemi boyunca tahmini ağırlık dağılımı deplasman kuvvetleri dağılımı ile birlikte kesme kuvveti ve eğilme momenti hesaplarında kullanılır. Özet olarak hesaplama yaklaşımını anlatacak olursak, ilk olarak tekne kirişi sonlarında kesme kuvveti ve eğilme momentleri sıfır olmalıdır. İntegral sonucunda artık kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri olursa, farkın gemi boyunca dağıtılması yoluna gidilerek düzeltme yapıp tekrar sıfır değeri sağlanır. Yukarıda anlatılan kuvvet moment ilişkileri doğrultusunda, net yükün sıfır olduğu durumda kesme kuvveti maksimum ve minimum değerlerini alırken, eğilme momenti eğrisinde de sapma oluşur. Net yükün maksimum olduğu durumda, kesme kuvveti eğrisinde sapma oluşur. Eğer kesme kuvveti sıfır ise, eğilme momenti değeri minimum veya maksimum olur. Bu kuvvetler gemide yalnız gerilme değil boyuna şekil değiştirmeler de meydana getirir. Basit kiriş teorisine göre herhangi bir noktadaki y şekil değiştirmesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = \text{eğilme momenti} \quad (61)$$

Yüksek sakin su kuvvet ve moment değerleri oluşması kötü durum teşkil etmesinin yanında dalgalı durumda daha tehlikeli değerlere ulaşabileceğini de işaret eder. Sakin su değerleri geminin yükleme durumlarında gerilme oluşturan değer sınırlarını belirlemede kullanılabilir.

Statik, ağırlık ve deplasman kuvvetlerinin geminin enine kesiti üzerindeki etkileri de Şekil 2.8. de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.8. Statik ağırlık ve deplasman kuvvetlerinin gemi enine kesiti üzerindeki etkileri

Sonuçta, yapısal olarak karşılanması gereken enine burulma meydana gelir. Ayrıca, bu kuvvetler yapıda yerel bozulmalar da meydana getirirler. Hidrostatik yükler, destek postaları ve boyuna elemanlar arasındaki levhaları bükmeye çalışırlar. Ayrıca güvertedeki ızgara destek yapı, güverte donanımı ve kargo yüklerini karşılayacak şekilde düzenlenmelidir.

2.3.2.2.1.2. Dalga Kaynaklı Global Yükler

Dalgalı suda, geminin davranışlarının tahmini, gemiye etkiyen yerel ve global yüklerin belirlenmesinde kilit noktayı oluşturur. Geminin deniz şartlarındaki davranışlarının probleminin çözümü direk, hidrodinamik etkiler tarafından oluşan yüklerin, gemi hareketlerinin ve manevralarının ortaya konulmasını sağlar. Gemi hareket ve manevralarının incelenmesi dinamik yüklerin belirlenmesine, çarpma ve çalkalanma gibi diğer tip yüklerin hesaplanması için veri oluşturulmasına katkı sağlar.

Aynı yükleme durumu için yük dağılımı dalgalı suda değişmez ve sakin su yük dağılımının aynısı gözlenir. Farklılığı yaratan, deplasman kuvvetleri ile baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma gibi hareket ve manevraların doğurduğu dinamik kuvvetlerdir. Gemideki deplasman kuvvetleri, dalganın profili gereği farklı draft durumlarında gemi boyunca her noktada değişiklik gösterirler. Basınç kuvvetleri ise dalga zerreciklerinin yörüngesel hareketi nedeniyle derinlikle beraber değişir. Dalga hareketleri ıslak gemi yüzeyine etki eden basınç dağılımının değişmesine sebep olur. Dalgalı veya sakin sudaki bu basınç dağılımı farkı, geminin enine kesitinde, yatay ve düşey bileşke kuvvetler (b_{DD} ve b_{DY}) ve bir moment bileşeni (m_{Bb}) oluşur.

$$q_{DD}(x) = b_{DD}(x) - m \cdot a_D(x) \quad (62)$$

$$q_{DY}(x) = b_{DY}(x) - m \cdot a_Y(x) \quad (63)$$

$$m_{ED}(x) = m_{Bb}(x) - I_R(x) \cdot \theta \quad (64)$$

$$I_R(x) = x\text{-ekseni dairesel atalet momenti}$$

2.3.2.2. Yerel Yükler

Daha önce de bahsedildiği gibi, yerel yükler, paneller, kirişler, posta-kemere bağlantıları, stifnerler gibi gemi yapı destek elemanlarına etki eder. Geminin sakin su veya dalgalı deniz durumunda olmasına göre, etkiyen bu yükler de, en genel anlamda sırasıyla statik ve dinamik yükler olarak ikiye ayrılır. Tekne kirişi mukavemetinin kontrolünün, gerekli mukavemet değerinin sağlanması şeklinde yapılmasının aksine, elemanlarda nihai limit değerlerinin belirlenmesine dayalı olarak yapılmaktadır. Boyuna mukavemette nihai eğilme momentinin limit değerlerinin belirlenmesi örnek olarak verilebilir.

2.3.2.3. Dış Basınç Yükleri

Geminin ıslak yüzeyine etkiyen statik ve dinamik basınçlar dış kuvvet olarak alınır. Bunlar gemi levhası ve destek elemanlarında yerel enine kuvvet olarak etki ederler. Statik dış basınç yükünde, hidrostatik basınç, aşağıdaki formülde de gösterildiği gibi serbest su yüzeyiyle kuvvet noktası arasındaki düşey mesafeye (h_s) bağlıdır. Dış basıncın gemi gövdesi üzerinde olması durumunda bu yükseklik, yükün etkidiği noktanın yerel draft değerini alır. Geminin ıslak yüzeyine etkiyen basınç dağılımının dalgalı denizdeki bir gemide dalga nedeniyle sakin su durumuna göre değişiklik gösterdiğini söylemiştik. Yükün etkidiği alan ve oluşan basınç değerleri, dalgalı denizdeki gemi hareketi problemlerinin çözümünde kullanılır.

$$p_s = \rho \cdot g \cdot h_s \quad (65)$$

2.3.2.4. Sıvı Tankları ve Kuru Yük Ambarlarında Oluşan İç yükler

Sıvı yükler, içersinde buldukları tank cidarlarına normal basınç uygular. Bu basınçlar, tank cidarlarının birincil destek elemanlarına, stifnerlere ve levhalara yerel enine kuvvetler uygular. Statik iç yükler; sakin sudaki bir gemide yerçekimi ivmesi g tarafından oluşturulan ve 65 denkleminde göre değişen hidrostatik basınç şeklinde oluşur. Statik yükseklik h_s kuvvet noktası ile tankın en üst noktası arasındaki mesafedir.

Dinamik iç yükler ise; gemi dalgalar içerisindeyken, tank içerisindeki sıvılarda gemi hareketlerinin frekansları ve doluluk durumları etkileriyle farklı hareketler oluşur. Dinamik iç basınç dağılımı tankların tam dolu olması ve bir kısmının dolu olması durumlarına göre değişiklik göstermektedir. Tanklar tam doluyken, içerisindeki tank cidarlarında akışkanın hızı küçüktür ve akışkanın ivmesi global gemi ivmesiyle (a_w) aynıdır. Bu durumda toplam basıncın hesabında kullanılan toplam yerçekimi a_t , yerçekimi ivmesi (g) ve gemi ivmesinin (a_w) toplamından elde edilir. Tankların bir kısmı doluyken, içerisindeki akışkanın hızı boyuna ve/veya enine doğrultuda önemli ölçüde artmakta, ayrıca çalkalanma sonucu ek basınç yükleri oluşmaktadır.

$$p_f = \rho \cdot a_t \cdot h_t \quad (66)$$

Tanklarda oluşan bir başka etki de çarpma yüklerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek doluluk oranlarında tankın üst taraflarında yatay levhalarda veya alt yatay levhalarda ve az doluluk oranlarında da tankların alt taraflarında düşey veya alt düşey levhalarda oluşmaktadır. Çarpma yükleri problemlerinin çözümü, yerel şekil ve serbest yüzey hızları, akışkandaki hava etkileri ve yapının direnci gibi birkaç faktör sebebiyle oldukça zordur. Bu etkilerin tam bir modellenmesi için birincisi akışın, ikincisi de hidro-elastisite etkilerini içeren dinamik yapının olmak üzere çok ayrıntılı iki modellemeye ihtiyaç vardır.

Kuru yük taşınması durumunda, yükün kendi arasında ve yük ile ambar cidarları arasında sürtünme kuvvetleri oluşur. Aynı yoğunluktaki sıvı bir yüke göre, ambar cidarındaki normal yük bileşeni değişiklik gösterir ve ayrıca ek teğetsel kuvvetler de ortaya çıkabilmektedir.

2.3.2.5. Dinamik Yükler

Şiddetli deniz şartlarında seyir eden bir gemi öyle büyük dalgalara maruz kalır ki, büyük batıp-çıkma hareketleri sonrası geminin baş tarafı tamamen sudan etkilenebilir. Sudan çıktıktan sonra gemi dibinin tekrar su yüzeyine çarpmasıyla önemli ölçüde çarpma basıncı oluşmaktadır. Bu olgu hem yerel yapıları (dip paneller vb.) hem de tekne kirişinin ilk düşey eğilme modundaki serbest titreşimi (kırbaçlama hareketi) ile birlikte global eğilme davranışlarını etkiler.

Tekne kirişinin dinamik direncini içeren bir başka olgu da çarpımadır. Bazı tip gemiler (genellikle uzun ve eğilebilir gemiler) için, dalga hareketlerinin frekansı ile düşey

düzlemde ilk eğilme modunun doğal frekansı arasında bir çakışma, bu yüzden de bir rezonans durumu meydana gelir.

Bir başka dinamik etki de pervanelerden kaynaklanmaktadır. Geminin kış yapısı nedeniyle oluşan girdap sebebiyle, pervane düzgün olmayan hız dağılımına sahip bir bölgede çalışmaktadır. Kanat profilleri devirleri sırasında değişken açılarda yüklere maruz kalmaktadır. Ayrıca, bu düzensiz hareketler nedeniyle kanatlar etrafında basınç bölgesi oluşmaktadır. Dinamik basınç bölgesi, gemi levhasına çarpma etkisi yapar ve bu da yapı için uyarıcı yükü oluşturur.

Azalan açılarda gelen su yükleri nedeniyle oluşan negatif dinamik basınç sebebiyle, kanat profillerinin arkasında, herhangi bir dönüş açısında, buharlaşma basıncının altına düşmektedir. Bu sebeple, profilin arka tarafında bir buhar tabakası meydana gelmektedir. Bu olguya kavitasyon denilmektedir.

Tekne kirişinde dinamik etki oluşturan unsurlardan birisi de ana makinelerdir. Genel yerleştirmeye ve silindir sayısına bağlı olarak dizel motorları, esasen motor devri frekansında dengesiz iç kuvvetler ve momentler oluşturmaktadır.

2.3.2.6. Diğer Yükler

2.3.2.6.1. Termal Yükler

Gemiler, güneşin güverteyi ısıtması gibi dış etkenlerle veya, ısıtılmış ya da soğutulmuş ambarlardaki ısı transferleri gibi iç etkenler sebebiyle termal etkili yüklere maruz kalırlar. Gerçekte gerilmeye sebep olan durum düzensiz sıcaklık dağılımıdır. Buna örnek olarak, yapının daha sıcak kısımlarının genişleme eğiliminde olmasına karşın, diğer kısımlarının buna karşı koymak istemesi verilebilir. Termal yükleri tam anlamıyla belirlemek oldukça zordur. Sıcaklık dağılımı ve modele özgü sınır şartlarının belirlenmesi temel problemleri oluşturur.

2.3.2.6.2. Demirleme Yükleri

Demir atmış bir gemide, demirleme sistemi üzerindeki yükler dış hareketlerden kaynaklanır ve sistemin yakınlarındaki yerel yapı elemanlarına geçer. Bu yükler rüzgar, akıntı ve dalga yüklerinden oluşur.

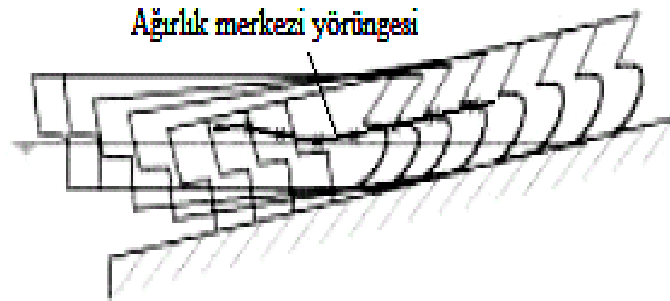
2.3.2.6.3. Denize İndirme Yükleri

Denize indirme sırasında oluşan momentin gemi için önemi büyüktür. Geminin yapımının ardından başarılı bir şekilde denize indirme için bazı pratik, organize ve teknik durumlar kontrol altına alınmalıdır. Denize indirme sırasında geminin farklı yerlerinde farklı gerilme ve kritik durumlar oluşmaktadır. Bunlardan en önemlileri kıç bölgede ve yanlarda oluşmaktadır. Kıç tarafta geminin boyuna düzleminde bileşke kuvvetler ve hareketler meydana gelir. Bu esnada, tekne kirişi boyunca düşey kesitsel kuvvetlere maruz kalır. Bunlar, ağırlık $w(x)$, deplasman kuvveti $b_L(x)$ ve yerden kızığa, kızaktan da gemi dibine aktarılan kesit kuvveti $f_C(x)$ tir. W , B_T , F_C değerleri de bunların bileşke kuvvetlerini, x_B , x_F , x_W ise bileşkelerin boyuna yerini ifade eder. Denize indirme sırasında ağırlık dağılımı ve bileşke kuvveti değişmezken, diğer dağılımlar ise şekil ve bileşke olarak değişiklik gösterirler. Bu sebeple denize indirme yüklerinin integrali bu iki değişken dağılıma dayalı olarak yapılmaktadır.

Global statik denge kuralından,

$$B_T + F_C - W = 0 \quad (67)$$

$$x_B \cdot B_T + x_F \cdot F_C - x_W \cdot W = 0 \quad (68)$$

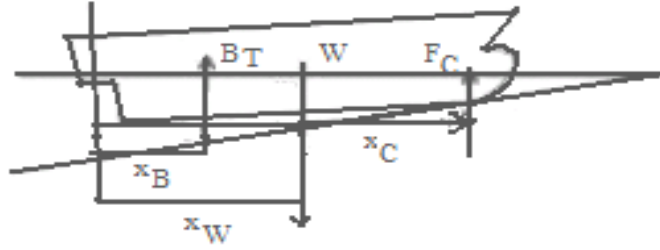


Şekil 2.9. Denize indirme sırasında ağırlık merkezinin yer değiştirmesi

Denize indirmede birinci aşamada, kızak zeminle hala belli bir mesafede temasta iken deplasman kuvveti dağılımı bilinir ve kızak kuvvet bileşeni ve yeri belirlenebilir.

İkinci aşamada ise, kızak dönmeye başladığında (dönme aşaması), x_F nin yeri kıçtan başa uygun şekilde değişir ve F_C büyüklüğü ile geminin kıç draftı dolayısıyla da deplasman

kuvveti dağılımı belirlenemez. Şekil 2.10 da denize indirmede oluşan kuvvet dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Denize indirme sırasında oluşan kuvvetler

2.3.2.6.4. Kaza Yükleri

2.3.2.6.4.1. Çarpışma

Çarpışma sonucu doğan yapısal yükler tanımlanırken, genel yaklaşım kazanın kendi dinamik modelini oluşturmak ve kazadan etkilenen bölümlerin durumunu belirlemektir. Genel anlamda, olay sırasında etkiyen bazı kuvvetleri hesaplamak için kazanın dinamiği 6 serbestlik derecesine göre hesaplanmaktadır. Bunlar, pervane, dümen, dalgalar ve akıntı kaynaklı yükler, elemanlar arasında oluşan çarpışma yükleri ve gemi hareketlerinden oluşan hidrodinamik basınç kuvvetleridir.

2.3.2.6.4.2. Karaya Oturma

Karaya oturmada etkin olan kuvvetler ve momentler düşey düzlemde oluşur. Başlıca kuvvet bileşenleri temas kuvvetleridir. Bunlar, zemine ilk çarpmada ortaya çıkıp, sonrasında sürtünme ve geminin baş kısmı zeminde kayarken de ağırlık olarak etki ederler. Enerji yaklaşımıyla bakıldığında, iç kinetik enerji

- a- Baş tarafın alt kısımlarının bozulmasına,
- b- Yine aynı bölgenin zeminle olan sürtünmesine harcanır ve
- c- Yerçekimi potansiyel enerjisine dönüşür. (ağırlık merkezinin düşey yükselmesine direnç gösteren ağırlık kuvvetine karşılık yapılan iş)

2.3.2.7. Yüklerin Birleşimi

Gemiye aynı anda etkiyen farklı türdeki kuvvetler bir set halinde ifade edilmek istendiğinde, yaklaşım uygulananndan fazla olmayacak şekilde (genellikle tek tek yüklerle aynı değerdedir) toplam yükleme durumunun belirlenmesi şeklinde olmaktadır. Tüm tasarım kuvvetlerinin aynı anda etkime olasılığının tek bir bileşke kuvvetin etki olasılığından düşük olması sebebiyle, bu toplam ifade tek tek etki eden yük değerlerinin basit süperpozisyonu ile elde edilemez.

Zaman bakımından, birleşim problemi, yük karakteristik değerlerinin, oluştuğu anlar arasındaki zaman değişikliği açısından ifade edilmesidir.

Olasılık bakımından, problemin tam anlamıyla formülasyonu, prensipte, toplam yük dağılımının ifadesi için çeşitli yüklerin dağılımının olası birleşiminin tanımlanması anlamına gelmektedir. Bir yaklaşım olarak, birleşim dağılımının birinci ve ikinci derece momentlerle modellenmesi düşünülebilir. Bu da, tekil değişkenlerin uyumsuzluklarının birleşimi ve her bir çift değişken için hesaplanan ortak değişkenlerden oluşan değer ve ortak değişken matrisi elde edilmesi anlamına gelmektedir. Bu derece istatistiksel bir tanımlama da oldukça zordur. (Rigo ve Rizzuto, 2003)

Problemin pratik bir çözümü için, klas kuruluşlarının kural kitaplarında belirli katsayıların kullanımlarını içeren amprik formüllerle tekil yüklerin elde edildiği yükleme durumları kullanılmaktadır. Yapısal kontroller tüm yükleme durumları için yapılır. Fakat uygulamanın sonuçları yapıya en uygun olanının değerleriyle tanımlanır. Bu süreç, çok fazla sayıda kontrol uygulamasının farklı yükleme durumları için yapılmasını gerektirir.

2.4. Gemi Mukavemeti Bileşenleri

2.4.1. Gerilmeler ve Şekil Değiştirmeler

Dış kuvvetlere karşı gemi gövdesini oluşturan yapı elemanlarının gösterdiği tepkiler genellikle gerilmeler ve sehimler şeklinde ölçülür. Yapısal verim kriteri ve gerilmeleri içeren ilgili analizler genel terim olarak ‘mukavemet’ başlığı altında incelenir. Eğer gemi yapısı, etki eden yükler karşısında malzeme yorulması, kopma, burkulma gibi kırılma mekanizmaları nedeniyle yük taşıma yeteneğini kaybederse yapısal elemanların mukavemetlerinin yetersiz kaldığı anlamı çıkar. Çok fazla sehim malzeme kırılmasına

sebebi olmamasına rağmen elemanın yapısal verimliliğini sınırlandırabilir. Eğer sehimi sonucunda geminin makinesinin veya seyir donanımlarının önemli elemanlarında sapma veya diğer geometrik şekil değiştirmeler meydana gelirse, sistemi geri getirmek faydasız olur.

Bu bölümde, yük etkisi altındaki yapısal elemanların tepkilerinin gerilme ve sehimi değerleri şeklinde belirlenmesi anlatılacaktır. İlk olarak bu tepki değerlerinin bilinmesi yapının yeterli mukavemeti gösterip gösteremeyeceğinin belirlenmesi için önemlidir ve farklı kırılma durumlarının limitler çerçevesinde incelenmesi gerekmektedir.

Geminin ve gemi yapı elemanlarının boyutlandırılması için gemi mukavemetinin hesaplanması ve kontrolünde, gerilme ve sehimler hesaplanırken genel anlamda üç farklı mukavemet başlığı göz önünde bulundurulur. Bunlar, boyuna mukavemet, enine mukavemet ve yerel mukavemettir. Bu ana başlıklar altında, gerilme ve sehimi bileşenlerinin farklı durumlarını içeren alt başlıklardaki mukavemet durumları ilerleyen bölümlerde incelenecektir. Örneğin, düşey eğilme momenti altında boyuna mukavemet ve düşey kesme kuvveti değerleri bütün gemiler için en önemli mukavemet faktörleridir. Fakat bunlardan başka göz önüne alınması gereken mukavemet durumları vardır. Bunlar, enine mukavemet, burulma mukavemeti ve yatay eğilme mukavemetidir. Geniş ambar açıklığına sahip gemilerde de burulma mukavemeti durumuna daha fazla önem gösterilmesi gerekmektedir.

2.4.2. Temel Yapı Bileşenleri

Bütün olarak gemi yapısı kutu kiriş veya gövde kirişi olarak kabul edilir. Bu kirişi modellemek tasarımcının ilk görevidir. Gemi gövde kirişini, destek elemanlarıyla kuvvetlendirilmiş panellerle modellemek genellikle tercih edilen yöntemdir. Bir geminin tasarım olarak dört temel alt yapısı bulunmaktadır.

1. Levha Kaplaması – Stifner Birleşimleri : Bunun en basit örneği bir levha üzerine basit bir kirişin bağlanmasıyla oluşan yapıdır. Daha fazla kirişin levhaya bağlanmasıyla, eş doğrultuda destekli bir ızgara yapı meydana gelir. Dik açılarda kesişen birden fazla kirişin birleşimi de ortogonal destekli ızgara yapı oluşturur. Bu tür donanımlar ilk başta düz ya da eğimli olarak bulunurlar. Herhangi bir düzlemde yüklendikten sonra çeşitli şekiller alabilirler ve sınırları değişebilir.

2. Levha Panelleri : Genellikle dikdörtgen yapılı olurlar ve dört köşelerinden desteklenmiş olarak bulunurlar. Normal veya düzlem içi kuvvetlere maruz kalırlar. Başlangıçta, düz veya içbükey şeklindedirler.

3. Çerçeve Yapılar : Çerçeve yapılar, borda postaları ile güverte kemerlerinin birleşiminden oluşan enine halkalar veya güverte tülaneleri ile güverte kirişlerinin birleşiminden veya perdelerde stifnerler ile stringerlerin birleşiminden meydana gelir. Yükleme kuvvetleri düzlemlerinde veya düzlem içlerinde dağılırlar veya tekil yük olarak toplanabilirler.

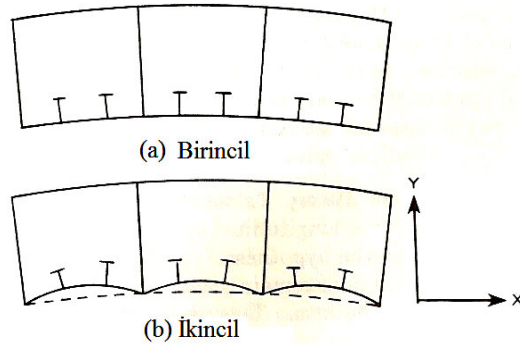
4. Donatılar : Gemilerde, mukavemet yeterliliğinin kontrol edilmesi gereken birçok donatı vardır. Bunlara örnek olarak, kontrol yüzeylerini de içine alarak, dümenler ve salmalar, şaft destekleri, gemi direkleri, vinçler, mataforalar ve makine yerleşme yerleri gösterilebilir.

Destek elemanlarıyla düzenlenmiş paneller geminin ana elemanlarıdır. Geminin hemen her bölgesi bu panellerle düz veya eğimli olarak modellenebilmektedir. Basit bir yaklaşımla, ilk olarak geminin ana boyutları ve genel yerleşim planı hazırlanır ve bundan sonraki iş tamamen bu panellerin hazırlanıp birleştirilmesine kalır. Paneller, levhaların enine ve/veya boyuna destek elemanlarıyla donatılmasıyla oluşturulur ve birbirlerine prizmatik yapıların kenarları gibi birleştirme hatlarıyla bağlanırlar. İlerideki bölümlerde bu alt yapılar ayrıntılı olarak incelenecek ve yapılarda oluşan gerilme ve sehim durumları anlatılacaktır.

2.4.3. Gerilme ve Sehım Bileşenleri

Geminin yapısal mukavemetini hesaplamak için, tahmini yüklere bağlı olarak minimum temel boyutlandırmanın yapılması gerekmektedir. Tekne kirişi ve alt yapı elemanlarının yapısal tepkisi üç alt bileşene ayrılabilir. Birincil tepki, geminin boyuna yük dağılımı altında eğilmeye maruz kaldığında gemi bütününe gösterdiği tepkidir. İlgili σ_1 birincil gerilmeleri genellikle boyuna eğilme gerilmeleri adını alır. Fakat, birincil gerilmelerin genel ifadesinde kesin bir yön ve doğrultu ifade edilmez. Şekil 2.11-a da gösterildiği gibi, x-y düzleminde bulunan ve normali z olan bir levhada, levhanın yüksüz orta yüzeyine paralel sehimler sınırlandırılmıştır. Sadece x ve y yönünde sehimler ele alınmaktadır.

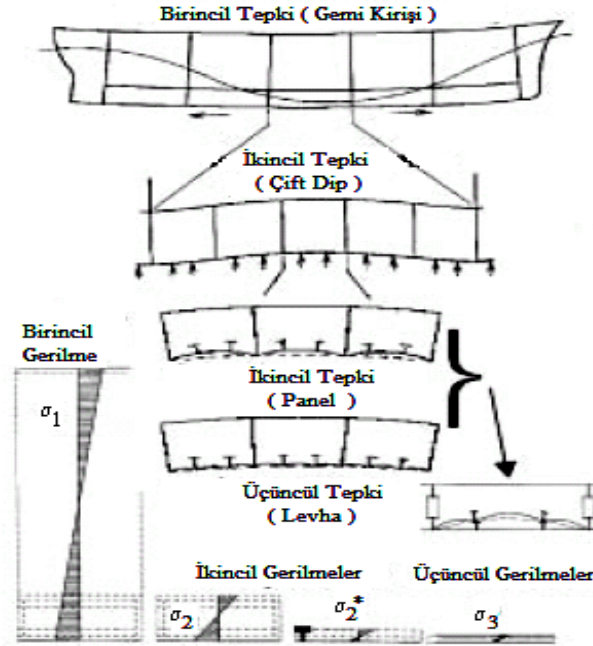
İkincil tepkiler, yerel gerilmelere karşı gösterilen tepkiler olarak düşünülürler ve yerel basınç ve nokta (tekil) yüklerine karşı oluşurlar. Destek elemanlarıyla donatılmış levha panellerinin gerilme ve sehim değerlerine, iki komşu enine perde arasında bulunan dip paneli değerleri örnek olarak verilebilir. Panelin yüklemesi, panel düzleminin normalindedir ve ikincil panelin sınırlarını genellikle diğer ikincil paneller oluşturur. Şekil 2.11-b ye göre, yapı x-y düzleminin dışında z yönünde yer değiştirir. Bu durumda, levha ve stifner yer değiştirmesi aynı olmaktadır. Yanal basınç etkisi altındaki desteklenmiş panel levhalarındaki gerilmelerin farklı kaynakları vardır.



Şekil 2.11. Birincil ve ikincil tepki sehim durumları

Desteklenmiş bir panel için, σ_2 gerilmesi ve ortotropik panel eğilmesinden kaynaklı sehim değeri bulunur. Boyuna posta sistemi ile inşa edilmiş gemilerde ikinci tip bir ikincil gerilme σ_2^* oluşur. Bu gerilme enine postalar arasındaki boyuna elemanların hidrostatik basınç altındaki eğilmelerinden kaynaklanır. Yine bu gerilme, iki boyuna destek kirişi arasında eşit uzaklıklarla yerleştirilmiş enine postaların eğilmesi durumu için enine postalanmış panellerde de ortaya çıkabilir. Çift dip yapısı kutu kiriş gibi davranır fakat enine ve/veya boyuna eğilebilmektedir. Bu global eğilme σ_2 gerilmesi ve sehim doğurur. Ayrıca, çift dipteki iki enine döşek arasında uzanan boyuna yapı elemanlarında da σ_2^* gerilmesi oluşur.

Üçüncül tepkiler ise stifnerler arasındaki desteklenmeyen levha panellerin tekil düzlem dışı sehim ve ilgili gerilmelerini ifade eder. Yükleme panelin normali doğrultusundadır ve sınırlarını bir parçası olduğu ikincil panelin stifnerleri oluşturur. Tekil levha panelleri, stifnerlerin oluşturduğu orta yüzey dışında yer değiştirir. Şekil 2.12. de bu üç tepki durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Tekne kırıgı ve alt yapı elemanlarının yapısal tepki bileşenleri

Levha elemanlarının birincil ve ikincil gerilmeleri membran (zar) gerilmelerdir ve kalınlık boyunca eşittir. Levhaların kendilerinin eğilmelerinden kaynaklanan üçüncül gerilmeler kalınlık boyunca değişir. Düzlem dışı sehimin levha kalınlığından çok fazla olması halinde membran etkiler içerebilir.

Genellikle, bu üç gerilme veya sehim bileşeni arasında etkileşim ya çok azdır ya da yoktur. Bir tanesi diğer ikisinden bağımsız olarak çeşitli yöntem veya kabullerle hesaplanabilmektedir. Böyle bir durumda, bileşke gerilme ise bu üç bileşenin basit bir süperpozisyonu ile elde edilebilmektedir. Tasarım kuralları, yapısal elemanların bu üç tepkisinin toplamının, çeşitli çökme ve kırılma modlarının kabul edilebilir mukavemet limitlerinin altında kalmasını gerektirmektedir.

Kaplama levhalarında tepki olarak genellikle üç durum ortaya çıkmaktadır. Bunlar, boyuna gerilmeler, enine gerilmeler ve kayma gerilmeleridir. Tüm birincil ve ikincil gerilmeler eğilme gerilmeleridir. Fakat, levhalarda bu gerilmeler membran gerilmeler şeklinde olur. Stifnerlerde, sadece kendi doğrultularında birincil ve ikincil tepkiler eğilme gerilmesi ve kayma gerilmesi doğurur. Üçüncül tepkilerin stifnerler üzerinde etkisi yoktur.

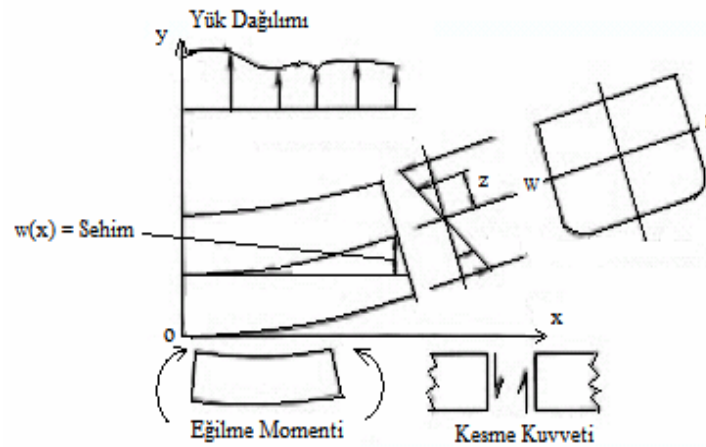
2.4.3.1. Birincil Tepkiler (Boyuna Eğilme Momenti ve Düşey Kesme Kuvveti)

2.4.3.1.1. Basit Kiriş Teorisi ve Kesit Modülü

Birincil gerilmelerin hesaplanmasına dahil olan yapısal elemanlar, çoğu bölüm için, güverteler, bordalar, dip kaplaması, boyuna perdeler gibi devamlı boyuna elemanlar ve devamlı veya kısmen etkin boyuna birincil veya ikincil destek elemanlarıdır. Basit kiriş teorisinden σ_1 birincil gerilmelerini ve düşey ya da yatay eğilme yüklerinden kaynaklanan sehim değerlerini hesaplamada yararlanılır. Basit kiriş teorisinin gemi yapısına uygulanabilirliği için aşağıdaki kabullerin yapılması gerekmektedir.

- Kiriş prizmatiktir yani tüm enine kesitler aynıdır ve açıklık veya süreksizlikler yoktur.
- Düzlem enine kesitler bozulmadan sonra tekrar düzlem kalır. Kiriş dönmesine bağlı çok az dönerler.
- Şekil değiştirmede enine (Poisson) etkiler ihmal edilir.
- Malzeme elastik gibi davranır. Çeki ve basıda elastisite modülleri eşittir.
- Kesme etkileri ve eğilmeler (gerilme ve şekil değiştirme) birleştirilmemiştir.
- Burulma şekil değişimi için, çarpılma nedeniyle oluşan aksel gerilmeler ve ikincil kesme etkileri ihmal edilir.

Elastik liner eğilme denklemleri Şekil 2.13.de gösterilen temel mekanik prensibinden aşağıdaki gibi elde edilir.



Şekil 2.13. Elastik liner eğilme temel mekaniği

$$EI \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = M(x) \quad (69)$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \right) = q(x) \quad (70)$$

w = Şehim (m)

E = Malzemenin elastisite modülü (N/m²)

I = Kirişin tarafsız eksene göre enine kesit atalet momenti (m⁴)

$M(x)$ = Eğilme momenti (N.m)

$q(x)$ = Birim boydaki yük (N/m)

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial Q(x)}{\partial x} \\ &= \frac{\partial^2 M(x)}{\partial x^2} \\ &= EI \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \right) \end{aligned}$$

Düzlem kesit kabulü, elastik malzeme davranışıyla birlikte kirişte enine kesit derinliği üzerinde liner olarak değişen σ_1 boyuna gerilmesiyle sonuçlanır. Geminin boyuna mukavemet hesabı için kullanılan basit kiriş teorisi, ‘düzlem kesit düzlem kalır ve OXY düzleminin normalinde kesme etkisi yoktur’ Bernoulli-Euler hipotezine dayanmaktadır. Genellikle kullanılan aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (71)$$

$$W = \frac{I}{y} = \text{Kesit modülü} \quad (\text{m}^3) \quad (72)$$

M = Eğilme momenti (N.m)

σ = Eğilme gerilmesi (N/m²)

I = Kirişin tarafsız eksene göre enine kesit atalet momenti (m⁴)

y = Tarafsız eksen ile en uç eleman arasındaki düşey mesafe (m)

Enine kesitin herhangi bir parçası için eğilme momenti değeri ve parçanın tarafsız eksenden uzaklığı bilirse, gerilme değeri (71) denkleminde elde edilir. Tarafsız eksenin nadiren gemi yüksekliğinin tam ortasında olduğu durumda, biri en üst güvertede diğeri dip levhasında olmak üzere iki ayrı y ve σ değerleri elde edilmektedir.

Boyuna eğilme momenti değeri Türk Loydu-2005'e göre aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

$$M_T = M_{SW} + M_{WV} + M_{BF} \quad (\text{kN.m}) \quad (73)$$

M_{SW} = Sakin su eğilme momenti (sarkma durumu için +, çökme durumu için – işaret kullanılır.)

$$M_{SW} = M_T - (M_{WV} + M_{BF}) \quad (\text{kN.m}) \quad (74)$$

$$M_T = \frac{\sigma_p \cdot W_{D(a)} \cdot 10^3}{f_R} \quad (\text{kN.m}) \text{ veya} \quad (75)$$

$$M_T = \frac{\sigma_p \cdot W_{B(a)} \cdot 10^3}{f_R} \quad (\text{kN.m}), \text{ küçük olan alınır.} \quad (76)$$

$$\sigma_p = \text{Müsaade edilen tekne kirişi eğilme gerilmesi} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$W_{D(a)}$ = Herhangi bir x mesafesindeki kesitin, gerçek olan, güverteye göre hesaplanmış kesit modülü (m^3)

$W_{B(a)}$ = Herhangi bir x mesafesindeki kesitin, gerçek olan, dibe göre hesaplanmış kesit modülü (m^3)

f_R = Güverteye göre hesaplanmış kesit modülü düzeltme faktörü

$f_R = 1$, genel olarak (özel durumlar için değerler Türk Loydu-2005'den alınabilir.)

M_{WV} = Düşey dalga eğilme momenti (sarkma durumu için (+), çökme durumu için (-) işaret kullanılır.)

$$M_{WV} = L^2 \cdot B \cdot c_0 \cdot c_1 \cdot c_L \cdot c_M \quad (\text{kN.m}) \quad (77)$$

c_1 = Sarkma - Çökme katsayıat

$c_{1H} = 0,19 \cdot c_B$ Sarkma için,

$c_{1S} = -0,11 \cdot (c_B + 0,7)$ Çökme için,

c_M = Dağağıt katsayıat

$$c_M = 2,5 \cdot \frac{x}{L} \quad \frac{x}{L} < 0,4$$

$$c_M = 1 \quad 0,4 \leq \frac{x}{L} \leq 0,65$$

$$c_M = \frac{1 - \frac{x}{L}}{0,35} \quad \frac{x}{L} > 0,65$$

c_0 = Dalga katsayısı

c_L = Boy katsayısı

M_{BF} = Dövmüne yükleri nedeniyle geminin baş tarafında oluşan ek eğilme momenti

$$M_{BF} = w \cdot L^4 \cdot B \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot c_{BF} \cdot c_{RW} \cdot 10^{-5} \quad (78)$$

$$w = 1,4 \quad \text{Sarkma için}$$

$$w = -2,2 \quad \text{Çökme için}$$

$$n_1 = \frac{1 - (145 - L)}{1225}$$

$$n_2 = \frac{(b_1 - b_2)}{1,2(H - T^*) - 1}$$

$$b_1 = \text{En üst devamlı güvertenin, } (x/L) = 0,8 \text{'deki genişliği (m)}$$

$$b_2 = \text{Su hattının } (x/L) \text{'deki genişliği (m)}$$

$$n_3 = 0,33 + 0,67 (v_0 / 1,6\sqrt{L})$$

$$c_{BF} = 2,5 x/L \quad 3 x/L < 0,4 \text{ için}$$

$$c_{BF} = 1 \quad 0,4 \leq x/L \leq 0,8 \text{ için}$$

$$c_{BF} = 5(1 - x/L) \quad x/L > 0,8 \text{ için}$$

$$T^* = \text{Söz konusu durumda geminin draftı (m)}$$

Yukarıda geminin düşey boyuna eğilmesi üzerinde durulmuştur. Gemi deniz içersinde ilerlerken, direk baş ve kıç doğrultuların dışındaki farklı doğrultulardan da dalga kuvvetlerine maruz kalabilir. Bu kuvvetler, düşey yüklere ek olarak yatay eğilme yükleri ve burulma momentleri meydana getirirler. Bu tepki değerlerinin belirlenmesinde düşey gerilme kuvvetleri için yapılan hesaplamalardan yararlanılabilir. Fakat sakin su eğilme gerilmesi ve düşey kesme kuvveti etkilerinin olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Düşey ve yatay eğilme momentlerinin birleşimi gemi yapısının uç kenarlarında gerilmelerin artmasında büyük rol oynar.

$$\sigma = \frac{M_v}{\frac{I_v}{y_v}} + \frac{M_h}{\frac{I_h}{y_h}} \quad (79)$$

Varolan M_v düşey eğilme momenti durumunda, dalga kaynaklı M_h yatay eğilme momenti gerilmeleri artırır. Bu artışlar, üst sancak ve alt iskele ile alt sancak ve üst iskele kısımlarında görülür ve bu da bu bölgelerin destek elemanları ile kuvvetlendirilmelerini açıklar.

2.4.3.1.2. Enine Gerilmelerin Etkisi

Enine sistemle desteklenmiş levhadan oluşan boyuna mukavemet elemanı inceleyecek olursak, örnek olarak, tekne kirişinin birincil eğilmesinden oluşan σ_x gerilmesine maruz kalan gemi güvertesinin alabiliriz. σ_x gerilmesine bağlı oluşan ε_x enine şekil değiştirme bileşeni, ε_y aksenal şekil değiştirmeye sebep olur. Levhalar için yapılan kabullere göre, levhanın enine doğrultusunda sınırlama yoktur. Bu nedenle iki şekil değiştirme ters işaretli olur ve birbirlerine oranının mutlak değeri, malzemenin sabit bir özelliği olan Poisson oranını $\left(-\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} = \nu \right)$ verir. Çelik ve alüminyum malzemeler için bu değer yaklaşık 0,3 alınmaktadır.

Ayrıca, gerilme ve birim şekil değiştirme bileşenleri arasındaki ilişkiyi gösteren Hook Yasası'na göre, levhalarda birincil tepkiler hem boyuna hem de enine gerilmelerden oluşmaktadır.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [(\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z))] \quad , \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} [(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z))] \quad (80)$$

2.4.3.1.3. Kesit Modülünün Hesaplanması

Geleneksel gemi tasarımının en önemli adımlarından birisi de orta kesit modülünün hesaplanmasıdır. (71) denkleminde de görüldüğü gibi orta kesit modülü, tekne kirişinin eğilme mukavemeti özellikleriyle bağlantılıdır. Güverteye veya dibe göre kesit modülü, kesit atalet momentinin borda için tarafsız eksen ile kalıp güverte arasındaki mesafeye, dip için ise tarafsız eksen ile dip başlangıç hattı arasındaki mesafeye bölünmesiyle elde edilir.

Kesit modülünün hesaplanmasına genel olarak aşağıdaki sürekliliği veya etkinliği kanıtlanmış parçalar dahil olur.

- Güverte kaplaması, dış kabuk ve iç dip kaplaması,
- Güverte ve dip yapı kirişleri,
- Boyuna perdelerin levhaları ve boyuna stifnerleri,
- Güvertelerin, bordaların, dip ve iç dip yapıların tüm boyuna elemanları,
- Devamlı, boyuna ambar ağzı mezarnaları

Genellikle, sadece, çeki ve bası kuvvetlerinin her ikisine de karşı çalışan elemanların tekne kirişinin bir parçası olduğu kabul edilmektedir. Maksimum eğilme momenti eğrisinin ordinatlarının ilgili kesit modülü eğrisinin ordinatlarıyla bölünmesiyle ve sarkma ile çökme momentleri eğrilerinin ikisini de kullanılmasıyla dört adet gerilme eğrisi elde edilir. Bunlar, üst ve alt uç yapılar için çeki ve bası değerlerinden oluşmaktadır.

Gemide boyuna eğilme momentine bağlı güverteye veya dibe bağlı kesit modülü aşağıdaki değerden az olamaz;

$$W = \frac{M_T}{\sigma_p 10^3} \quad (\text{m}^3) \quad (81)$$

$$\sigma_p = \text{Müsaade edilen tekne kirişi eğilme gerilmesi} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{po}$$

$$\sigma_{po} = 18,5 \cdot \sqrt{\frac{L}{k}} \quad L < 90 \text{ m için}, \quad \sigma_{po} = 175/k \quad L \geq 90 \text{ m için}$$

$$c_s = 0,5 + (5/3) \cdot (x/L) \quad x/L < 0,3 \text{ için},$$

$$c_s = 1 \quad 0,3 \leq x/L \leq 0,7 \text{ için},$$

$$c_s = 5/3 \cdot (1,3 - x/L) \quad x/L > 0,7 \text{ için}.$$

Minimum kesit modülü genellikle ambar veya güverte açıklıklarında oluşur. Klas kuruluşlarına (Türk Loydu vb.) göre, minimum orta kesit modülü gereksinimi için hesaba katılan tüm boyuna devamlı yapı elemanlarının boyutları, $0,4L$ gemi ortası boyunca korunmalıdır. Bu uygulamayla, maksimum eğilme momentinin olduğu yerde olası değişme sağlamanın yanında, yapının orta kesit alanının maksimum kesme kuvveti değeri civarında tam değerde kalabilir. Yine, dibe veya güverteye göre hesaplanan minimum orta kesit modülü (W_{\min}), yatay eksene göre orta kesit atalet momenti (I_y), dibe ve güverteye göre ayrı ayrı minimum orta kesit modülleri (W_B , W_D) Türkloydu-2005 e göre sırasıyla aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$W_{\min} = k \cdot c_o \cdot L \cdot B \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_{RS} \cdot 10^{-6} \quad (\text{m}^3) \quad (82)$$

$$c_o = \text{Dalga katsayısı} \quad c_B = \text{Gemi blok katsayısı}$$

$$c_{RS} = \text{Servis katsayısı, sefer mesafesine göre } 0,75 - 1,0 \text{ arasında değişir.}$$

$$I_y = \frac{3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot L}{k} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot L / k \quad (\text{m}^4) \quad (83)$$

$$W = \frac{M_T}{\sigma_p \cdot 10^3} \quad (\text{m}^3) \quad (84)$$

$$W_B = \frac{I_y}{e_B} \quad (\text{m}^3), \quad e_B = \text{Orta kesit tarafsız ekseninin kaide hattından uzaklığı} \quad (85)$$

$$W_D = \frac{I_y}{e_D} \quad (\text{m}^3), \quad e_D = \text{Orta kesit tarafsız ekseninin güverte hattına uzaklığı} \quad (86)$$

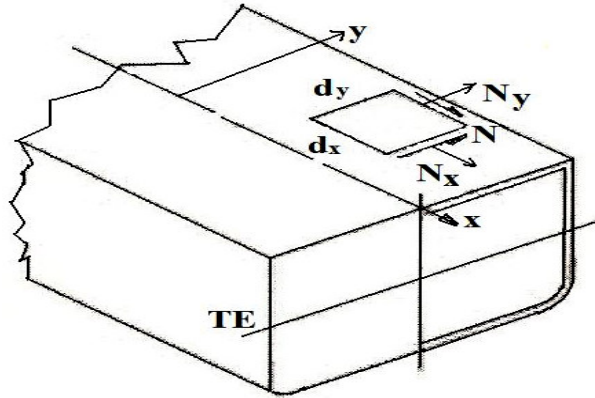
2.4.3.1.4. Kesme Kuvveti ve Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

Yukarıda, basit kiriş teorisinde birincil gerilmenin boyuna bileşeni σ_x 'in hesaplanması anlatılmıştı. Şekil 2.14 de görüldüğü gibi, borda levhası veya güverte kaplamasının herhangi bir elemanında genel olarak direk enine gerilme ve kayma gerilmesi olmak üzere iki gerilme değeri daha oluşabilmektedir. Şekilde normal gerilme (σ) değerlerinin levha kalınlığı ile çarpılmasıyla elde edilen gerilme bileşenleri ($N = \sigma \cdot t$) olarak gösterilmektedirler.

$$N_x = t \cdot \sigma_x \quad (\text{N/m}), \quad N_y = t \cdot \sigma_y \quad (\text{N/m}), \quad \text{Gerilme bileşenleri} \quad (87)$$

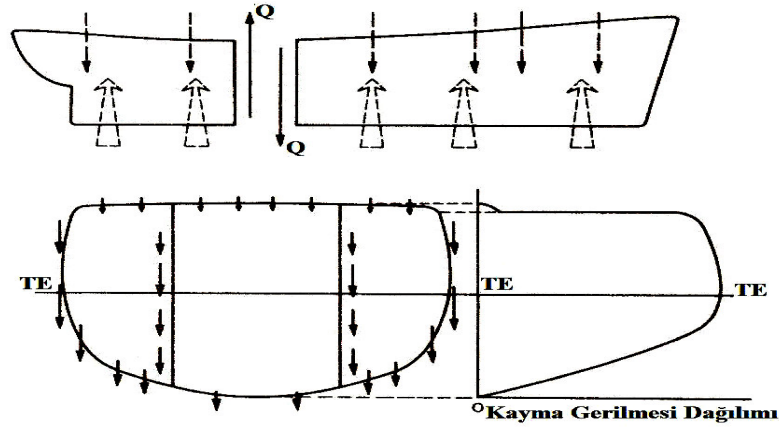
$$N = t \cdot \tau \quad (\text{N/m}), \quad \text{Kayma gerilmesi bileşeni} \quad (88)$$

$$t = \text{Levha kalınlığı (m)}, \quad \tau = \text{Kayma gerilmesi (N/m}^2\text{)}$$



Şekil 2.14. Borda levhası veya güverte kaplamasının herhangi bir bölgesinde oluşan enine gerilme ve kayma gerilmesi

Bir geminin boyu yönünde herhangi bir kısmındaki kesme kuvveti, o kısmı birleştiği kısma göre düşey yönde hareket ettirmeye çalışan kuvvettir. Kesme kuvvetleri gemi yan taraflarının kare geometrisini bozarak eşkenar dörtgen halini almasına zorlamaktadır. Bu kuvvet, kesitin bütününe oluşturan tüm parçalara dağılır. Kayma gerilmelerini de, kesme kuvvetinin kesitin alanına bölümü olarak hesaplayabiliriz. Şekil 2.15 de geminin bir kesitindeki kesme kuvveti dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Gemi kesitinde oluşan kayma gerilmesi dağılımı

Boyuna perdeleri bulunmayan (tek hücreli), enine simetriye sahip, düşey düzlemde eğilme momentine maruz kalmış gemilerde kayma gerilmesi bileşeni;

$$N_y = \left(\frac{Q_x}{I_x} \right) \cdot m_y \quad (89)$$

ve enine kesitin herhangi bir noktasında kayma gerilmesi;

$$\tau_y = \frac{Q_x \cdot m_y}{t_y \cdot I_x} \quad (\text{N/m}^2) \quad (90)$$

Q_x = Geminin herhangi bir x mesafesindeki kesitine etki eden toplam kesme kuvveti,

$m_y = \int_0^y t_y \cdot z \cdot d_y$, Geminin merkez hattının orjini ile herhangi bir y mesafesi

arasındaki levha kaplamasının tarafsız eksen etrafındaki enine kesit alanının momenti,

t_y = Malzemenin kesme düzlemindeki kalınlığı,

I_x = Tüm kesitin atalet momenti

Gemi boyunca herhangi bir x mesafesinde toplam düşey kesme kuvveti, bu x mesafesine kadar olan yük eğrisinin integrasyonu ile elde dileyebilir. Genellikle, maksimum kesme kuvveti değeri gemi boyunun baştan veya kıçtan $1/4L$ mesafesinde oluşur. Sadece dikey veya yarı-dikey elemanlar düşey kesme kuvvetini karşılamada etkin olsa da, bu kuvvetler borda kaplaması, varsa devamlı boyuna perdeler ve derin boyuna kiriş çerçeveleri tarafından karşılanır. Boyuna birkaç perdeye sahip gemilerde kayma gerilmesinin belirlenmesi daha zor ve karmaşıktır. Maksimum kayma gerilmesi değeri t kalınlığının borda levhası kalınlığının iki katı olduğu tarafsız eksen civarında oluşur. Doğru bir kayma gerilmesi dağılımı belirlemek için gerilme akışı teorisi içi boş bir kutu kirişe uygulanabilir (Rawson ve Tupper, 2001).

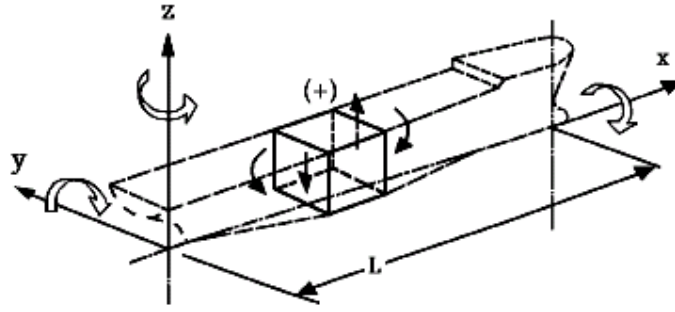
Kabul edilebilir kayma gerilmeleri için borda yapılarının yapımına daha önem verilmelidir. Kayma gerilmesinin etkisinden doğan malzeme bozulması, köşegen levha panellerin buruşması şeklinde oluşur. Bu şekilde oluşacak bir bozulma levha boyutlarına bağlıdır. Böylece, standart boyuna mukavemet hesabında belirlenen kayma gerilmesi borda levhasının kalınlığını ve stifner aralığını direk olarak etkilediği halde, geminin enine kesit yapısında önemli bir etkisi yoktur.

Geminin birçok bölümünde σ_x boyuna gerilmesi etkin olmasına rağmen bazı yerlerde kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri önemli hale gelebilmekte ve enine bileşen de aynı şekilde önemli olabilmektedir. Diğer gerilme bileşenlerinin belirlenmesi için levha elemanlarının statik denge durumundan yararlanılabilmektedir. Levha elemanlar için statik denge durumunda, sadece düzlem içi gerilmeler etkili olur ve levha eğilmesi yoktur. Bu düzlem içi gerilme denge durumu;

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (91)$$

$$\frac{\partial N_y}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial x} = 0 \quad (92)$$

Kesme kuvveti ve kayma gerilmelerinin hesaplanması için Türk Loydu-2005'in belirlediği kural ve amprik formüller aşağıdaki gibidir. Ayrıca sakin su ve düşey dalga kesme kuvvetleri Şekil 2.16 da gösterildiği gibi işaretler göz önüne alınarak toplanır.



Şekil 2.16. Sakin su kesme kuvvetleri ve düşey dalga kesme kuvvetleri

$$Q_T = Q_{SW} + Q_{WV} \quad (\text{kN}) \quad (93)$$

Q_{SW} = Sakin su kesme kuvveti

Q_{WV} = Düşey dalga kesme kuvveti

$$Q_{WV} = c_o \cdot c_L \cdot L \cdot B \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_Q \quad (\text{kN}) \quad (94)$$

c_o = Dalga katsayısı

c_L = Boy katsayısı

c_Q = Tablo 1.1 e göre belirlenen dağılım faktörü (Türk Loydu-2005)

Tablo 1.1 de formüllerde kullanılan;

$$m = -\frac{c_{1H}}{c_{1S}}$$

$c_{1H} = 0,19 \cdot c_B$, sarkma için,

$c_{1S} = -0,11 \cdot (c_B + 0,7)$, çökme için

Gemi dış kaplamalarında ve boyuna perdelerinde Q_T kesme kuvvetinden meydana gelen kayma gerilmesi $110/k$ (N/mm^2) değerini aşmamalıdır. İki den fazla boy perdesine sahip gemiler ile çift tekneli gemiler için özellikle gemi kesitleri üzerinde düzensiz yük dağılımları varsa, Türk Loydu tarafından kabul edilen hesaplama yöntemleri ile kayma gerilmelerinin dağılımı belirlenebilir.

Fakat iki adet boy perdesine sahip veya boy perdesi olmayan gemilerde, dış kaplamasındaki veya boyuna perdelerdeki kayma gerilmesi dağılımı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\tau = \frac{Q_T \cdot S}{I_y \cdot t} \cdot (0,5 - \alpha) \quad (\text{N/mm}^2) \quad (95)$$

t = Hesaplanan kesit için, borda kaplamasının ve boyuna perdelerin kalınlığı (mm)

$\alpha = 0$, boyuna perdesi olmayan gemiler için,

$\alpha = 0,16 + 0,08 \cdot \left(\frac{A_S}{A_L}\right)$, boyuna perdeler için,

$\alpha = 0,34 - 0,08 \cdot \left(\frac{A_S}{A_L}\right)$, borda kaplaması için

$A_S = H$ gemi derinliği boyunca borda kaplamasının kesit alanı (cm^2)

$A_L = H$ gemi derinliği boyunca boyuna perde kesit alanı (cm^2)

Enine perde üzerindeki stringerler boyuna perdeye veya borda kaplamasına mesnetleniyorsa bu kirişlerin mesnet kuvvetleri boyuna perdeler ve borda kaplamasındaki kayma gerilmelerinin belirlenmesinde göz önüne alınır. Stringerler tarafından boyuna perdede veya borda kaplamasında oluşturulan ek kayma gerilmeleri;

$$\tau_{St} = \frac{P_{St}}{b_{St} \cdot t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (96)$$

P_{St} = Stringer mesnet kuvveti (kN)

b_{St} = Mesnet noktasında, varsa uç braketi dahil, stringer genişliği (m)

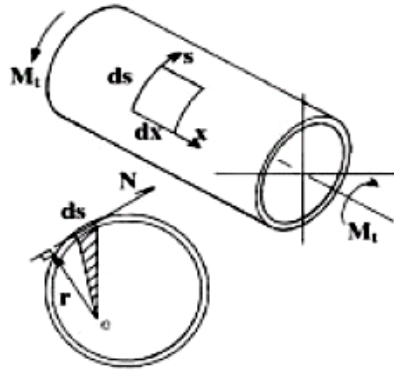
t = Hesaplanan noktada, boyuna perde veya borda kaplaması kalınlığı (mm)

Tablo 1.1. c_Q dağılım faktörü

Aralık	Pozitif kesme kuvvetleri	Negatif kesme kuvvetleri
$0 \leq \frac{x}{L} < 0,2$	$1,38 \cdot m \frac{x}{L}$	$-1,38 \frac{x}{L}$
$0,2 \leq \frac{x}{L} < 0,3$	0,276 ·m	-0,276
$0,3 \leq \frac{x}{L} < 0,4$	$1,104m - 0,63 + (2,1 - 2,76m) \frac{x}{L}$	$- \left[0,474 - 0,66 \frac{x}{L} \right]$
$0,4 \leq \frac{x}{L} < 0,6$	0,21	-0,21
$0,6 \leq \frac{x}{L} < 0,7$	$0,9 \frac{x}{L} - 0,33$	$- \left[1,47 - 1,8m + 3(m - 0,7) \frac{x}{L} \right]$
$0,7 \leq \frac{x}{L} < 0,85$	0,3	-0,3 m
$0,85 \leq \frac{x}{L} \leq 1,0$	$2 \left[1 - \frac{x}{L} \right]$	$-2m \left[1 - \frac{x}{L} \right]$

2.4.3.1.5. Burulmadan Kaynaklanan Kayma Gerilmeleri

Burulma denklemleri elde edebilmek için, kapalı, tek hücreli, ince cidarlı prizmatik kesite sahip, sadece, boy yönünde değişmeyen M_T burulma momentine sahip bir eleman seçilmesi uygundur. Kayma gerilmesi bileşeninin levha kalınlığı boyunca sabit ve malzemenin orta düzlemine teğet olduğu kabul edilebilir. Bu şartlar altında, burada bozulma olarak, şeklinde bir değişiklik olmaksızın kesitinde bir burulma görülür ve burulma oranı $d\theta/dx$ şekil boyunca sabittir.



Şekil 2.17. Boru cidarına ait $dx.ds$ elemanına x yönünde etki eden kuvvetler

Şekil 2.17 deki boru cidarına ait $dx.ds$ elemanına x yönünde etki eden kuvvetlerin dengesini göz önüne alalım. Boyuna etki eden bir yük bileşeni olmadığından boyuna gerilme de yoktur. Statik denge için sadece üst ve alt kenarlardaki kayma gerilmeleri hesaba katılır. Kesit etrafında kayma gerilmesi akışı ($N = t \cdot \tau$) sabittir. M_T momenti, herhangi uygun bir ekseninde kayma gerilmesi akışından kaynaklanan birincil kuvvetlerin momentinin integralinin alınmasıyla hesaplanabilir. Eğer r , O ekseninden mesafe ise kayma gerilmesi bileşenine dik s deki moment;

$$M_T = \oint r \cdot N \cdot ds = N \oint r \cdot ds = 2 \cdot N \cdot \Omega \quad (97)$$

Ω = Enine kesitin orta düzlem çizgisiyle çevrelenmiş alan ise sabit kayma gerilmesi akışı değeri;

$$N = t \cdot \tau = \frac{M_T}{2\Omega} \quad (98)$$

Kapalı prizmatik kesitin eşit burulma değeri için, burulma açısı;

$$\theta = \frac{M_T \cdot L}{G \cdot I_p} \quad (\text{radyan}) \quad (99)$$

M_T = Burulma momenti (N.m)

L = Kiriş uzunluğu (m)

I_p = Polar atalet momenti (m⁴)

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \text{ Kayma modülü (N/m}^2\text{)}$$

2.4.3.1.6. Burulma ve Çarpılma

Burulma birçok gemide pek önemli bir faktör olmamasına rağmen, konteyner gemisi gibi geniş ambar açıklıklarına sahip gemilerde önemli ek gerilmeler doğurabilir. Bu çarpılma gerilmeleri, burulma ve çarpılma bozukluklarını da içine alan kiriş analizleriyle hesaplanabilmektedirler. Ayrıca, tekne kirişinin yatay eğilmesi ile burulması arasında bir etkileşim vardır. Tekneyi yatay düzlemde eğmeye çalışan dalga hareketleri aynı zamanda geminin dibinin alt tarafındaki kayma merkezinde, açık enine kesit sebebiyle burulmaya da sebep olmaktadır. Konteyner gemilerinde burulma rijitliğini arttırmak için, üst tarafta ve güverte yapısında enine ve boyuna kapalı kutu kirişler yerleştirilmelidir.

Gemilerde çarpılma mukavemeti doğuran dört kaynak sayılabilir. (Bannerman ve Yan, 1980)

- Güverte açıklıkları arasındaki kapalı bölümler,
- Geminin sonlarındaki kapalı bölümler,
- Çift cidarlı gemilerdeki enine perdeler,
- Kapalı ve burulmaya dayanıklı enine kesit bölümleri (boyuna burulma boruları veya kutuları, çift dip yapısı ve çift borda levhası vb.)

2.4.3.1.7. Yan Ötelenme ve Kıvrılma

Yan ötelenme teknenin enine şekil değiştirmesinin bir sonucudur ve geminin yalpalamasından doğan dinamik yükler veya denizin geminin üst bölgelerinde yarattığı enine çarpma etkisinden kaynaklanmaktadır. Eğer perde aralıkları, dış kabuğun veya

güverte kaplamasının kendi içersinde çökmesini önlemek amacıyla birbirine yakın tutulursa, enine perdeler yan ötelenmeye direnç gösterebilirler. Yan öteleme, perde levha düzleminde bası ve kesme kuvvetleri doğurur. Yalpa hareketi, gemi bir doğrultudaki salınımını tamamlayıp geri dönerken maksimum değerine ulaştığından yan öteleme gerilmeleri oluşur.

Bir kemere ile borda postası arasındaki açılı üst taraftan bir tarafın açılıp diğer tarafın kapanmasına, alt tarafta da tersi bir harekete neden olmaktadır. Bu kuvvetli ve yumuşak bölgelerin bir araya gelmesinin etkisi güverte yapısında bozulma oluşturur. Kıvrılma davranışı da denilen bu durum burulma ve yan ötelemeyle de ilişkilidir.

2.4.3.2. İkincil Tepkiler

Yukarıda anlatıldığı gibi birincil tepkiler sadece gemi boyunca düzlem içi yük, sehim ve gerilme dağılımlarının belirlenmesini kapsamaktadır. İkincil yapısal tepkiler incelenirken ise, prensipteki amaç destek elemanlarıyla oluşturulmuş bir panelin boyunda ve genişliğinde hem düzlem içi hem de normal yük, gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarını belirlemektir. Böylece bakıldığında, birincil tepkilerin bir boyutlu olduğu, ikincil tepkilerin ise iki boyutlu olduğu görülmektedir.

2.4.3.2.1. Desteklenmiş Paneller

Desteklenmiş bir panel geçmiş bölümlerde de anlatıldığı gibi, bir levha ve bu levhaya destek amacıyla bağlanmış stifnerler, enine postalar veya kirişlerden oluşmaktadır. Eğer levha kullanılmadan direk çubuk yada kiriş elemanların birbirine bağlanmalarıyla oluşturulmuşsa bu yapıya ızgara adı verilir. Prensip, desteklenmiş panellerin gerilme ve şekil değiştirme çözümleri, birbirine dik olarak bağlanmış elemanlardan oluşan sistemin çözümü olarak düşünülebilir. Şekil 2.18 de örnek bir desteklenmiş panel gösterilmiştir.

Desteklenmiş levha panellerin normal yükler altındaki davranışlarını elde etmek için dört farklı durum göz önüne alınabilir. Bunların hepsinde belirli basitleştirme kabulleri yapılmaktadır.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1- Ortotropik levha teorisi | 3- Izgara (kesişen kirişler) teorisi |
| 2- Elastik zemine oturan kiriş teorisi | 4- Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) |

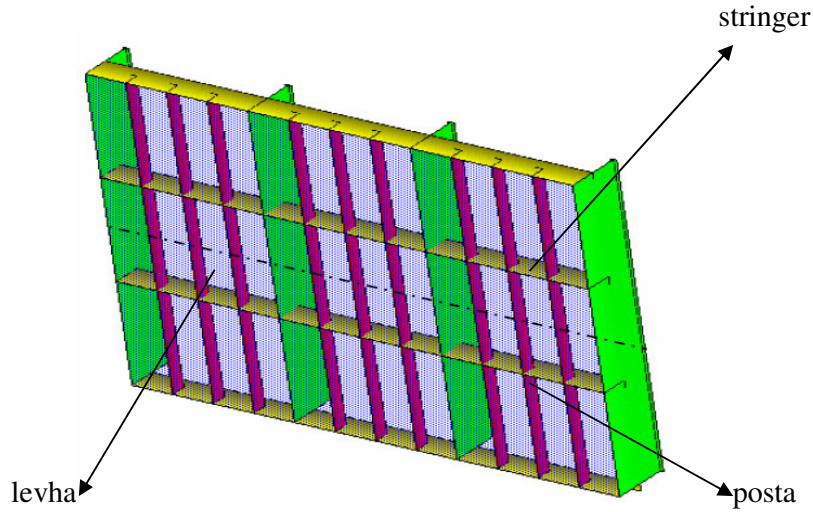
Ortotropik levha teorisi, iki ortogonal doğrultuda farklı eğilme rijitliklerine sahip levhaların eğilmesi teorisine dayanır. Bu teorinin ayrı stifnerlerden oluşan panellere uygulanmasında, panel yapısı, kendisini oluşturan stifnerlerin yapısal özelliklerinin ortalama değerleri alınarak eşit stifnerler kullanıldığı kabulü ile ve boy veya en yönünde eşit dağılacak şekilde idealize edilmesiyle oluşturulmaktadır. Yükleme sonrası panel levhasında oluşacak sehimler ve gerilmeler aşağıdaki verilen ortotropik levhaların sehim diferansiyel denkleminin çözümünden elde edilir.

$$a_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + a_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y) \quad (100)$$

a_1, a_2, a_3 = Ortotropik levhanın iki doğrultuda ortalama eğilme rijitliği

$w(x, y)$ = Levhanın normal doğrultusundaki şekil değiştirmesi

$p(x, y)$ = Birim alan başına yayılı normal basınç kuvveti (Kenar yüklemesi)



Şekil 2.18. Desteklenmiş panel örneği

İzotropik levhaların tüm doğrultularda eşit eğilme özellikleri göstermesi ortotropik levha probleminin özel bir durumudur. Boyut ve aralık olarak eşit, birbirine yakın yerleştirilmiş stifnerlere sahip levhalar için ortotropik levha yöntemi en uygundur. Fakat bu teorinin uygulanmasını panellerde tüm doğrultularda üç ve daha fazla stifner kullanılmasıyla sınırlandırmak gerekmektedir.

Elastik zemine oturan kiriş teorisinin çözümünün, bir doğrultuda eşit ve sık yerleştirilmiş, diğer doğrultuda da seyrek olarak yerleştirilmiş stifnerlere sahip panellere

uygulanması uygundur. Paneli oluşturan elemanlar elastik zemine oturmuş kiriş kabul edilerek tekil olarak incelenirler ve aşağıdaki denklemlerle sonuçları elde edilir.

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + kw = q(x) \quad (101)$$

w = Şekil değiştirme

I = Bağlandığı levha da dahil boyuna stifnerin kesit atalet momenti

k = Enine stifnerin birim boy ortalama yay sabiti

q(x) = Boyuna eleman üzerinde birim boy başına yük miktarı

Izgara yaklaşımı, birbiriyle kesişen ayrı kirişlerin oluşturduğu sistemlerden oluşan panellerin modellenmesinden oluşur. Tüm kirişler en basit anlamda stifner ve buna bağlı etkin levhadan oluşur. Panellerin burkulma rijitliği ve Poisson oranı etkileri ihmal edilir. Kesişen kirişlerle oluşturulan panel modellerinin doğruluğu, stifnerlerin eğilme rijitliğinin levha rijitliğinden küçük olması durumunda tehlikeye girebilir. Ayrıca, izgara yaklaşımı stifner eğilme rijitliğinin levha eğilme rijitliğine oranının 60 dan büyük olması durumunda kullanılabilir (Mansour,1977). Aksi halde ortotropik levha teorisi tercih edilmelidir. Ayrıca sonlu elemanlar yaklaşımı ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

2.4.3.3. Üçüncül Tepkiler

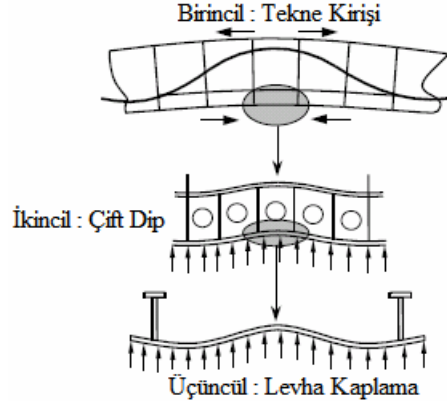
Üçüncül tepkileri, sınırlarını yukarıda anlatılan panellerin stifnerlerinin oluşturduğu tekil levhaların eğilme gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri meydana getirir. Genellikle, bu tepkileri oluşturan yükler gemi dış tarafındaki sudan ve içeride ıslak veya kuru yükler tarafından uygulanan sıvı basıncından kaynaklanır. Bu yükler panel yüzeyinin normaline ve yayılı olarak etki eder. Panellerin, boyutları, yönleri ve yerleri nasıl olursa olsun alanları üzerine gelen basınç sabit kabul edilmektedir. Daha önce de belirtilen ortotropik levha denkleminin özel bir hali olan izotropik levhanın şekil değiştirme denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial^4 \epsilon}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \epsilon}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \epsilon}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D} \quad (102)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu)}, \text{ Levha Eğilme Rijitliği} \quad (103)$$

t = Levha kalınlığı

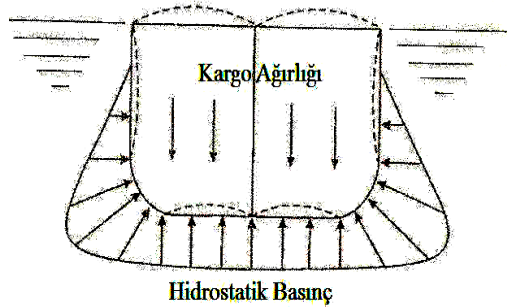
Panel kenarlarının sabitlik derecesini belirlemek için uygun sınır şartları belirlenmelidir. Eşit basınç dağılımı altındaki dikdörtgen levhaların gerilme ve şekil değiştirmeleri bu denklemin çözümüyle elde dileyebilir. Bu üç tepkiyi tekrar bir şekil üzerinde özetlemek gerekirse Şekil 2.19 incelenebilir.



Şekil 2.19. Geminin iç ve dış yükler altındaki tepki dereceleri

2.4.3.4. Enine Mukavemet Kriteri

Enine mukavemet, gemi yapısının, enine kesitinde bozulmaya sebep olan yüklerle karşı koyma kabiliyeti anlamındadır. Gemi gövdesi dibinden ve iki yan bordasından statik ve dinamik hidrostatik basınç kuvvetlerine maruz kalır ve içerideki kargo yüklerinin etkisi altındadır. Bu enine yükler, Şekil 2.20 da kesikli çizgilerle gösterildiği gibi enine kesitte deformasyon ve enine perdelerde, döşeklerde, borda postaları ve güverte kemerelerinde gerilmelere sebep olurlar. Birincil eğilme ve burulma mukavemeti analizleri enine yönde herhangi bir bozulma olmadığı kabulüne göre yapılmaktadır. Aslında, enine mukavemet ile boyuna ve burulma mukavemeti arasında bir ilişki vardır.



Şekil 2.20. Enine yüklerin kesit üzerinde etkileri

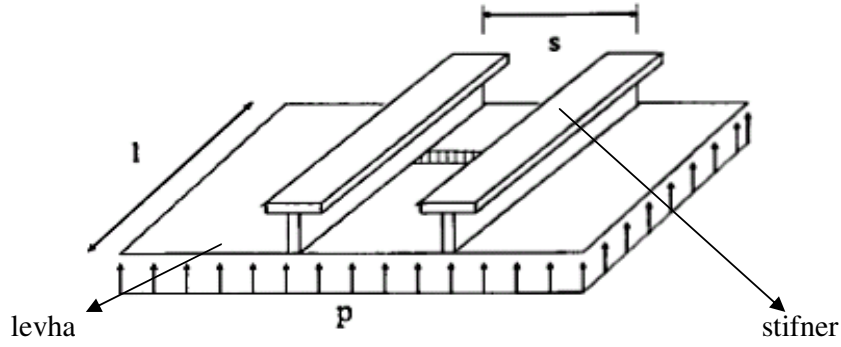
Enine mukavemete katılan elemanlar birincil ve ikincil tepkileri oluşturan elemanlardır. Enine perdeler ve derin çerçeve postaları gibi bazı yapı elemanları yeterli enine mukavemeti sağlamak için gemi içerisinde birleştirilmelidir. Bu elemanlar, boyuna elemanlara bağlanarak onları destekler ve yüklerin yapının bir tarafından diğer tarafına transferini sağlarlar. Örneğin, geminin dip tarafında bir bölgesinde gövdeye etki eden basınç kuvveti merkez omurga ve diğer boyuna elemanlar aracılığıyla sonlarındaki bağlı oldukları enine perdelerle iletilir. Perdeler de bu kuvveti düşey kesme kuvveti olarak borda kaplamasına aktarırlar. Örnekten de anlayacağımız gibi enine mukavemet elemanlarını etkileyen bazı yükler ve kuvvetler aynı zamanda boyuna mukavemet elemanlarını da ilgilendirmektedir.

Enine mukavemet analizinde incelenen yükler, geminin tipine, yapısal yerleşime, operasyon türüne ve çevresel etkilere bağlı olarak değişiklik gösterirler. Enine mukavemete dikkat edilmesi gereken farklı bu durumlar aşağıda özetlenmiştir.

- Geminin suyun dışında olduğu durumlar; inşa kızıklarında iken, kuru havuzda onarımı sırasında,
- Boş borda tanklarına ve dolu merkez hattı tankına veya tam tersi durumda tank yapısına sahip tankerlerde,
- Yüklü merkez ambarına ve boş borda tanklarına sahip maden cevheri gemilerinde,
- Yalpa, meyil ve trim gibi asimetrik hareketlerden dolayı oluşan burulma ve yan ötelemeye maruz kalan tüm gemi tipleri,
- RO-RO, konteyner gibi enine etkilere karşı hassas yapısal özelliklere (az sayıda enine perdeye) sahip gemilerde.

2.4.3.5. Yerel Mukavemet Durumları

Birincil ve ikincil yapı elemanlarının yerel mukavemeti, yanal basınç veya tekil yükler gibi yerel yüklerin doğurduğu gerilmeler kullanılarak hesaplanabilir. Stifner ve kirişlerin gerilme ve şekil değiştirme değerleri hesaplanırken yine Bernoulli-Euler kiriş teorisi, levhalar için ise levha teorisi kullanılır. Şekil 2.21 de görülen yerel yapı elemanlarının, yerel eğilme momenti ve kayma dayanımı değerlerine bağlı boyutlandırılmaları incelenirse;



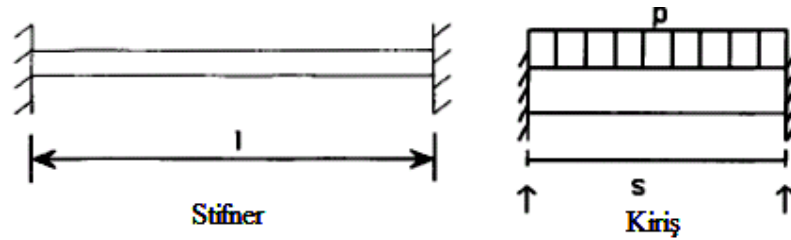
Şekil 2.21. Levha-stifner birleşiminden oluşan yerel bir alt yapı elemanı örneği

Minimum stifner boyutu, stifner aralığı, stifner genişliği, dizayn basıncı ve kabul edilebilir gerilme fonksiyonu olarak, stifnerin kesit modülüne bağlı belirlenir. Kiriş teorisinden gerekli stifner kesit modülü, $SM = \frac{M}{\sigma}$ ve uçları ankastre bağlı stifnerlerin

maksimum eğilme momenti, $M = \frac{q \cdot \ell^2}{12}$ dir. Yük etkisindeki genişliği stifner aralığına eşit

olan stifnere bağlı levhaya etkileyen yanal basıncı karşılaması gerekmektedir. Stifner üzerindeki yayılı yük $q = p \cdot s$ şeklinde hesaplanabilir. Burada s stifnerler arası mesafe, p

ise dizayn basıncıdır. Buradan hareketle; $SM = \frac{p \cdot s \cdot \ell^2}{12 \cdot \sigma}$ olarak hesaplanabilir.



Şekil 2.22. Stifner ve kirişin şematik gösterimi

Kirişlerin boyutlandırılması için de kesit modülü ve bunun yanında da kirişin yüksekliği nedeniyle kesme kuvveti de göz önüne alınır. Kirişlerin enine kesit alanına (A' 'ya) göre boyutlandırma kriteri;

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (104)$$

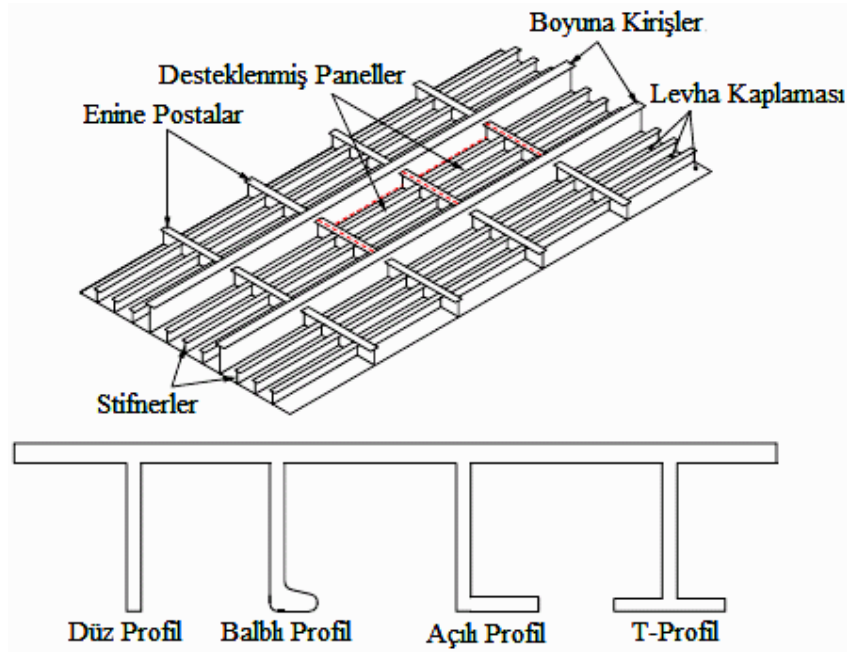
τ = Kayma gerilmesi

$Q = 0,5 \cdot p \cdot b \cdot S$, yükün eşit dağılması halinde uçlardan birinin taşıdığı yük (105)

p = Kirişe etkiyen dizayn basıncı (N/m^2), b = Yükün etkidiği genişlik (m)

$A \geq 0,5 \cdot p \cdot b \cdot s / \tau_{\text{kabul}}$, kabul edilebilir τ_{kabul} değeri kirişe bağlıdır. Ayrıca kirişler, bağlantı levhası kalınlığını, kiriş bağlantı alanını ve kiriş fleuç kalınlığının fleuç genişliğine oranını sağlamalıdır.

Alt yapı ve yerel yapı destek elemanları (desteklenmiş paneller, levhalar postalar, kemereleler, stifnerler vb.) ile bunları oluşturan profil tipleri ticari bir gemiden örnek alınarak Şekil 2.23 de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Alt yapı ve yerel yapı destek elemanları ve bunları oluşturan profil tipleri

2.4.3.6. Gerilmelerin Süperpozisyonu

Levhalarda, yüklerden doğan kuvvetler, boyuna gerilmeler, enine gerilmeler ve kayma gerilmelerine sebep olur. Bu gerilmeler her tepki durumu için tek tek hesaplanabilir. Bu hesaplama yöntemi klas kuruluşlarının izlediği yoldur. Fakat sonlu elemanlar analizi gibi direk analiz yöntemlerinde bu gerilmeleri ayırarak hesaplamak her zaman mümkün olmayabilir. Eğer tekil olarak hesaplama yapılıyorsa, tüm boyuna gerilmeler hesaba katılmalıdır. Benzer, ekleme yöntemi işlemleri enine gerilmeler ve kayma gerilmeleri için

de yapılmalıdır. Bu işlemlerin ardından gerilme bileşenleri, gemi yapıları için kullanılan 'von Mises eşdeğer gerilme' kriteri altında bir araya getirilir.

Klas kuruluşları tarafından uygulanan standart yöntem, tekne kirişinin birincil tepkilerinden doğan boyuna gerilmelerin diğer gerilmelerden ayrı hesaplanabileceğine dayanır. Klas kuralları, izin verilebilir gerilmeler, minimum kesit modülü ve tekne kirişi eğilme momentinden kaynaklanan maksimum boyuna gerilme değerlerine göre düzenlenmiştir. Diğer taraftan, levhalarda ve yapı elemanlarında ikincil ve üçüncül tepkilerden gelen birleştirilmiş gerilmelerin kullanılmasını önerirler. Bu birleştirme yine von-Mises eşdeğer gerilme kriteri altında yapılır ve klas kurallarının gerekleriyle karşılaştırılır.

Bu ayrık yöntem kullanım için uygun fakat tam olarak gerçeği yansıtmaması açısından uygun değildir. Direk analiz yöntemlerinde bu yol izlenmemektedir. Birincil, ikincil ve üçüncül tepkilerden kaynaklanan gerilmelerin hepsi akma durumu değerlendirmesi için birleştirilir. Düzlem içi gerilmelere sebep olmadığı için, burulma değerlendirmesinde, üçüncül tepkiler göz ardı edilir. Fakat bunun yanında, yanal yükler burulma denkleminde göz önüne alınabilir. Ayrıca, üçüncül gerilmeler yorulma analizinde hesaba katılmalıdır.

Birincil, ikincil ve üçüncül gerilmelerin tüm hesaplanma yöntemlerinde, yapı malzemelerinin liner elastik davranış sergilediği kabul edildiği için, aynı elemanlar için hesaplanan gerilme değerleri, maksimum birleşik gerilmeyi elde etmek amacıyla üst üste getirilebilmektedir. Böyle bir liner süperpozisyonu uygulamak ve değerlendirebilmek için, sonuç gerilme değerlerinin doğruluğunu ve önemini etkileyen bazı faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

İlk olarak, yükler ve gerilme bileşenlerini hesaplama yöntemleri aynı doğrulukta ve güvenilirlikte olmayabilir. Örneğin, birincil yükleme gemi ve dalga hareketlerinde bazı basitleştirmeler içeren bir teori ile elde dileyebilir. Ve birincil eğilme gerilmesi, güvertede ve dipte kabul edilebilir derecede iyi bir tahmini ortalama gerilme değeri veren fakat gerilme yığılması veya kayma gerilemesi gibi bazı yerel etkileri göz ardı eden basit kiriş teorisi ile hesaplanabilir.

İkinci olarak, gemi dalgalar içerisinde hareket ettiği için üç gerilme bileşeni aynı zamanda aynı önemde etkili olmayabilir. Örneğin, gemi ortasında maksimum birincil gerilme meydana getiren maksimum eğilme momenti, maksimum yerel basınç nedeniyle gemi dip yapısının orta panelinde (ikincil gerilme) veya panel levhasında (üçüncül gerilme) aynı derecede oluşmayabilir.

Üçüncü olarak, üç gerilme bileşenin maksimum değerleri bir yapının aynı bölgesinde veya aynı yönde önem arz etmeyebilir. Bunu daha iyi anlamak için boyuna posta sistemiyle oluşturulmuş dip yapısında bir paneli ele alabiliriz. Panelin ön ve arka sınırlarını enine perdeler oluşturur. σ_1 birincil gerilmesi boyuna yönde etki eder. Bu değer levhada ve stifnerlerde yaklaşık aynı ve gemi ortası paneli boyunca sabit olur. Levhada Poison katsayısı nedeniyle küçük değerde bir enine bileşen ve kayma gerilmesi oluşur. Stifner-levha birleşiminin toplam tarafsız ekseni genellikle birleşim noktasına yakın olduğu için, stifnerlerin serbest kenarlarındaki ikincil gerilmeler levhadakinden daha büyük değerde olur. Panel boyunca değişkenlik gösteren ikincil gerilmeler, tek cidarlı gemilerde genellikle iki parçaya ayrılır. Birinci parça (σ_2) enine perdeler, borda levhaları ve boyuna perdeler ile sınırlanmış panel yapısının eğilmesiyle oluşan gerilmelerle ilgilidir. Bu durumda başlıca destek elemanları, merkez veya yan omurgalar, enine posta çerçeveleridir. İkinci parça (σ_2^*), derin posta çerçeveleriyle sınırlanan daha küçük panel levhaları ve boyuna stifnerlerin eğilmesinden oluşan gerilmelerle ilgilidir. Birinci parça σ_2 gerilmesi enine doğrultuda boyuna doğrultudan daha büyük olur. İkinci parça σ_2^* gerilmesi boyuna doğrultuda daha ağırlıklıdır. Üçüncül (σ_3) gerilmesinin en büyük değeri levhada iki eksenli gerilmelerin olduğu yerde meydana gelir. Boyuna destekleme sistemi durumunda, en büyük üçüncül panel gerilmesi panelin uzun kenarının ortasında, enine doğrultuda (posta sistemine dik) etki eder.

Yukarıda anlatılan şartlar altında tüm durumlarda, yapıda en yüksek gerilme değerinin olduğu nokta her zaman kesin olarak belirlenemez. Fakat birkaç farklı yerde ve zamanda birleşik gerilme etkileri incelenerek yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

2.4.3.7. Von Mises Eşdeğer Gerilmesi

Malzemenin akma dayanımı σ_{akma} (σ_o), her iki ucundan çekme gerilmeleri ile çekildiğinde, malzemenin plastik (kalıcı) deformasyonunun başladığı noktadaki gerilme olarak tanımlanır. Nihai gerilme ise, test numunesinin kırılmadan hemen önce aşılacak en yüksek gerilme değeridir. Çoğu gemi inşa çeliğinde çeki ve bası durumlarında akma ve kopma mukavemetleri eşit kabul edilir.

Malzemelerin akma veya nihai gerilmelerinin tek değer olarak ifade edilerek çok eksenli gerilmelerle karşılaştırılmasına olanak tanıyan bir gerilme kriteri kullanılır. Bu amaçla türetilmiş ve gemi inşa çeliği için uygun olan ‘von Mises’ akma kriteri teorisinin özel hallerinden birisi olan ‘genel levha düzlem gerilme durumu’ için aşağıda verilen denklem kullanılmaktadır.

$$\sigma_e = \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2 \right)^{1/2} \quad (106)$$

Gerilme bileşenlerinin σ_x, σ_y, τ ’dan oluştuğu bir düzlem gerilme alanı düşünürsek; akma ile oluşan bozulma, eşdeğer von Mises gerilme değerinin (σ_e), malzeme numunesinin akma değeriyle ilgili olarak, eşdeğer gerilme (σ_o) değerini aşması halinde oluşur.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Buraya kadar olan bölümlerde yapısal tasarım başlığı altında geminin genel yapısı, yapı elemanları, tasarıma etki eden faktörler ve yapı malzemeleri anlatılmış, ardından da yapısal analiz başlığı altında gemiye etki eden yükler ile bunların geminin bütününde ve/veya yerel kısımlarında oluşturduğu kuvvetler, gerilmeler ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

Farklı yük-kuvvet-gerilme etkileşimlerinin değerlendirilmesi ile bu değerlendirmeler sonucunda gemi yapısının ve yapı elemanlarının boyutlandırılması için uygulanan klâs kuralları temelli ve bilgisayar destekli sayısal çözüm temelli yapısal modelleme ve model analizi gibi iki farklı yöntem kullanıldığından yine önceki bölümlerde söz edilmişti. Bu bölümde, yapı ve yapısal elemanlar için limit durumları, bozulma biçimleri ve bunların çözüm teorileri ve uygulamaları ile bilgisayar destekli modelleme ve analiz yöntemleri anlatılacaktır. Gemilerin yapısal statik ve dinamik analizlerinde kullanılan başta sonlu elemanlar yöntemi olmak üzere analiz yöntemleri, yapılan örnek analizler ve bu analizler için kullandığımız, sonlu elemanlar yöntemi temelli çözümler sunan ANSYS yazılımı üzerinde durulacaktır.

3.2. Limit Durumları ve Yapısal Bozulma Biçimleri

Yapısal bozulmalardan kaçınmak gemi tasarımcısının en önemli amaçlarından birisidir. Bu amacı gerçekleştirmek için olası limit durumlarının, bozulma biçimlerinin ve bunların oluşumlarının belirlenmesi yöntemlerini bilmesi gerekmektedir. Bu bölümde, başlıca bozulma biçimlerinin oluşumları ve bunları ilgilendiren limit durumları üzerinde durulacaktır.

Genel anlamda limit durumlarını, yapının ve/veya yapı elemanlarının bozulduğu fakat hala görevini yerine getirebildiği ‘görevini yerine getirebilme limit durumu’ ve yapının ve/veya yapı elemanlarının görevini yerine getirme kabiliyetini yitirdiği ‘nihai limit durumu’ olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (Rigo,Rizzuto,2003). Biraz daha ayrıntılı bir analiz

açısından bakıldığında, bu iki limit durumuna, ‘yorulma limit durumu’ ve ‘geçici limit durumu’ olmak üzere iki limit durumu daha eklenebilir ki bu sınıflandırma ISO tarafından da kabul edilmektedir.

Adı geçen ilk limit durumunda, yapı düşünülen görevini tam yerine getiremez, estetiksel, işlevsel ve bakımsal problemler oluşur fakat yapı olarak tamamen çökme olmaz. Örnek olarak, çok büyük güverte şekil değiştirmesi, levhanın elastik burkulması verilebilir.

Nihai limit durumunda ise, kaza ve karaya oturma şartlarını içeren çok büyük hasar görme ve yapısal olarak tamamen işlevini yitirme durumları oluşur. Bunun en iyi örneği, nihai gövde eğilme momenti durumudur.

Malzeme yorulmasını üçüncü bir limit durumu olarak düşünüleceği gibi görevini yerine getirebilme limit durumu olarak ta göz önüne alınabilir. Akma durumu ve titreşim durumu da yine çoğu zaman hizmet verebilme limit durumu olarak göz önüne alınmaktadır.

Sonuç olarak bu farklı limit durumlarının ayırımını çok iyi yapmak gerekmektedir. Çünkü bu farklı limit durumları için alınacak kısmi güvenlik önlemleri de farklılık göstermektedir.

3.2.1. Temel Yapısal Bozulma Biçimleri

Yapısal bozulmalar çok farklı sebeplerden dolayı meydana gelir ve derecesi veya şiddeti basit bir estetik görünüş bozulmasından, geminin kaybına sebep olacak şekilde aşırı bir yaralanma durumuna kadar değişiklik gösterir. Üç temel bozulma biçimi tanımlanabilir (Rigo,Rizzuto,2003).

- Malzemenin çeki veya bası durumunda akma noktasına ulaşması (plastisite hali)
- Bası sonucu stabilite bozulması (burkulma)
- Sünek çeki kuvveti kopması, kısa periyotlu yorulma ve gevrek kırılmaları içeren kırılma durumları.

Akma, yapısal bir elemandaki gerilme değerinin, elemanın yapım malzemesinin kalıcı plastik şekil değişimine maruz kalmasına sebep olan değeri aşması durumunda gerçekleşir. Bu değer malzemenin ‘akma gerilmesi’ olarak adlandırılır. Bunu aşan herhangi bir gerilme değeri ise malzemenin kırılmasına yol açan ‘nihai gerilme’ olarak adlandırılır.

Bası kuvvetleri etkisi altındaki yapısal elemanın stabilite bozukluğu ve burkulma durumu malzemenin akma gerilmesi değerinin oldukça altında bir gerilme değerinde

gerçekleşir. Stabilite bozukluğu ve burkulmanın oluştuğu kuvvet, malzemenin mukavemet değerinden çok elemanın geometrisine ve malzemenin narinliğini gösteren elastisite modülü değeri ile ilişkilidir. Stabilite bozukluğuna en iyi örnek, Euler Kritik Yüğü değerine eşit veya bunu aşan bası kuvveti etkisi altındaki basit bir kolonun burkulması verilebilir. Bası kuvvetleri altındaki bir levha da, değeri levhanın kalınlığına, yan boyutlarına, kenar mesnet şartlarına ve malzeme elastisite modülüne bağlı değişen kritik burkulma kuvvetine maruz kalabilir. Bu kuvvet değerinin küçük bir oranda aşılması bir kolondakinin aksine toplamda önemli bir bozulmaya sebep olmaz. Yüğü kalkmasının ardından levha tekrar orijinal durumuna (elastik burkulma) döner.

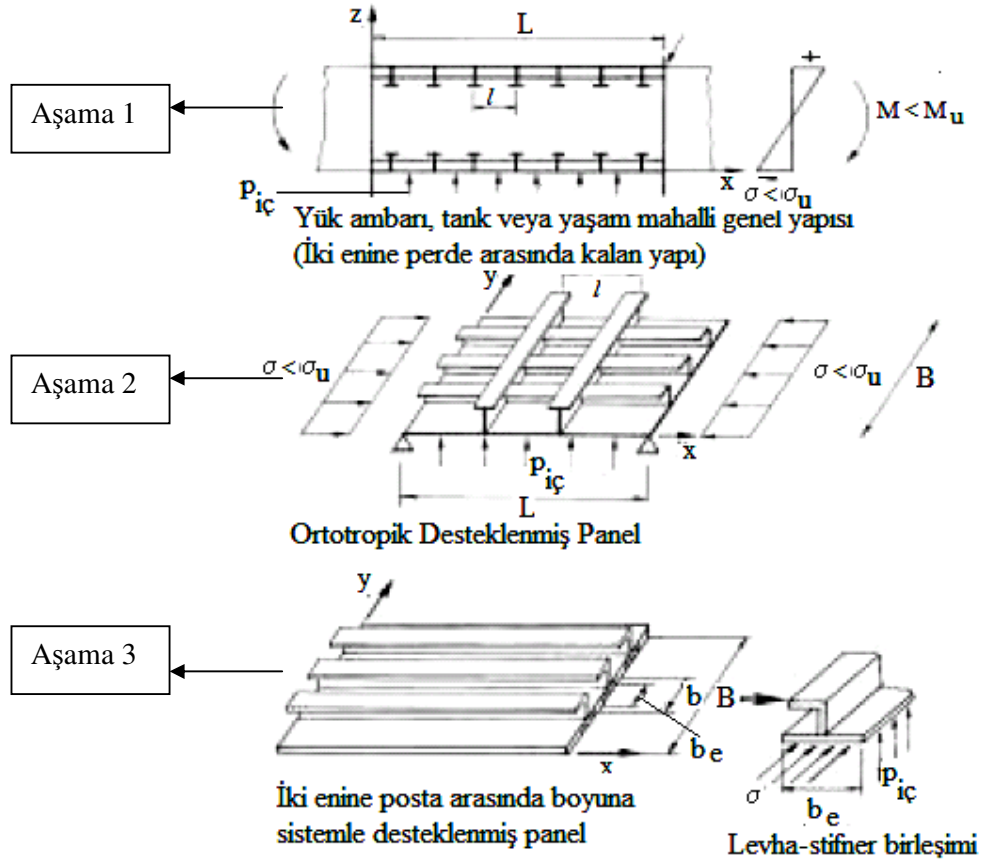
Yorulma bozulması, yapısal elemanın maruz kaldığı kuvvetlerin ve oluşan gerilmelerin etkilerinin birbirleri üzerine eklenerek etkimesinin sonucu olarak ortaya çıkar. Her gerilme periyodu malzeme içersinde küçük fakat telafi edilemez hasarlar oluşturur. Bütün bu hasar yığılmalarından sonra, elemanın yük altında görevini yerine getirme kabiliyeti düşer. Yorulma hasarı kısa-periyotlu yorulma ve uzun-periyotlu yorulma olmak üzer iki farklı kategoride ele alınır (Rigo ve Rizzuto,2003). Birincisi, birkaç bin periyotdan sonra kırılmaların görülmeye başlanacağı, akma değeri civarlarında, yüksek gerilme değerleri içerir. İkincisinde ise, bozulma yavaş ilerleyen ve yapı tehlikeye girmeden tespit edilip onarılabilen küçük kırılmalar şeklinde görülmeye başlar. Uzun periyotlu yorulma, milyonlarca küçük akma gerilmesinin altında gerilme içerir. Bu gerilmeler daha çok yüksek hızla dönen makine parçalarında, şiddetli ve sürekli titreşim altında çalışan yapı elemanlarında meydana gelir.

Belli bir sıcaklığın altında, çeliğin nihai çeki mukavemetinde keskin bir azalma yaşanması halinde oluşan durum gevrek kırılma adını alır. Gevrek kırılma durumunda, kırılmalar aniden büyümeye başlar ve yapının önemli kısımlarına doğru ilerler. Çatlakların başlamasının temelinde zayıf tasarım ve üretim tecrübesizliği vardır. Yorulma, bu çatlak başlangıçların önemli rol oynamaktadır. Gevrek kırılmanın önüne geçilmesi için malzeme seçimine ve yapısal tasarım ayrıntılarına yeterince dikkat edilmelidir.

Ayrıca bu üç bozulma biçiminden başka, kaza-karaya oturma ile titreşim-gürültü olmak üzere iki farklı durum daha mevcuttur.

3.2.2. Bozulma Biçimlerinin Sınıflandırılması

Gemi yapısında oluşan bozulma türleri, kaynakla birbirine bağlanan elemanların oluşturduğu panellerden meydana gelen yapının kalitesine göre değişiklik gösterir. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi kaynak bağlantılarıyla oluşturulan farklı yapı bileşenleri Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yapı bileşenlerinin gösterimi

Şekilde gösterilen yapı aşamaları ve bunlarla ilgili bozulma biçimleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Aşama 1 de görüldüğü gibi, bütün yapının nihai eğilme momenti M_u , aşama 2 de altı farklı durumun gerçekleştiği, bası kuvveti altındaki ortotropik desteklenmiş panelin nihai mukavemeti $\sigma_u = \min[\sigma_u(\text{durum } i)], i=1-6$ olarak belirlenir. Oluşan altı durum aşağıda özetlenmiş ve Şekil 3.2 de gösterilmiştir. Ayrıca bu üç aşamadan başka

dördüncü bir aşama olarak iki stifner arasındaki levhanın eğilmesini de (Şekil 3.2.a) bunlara ekleyebiliriz.

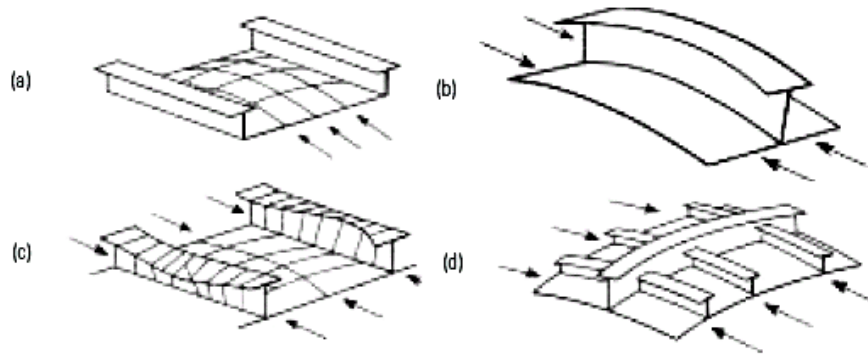
Durum 1. Yapının bütün olarak eğilmesi durumu (Şekil 3.2.d)

Durum 2. Levha/Stifner için akma durumu

Durum 3. Levha-stifner birleşiminden oluşan çerçeve paneller için, levha burkulması ve stifner burkulması (Şekil 3.2.b, Şekil 3.1 Aşama 3),

Durum 4. ve 5. Stifnerlerin stabilitesinin bozulması (Şekil 3.2.c)

Durum 6. Bütüt akma değeri



Şekil 3.2. Desteklenmiş panellerin eğilmesi durumunda oluşan bozulma biçimleri

3.2.3. Yapısal Bozulma Durumlarının İncelenmesi

3.2.3.1. Levhaların Burkulması ve Nihai Mukavemeti

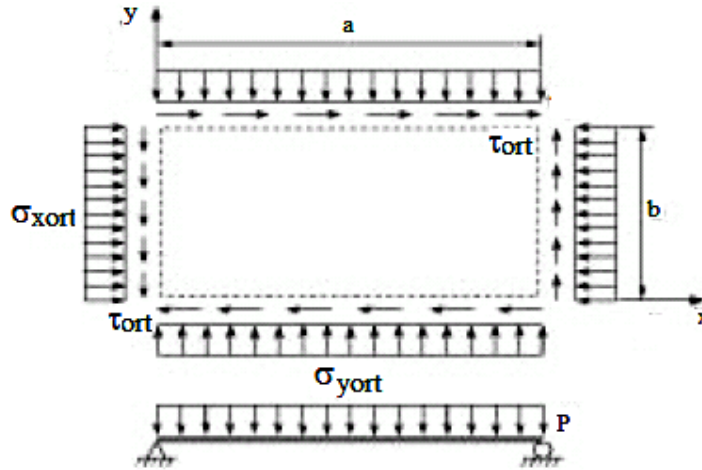
Geminin alt yapı bileşenlerinden olan desteklenmiş levhaların, burkulma veya çökme olursa denge durumları bozulur hatta görevini yerine getiremez hale gelirler. Bu nedenle daha tasarım sırasında bu durumlara maruz kalınmaması için önlemler alınması gerekmektedir. Genel olarak burkulma olayı üçe ayrılır. Bunlar, elastik burkulma, elastoplastik burkulma, plastik burkulmadır. Son iki duruma ayrıca elastik olmayan burkulma da denilmektedir. Kolon yapıların aksine, elastik bölgede burkulmaya uğrayan ince levhalar, nihai mukavemet değerine ulaşılan kadar, düzlem içi rijitlik önemli derecede azaldığı halde, daha fazla yüklemeye dayanabildikleri için halen bozulmaya uğramadan kalabilir. Bu sebeple, tasarım sırasında, bazen ağırlıktan kazanmak için, stifnerler arasındaki levhaların elastik burkulması kabul edilebilir. Burkulma sonrasında önemli derecede artan

levha burkulma mukavemeti değeri olmadığından, bu elastik olmayan bölgede oluşur ki bu elastik bölge normalde levhanın nihai mukavemet değeri olarak göz önüne alınır.

Yapının burkulması veya nihai mukavemeti, birkaç etkili değişkene bağlıdır. Bunlar, geometrik özellikler, malzeme özellikleri, yükleme karakteristikleri, fabrikasyon hataları, sınır şartları ve korozyon, yorulma çatlakları ve oyukluklar gibi yerel hasarlardır.

Stifnerler arasındaki levha kaplamalarının yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi sırasında, genellikle stifnerlerin sabit ve dengede olduğu, ancak kaplamadan sonra bozulmaya uğrayabilecekleri kabul edilir. Bu şekilde bir yapısal davranış elde etmek için stifnerlerin boyutları uygun şekilde tasarlanmalıdır. Böylelikle, gövde elemanları, çerçeve yapılar (döşek-posta-kemere), stifner flençleri ve diğer destek elemanları, levha bozulmaya uğramadan yerel dengesizliklerin önüne geçilebilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

Gemilerde, stifnerler arası levha kaplamalarına etki ettiği düşünülen dört yük bileşeni vardır (Rigo,Rizzuto,2003). Bunlar Şekil 3.3 de gösterildiği gibi, boyuna çeki ve bası yükleri, enine çeki ve bası yükleri, kenarlardaki kesme yükleri ve yan basınç yükleridir.



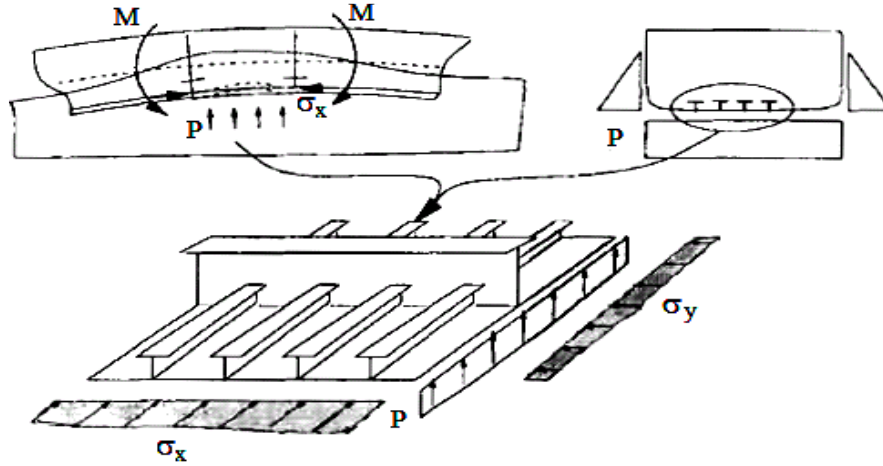
Şekil 3.3. Gemilerde, stifnerler arası levha kaplamalarına etki eden yük bileşenleri

Yapıya etki eden yanal basınç kuvveti, su basıncından ve kargo ağırlığından meydana gelmektedir. Sakin suda (limanda iken) su basıncı değeri geminin draftına bağlıdır. Sakin su kargo basıncı değeri de kargo miktarına ve yükün yoğunluğuna göre belirlenir. Tek tip yüklemeler altındaki elastik levha eğilme mukavemeti bileşenleri olan σ_{xort} değeri için σ_{xE} , σ_{yort} değeri için σ_{yE} ve τ_{ort} değeri için τ_E gerilmeleri, düzlem içi eğilmeden, yan basınçtan,

kenar koşullarından ve kaynak sebebiyle oluşan artık gerilmelerden kaynaklanan etkilerde göz önüne alınarak hesaplanabilirler. Bunların oluşturduğu eşdeğer burkulma gerilmesi;

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_{xB}^2 + \sigma_{yB}^2 - \sigma_{xB} \cdot \sigma_{yB} + 3\tau_B} \quad \text{dır.} \quad (107)$$

Desteklenmiş levhalar, gemilerin ve diğer deniz araçlarının yüklere karşı dayanımlarını sağlayan başlıca elemanları olduklarını söylemiştik. Bu levhalar genellikle, sık aralıklarla yerleştirilmiş boyuna stifnerler ve daha az sıklıkla yerleştirilmiş enine kirişlerden oluşmaktadır. Bu yolla oluşturulmuş bir dip-yan blok desteklenmiş levhası Şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sık aralıklarla yerleştirilmiş boyuna stifnerler ve seyrek yerleştirilmiş enine kirişlerden oluşan bir dip-yan blok levhası

Dış ve iç basınç arasındaki farkı ifade eden hidrostatik kuvvet, levhalardan stifnerlere, stifnerlerden de enine kirişlere aktarılır. Şekil 3.4 de görülen dip levhaları hidrostatik kuvvetlerden başka, gemi kirişinin boyuna eğilmesinden ve bordalara uygulanan hidrostatik basınçtan kaynaklanan iki eksenli düzlem içi yüklere maruz kalırlar.

3.2.3.2. Problemin Diferansiyel Denkleminin Çözümü ve Sınır Şartları

Düzlem içi eşit bası yükü altındaki panel levhasının elastik burkulması probleminin genel çözüm yöntemi aşağıda gösterilmiştir. Levhaların denge denklemi;

$$\nabla^4 w = \frac{1}{D} \left(q + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (108)$$

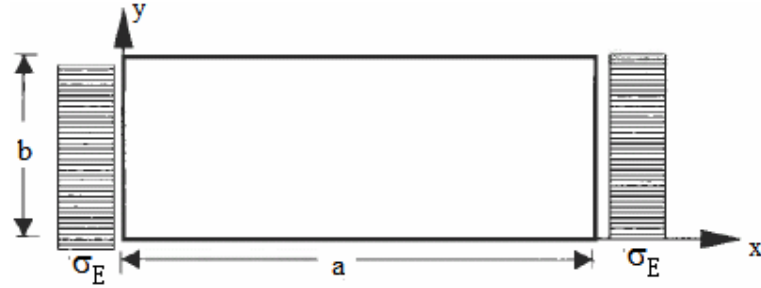
$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \quad (109)$$

$$\nabla^4 = (\nabla^2)^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right)^2 \quad (110)$$

$$\left. \begin{aligned} N_x &= \sigma_x \cdot t \\ N_y &= \sigma_y \cdot t \\ N_{xy} &= \sigma_{xy} \cdot t \end{aligned} \right\} \text{Mambran gerilme bileşenleri} \quad (111)$$

Eşit basınç kuvveti altındaki basit mesnetli levhalar için denklem aşağıdaki gibi olur;

$$\nabla^4 w = \frac{N_x}{D} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (112)$$



Şekil 3.5. Eşit basınç kuvveti altındaki basit mesnetli levha

Sınır şartlarına bağlı olarak, şekil değiştirme fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

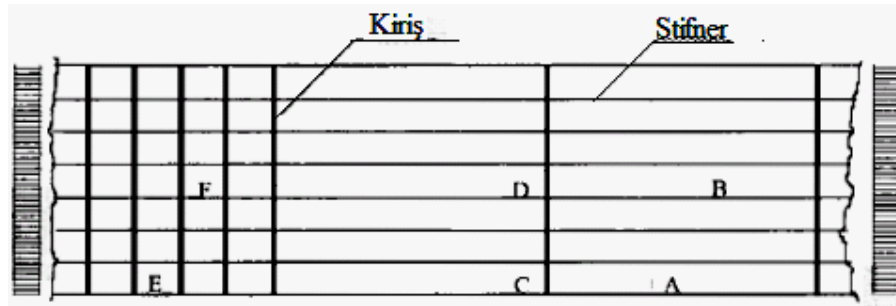
$$w = c_{\min} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (113)$$

m ve n = x ve y doğrultularında yarı dalgası,

Çözüm sonrası elastik eğilme gerilmesi aşağıdaki gibidir;

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \cdot c = \frac{\pi^2 D}{tb^2} \cdot c, \quad c = \text{levhanın en-boy oranı} \quad (114)$$

Gerçek sınır koşulları, kabuller ile oluşmuş ideal durumlardan farklılık gösterir. Başlıca etkiler yüklenmemiş kenarlardaki şartlardan kaynaklanır. Şekil 3.6 da görüldüğü gibi E ve F levhaları dörtkenarından hareketsiz kalacak ve herhangi bir bozulmaya uğramayacak şekilde mesnetlenmişken, B ve D levhaları yanal şekil değiştirmelere izin verecek şekilde mesnetlenmiştir. Ayrıca A ve C levhaları da dört tarafından yanal şekil değiştirmelere izin verecek şekilde mesnetlenmiştir. B ve F levhalarındaki sınır şartları farklılığına en – boy oranı neden olmaktadır. Sık aralıklarla yerleştirilmiş enine kirişler yanal şekil değiştirmeye izin vermezler, fakat bu durum B levhasının orta kesitinde kolaylıkla oluşur.



Şekil 3.6. Desteklenmiş panelde bir levha elemanın çeşitli sınır şartı durumları

Genellikle, yüklü kenarlardaki sınır şartlarının nihai mukavemet üzerinde önemli etkisi yoktur. Burada, nihai yükleme durumunda mukavemet kriteri aşağıdaki kabullere dayanmaktadır.

- Bütün sınır şartları akma durumu nedeniyle basit mesnetli olarak alınabilir.
- Sınır kenarları destek elemanları tarafından sağlam bir şekilde tutulur.

Dört tarafından basit mesnetli, kayma gerilmelerine maruz kalan levhaların elastik burkulma problemine güvenilir doğrulukta bir başka çözüm de Timoshenko ve Gear'a (1961) göre;

$$\tau_E = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (115)$$

$$k_s = 4.(b/a)^2 + 5.34$$

ν = Poisson oranı'dır.

Ayrıca, akma kayma gerilmesi σ_o akma gerilmesi ile bağlantılı olarak $\sigma_o / \sqrt{3}$ olur.

Desteklenmeyen levhaların nihai mukavemetine göz atarsak; ince levhalar, eğer yüklenmemiş kenarları bozulmadan kalacak şekilde mesnetlenirse, elastik teorisinin öngördüğünden daha fazla yük taşıyabilir. Büyük yanal şekil değiştirmeler nedeniyle, levhayı dengeleme eğiliminde olan membran gerilmeler enine doğrultuda oluşur. Bu sırada, yüklenmemiş kenarlar boyunca gerilme dağılımı artık eşit olmaz ve stifnerlere doğru artar. Etkin genişlik b_e yöntemine göre, nihai mukavemet kenar gerilmesi σ_e , akma gerilmesine yaklaştığı zaman elde edilebilir. Bu şekilde mesnetlenmiş bir levhanın gerilme çözümlemesi için en sık kullanılan Faulkner'in (1975) aşağıdaki denklemidir.

$$\frac{b_e}{b} = \frac{\sigma_{xm}}{\sigma_y} = \begin{cases} \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} & \beta \geq 1 \\ 1 & \beta \leq 1 \end{cases} \quad (116)$$

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}, \text{ levha narinlik oranı} \quad (117)$$

Levha uzun ve kısa kenarlarına etki eden bası kuvvetleri için etkin genişlik denklemleri Mansour'a (1997) göre;

$b_e = C_b$, $a/b \geq 1$ uzun kenar için,

$$b_e = \frac{a}{b} \cdot C_b + 0,08 \left(1 - \frac{a}{b}\right) \left(1 - \frac{1}{\beta^2}\right)^2 \leq 1, \quad a/b < 1 \text{ kısa kenar için} \quad (118)$$

$$C_b = 1, \quad \beta < 1,25$$

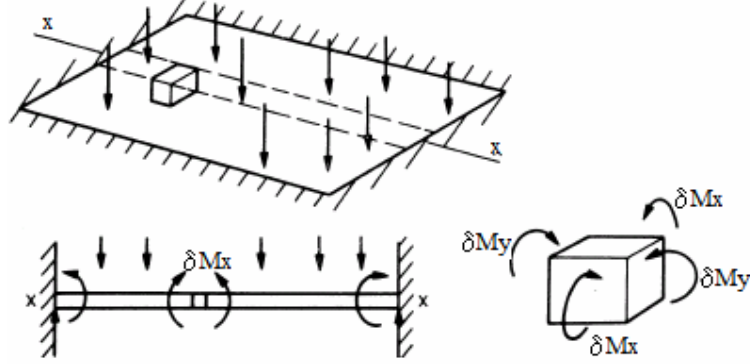
$$C_b = (2,25/\beta) - (1,25/\beta^2), \quad 1,25 \leq \beta < 3,$$

$$C_b = \sqrt{\frac{4\pi^2}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{\beta^2}}, \quad \beta \geq 3,5$$

3.2.3.3. Desteklenmiş Panellerin Burkulması ve Nihai Mukavemeti

Yanal yükleme altındaki panellerin davranışı incelenirken, ilk olarak, dörtkenarından kenetlenmiş ve kenarların birbirlerine doğru hareket etmesi engellenmiş dikdörtgen panellerin davranışı ele alınabilir. Basınç bir tarafa uygulandığında, levha elemanları basit kiriş teorisine benzer olarak, dikey doğrultuda, eğilmeye karşı direnç geliştirirler.

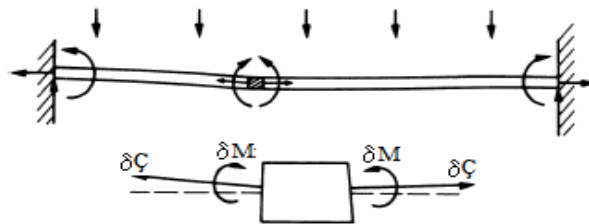
Basınç karşısında levhaların elastik eğilme direnci ile ilgili teorilere ‘küçük şekil değiştirme teorileri’ adı verilir. Şekil 3.7 de levha eğilme direnci durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Levha eğilme durumu

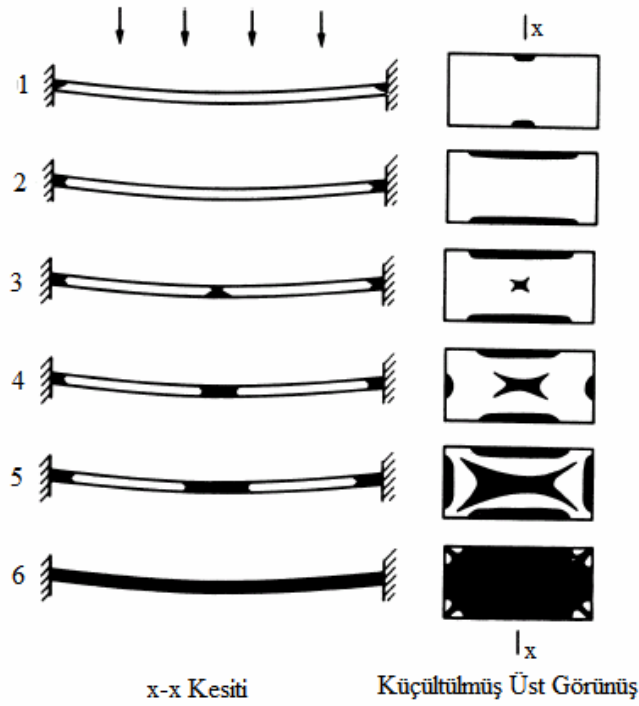
Basınç arttığı zaman ve aynı durumda birim şekil değiştirmeler levha kalınlığında değişimler ile sonuçlandığında, membran çeki etkileri sebebiyle basınç karşısında levha direnci güçlenir. Basınç doğrultusuna karşı çeki kuvvetinin kararlılığı nedeniyle oluşan direnç sebebiyle bu etki şekil değiştirmeye bağlı değişir. Şekil 3.8 de levhanın boyunca alınmış bir kesitte membran çeki etkileri gösterilmiştir. Hem eğilme rijitliği hem de membran gerilmeleri hesaba katan elastik teorilerine ‘büyük şekil değiştirme teorileri’ adı verilir.

Gemi yapılarında elastik küçük şekil değiştirme teorileri, dış dipte pervane kanatları etrafında oluşan çok değişken yükler altındaki levhalarda ve levha omurgaların kalıcı etkilere müsaade edilmeyen bölgelerinde uygulanabilirler. Elastik büyük şekil değiştirme teorileri ise, ince panellerde, şekil değiştirmelerin yarı kalınlığı aşması durumlarında uygulanabilir. Elastoplastik teoriler de kabukların geniş alanlarında, güverte panel levhalarında, perdelerde ve tank yapılarında kullanılabilir.



Şekil 3.8. Levha boyunca alınmış bir kesitte membran çeki etkileri

Basınçta meydana gelen aşırı artış, akmanın başlamasıyla beraber, şekil değiştirmenin hızla artmasına ve membran gerilmelerin daha baskın olmasına sebep olmaktadır. Panel levhaları kısmen elastik kısmen de plastik davranış sergiler. Bu iki davranışın birlikte sergilenmesi halinde oluşan akma/çökme durumu elasto-plastik davranış olarak adlandırılır. Akma ilk olarak levhanın iki uzun kenarının ortasında, basınç etkisi altındaki yüzeyinde oluşur. Hemen arkasından akma diğer kenarlara ulaşır ve bu plastik bölge kenarlara doğru yayılır. Şekil 3.9 da plastisitenin basınç altında artarak ilerleme kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Plastisitenin basınç altında artarak oluşma kademeleri

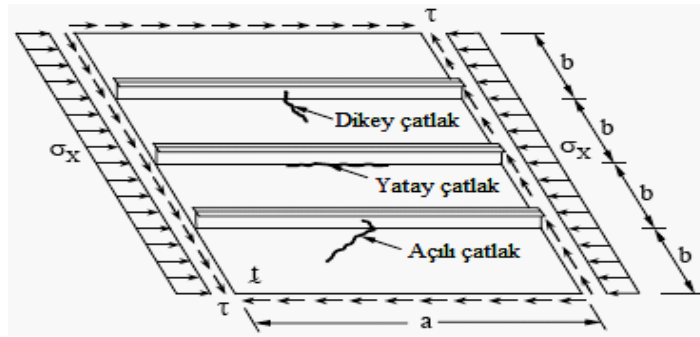
İlk olarak kalınlık boyunca gelişen plastik alanlar, dönmeye karşı sabit bir direnç gösterdiği için menteşe olarak anılırlar. Sonunda, bu menteşe alanlar X şeklini almaya başladığında bozulma hızlanır ve nihai çekme dayanımına ulaşıncaya kadar levha gerilir. Bu davranışın önemli kısmı panelin boyutlarına bağlıdır.

3.2.3.4. Yorulma ve Kırılma

Yorulma, periyodik yüklerin sebep olduğu birikimli malzeme hasarı olarak tanımlanabilir. Birçok yapı elemanı servis ömrü boyunca farklı gerilme etkileriyle karşılaşır. Deniz yapıları ise, çoğu yapı elemanından farklı olarak dalga kaynaklı gerilmelere, titreşime, rüzgâr ve diğer çevresel etkenler nedeniyle yük dalgalanmalarına da maruz kalırlar. Her yükleme periyodunun büyüklüğü, yapıyı tek başına bozulmaya uğratmaya yeterli olmaz. Fakat zamanla biriken hasar kritik seviyeye ulaştığında bozulma olmaya başlar. Bir yapı malzemesinin yorulma ömrü, bir yorulma sürecine bağlı olarak gerçekleşir. Bu sürecin aşamaları sırasıyla, çatlak başlangıcı, çatlakların ilerleyerek yayılması ve son olarak yapının kırılmasıyla gerçekleşir.

Çatlama başlangıcı, malzemenin mikroskobik bir davranışdır. Belirli derecedeki kaynak bozuklukları her zaman hem kaynak içersinde hem de kaynak yüzeyinde görülür. Bu kaynak hataları, özellikle yüzeyde oluşurlar, kırılmaların büyümesini tetikler.

İlk aşamaya kıyasla, çatlamların ilerlemesi daha rahat görülüp belirlenebildiği için, analiz amacıyla kırılma mekanizması gibi modellemeler üretilebilir. Çatlak ilerlemesinin başlıca etkeni yerel yapısal elemanların maruz kaldığı gerilmelerdir. Bunun yanında, kaynak geometrisi ve iç çatlak boyutu bu elemanların yorulma ömrü üzerinde önemli etkileri vardır. Desteklenmiş bir panelde oluşabilecek farklı kırılma tipleri Şekil 3.10 da verilmiştir.



Şekil 3.10. Desteklenmiş bir panelde oluşabilecek farklı kırılma tipleri

Yerel yapısal elemanlardaki kırılmalar çatlak boyutunun kritik değere ulaştığı zaman oluşmaktadır. Son kırılma aşaması, gerilme seviyesi, çatlak boyutu ve malzeme tokluğu gibi faktörlere bağlı olarak gerçekleşir. Malzemenin yorulma ömrü süresinde, kırılma

aşaması, çatlak başlangıcı aşamasıyla benzer olarak ve çatlak ilerlemesi aşamasına kıyasla, çok kısa yer tutar.

Yorulma, uzun periyotlu (düşük gerilmeli) ve kısa periyotlu (yüksek gerilmeli) olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Genel anlamda, bozulmaya sebep olan periyot sayısının 10^4 den az olması durumunda, yorulma bozulması yüksek gerilmeli olarak adlandırılır. Düşük gerilmeli yorulma durumunda periyot sayısı milyonları bulmaktadır. Genellikle deniz yapılarını ilgilendiren yorulma durumu düşük gerilmeli yorulma durumudur.

Genel anlamda yorulma analizi için iki farklı yöntem kullanılır. Bunlardan ilki, yorulma testlerine dayalı S-N (Gerilme dağılımı-Periyot Sayısı) eğrileri yaklaşımıdır. İkinci yaklaşım ise kırılma mekaniği yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, izin verilebilir çatlak boyutunu belirlemek, yorulma çatlamaının büyüme durumunu değerlendirmek, kaynak muayenesini planlamak ve strateji hazırlamak için uygulanır. S-N eğrileri yaklaşımı yorulma durumunun belirlenmesi için en uygun ve sık kullanılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, yorulma hasarı hesaplanması için, yorulma yüklerinin belirlenmesine bağlı olarak uygulanan üç farklı yöntem uygulanır.

- Basitleştirilmiş yorulma analizi
- Spektral yorulma analizi
- Zaman bağımlı yorulma analizi

3.2.3.5. Çarpışma ve Karaya Oturma

Kimyasal, sıvı yakıt, sıvılaştırılmış gaz gibi tehlikeli ve çevre kirletici yük taşıyan gemilerin tasarımında OPA-90 (Oil Pollution Act of 1990) ve IMO (International Maritime Organization) kriterleri sağlanmalıdır. Sağlanması gereken başlıca şartlar, minimum çift dip yüksekliği ve minimum çift cidar (bordalar için) genişliğidir. Çarpışma ve karaya oturma kazalarında taşınan yükün dışarı akmasını azaltmak için OPA-90 ve IMO'nun gerekli gördüğü ölçüler;

- Çift dip balast tankı veya çift dip boşluğunun yüksekliği h , 2 m veya $B/15$ değerlerinden küçük olanından az olamaz veya hiçbir durumda 1 m'den az olamaz.
- Borda tankları veya borda boşluğunun genişliği w , 2 m veya $0,5.DWT/20000$ değerlerinden küçük olanından az olamaz veya hiçbir durumda 1 m'den az olamaz.

Çarpışma ve karaya oturma durumunda Zararlı yükün dışarı akması olasılığını azaltmak için, kaza sırasında oluşan kinetik enerji kaybının, yükle ilişkide olan levhaların hasara uğramadan, dış yapı elemanlarında oluşan hasar tarafından emilmesi gerekmektedir. Bu durumda önem gerektiren konulardan biriside, iç kinetik enerjinin nasıl efektif olarak harcanacağı ve kaza karşısında gösterilen performansın yükseğe çekilmesi için mukavemet elemanlarının gerekli ayarlamaları ve uygun boyutlandırılmalarının nasıl yapılacağıdır. Bu amaçla, Amdahl ve Kavlie'ye (1995) göre, gemilerin çarpışmalar karşısındaki dayanıklı analizleri, doğru ve etkili yöntemlerle yapılmalıdır (Rigo ve Rizzuto, 2003).

Kaza limit durumuna göre tasarımda, yapının bütünü iki adımda incelenebilir. Birinci adımda, kaza durumunda yapının performansı hesaplanır, yük akışı gibi kaza sonrası durumlar ise ikinci adımda hesaba dahil edilir. Bu tasarım aşamasında ilk göz önüne alınması gereken, yerleşim mahallerinin su geçirmezliğini, tehlikeli ve kirletici yüklerin çevrenip korunmasını, kritik boşlukların bütünlüğünü sağlamak, kaza sonrası yükün akışını en aza indirmek için gerekli önlemleri tasarımda almaktır. Kurtarma işlemini kolaylaştırmak için hasarlı yapının artık mukavemetini belirli seviyede tutmak gerekmektedir ki gemi onarım tersanesine veya limana güvenli olarak çekilebilsin. Çarpışma ve karaya oturma durumlarında gemide çok karmaşık davranışlar oluşacağından basitleştirilmiş modeller uygulanamayabilir.

Bu durumlar için yapısal tasarım kriteri, yapısal hasar, yangın ve patlama, çevre kirlenmesi gibi kaza sonuçlarının limitlerine bağlıdır. Geminin kaza durumlarındaki yapısal performans ölçütleri ise, enerji emme kapasitesi, zararlı yükün denize dökülen miktarı ve yaralı gemi tekne kirişi nihai mukavemeti değerleridir.

Bir tasarımın kazalar açısından kabul kriteri Wang vd.'e (2001) göre aşağıdaki parametrelere bağlıdır (Rigo ve Rizzuto, 2003).

- Kargo koruma levhası ile dış kaplama arasındaki minimum mesafe,
- Kaza sırasındaki gemi hızı,
- Kabul edilebilir orandaki yakıt dökülmesi,
- Kesit modülünün minimum değerleri veya nihai tekne kirişi mukavemeti.

Ayrıca tasarım sonucunda aşağıdaki durumlar sağlanmalıdır.

- Yük tankları veya ambarlarında kaza sonrası yarıma olmamalıdır ki çevre kirliliği tehlikesi olmamalıdır,
- Eğer bu bölümlerde yarıma oluşursa kaza sonrası denize dökülen yük miktarının sınırlandırılmalıdır,

- Kaza sonrası gemi yeterli artık tekne kirişi mukavemetine sahip olabilmelidir ki, kaza sonucu parçalara ayrılmadan kalarak, kirliliğin daha da artmaması sağlanmalıdır.

3.2.3.6. Titreşim

Gemiler, birçok dinamik salınımlı kuvvet tarafından zorlanır. Bu zorlanmalar geminin kendi içersinden kaynaklanacağı gibi gemi dış tarafındaki dış yüklerden de kaynaklanabilir. Büyük dizel ana makinesi gibi pistonlu makineler düşük frekansta önemli kuvvetler doğurmaktadır. Pervane kanat hızı frekansı nedeniyle oluşan basınç dalgalanmaları gemi gövdesinde basınç değişikliklerine sebep olur. Yine gövdede dalgalar nedeniyle oluşan değişken basınçlar dış zorlanmalar oluşturur. Harmonik kuvvet olarak kabul edilebilen bu iç ve dış zorlamaların frekansları, yapının özdeğer frekanslarına rastlarsa rezonans durumu meydana gelir.

Bütün gövde titreşimlerinin oluşmasından kaçınmak öncelikle göz önüne alınması gereken bir durumdur. Eğer bu durumdan kaçılmazsa, çözüm çok maliyetli olabilir. Bu sebeple, tasarımın ilk aşamalarında tekne kirişi frekansları dalga dolayısıyla oluşan zorlanmalarla karşılaştırılmalıdır. Tablo 3.1 de bazı özel gemi tiplerinin tekne kirişi ilk 4 mod değerleri verilmiştir (Rigo ve Rizzuto, 2003). Tekne kirişi modları ve frekansları, yaklaşık deneye dayalı formüllerle, uzun prizmatik yapılar (VLCC, Konteyner vb.) için basit kiriş modellemesi yapılarak, karmaşık yapıdaki gemiler için (RO-RO, yolcu gemisi) parçalı kütle sistemiyle veya üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulmuş modeller analiz edilerek hesaplanmalıdır.

Tablo 3.1. Bazı özel gemi tiplerinin tekne kirişi ilk 4 mod değerleri

Mod	Büyük Yolcu Gemisi	Hızlı Tekne	LNG	Tanker	Firkateyn	Römorkör
1	1.0 Hz	1.8 Hz	0.9 Hz	0.8 Hz	1.9 Hz	7.0 Hz
2	1.5 Hz	2.9 Hz	2.0 Hz	1.7 Hz	3.8 Hz	13 Hz
3	2.6 Hz	---	---	---	5.8 Hz	---
4	3.2 Hz	---	---	---	7.8 Hz	---

Akışkan-yapı etkileşimi geminin dinamik davranışı altında incelenir. İlk yaklaşım olarak, dalga kaynaklı hareketler ve kuvvetlerin analizinde gemi rijit olarak kabul edilir. Gemi kirişi titreşim mod ve frekanslarının tasarım başlarında belirlenmesi, daha ileriki tasarım aşamalarında çözümü zor problemlerden kaçınılması açısından önemlidir. Büyük risk taşıyan, ilk tekne kirişi frekansının dalga karşılaşma frekansına eşit olması durumu çok erken zamanda belirlenmelidir. Bu riskli durum, uzun ve esnek gemilerde, yüksek hızlı teknelerde oluşabilir. Rezonans problemleri, tekne kirişi frekansının sevk zorlamalarına yakın olduğu (7 Hz civarı) küçük gemilerde (römorkör) görülmektedir.

Titreşim problemleri, yolcu gemileri için 12 Hz lik kanat zorlamaları durumunda kritik değerdedir. Gemi sahipleri kabinlerde ve yaşam mahallerinde 5-25 Hz frekansında 1,2 mm/s den daha az düşey hız olmasını talep ederler. Gemi gövdesindeki basınç dalgalanmalarına karşı geminin tepkisinin tahmini belirlenmesi sadece üçboyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak uygulanan sayısal çözümle mümkündür. Bu üç boyutlu analiz sayesinde güvertelerin boyutları, puntel yerleri, olası rezonans belirlemeleri ve pervane kanat sayıları yeterli şekilde seçilebilir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ile yerel gemi bölgelerindeki titreşim risklerinin belirlenmesi için yerel analizlerde yapılmalıdır.

Titreşimi kontrol etmenin en etkin yolu zorlanmaların azaltılmasına dayanmaktadır. Bunu sağlamak için pistonlu ve döner makinelerdeki tüm kuvvetlerin dengelenmesi ve özel montajlar kullanılması gerekmektedir. Hidrodinamik kuvvetler pervane etrafındaki akışın düzeltilmesiyle azaltılabilir.

3.2.4. Enine Mukavemet

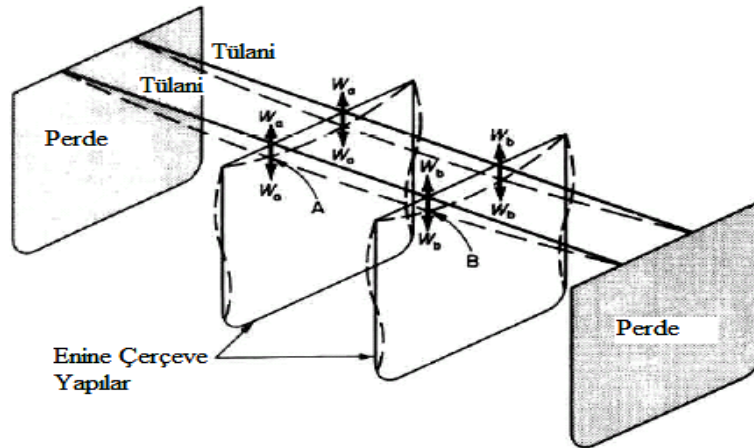
Dalgalar içerisindeki bir geminin enine kesitine etki eden yükler, atalet ve yerçekimi kuvvetlerini içeren gemi hareketlerinin sonucunda meydana gelir. Bunlara ek olarak tankların içerisinde bulunan sıvıların çalkalanma diye tabir edilen hareketlerinden oluşabilecek kuvvetler de bulunmaktadır. Gemiye etki eden dinamik kuvvetler yalnız seyir halindeyken değil, limanlama sırasında da oluşmaktadır. Limana yanaşma ve limanda bekleme sırasında su hattında meydana gelebilecek gerilmeler de olabilir ve en kesit boyutlandırılmasında bunlar da dikkate alınmalıdır.

Bu durumun çözümü için en iyi yaklaşım, tüm geminin global sonlu elemanlar analizinden sınır koşulları belirlenmiş, iki ana enine perde arasında kalan üç boyutlu

kesitin analiz edilmesidir. Fakat bunun için yüksek performanslı bilgisayarlar gerekmektedir. Bu da çoğu zaman basitleştirilmeler yapılmasını gerektirir.

Limana yanaşma yükleri için, usturmaçalara (başka bir tekneye veya rıhtıma yanaştığında gemi veya teknenin hasar görmemesi için yanlardan sarkıt) bordadan gelen yükler nedeniyle, su hattı boyunca ızgaralar tercih etmek ve gerilmeleri bu şartlarda belirlemek uygun olacaktır. Eleman sonları, kritik durumlar oluşmasına sebep olabilirler. Örneğin, homojen yüklenmiş ve sonlarından basit mesnetlenmiş bir kirişte, ortada maksimum eğilme momenti ve sonlarda sıfır moment oluşur. Eğer sonlar sabitlenirse, maksimum eğilme momenti 1/3 oranında düşer ve sonlarda oluşur.

En uygun yaklaşım, güverte kemeresi, borda postası ve levha kaplama elemanları ile çift dibi içeren bir gemi boyuna dilimini incelemektir. Bu kesit, çerçeve yapı olarak düşünülür ve yüklenerek analizi buna göre yapılır. Çerçeve yapılar, gemilerde ‘gemi formu halkalar’, denizaltılarda da ‘dairesele halkalar’ şeklinde bulunduğu düşünülen yapı parçalarıdır. Enine perdeler, çerçeve yapıların gerilmesine karşı yüksek mukavemet sağlarlar. Bu desteklerden bazıları, Şekil 3.11 de gösterildiği gibi, perdeden uzakta bulunan postalara, yükleme altında kendilerinin hasara uğrama ihtimali olan boyuna elemanlarla iletilirler. Kesikli çizgiler, dış yükler etkisi altındaki yapıda oluşan sehimleri göstermektedir. Bu desteklerin hesaba katılmaması durumunda, sonuçlar korunumludur ve gerilme ve sehimlerin kesin değerlerinin elde edilmesinden çok, gemi boyunca dağılımda ve başarılı benzer tasarımlarla karşılaştırmada kullanılabilir. Ayrıca, bir üst yapının enine mukavemeti de ayrı olarak fakat aynı teknikle incelenir. Bir geminin enine kesitinde meydana gelen gerilme ve sehimler Şekil 3.11 de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Enine kesitte meydana gelen gerilme ve sehimler

3.3. Yapısal Tasarımlar İçin Sayısal Analiz Yaklaşımı

3.3.1. Giriş

Bazı durumlarda limitler zorlansa da çoğu durumda gemiler düzgün, sorunsuz ürünler olarak ortaya çıkarlar. Tasarım, çalışma ve üretim döngüsü çok kısa zamanda gerçekleşir ve başlıca önemli kararlar projenin başlarında alınmalıdır. Tecrübelerle sabittir ki, projede sonradan yapılacak düzeltmeler çok masraflı olmaktadır ve böyle bir durumdan kaçınılmalıdır. Fakat tecrübelerle dayalı tasarım yeni tasarım yöntemlerine yönelmede engel teşkil edebilmektedir. Tasarımları geliştirmek ve güvenlik sınırlarını kontrol için günümüzde, sayısal analizler çok gereklidir. Tecrübeler ve başarılı tasarımlar bu gelişme sürecinde karşılaştırmaların yapılabilmesine imkân sağlamalıdır. Ayrıca sayısal analizler basitleştirilmiş deneye dayalı formüllerle çözüm bulunamayan yerel ve ayrıntılı problemlerin analizine imkân sağlar. Günümüz gemi inşa endüstrisinde sayısal analizlerin kullanımı dünya genelinde ve ülkemizde her alanda olduğu gibi önemli oranda tercih edilmektedir. Çeşitli durumlar için farklı analiz tipleri uygulanmaktadır.

3.3.1.1. Statik ve Yarı-Statik Analiz

Statik ve yarı statik analizler, gemi yapısının gerilme ve mukavemet analizleri için uygulanan geleneksel yöntemleri ifade ederler. Mukavemet yapısında yükler ayrı olarak hesaplanır ve özünde akış kaynaklı dinamik yükler olsalar bile, zamanla değişmedikleri düşünülerek statik olarak kabul edilirler. Bu kabul hidrostatik basınç için doğru olabilir fakat borda levhalarına etkiyen dinamik dalga yükleri statik yüklere çevrildiğinde aynı doğrulukta olmayabilir. Uygulanması kolay ve hızlı olduğu için statik yük kabulleri tam olarak belirlenemese de statik analizler yoğun olarak uygulanmaya devam edecektir. Ayrıca bu analizler, iyi bir ağ örgüsü ile sonlu elemanlar analizi yaparak yorulma değerlendirmesi için standart bir yöntemdir.

3.3.1.2. Dinamik Analiz

Dinamik etkiler nedeniyle gemide problemler meydana geldiğinde, genellikle, tasarımda, inşa aşamasında ve hatta seyir sırasında telafisi için çok geç kalınmış demektir. Düzeltme işlemleri çok masraflı olmaktadır. Basitleştirilmiş yöntemler sadece gemi kirişinin birincil mod frekansını tahmin etmeyi başarabilir. Sayısal sonlu eleman temelli oluşturulan bir model analizi ile titreşim dereceleri tahmini ile ISO ve gemi sahibi isteklerine ayak uydurmayı sağlamak mümkün olabilmektedir.

3.3.1.3. Sapma Analizleri (Lineer Olmayan Durum Analizleri)

Bu tip analizler genellikle burkulma, nihai mukavemet ve patlama, çarpışma, karaya oturma gibi kazasal ve şiddetli durumların analizinde kullanılır. Bu pahalı ve zor analizlerin sonuçları basitleştirilmiş yöntem ve kuralları kalibre etmekte kullanılmaktadır. Ayrıca, belirli yükler altında yapının mekanik davranışlarının ve bozulma modlarının olasılıklarının belirlenmesinde kullanışlıdır.

3.3.1.4. Gelişen Eğilimler

Otomotiv ve uzay endüstrisinde olduğu gibi gemi inşa sektöründe de tasarım sürecini olabildiğince kısaltma eğilimi artan talepler doğrultusunda gün geçtikçe artmaktadır. Bu süreci hızlandırmak için bilgisayar kullanımı kaçınılmazdır ki günümüzde analizler ve üretim aşamalarında direkt olarak kullanılabilen bilgisayarların performansları da yeterince kuvvetli hale gelmiştir. Fakat yine de zorluklar mevcuttur ve bunlardan ilki, artan doğru ve güvenilir sonuç taleplerini karşılamak için karmaşık fiziksel problemlerin etkin bir modelinin oluşturulmasıdır. İkinci zorluk ise, tanımlanan gemi geometrisi ve model için integral çözümlerin geliştirilmesiyle halledilebilecek, model hazırlama ve kontrol edebilme gereksinimini karşılayabilecek insan gücüne olan ihtiyaçtır.

Özellikle sonlu elemanlar modellemesinde gelişmeler süreklilik göstermektedir. Bu konudaki eğilimler, tek bir yapı tanımlanması, bu yapının tek bir modelinin tanımlanması ve bu model üzerinde farklı analiz uygulamalarının gerçekleştirilmesi yönündedir. Ana

model, statik, yorulma, kırılma, burkulma, nihai mukavemet, titreşim, akustik analizleri ile yaralanma durumu değerlendirmelerine ardı sıra uygulanabilecek şekilde olmalıdır.

3.3.2. Sayısal Analiz Yöntemleri

3.3.2.1. Sonlu Elemanlar Analizi

3.3.2.1.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Ağ Örgüsü (Mesh) Üretimi

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemine sonuç elde etmek için uygulanabilecek sayısal bir işlemdir. Kararlı rejimli, değişken rejimli, lineer, lineer olmayan durumlar için gerilme analizi, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektromanyetizma gibi alanlarda karşımıza çıkan,

- Karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere
- Düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere
- Kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine
- Lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin iki önemli özelliği şunlardır:

- Fiziksel alanın sonlu elemanlara bölünüp basit yaklaşım fonksiyonları ile elde edilen çözüm oldukça yüksek bir doğruluğa sahiptir.

- Yaklaşımında kullanılan fonksiyonların lokalitesi, kesikli problem için sparse denklem sistemlerine götürür. Bu durum çok sayıda düğüm bilinmeyene sahip sistemin çözümünü kolaylaştırır.

Sonlu elemanlar yönteminin çalışma akışı ise şöyle özetlenebilir;

- a) Sürekliliği kesikleştirme; çözüm bölgesini sonlu elemanlara bölme aşamasıdır.
- b) İnterpolasyon fonksiyonlarını seçmek; interpolasyon fonksiyonları, eleman boyunca alan değişkenlerini interpolate etmek için kullanılmaktadır. Genelde, polinomlar interpolasyon fonksiyonları olarak seçilmektedir. Polinomun derecesi, elemana atanmış düğüm sayısına bağlıdır.
- c) Eleman özelliklerini bulmak; sonlu elemanlar için matris denklemi bilinmeyen fonksiyonun düğüm değerlerini diğer parametrelere bağlayacak şekilde oluşturulmalıdır. Bunun için farklı yaklaşımlar kullanılabilir: En uygunları, varyasyonel yaklaşım ve Galerkin metodudur.

d) Eleman denklemlerini bir araya getirmek; tüm çözüm bölgesi için global denklem sistemini bulmak için tüm elemanlara ait eşitlikler bir araya getirilmelidir. Diğer bir deyişle, kesiklilik için kullanılan tüm elemanlara ait yerel eleman eşitlikleri birleştirilmelidir. Çözüm öncesinde, sınır koşulları yerleştirilmelidir.

e) Global denklem sistemini çözmek; sonlu eleman global denklem sistemi tipik olarak aralıklı, simetrik ve pozitif tanımlıdır. Çözüm için direkt ve tekrarlı metotlar kullanılabilir. Göz önüne alınan fonksiyonun düğümsel değerleri çözümün sonucu olarak oluşturulmaktadır.

f) Ek sonuçları hesaplamak; birçok durumda ek parametreleri hesaplamaya da ihtiyaç duyarız. Örneğin birim şekil değiştirme ile birlikte, mekanik problemlerinde zorlanma; ki bu birim şekil değiştirme, global denklem sisteminin çözümünden sonra elde edilmektedir.

Modern sonlu elemanlar yönteminin izleri 1900'lu yılların başına kadar sürülebilir. Bu yıllarda bazı araştırmacılar sürekli elastik durumu eş boyutlardaki kesikli elastik parçalarla modellemişlerdir. Bununla birlikte, Courant sonlu elemanlar yöntemini ilk geliştiren kişi olarak anılmıştır. Courant, 1940'lı yıllarda yayınladığı bir makalede, burulma problemlerini araştırmak için parçalı polinom interpolasyonunu üçgensel alt bölgeler (elemanlar) üzerinde kullanmıştır.

Courant'tan sonra sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanıldığı diğer önemli adım Boeing'in 1950'lerde uçak kanatlarını modellemek için üçgen gerilim elemanları kullanmasıyla atılmıştır. 1960'larda araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemini diğer mühendislik alanlarında kullanmaya başlamışlardır. Zienkiewicz ve Cheung 1967'de tamamen sonlu elemanları anlatan bir kitap yazmışlardır. Günümüzde birçok alanda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

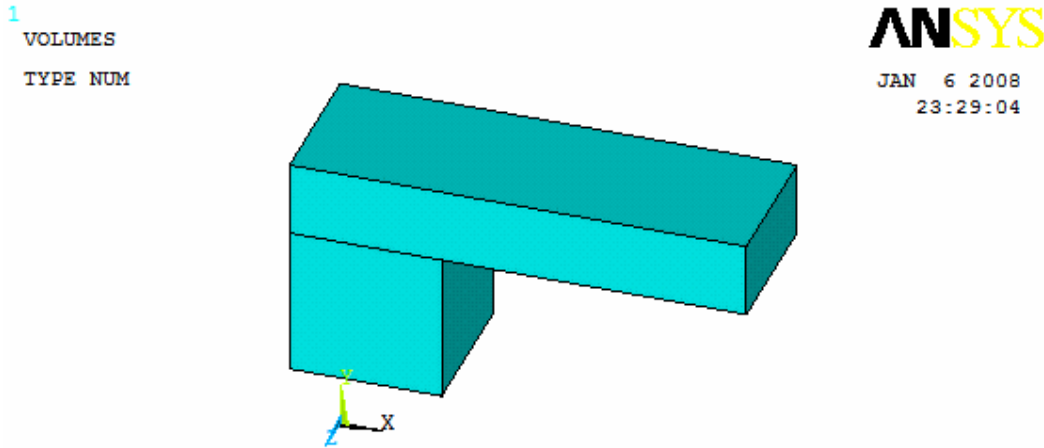
İlk başlarda sonlu elemanlar yöntemini bütün işlemleri elle yapılmakta idi. Bu yüzden işlemler 10-100 eleman için yapılmakta idi. Fakat eleman sayısının azlığı sonuçların hassasiyetini kısıtlamaktaydı. Bilgisayarların gelişmesi ile bu işlemler bilgisayara aktarıldı. Ve eleman sayıları arttırıldı. Bu gün problemlerde milyonlarca eleman kullanılmaktadır. Örneğin ticari bir geminin ağ örgüsünde yaklaşık olarak 1.5 milyon düğüme karşılık 10 milyon eleman kullanılması normal bir durum sayılabilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi; sayısal bir yöntem olup, özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş bir tekniktir. Sonlu Elemanlar Yönteminde (Finite Elements Method (FEM)) modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli

noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir. Katı modellerde her bir elemandaki birim şekil değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki şekil değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki şekil değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi bu düğümlerdeki şekil değiştirmeleri bulmaya çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o elemente uygulanan yüke göre daha gerçekçi sonuç verir.

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan paket programlar çalışırken aşağıdaki işlemleri uygularlar:

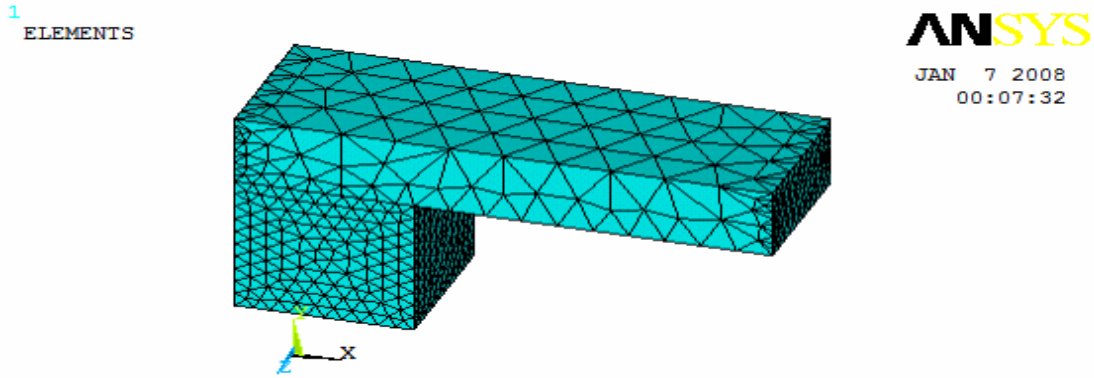
1. Parçanın modelinin çizilmesi: İlk olarak analizi yapılacak parçanın geometrisi oluşturulur. Bu işlem ya paket programın içinde bulunan alt çizim/modelleme modülü yardımıyla çizilir ya da AutoCAD, SolidWorks gibi tasarım programları ile katı model çizilerek paket program içerisine, analiz modülüne, aktarılır.



Şekil 3.12. ANSYS paket programında çizilmiş bir model

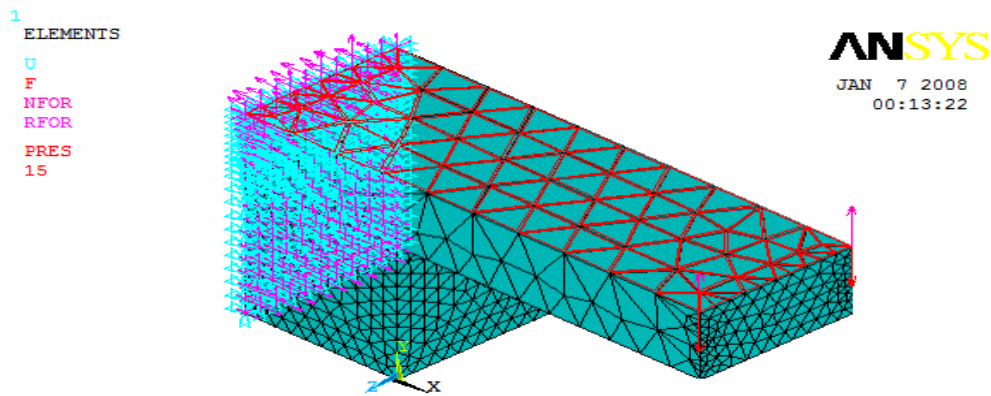
2. Eleman tipi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi: Daha sonra paket programa malzeme özellikleri girilir. Mesela elastik bir analiz için izotropik malzeme özelliklerinden elastisite modülü, Poisson oranı ve yoğunluk gibi özellikler girilir. Daha sonra çizilen model için kullanılacak elemanların özellikleri belirlenir.

3. Modele Ağ Örne (Mesh): Eleman özellikleri belirlendikten sonra, model küçük elemanlara bölünür. Yani modelin ağ örgüsü oluşturulur. Burada önemli olan, seçilen eleman tipi kullanılarak modelin nasıl daha iyi küçük parçalara bölüneceğidir. Bazı paket programlar bunu otomatik olarak yapmaktadır. Örneğin Ansys paket programı ağ örgüsü üretimini otomatik olarak yapabildiği gibi kullanıcıya da ayrıntılı analizler için ağ örgüsü üretme imkânı tanımaktadır. Ayrıca program otomatik olarak ürettiği ağ örgüsü üzerinde kullanıcının değişiklik yapmasını da desteklemektedir.



Şekil 3.13. Model hacmin ağ örgüsü (meshing) tamamlanmış hali

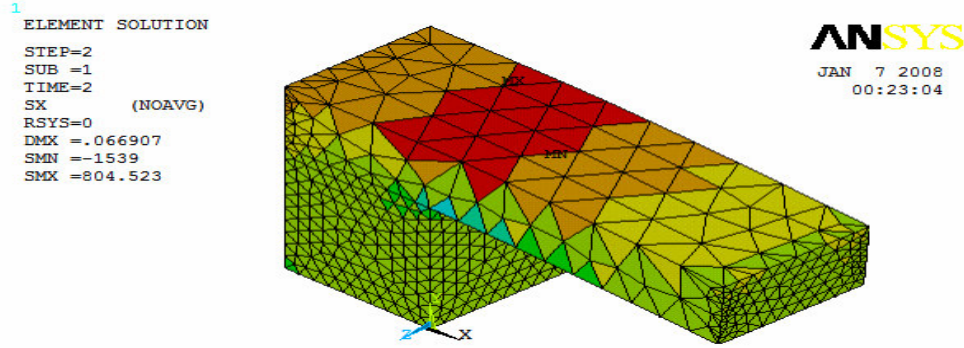
4. Sınır şartlarının belirlenmesi ve yüklerin belirtilmesi: Bir sonraki adımda programa modelin sınır bölgelerindeki koşullar girilir. Ayrıca varsa model üzerindeki diğer etkiler belirtilir. Mesela katı mekaniği için destek noktaları ve yük uygulama noktaları belirtilir. Veya ısı problemleri için sınırlardaki sıcaklıklar veya ısı akıları belirtilir. Varsa modelin içindeki ısı kaynağı, veya ısı emici özellikleri belirtilir.



Şekil 3.14. Sınır şartları ve yüklerin modele tatbik edilmesi

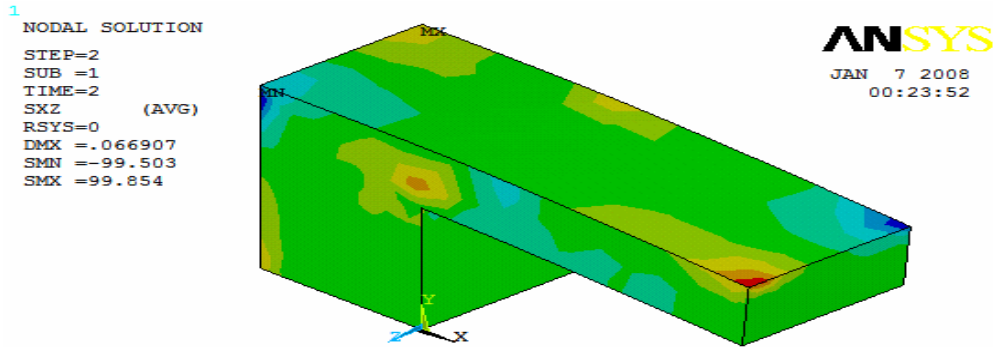
5. Çözümün yapılması: Sonraki aşamada daha önceden girilen parametreler göre problem çözümlenir.

6. Son İşlem: Başlangıç şartlarına ve uygulanan etkilere bağlı olarak problem çözümlendikten sonra elde edilen sonuçlar değişik grafiklerle ve animasyonlarla gösterilir. Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 da modelde oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Problem çözüldükten sonra model için elde edilen gerilme dağılımı

Ayrıca, şekillerde görülen bölgeler maviden kırmızıya doğru değişmektedir. Kırmızı bölgeye yaklaşıldıkça malzeme akma sınırına yaklaşıyor değerlendirmesi yapılır ve önlem alınması gereklidir. Mavi bölgeler ise tehlikesiz bölgelerdir. Bu bölgelerde malzemeden tasarruf ederek emniyet azaltılabilir.



Şekil 3.16. Modelin gerilme dağılımının başka bir açıdan görünüşü

7. Çözümü İyileştirme: Sonlu elemanlar yöntemi yaklaşık çözümler üreten bir yöntemdir. Eleman sayısı artırılarak, eleman tipi değiştirilerek, ağ örgüsü üretim yöntemi

değiştirilerek veya örgü üzerinde ayrıntılı olarak oynanarak çözüm tekrarlanabilir. Böylece sonuçlar arasındaki fark ta gözlenebilir. Bu işleme optimizasyon (en iyileme) de denilmektedir. Optimizasyonun diğer bir çeşidi de, genellikle tasarım aşamasındaki modellerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapıldığı için oluşturulan model üzerinde değişiklik yaparak çözümü tekrarlamaktır. Bu optimizasyon türüne örnek olarak taşıyıcı bir levhanın kalınlığının kademeli olarak artırılmasını verebiliriz. Burada amaç taşıyıcı levha üzerindeki gerilmelerin tehlike sınırından uzaklaşmasını sağlamaktır.

8. Sonuçların Değerlendirilmesi: Bu adım belki de en kritik adım olarak tanımlanabilir. Çünkü elde edilen verilerin kullanıcının amacına ne ölçüde yaradığı veya ne anlama geldiği veya çözümün doğru yapıp yapılmadığının anlaşılması bu aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamada elde edilen veri değerlendirilir ve kontrol edilir. Değerlendirme, sonuçların daha önce elde edilmiş değerlerle, fiziksel olaylarla (teorik bilgiyle) karşılaştırılmasıyla veya tecrübelerle dayanarak yapılabilir.

Bu sekiz adım çözülecek problem ne kadar karmaşık ve büyük olursa olsun uygulanmak zorundadır. Fakat paket programların özelliklerine göre yalnızca komutlar değişmektedir.

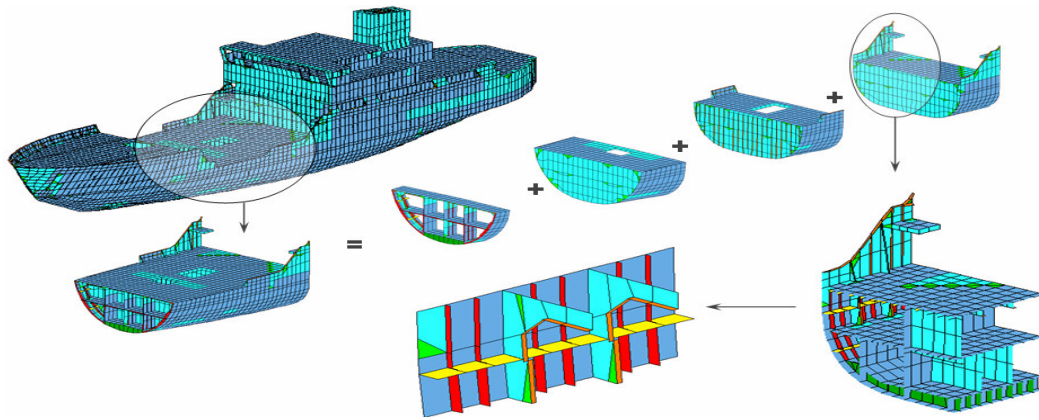
Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde endüstriyel mühendislik tasarımları ve analizleri için bir dayanak haline gelmiştir. Giderek daha büyük ve daha karmaşık tasarımlar sonlu elemanlar yöntemi ile gerçeğine uygun benzeşimleri oluşturularak analiz edilmektedir. Yukarıda da anlatıldığı gibi sonlu elemanlar yönteminin başlangıç dönemlerinde, birçok kullanıcı için tasarımlarının son şeklinin onlarca veya yüzlerce eleman kullanılarak oluşturulmuş çok basit modellerinin analiz edilmesi yeterliydi. Buna rağmen, tanımlı bölgeleri, yeterli elemanlara bölmek için çok fazla el ile uğraşılması gerekiyordu. Fakat tasarımların analizlerinin daha doğru ve güvenilir yapılabilmesi için gün geçtikçe daha fazla elemana ihtiyaç duyulunca el ile ağ örgüsü üretmenin çok zor olacağı ve çok zaman alacağı anlaşılmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle el ile yapılan mesh üretme işlemlerinin bilgisayara geçirilmesine başlanmıştır. İşlemlerin tamamen bilgisayar ortamına aktarılması bile tüm görevi bilgisayara vermemiştir. Bu durumda dahi kullanıcıların yani tasarımcıların üzerine düşen görevler vardır. Oluşturulacak ağ örgü yapısı konusunda bilgisayara birçok çeşitli eleman şekli arasında hangisini kullanacağını yapıya uygun olarak seçmek tasarımcıya aittir. Akışkanlar mekaniğinde analiz yaparken kullanılan elemanlar ile yapı tasarımı (gemi, köprü, vs.) analizinde kullanılan elemanlar birbirinden farklı olabilmektedir. Ayrıca aynı analiz içinde

birden çok değişik eleman kullanılabilir. Ağ örgüsü üretme konusunda, tasarımcının ayrıca üzerinde ağ örgüsü üretilecek alanda, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun fazla olacağına, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun daha az olacağına karar vermesi gerekebilir. Genellikle, kritik olduğu veya kendi içinde büyük değişime sahip olduğu bilinen veya tahmin edilebilen bölgelerde birim alana daha fazla eleman yerleştirilir.

3.3.2.1.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Gemilerdeki Uygulamaları

Sonlu elemanlar analizleri, problemin tanımının yapılarak, etkiyen yüklerin ve sınır şartlarının da belirtilmesiyle, bilgisayar destekli olarak, cebirsel matris tekniği ile sayısal çözümünün elde edilmesine dayanmaktadır. Bir giriş yapmak gerekirse, yapı genellikle üçgen veya dikdörtgen geometri elemanlara bölünmüş olarak tanımlanır ve elemanların her bir köşesinin diğer elemanlarla 'düğüm noktaları' ile bağlandıkları düşünülür. Her eleman için tüm noktalarındaki şekil değiştirmeleri ifade eden fonksiyonlar türetilir. Bunların bütün olarak toplam ifadeleri gerilme ve şekil değiştirmeleri verir.

Yapısal analizlerde sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasının en önemli amacı tekne yapısında oluşan gerilme tepkilerinin doğru hesaplamalarının elde edilmesidir. Şekil 3.17 de görüldüğü gibi sonlu elemanlar analizi için tüm gemi yapısı uygun alt blok yapılar halinde modellenip ayrı olarak ve/veya yerel ayrıntılar alınarak incelenebildiği gibi, bu alt yapıların birleştirilmesiyle global analizler de gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.17. Tüm gemi yapısının, alt bloklarının ve yerel ayrıntı elemanlarının modelleri

Analizlerde farklı tiplerde ve seviyelerde sonlu eleman modelleri kullanılabilir.

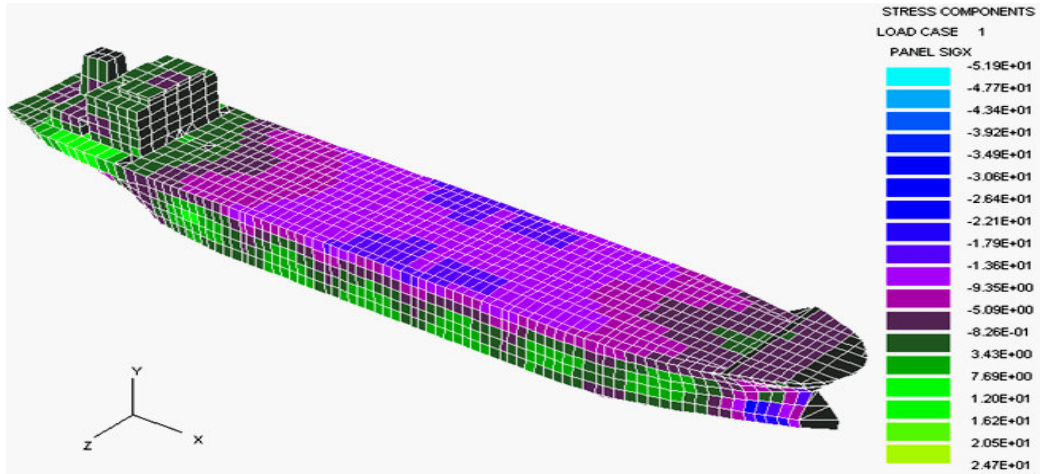
- Toplam katılık modeli
- Yük ambarı modeli
- Posta-kemere modelleri
- Yerel yapısal modeller
- Gerilme yığılma modelleri

Uygulanan model veya alt modeller aşağıda belirtilen yapıyı uygun şekilde temsil etmelidir.

- Boyuna levha kaplama
- Enine perde ve postalar
- Stringer ve kemereler
- Diğer boyuna ve enine destek elemanları (kiriş, tulani)

İyileştirilmiş ağ örgü yapısına sahip modeller, alt modeller olarak anılırlar. Daha kaba modellerden sınır koşulları ve kuvvetler alınarak bu modeller için ayrı çözüm yapılabilir. Fakat bu durum, çeşitli ağ örgülerinin uyumlu olmalarını gerektirir. Yani, kaba modellerin ağ yapısı, daha iyi bir ağ örgüsüne sahip modellerin sınır koşullarıyla oluşan bozulma ve kuvvetler uyum sağlayacak şekilde olmalıdır.

Geminin bütününe oluşturan birincil elemanların bütün olarak rijitliğini ve global gerilme dağılımlarını belirtmek için oldukça kaba ağ örgüsü kullanılır. Şekil 3.18’de örnek bir model gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Kaba ağ örgüsü kullanılarak oluşturulmuş tüm gemi sonlu eleman modeli

Modelin ağ örgüsü yoğunluğu aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanan nominal gerilme ve bozulmaları yeterince tanımlayabilecek şekilde olmalıdır.

- Kayma gecikmesi etkisini de içeren düşey gövde kirişi eğilmesi,
- Gemi bordası ile perdeler arasındaki düşey kayma gerilmesi dağılımı,
- Kayma gecikmesi etkisini de içeren yatay tekne kirişi eğilmesi ve tekne kirişinin burulması
- Enine kayma ve eğilmeler

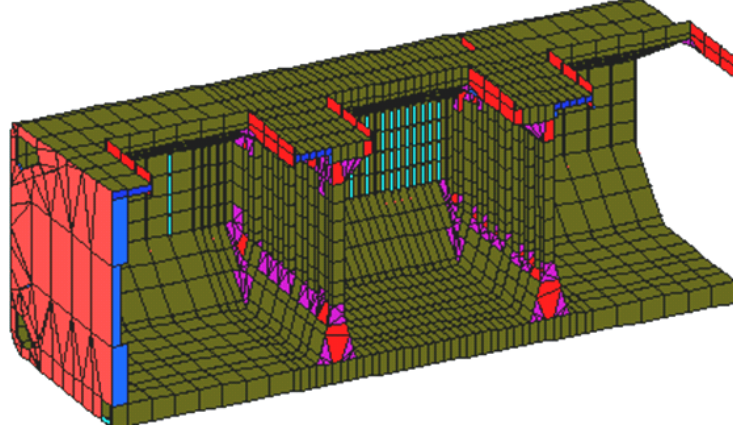
Desteklenmiş paneller, katmanlı elemanlarla, izotropik olmayan elemanlarla veya genellikle olduğu gibi levha ve çubuk elemanların birleşimiyle modellenebilir. Modellerken önemli olan enine ve boyuna doğrultuda bütün olarak mambran panel rijitliğinin iyi bir şekilde gösterilebilmesidir. Geminin bütün olarak mukavemetine katılmayan yapılar ihmal edilebilir fakat titreşim analizleri için bu yapıların kütleleri korunmalıdır. Ayrıca modelde elemanların boyutlandırılmasında korozyon etkileri nedeniyle uzun tutulan kısımlar çıkarılarak kısaltılmış olarak yapılır. Tüm kiriş çerçeveler kabuk elemanlarla modellenmelidir. İlençler çubuk veya kiriş elemanlarla modellenebilir.

Modelin performansı, kullanılan eleman tipine ve ağ örgü yapısı topolojisine doğrudan bağlantılıdır. Standart uygulamalarda, 4-düğümlü kabuk veya mambran elemanlar ile 2-düğümlü çubuk veya kiriş elemanların birlikte kullanılmaları önerilir.

Ağ yapısını oluşturan elemanların geometrisinin yamuk olmaları hatalı eleman rijitlik özelliklerine sebep olduğundan, elemanların olabildiğince dikdörtgen şeklinde olmasına özen gösterilmelidir. 4 düğümlü eleman formülasyonunda tüm düğüm noktaları aynı düzlem üzerinde olmalıdır. Çift eğrilikli yüzeylerde 4-düğümlü yerine 3-düğümlü elemanlar kullanmak daha uygun olmaktadır. Global yapısal modelde kullanılması uygun minimum eleman miktarları şöyledir;

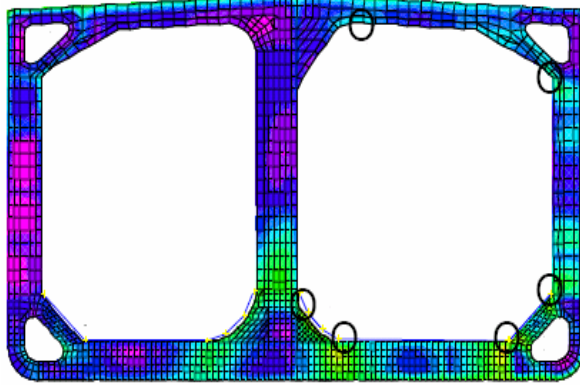
- Ana modelde, enine posta ve kirişler arasında bir eleman, yapı güverteleri seviyeleri arasında bir eleman ve boyuna perdeler arasında en az üç eleman,
- Yüksekli boyunca kirişlerde üç eleman,
- Levhalarda, iki boyuna eleman arasında 1 eleman.

Ambar yapılarının modellenmesi durumunda, model gemi orta bölgesindeki birincil yapı elemanlarının nominal gerilme değerleri ve bozulma durumlarının analizinin yapılmasında kullanılır. Gemi ortasındaki bir tam ambar ve bu ambarın her iki tarafındaki ambarların yarısı($1/2+1+1/2$) modeli oluşturur. Örnek bir model Şekil 3.19 da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Bir ambarın sonlu eleman model örneği

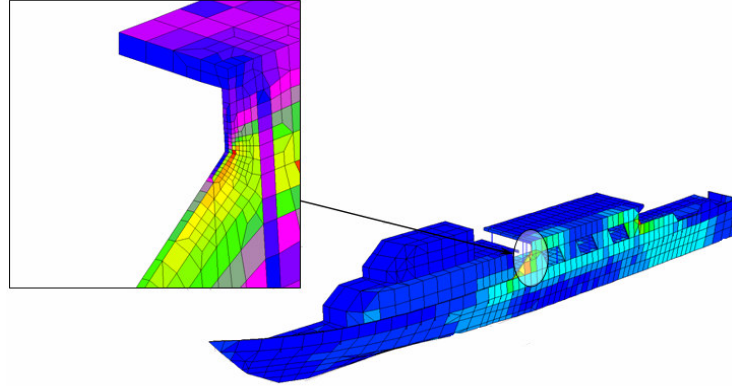
Posta-kemere çerçeve modelleri, temel posta-kemere sistemlerinin nominal gerilmelerinin analizi için kullanılır. Ağ örgü yapısı kritik yerel bölgelerdeki gerilme artışlarını (braket bağlantıları vb.) tanımlayabilecek yeterlilikte iyi yapılmalıdır. Bu sistemler ambar modeli içerisinde de incelenebilir veya belirlenmiş sınır bozulma değerleri ve kuvvetleri ile beraber ayrı olarak analiz edilebilir. Bir enine posta çerçeve yapısının örnek bir analiz modeli Şekil 3.20 de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Bir enine posta çerçeve yapısının örnek analiz modeli

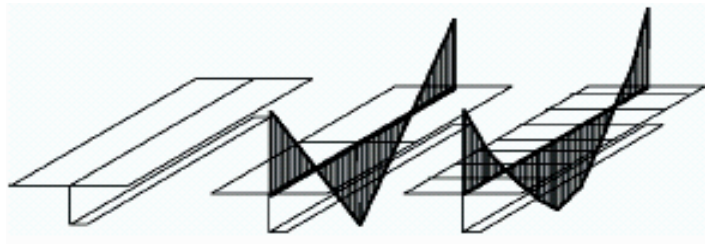
Yerel yapı analizleri yerel bölgelerdeki gerilme durumlarını analiz etmek için kullanılırlar. Şekil 3.21 de görüldüğü gibi, posta-kemere ve perdeler arasında büyük bozulmalara maruz kalan yanal yükler altındaki levha ve stifnerlerde oluşan gerilmelerin incelenmesi, kritik bölgelerdeki gerilme yığılmalarının belirlenmesi açısından önemlidir. Örnek olarak bir tankerde dikkat edilmesi gereken yerel bölgeler şunlardır;

- Çift dip boyuna elemanları ve birleştikleri düşey perde elemanları(perde stifnerleri),
- Güverte boyuna elemanları (tulaniler) ve birleştikleri düşey perde elemanları,
- Çift cidar boyuna elemanları ve birleştikleri yatay perde elemanları,
- Ambar kenarı açıklıkları, oluklu yapılar ve diğer destek yapılar.



Şekil 3.21. Kritik bölgelerdeki gerilme yığılmalarının belirlenmesi için yapılan ayrıntılı yerel analiz örneği

Örnek bir yerel bölge analizi sonrası gerilme sonuçları içerisinde yer alan stifner eğilme gerilmesinin büyüklüğü, ağ örgüsünün bölmelerinin boyutlarına ve kullanılan eleman tipine bağlıdır. Şekil 3.22 de bu durum özetlenmeye çalışılmıştır. Şekildeki stifner modelinin ağ örgüsü oluşturulurken 4-düğümlü kabuk elemanlar kullanılmıştır. Yüzeyde bir eleman (ağ örgüsüz) kullanıldığında stifner eğilmesi sıfır olarak alınmıştır. İki eleman kullanıldığında elemanların orta kısmında yaklaşık sıfır eğilme oluşacak şekilde bir dağılım elde edilmiştir. Örgü sayısı arttıkça (eleman boyutları küçüldükçe) gerçeğe daha yakın sonuç alındığı gözlenmiştir.



Şekil 3.22. Örnek bir yerel bölge analizi sonrası stifner eğilme gerilmesinin sonuçları

Yapısal analizlerde önemli unsurlardan birisi de analizin doğruluğunun kanıtlanmasıdır. Sonlu elemanlar yöntemi temelde güvenilirdir. Fakat yanlış modelleme ve yanlış veri gibi nedenlerden kaynaklanan hatalar görülebilir. Bu sebeple, analizin güvenilirliği açısından her aşamasında doğrulama işlemi uygulanmalıdır. Bu aşamalar;

- Temel veri girişi,
- Model ve analiz için yapılan kabuller ve basitleştirmeler,
- Model oluşturulması, sınır şartlarının tatbiki,
- Yük ve yük iletimleri,
- Analizlerin koşuturulması,
- Sonuçların elde edilmesi,
- Mukavemet değerlendirmeleri

Analizin doğrulanması sırasındaki önemli adımlardan birisi de problemin fiziğinin anlaşılması, analiz sonucunda da elde edilen gerilme ve şekil değiştirme diyagramlarının eklentiler ölçüsünde değerlendirilmesidir. Yapısal model oluşturulurken yapılan kabul ve basitleştirmeler, sonuca etkilerinin değerlendirilmesi için, açıkça belirtilmelidir. Global yapısal modelin sınır koşulları, yapıda gerilmelerden kaçınmak için basit mesnet olarak düşünülmelidir. Tespit (sabitleme) noktaları, gerilme oluşabilecek alanlardan uzakta olmalıdır. Hidrodinamik analizden alınan yük (kuvvet) değerlerinin yapısal analize yanlış aktarılması hataların kaynağını oluşturabilir. Kuvvet iletiminin kontrolü yapısal tepkiler veya direk yük iletiminin kendisi temel alınarak yapılabilir. Ayrıca analizin sonuçlarının doğruluğundan emin olmak için çeşitli aşamalarda doğrulanması gereken tepki kuvvetleri şunlardır.

- Global şekil değiştirme büyüklükleri
- Yerel şekil değiştirme büyüklükleri
- Global kesitsel kuvvetler
- Gerilme seviyeleri ve dağılımları
- Alt model sınır şekil değiştirmeleri ve kuvvetleri
- Tepki kuvvet ve momentleri

Yürütülen analiz sonucunda elde edilen gerilme ve şekil değiştirmelerin gösterimi çok önemlidir. Bu durum, eleman kalınlığının ortasına etki eden, levha eğilme gerilmesi hariç, ISO'nun belirlediği gerilme değerleri çerçevesindeki gerilme değerlerine dayalıdır. Ayrıca sayısal veriler modelde açıklıkların bulunmadığı yüksek gerilmeli alan ve bölgeleri

de göstermelidir. Global modelde, ambar modellerinde veya çerçeve modellerde aşağıdaki sonuçlar her bir bölge için verilebilmelidir.

- Her yükleme durumu için bozulma şekli
- Global eksen sisteminde, düzlem içi maksimum normal gerilmeler (σ_x ve σ_y)
- Dip, çift dip, güverte, borda kaplaması, çift cidar bordası, enine ve boyuna perdeler ile enine ve boyuna kirişler için, kayma gerilmeleri (τ) ve eşdeğer von Mises gerilmeleri ($\sigma_{eş}$)
- Serbest flençlerin aksenal gerilmesi
- Ana postaların destek braketlerinin ve uygunsa bağlandıkları boyuna elemanların bozulma durumları

Aynı şekilde yerel eleman modellerinde de aşağıdaki değerler elde edilmelidir.

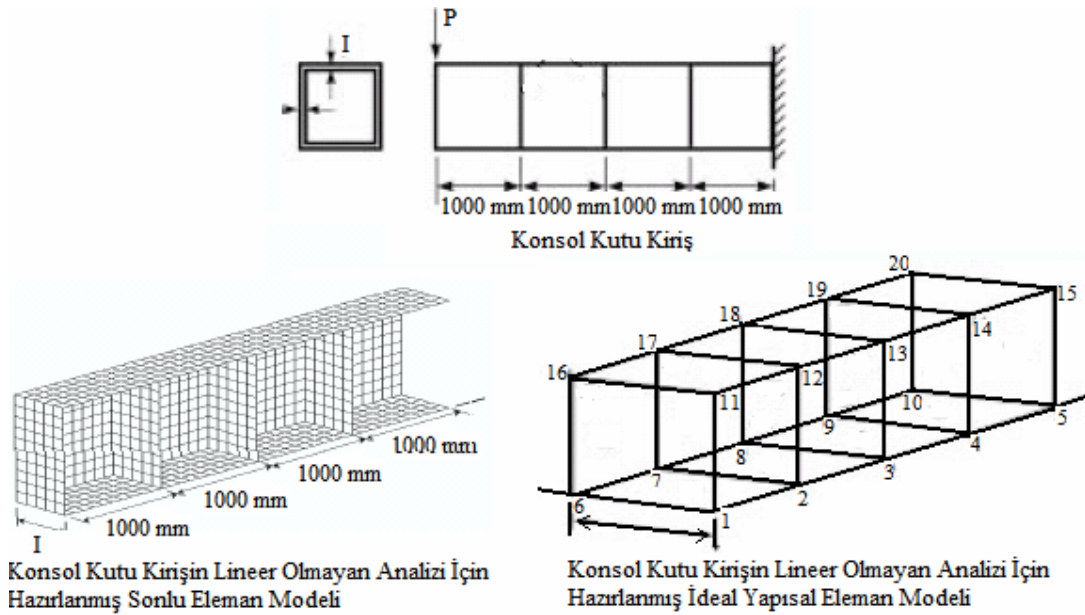
- Levha ve membran elemanların eşdeğer gerilmeleri
- Kiriş elemanlar için aksenal gerilmeler
- Çubuk elemanlar için aksenal kuvvetler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri

3.3.2.2. Diğer Sayısal Çözüm Yaklaşımları

Sonlu elemanlar yöntemine alternatif olarak iki temel sayısal yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar, İdeal Yapısal Elemanlar Yöntemi ve Sınır Elemanları Yöntemi dir. Bunlardan başka kullanılabilen farklı yaklaşımlar da vardır. Fakat bu iki temel yaklaşım gibi genel amaçlı değil, daha özel problemlere uygulanırlar. Bu iki temel yaklaşımı özetle incelersek;

Aşırı veya kaza eseri etki eden yüklemeler sonucunda gemi yapılarında akma, burkulma, ezilme ve bazı yapı elemanlarında kopmalar gibi büyük lineer olmayan tepkiler oluşabilir. Lineer olmayan yapısal tepkilerin çözümleri yaklaşık olarak elde edilebilir. Fakat büyük boyutlu karmaşık yapıların lineer olmayan analizleri için modelleme ve çözüm süresi konularında sonlu elemanlar yönteminin özellikleri halen zayıftır ve geliştirilmeye çalışılmaktadır. Modelleme ve çözüm süresi sorunlarını azaltmanın en önemli yolu sonlu eleman rijitlik denklemindeki bilinmeyen sayısını azaltmak için serbestlik derecesini düşürmektir. Yapıyı büyük boyutlu elemanlarla modellemek bunu gerçekleştirmenin bir yolu olabilir. Büyük yapıların lineer olmayan davranışlarının doğru olarak tanımlanabileceği etkin bir model, uygun boyutlarla oluşturulmuş yapısal birim

elemanlar veya süper elemanlar böyle bir yaklaşım içinde kullanılabilir. Basitleştirilmiş bir lineer olmayan sonlu elemanlar çözüm yöntemi olan, İdeal Yapısal Elemanlar Yöntemi, bu tür bir yaklaşım yöntemidir. Gemi yapısı posta, kemere, dikdörtgen levha, desteklenmiş paneller gibi farklı tipte alt elemanlardan oluştuğu için, bu yöntemde her eleman için farklı ideal yapısal elemanlar geliştirmek gereklidir. Bu yöntem bazı özel problemlerin çözümünde sınırlandırılmaktadır. Örneğin sonlu elemanlar yönteminin tersine, nihai mukavemet analizi için burkulma ve kırılma veya çarpışma mukavemet analizi için yarıma ve kırılma davranışları incelenirken özel ideal elemanlar oluşturulması daha çok önem kazanır. Yani, bir analiz için kullanılan eleman tipleri diğer analize geçildiğinde kullanılamaz ve yeni bir model oluşturmak gerekir. Ayrıca bu yöntem lineer analizler için uygun değildir. Şekil 3.23 de konsol bir kutu kirişin sonlu eleman modeli ve ideal yapısal eleman modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Bir konsol kutu kirişin analizi için hazırlanmış sonlu eleman ve ideal yapısal eleman modelleri

Bir başka yaklaşım olan sınır elemanları yöntemi, sonlu elemanlar yönteminin aksine, integral hacminin sınırları boyunca integral denklemleri içeren yarı-sayısal bir yöntemdir. Sınır integral denklemlerini içeren problemlerin çözümünde, bu yöntem uygun sayısal integrasyon teknikleri kullanır. Böylece, problem integral hacminin belli sayıda sınır elemanlara bölünerek ayrık hale getirilir. Oysa sonlu elemanlar yönteminde tüm

hacim üzerinde ağ örgüleri oluşturulur. Göreceli olarak daha basit bir integral bölgesinin özel bir probleminde, lineer veya düz sınır elemanları kullanılabilir. Böylece, sayısal olarak çözülmesi gereken daha karmaşık özelliklere sahip integral bölgesinin modellenmesi için yüksek mertebeden sınır elemanlarının kullanılması gerekirken, integral denklemleri için analitik çözümler uygulanabilmektedir.

Lineer olmayan birçok problem tipinin çözümünde sınır elemanları yöntemi kullanılabilir olduğu halde, bu yöntemin gerilme yığılması ve yorulma mekaniği problemlerinin çözümünde ve integral bölgesinin sonsuza gitmesi durumlarında sonlu elemanlar yöntemine etkili bir alternatif olarak düşünülür. Örneğin, gemilerin, açık deniz yapılarının ve boru donanımının katodik korozyon korunması sistemlerinin tasarımında problemin olduğu/oluşacağı bölgenin sonsuza gittiği düşünülerek sınır elemanları yönteminin kullanılması uygun olmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı, çok karmaşık integral denklemlerin çözümünü doğruluk payı yüksek şekilde sağlamasıdır.

4. ÖRNEK ANALİZLER VE BULGULAR

4.1. Modelleme

Modelleme, daha önce de bahsedildiği gibi bir fiziksel yapının veya olayın analitik veya sayısal olarak oluşturulmasıdır (Ergin vd., 2000). Modellemede önemli olan elemanları birleştirerek bunlara ağ yapısı oluşturmaktan çok problemin fiziğini anlayıp ona göre analizleri yürütebilmektir. Örneğin sınır koşullarının modele uygun ve gerekli şekilde uygulanması çözüm açısından çok önemlidir. Analiz sonuçları yaklaşık olarak tahmin edilebilmeli ve buna göre gerekli eleman tipi ve yeterli sayıda eleman kullanılarak çözüm elde edilebilmelidir. Bu sayede bilgisayar hızından ve zamandan kazanç sağlanır. Örneğin simetrik yapılarda yapının yarısı veya dörtte biri modellenebilir.

Gemi yapısının modellenmesi üç farklı yöntemle yapılabilmektedir.

1-) Kiriş Elemanlarla Modelleme : Genellikle yerel yapısal analizde ızgara ve düzlem çerçeve problemlerinde kullanılır. Global analizde ise üç boyutlu çerçeve problemlerinde kullanılırlar (Bayraktarkatal, 1995). Modelleme süresinin kısa olması, daha az bilgisayar hafızası gerektirmesi ve çözüm süresinin kısalığı avantajlarıdır. En önemli dezavantajları ise, taşıyıcı sistemdeki gerilme dağılımını tam olarak yansıtmaması, gerilme yığılmalarının görülememesidir.

2-) Kabuk Elemanlarla Modelleme : Yerel olarak levha, panel, desteklenmiş panel ve global olarak üç boyutlu modellemede kullanılır. Avantajları, taşıyıcı sistemdeki gerilme dağılımını daha ayrıntılı vermesi ve daha hassas çözümler sunmasıdır. Modellemenin daha zor olması, sürenin daha uzun olması ve yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerektirmesi dezavantajlarıdır.

3-) Karma Elemanlarla Modelleme : Hem kabuk hem de kiriş elemanların birlikte kullanıldığı modellemedir. Genel olarak üç boyutlu global yapısal analizlerde kullanılır. Gerektiği yerde istenilen elemanın kullanılmasına izin vermesi ve daha hassas çözümler sunması avantajları, modelleme için tecrübe gerektirmesi de dezavantajıdır.

Modellemede kullanılacak elemanın tipinin, şeklinin ve sayısının seçimi önemlidir. Bunları belirleyebilmek için yapının ve seçilecek eleman tipinin davranışlarının bilinmesi ve uygun yerde kullanılması gerekmektedir. Kullanılan bazı eleman tipleri aşağıdadır.

- 3D Kiriş Eleman
- Sabit Gerilmeli Üçgen Eleman
- Lineer Gerilmeli Üçgen Eleman
- Çifte Lineer Dörtgen Eleman
- Kabuk Elemanlar
- Dört Düğüm Noktalı ve Dört Kenarlı Elastik Kabuk Eleman

4.2. Yükleme ve Sınır Şartları

Sonlu eleman analizlerinin amaçlarından birisi değişik yükleme durumları karşısında yapının nasıl tepki vereceğinin belirlenmesidir. Model üzerine etki eden bu yükler, kuvvet, basınç, yerçekimi ve sıcaklık olabilir. Bu yükler tekil olarak etkidiği gibi yayılı yükler olarak ta uygulanabilir.

Sınır şartları yapıların mekaniğinde mesnet şartları olarak adlandırılır. Aktif olmayan serbestlik dereceleri (öteleme, dönme) çözüm işleminden sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlandırılması gereken serbestlik derecesi elemanın sınırında veya başka bir bölgesinde olabilir. Sınır şartlarında, simetri özelliği kullanılarak çözüm yapıldığında, sınır şartları şöyle tanımlanabilir. Simetri düzlemi üzerinde yer alan düğüm noktaları gemi eni ve yüksekliği yönünde öteleme yapabilir ve simetri eksenini etrafında dönebilir.

Buna karşın gemi boyu doğrultusunda öteleme ile eni ve yüksekliği doğrultusunda dönme yapamazlar (Ergin vd., 2000).

4.3. Örnek Analiz I - 1000 TEU Çift Cidarlı Konteyner Gemisi Modeli

Modellenen geminin ana boyutları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

LOA = 146.4 m	LBP = 134.375 m
B = 22.6 m	D = 113,3 m
d = 7,7 m	DWT = 10000 t

4.3.1. Modelleme ve Analiz Detayları

Söz konusu iki ambarlı konteyner gemisi için gerçekleştirilen üç boyutlu yapısal analizde, geminin orta bölgesinde 85-115 postalar arası ambar kısmı modellenmiştir. Modelleme, geminin boyuna eksene göre simetrisi göz önüne alınarak yarım blok olarak yapılmıştır. Modelleme yapılırken kullanılan yapı elemanları aşağıda verilmiştir.

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - Borda kaplaması | - Çift dip kaplaması |
| - Dış kaplama sacları | - Ambar yan sacı |
| - Döşekler (Merkez, su geçirmez) | - Merkez omurga |
| - Yan iç omurgalar | - Yan ambar ağız |
| - Çift dip boyuna postaları | - Çift dip boyuna ters postaları |
| - Yan normal postalar | - Yan derin postalar |
| - Braketler | |

Program içerisindeki büyüklükler SI birim sistemine göre ayarlıdır. Ayrıca programa girilecek girdiler de SI birim sisteminde olacak şekilde ayarlanmıştır.

Uzunluk	(L) = Metre (m)	Kütle	(M) = Kiloqram (kg)
Zaman	(T) = Saniye (sn)	Temperature	(T) = Kelvin (K)
Kuvvet	(F) = Newton (N) (kg.m/s ²)	Basınç	(P) = Pascal (N/m ²)
Enerji	(W) = Joule (N.m)		

Modelde kullanılan malzeme normal gemi inşaatı çeliği A Kalite st-42'dir. Malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Elastisite modülü (E) : 2.1×10^{11} N/m²

Poisson oranı (ν) : 0.3

Yoğunluk (ρ) : 7850 kg/m³

Akma sınırı (σ_0) : 235 N/mm²

Modelleme yapılırken koordinat eksenleri, gemi boyu y, gemi genişliği x ve gemi yüksekliği z eksenini olarak seçilmiştir. Modellemede, bilgisayar destekli tasarım programlarından AutoCAD ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz olanağı tanıyan ANSYS paket programlarından yararlanılmıştır. Üç boyutlu modellemesi ilk olarak AutoCAD programında yapıldıktan sonra ANSYS programının Workbench modulüne aktarılan modelde iyileştirilmeler yapılarak analize hazır hale getirilmiştir.

Model, temel yapı elemanlarının modellenip birbirlerine bağlanmasıyla alt blokların oluşturulması, ardından da bu blokların birbirlerine eklenmesiyle ortaya çıkarılmıştır.

Temel yapı elemanları önce çizgiler sonra alanlar halinde çizilip gerekli kalınlıklar verilerek üç boyutlu hale getirilmişlerdir. Modelde kullanılan eleman tipleri Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Modelde kullanılan eleman tipleri

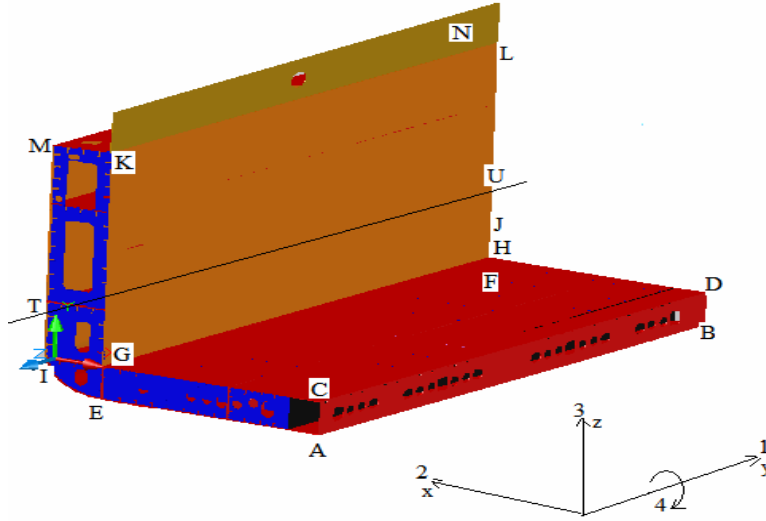
20-Node Hexahedral Yapısal Katı Cisim (SOLID186) (Döşekler, yan ambar ağızı, braketler, yan normal postalar, yan derin postalar)	20-Node Hexahedron
4-Node Quadrilateral Yapısal Kabuk Eleman (SHELL181) (Borda kaplaması, çift dip kaplaması, dış kaplama sacları, ambar yan sacları)	4-Node Quadrilateral Kabuk Eleman
3-Node Yapısal Kiriş Eleman (BEAM188) (Çift dip boyuna postaları, çift dip boyuna ters postaları, merkez omurga, yan iç omurgalar)	3-Node Kiriş Eleman
Birleşim Bölgesi (CONTA174, CONTA175)	8-Node Quadratic Quadrilateral Contact

Model ortaya çıktıktan sonra, daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi gemiye etki eden hidrostatik basınç yükü, kargo yükü, kendi ağırlığının etkisi gibi kuvvetler ile gerekli sınır şartları, programın kapsamlı menüleri kullanılarak modele uygulanmıştır. Ardından çözüme geçilmiş ve çözüm başlangıcında yapının matematiksel modeli diğer bir deyişle ağ örgüsü (meshing) program kontrolünde, gerekli yerde hassas gerekli yerde kaba ağ örgüsü üretilecek şekilde oluşturulmuştur. Ağ oluşturulduktan sonra toplam 141785 adet eleman ve 354984 düğüm noktası ortaya çıkmıştır. Modelin toplam kütlesi, kütle merkezi koordinatları, orjine göre ve kütle merkezine göre atalet momenti değerleri Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2. Konteyner ambarı modelinin kütle ve atalet momenti değerleri

TOPLAM KÜTLE = 0.17416E+06 kg		
ATALET MOMENTİ (m ⁴)		
KÜTLE MERKEZİ (m)	(ORJİNE GÖRE)	(KÜTLE MERKEZİNİN YERİNE GÖRE)
XC = 3.3612	IXX = 0.3477E+08	IXX = 0.1067E+08
YC = 11.555	IYY = 0.7414E+07	IYY = 0.4609E+07
ZC = 2.1926	IZZ = 0.3551E+08	IZZ = 0.1029E+08
	IXY = -0.6751E+07	IXY = 0.1300E+05
	IYZ = -0.4415E+07	IYZ = -2643.
	IZX = -0.6044E+05	IZX = 0.1223E+07

Sınır şartları uygulanırken, modelin boyuna uçları ankastre mesnetli olarak düşünülmüştür. Modelin her iki ucunda bütün serbestlik dereceleri sıfırlanmıştır. Bu durumda problemin sonuçlarının alt sınırları belirlenmiş olur. Geminin boyuna simetri düzlemi üzerinde simetri şartları uygulanmıştır. Simetri düzlemi üzerinde düğüm noktalarında (AB ve CD kenarları), x (2) yönündeki yer değiştirmeler ve y (4) eksenindeki dönmeler sıfırlanmıştır. Şekil 4.1 de simetri düzlem şartları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Simetri sınır şartlarının gösterimi

Bloğa uygulanan etkin yüklerden birisi konteynerlerin yüküdür. Bir konteynerin tasarım yükü 14 t alınmıştır. Geminin ambarına toplam 100 adet konteyner yüklenmiştir. Konteynerler dört noktaya temas ederek yerleşirler. Dolayısıyla yükler tekil yük olarak etki ettirilmiştir. Fakat bu tekil yükler yükün dağılımının daha iyi olması ve yerel çökmelerin oluşmaması için tulani ile döşeklerin kesişim noktalarına etki ettirilmiştir. Modelin kendi ağırlığı da yük olarak etki ettirilmiştir. Modelin ağırlığı program tarafından 170 t olarak verilmektedir. Ayrıca gemiye etkiyen hidrostatik basınç yükü yayılı yük olarak uygulanmıştır.

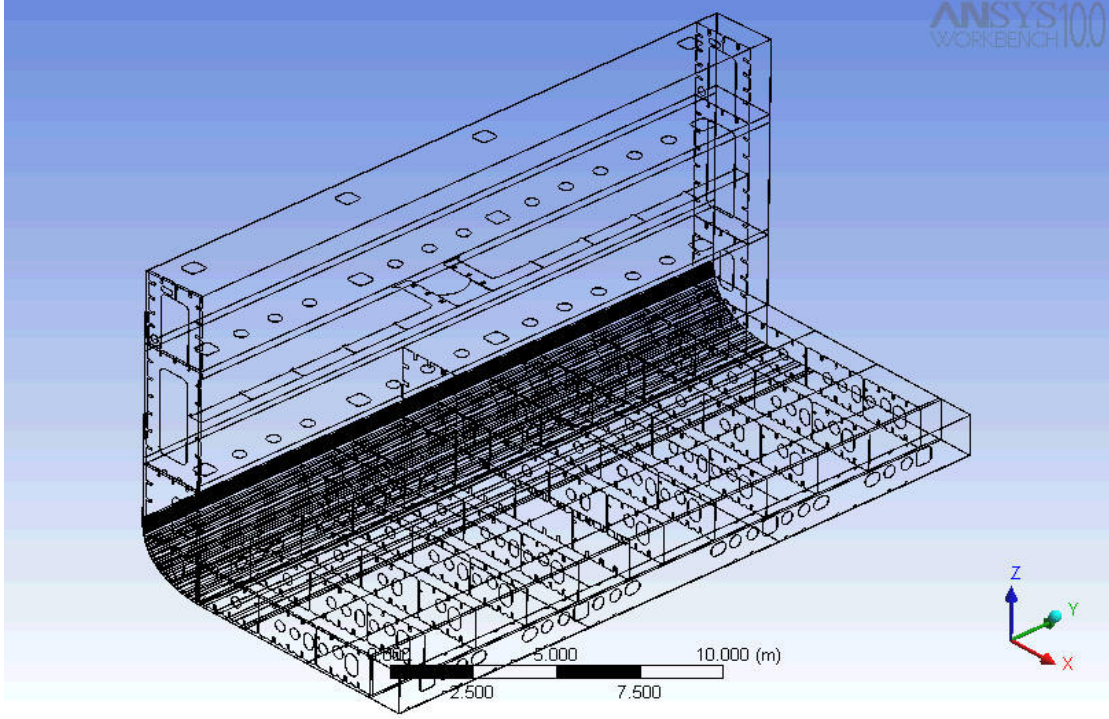
4.3.2. Analiz Bulguları

Modelleme ve analiz sonuçları sonrası elde edilen gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon bulgularının kritik değerleri aşağıda önce Tablo 4.3 de verilmiştir.

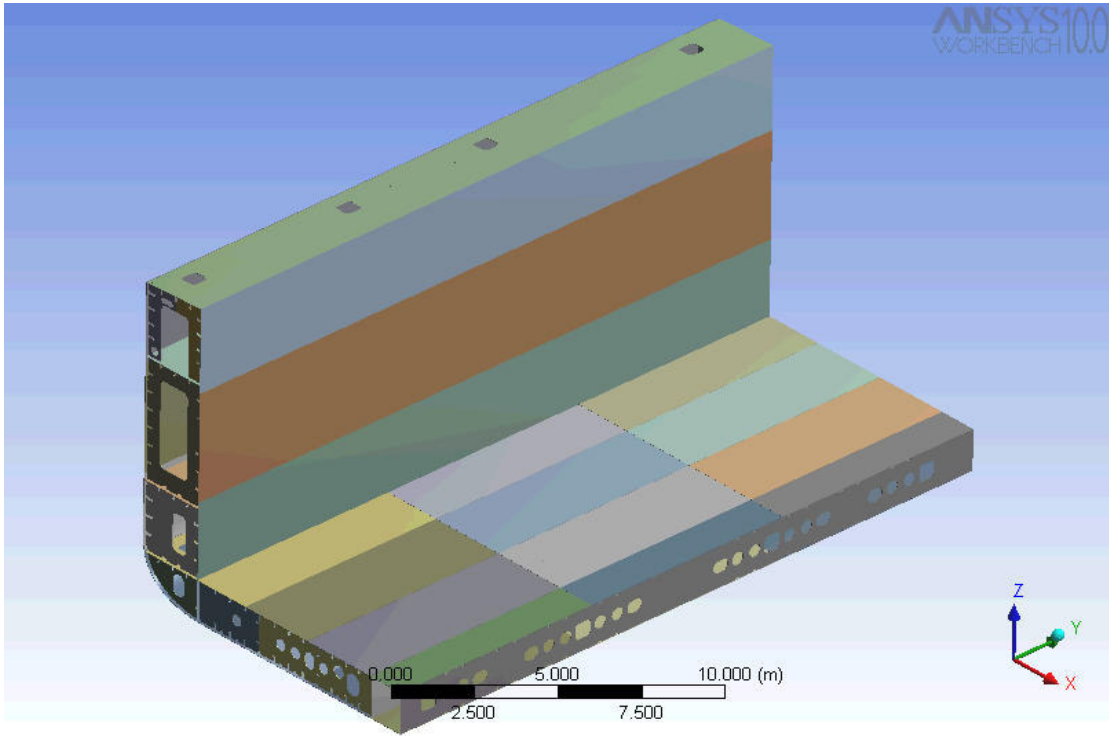
Arkasından da, Şekil 4.2 de modelin çizgilerden oluşmuş hali, Şekil 4.3 de modelin alanlardan oluşmuş hali, Şekil 4.4 ve 4.5 de modelin ağ örgülü (meshli) hali gösterilmiştir. Daha sonra, Şekil 4.6 ve 4.7 de sırasıyla modelin genel görünümü üzerinde eşdeğer (Von Mises) gerilme dağılımı ve elemanlı genel görünümü üzerinde eşdeğer (Von Mises) gerilme dağılımları, Şekil 4.8 ve 4.9 da sırasıyla modelin genel görünümü üzerinde normal gerilme ve kayma gerilmesi dağılımları, Şekil 4.10 da modelin genel görünümü üzerinde eşdeğer elastik birim şekil değiştirme dağılımı, Şekil 4.11 de modelin genel görünümü üzerinde x ekseninde yönel deformasyon ve 4.12 de modelin genel görünümü üzerinde toplam deformasyon dağılımı renk düzeyleri ile gösterilmiştir. En büyük gerilme beklendiği gibi merkez omurga yanındaki yan iç omurgada, adam geçme delikleri civarında 80. elemanda 337 MPa olarak belirlenmiş ve akma sınırının (235 MPa) üzerinde kalmıştır. Gerilmeler bu bölgeye destek elemanları eklenmesiyle aşağıya çekilmelidir. En büyük deformasyon değeri de 12 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, üç boyutlu görünümde modelin alt yapı elemanları için kritik noktaların daha sağlıklı görülmesi için örnek bir enine kesit ayrı olarak incelenmiş ve Şekil 4.13 de kesitin ağ örgülü hali gösterilmiş, ardından Şekil 4.14 de kesit üzerinde eşdeğer (Von Mises) gerilme dağılımı ve Şekil 4.15 de kesit üzerinde x ekseninde yönel deformasyon dağılımı yine renk düzeyleri ile gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Modelde oluşan gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon kritik değerleri

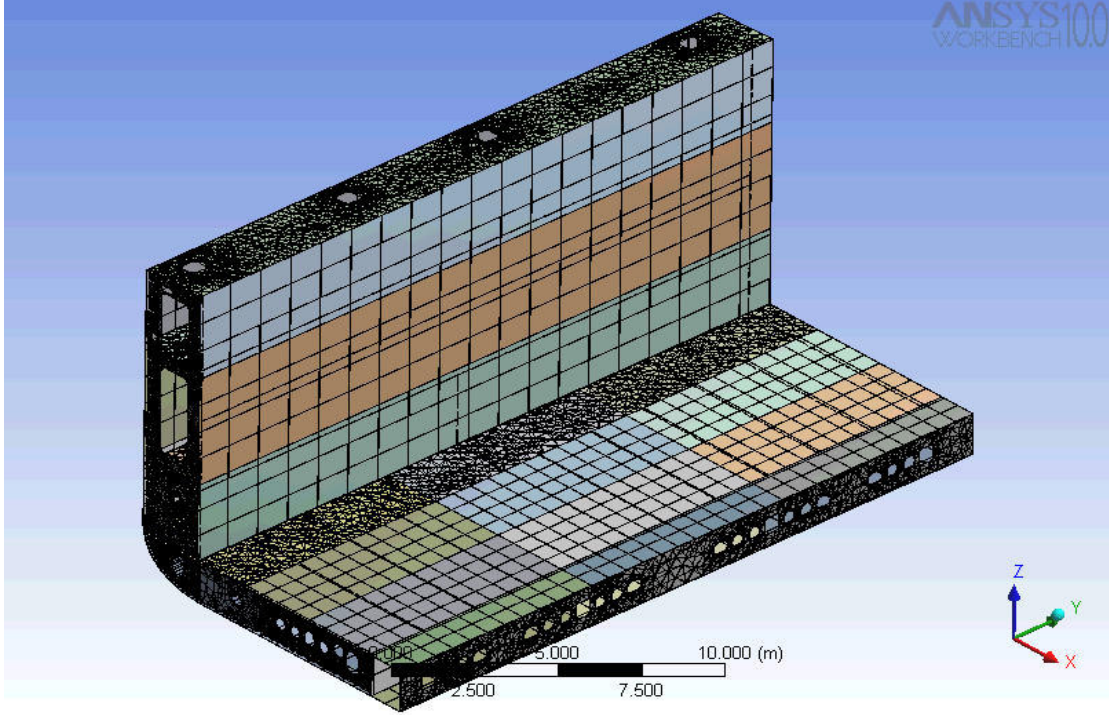
Durum	Analiz Kapsamı	Uygulama Yönü	Minimum Değer	Maximum Değer	Minimum Değerin Oluştuğu Yer	Maximum Değerin Oluştuğu Yer
Toplam Deformasyon	Modeldeki tüm elemanlar	Global	0.0 m	1.2×10^{-2} m	Eleman 98	Eleman 86
Yönel Deformasyon	Modeldeki tüm elemanlar	X Eksen	0.47×10^{-2} m	0.89×10^{-2} m	Eleman 81	Eleman 86
Eşdeğer Gerilme	Modeldeki tüm elemanlar	Global	4.62×10^{-3} Pa	3.38×10^8 Pa	Eleman 13	Eleman 80
Eşdeğer Elastik Şekil Değiştirme	Modeldeki tüm elemanlar	Global	2.31×10^{-13} m/m	1.69×10^{-2} m/m	Eleman 13	Eleman 80
Normal Gerilme	Modeldeki tüm elemanlar	X Eksen	-4.81×10^8 Pa	2.72×10^8 Pa	Eleman 80	Eleman 86
Kayma Gerilmesi	Modeldeki tüm elemanlar	XY Düzlemi	-5.89×10^7 Pa	6.85×10^7 Pa	Eleman 86	Eleman 86



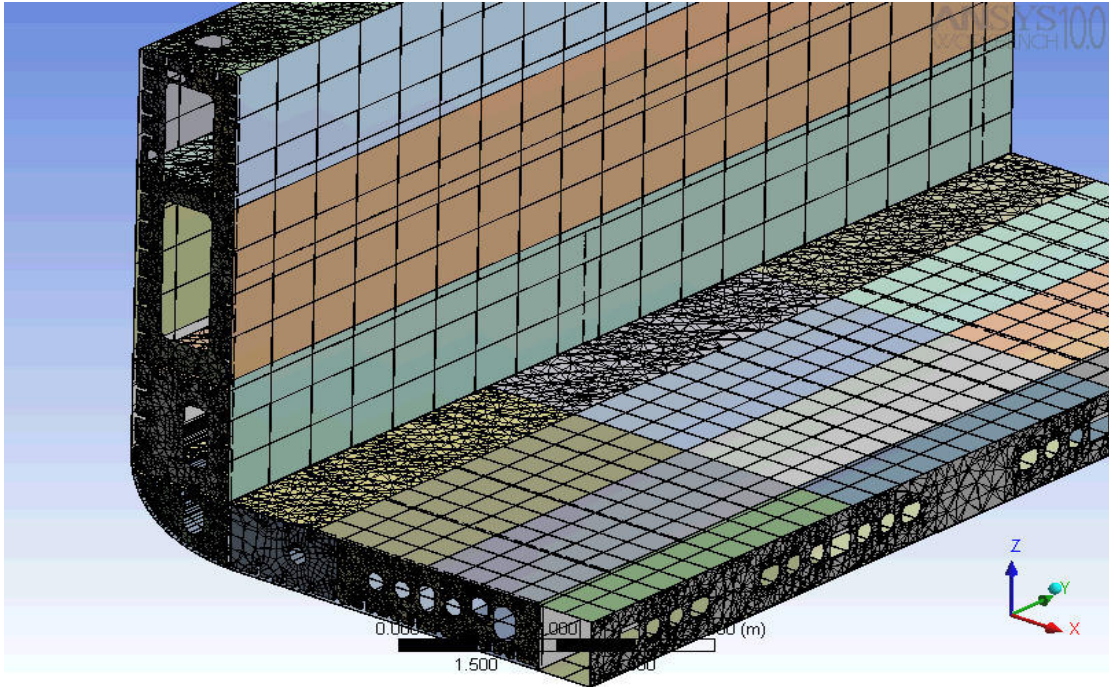
Şekil 4.2. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin çizgilerden oluşmuş görünümü



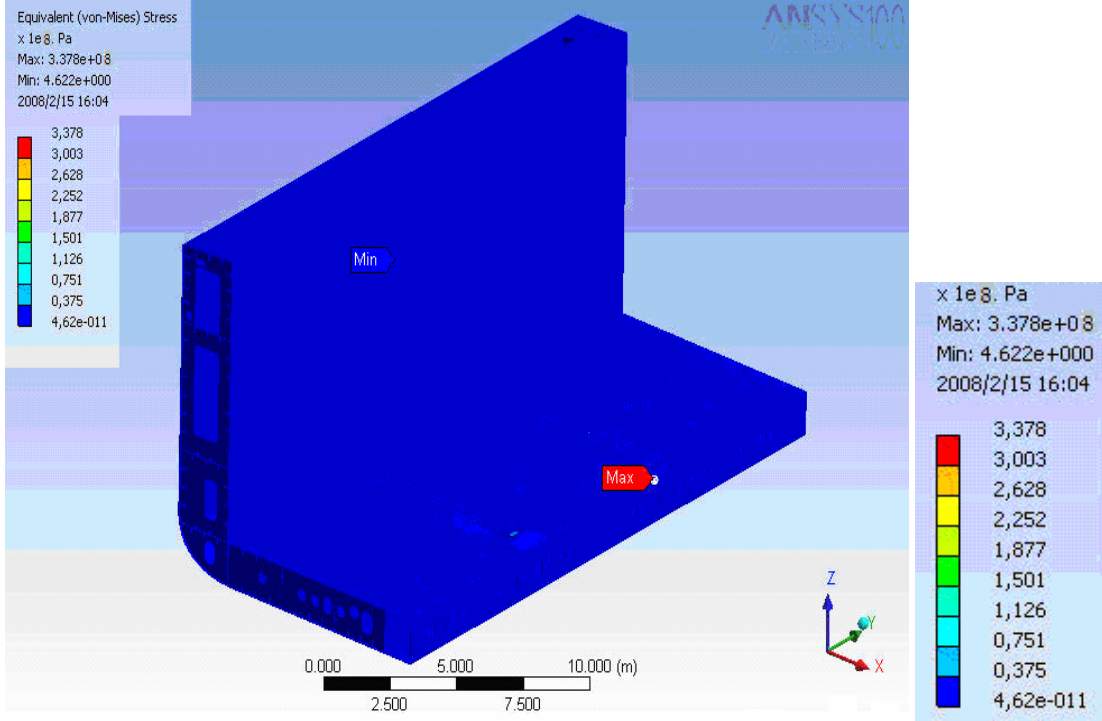
Şekil 4.3. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin alanlardan oluşmuş görünümü



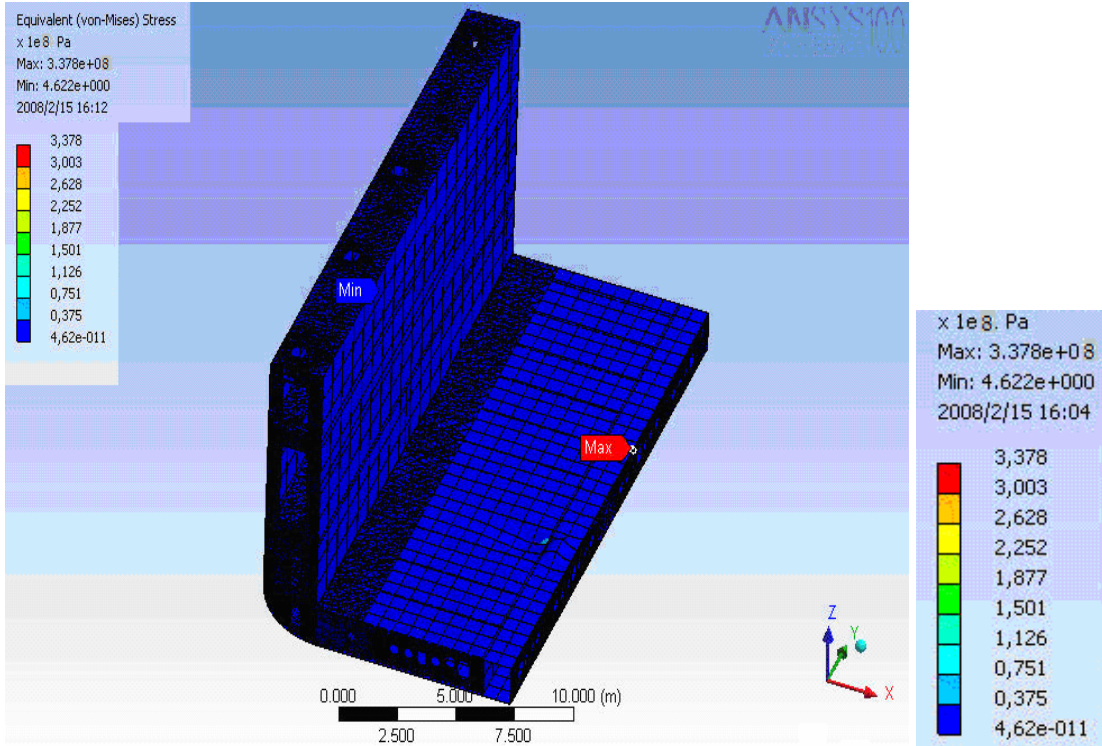
Şekil 4.4. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshli) görünümü



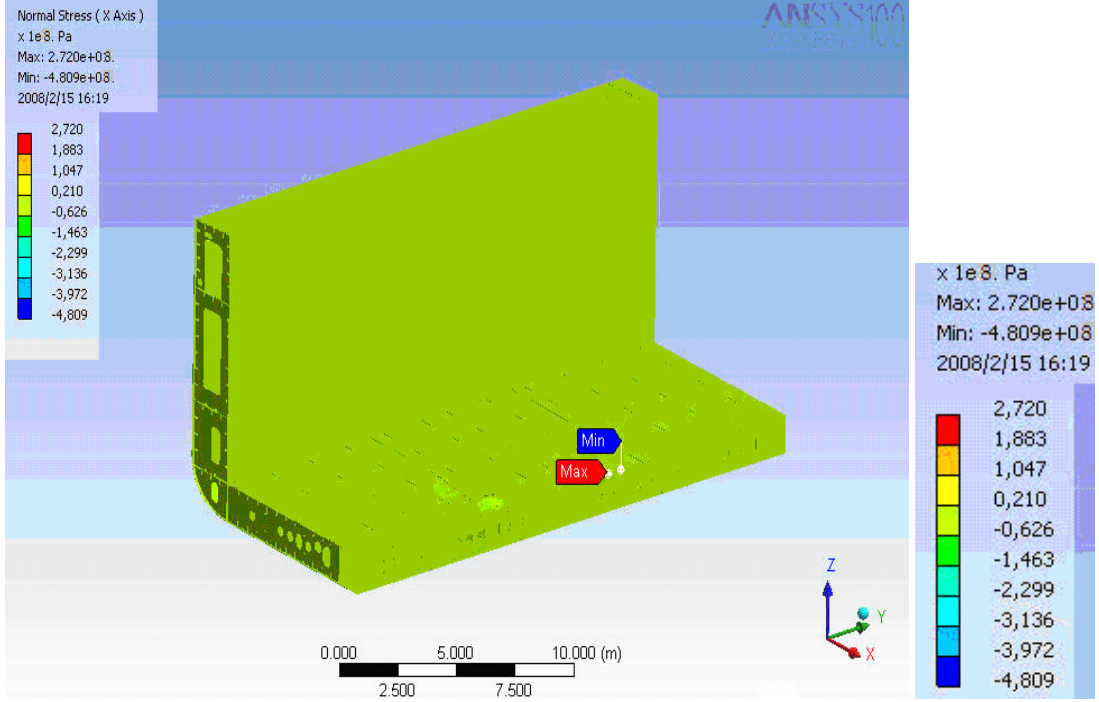
Şekil 4.5. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin ağ örgüsünün yakın plan görünümü



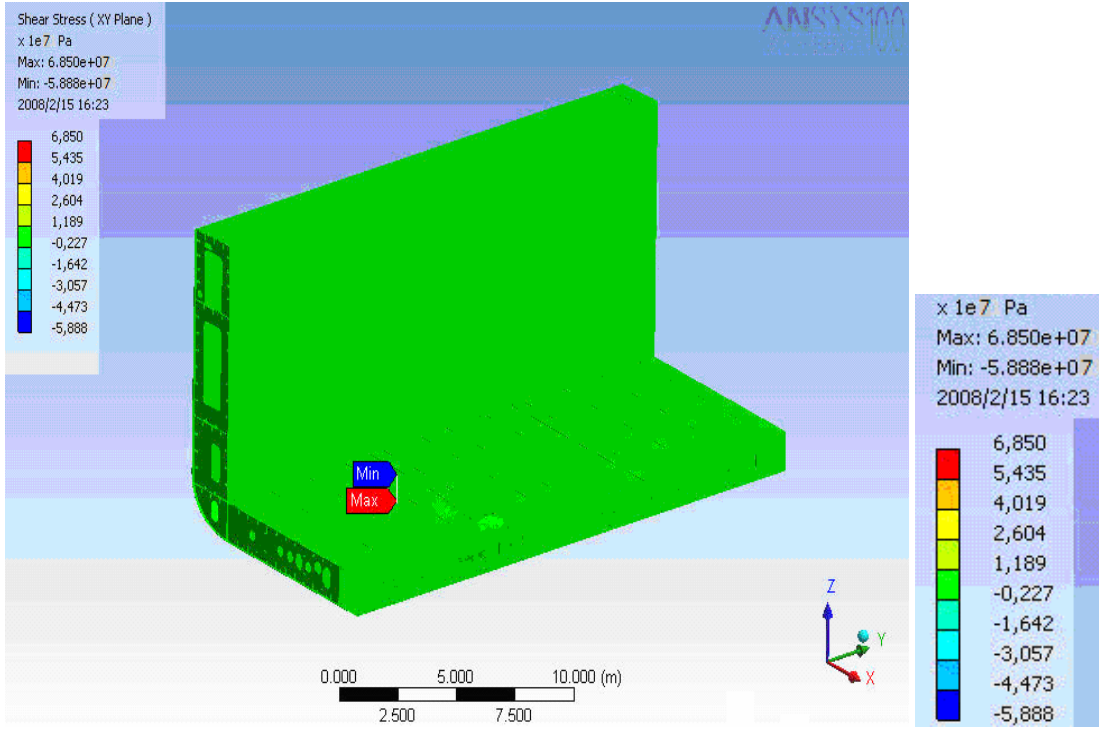
Şekil 4.6. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin model genel görünümü üzerinde eşdeğer (Von-Mises) gerilme dağılımı



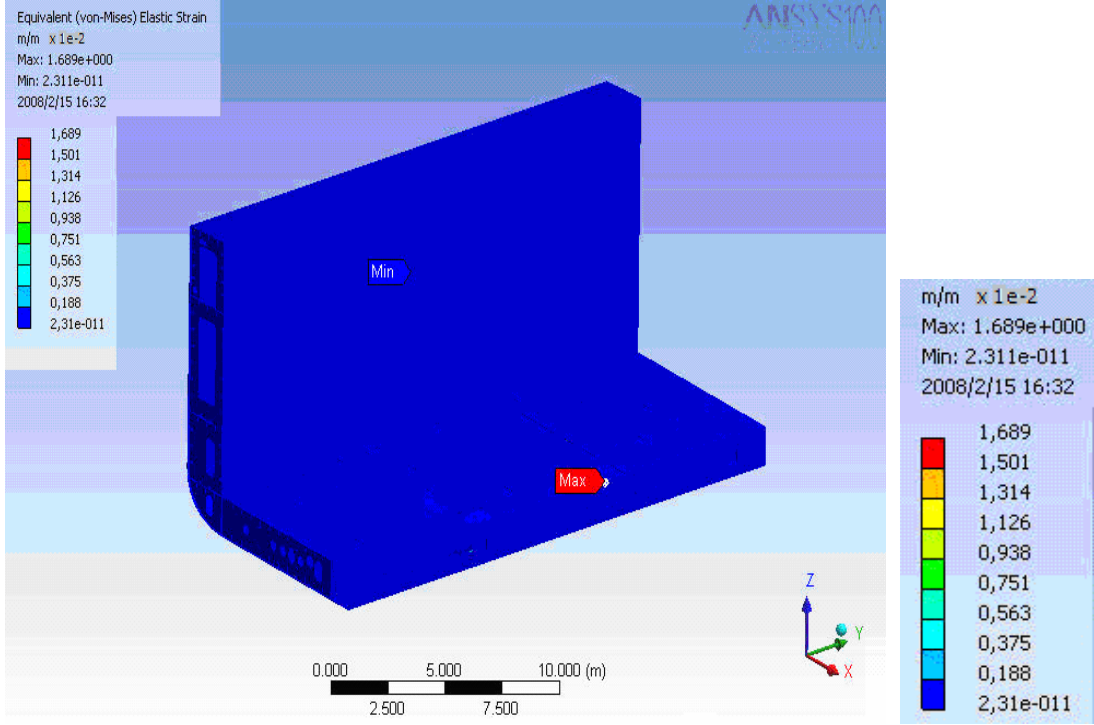
Şekil 4.7. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin elemanlı genel görünümü üzerinde eşdeğer (Von-Mises) gerilme dağılımı



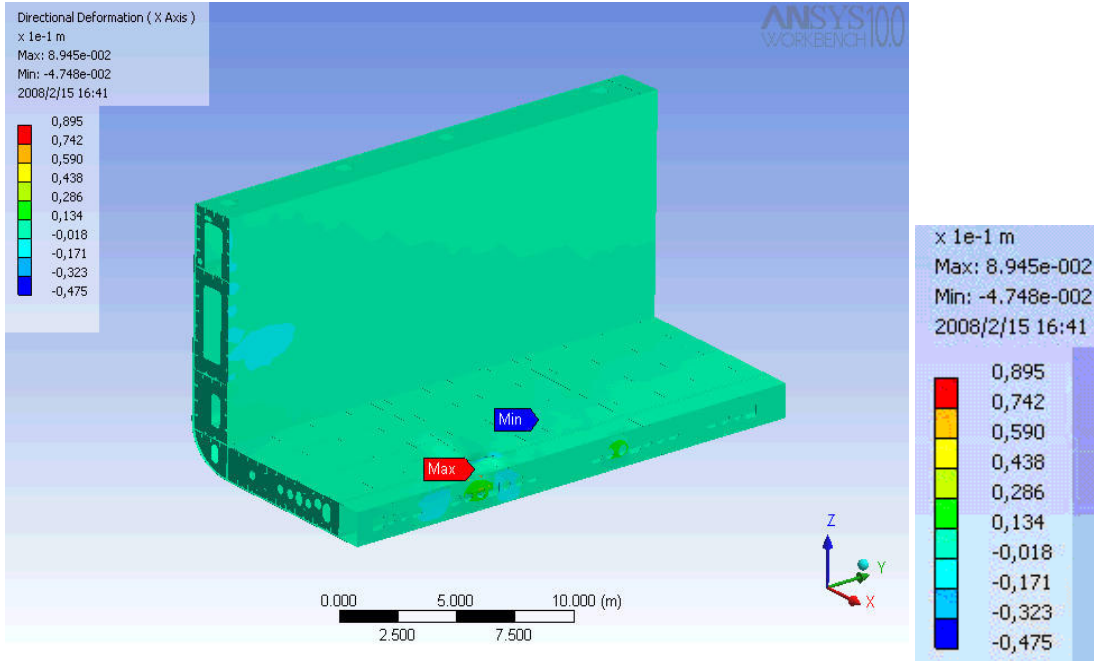
Şekil 4.8. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı



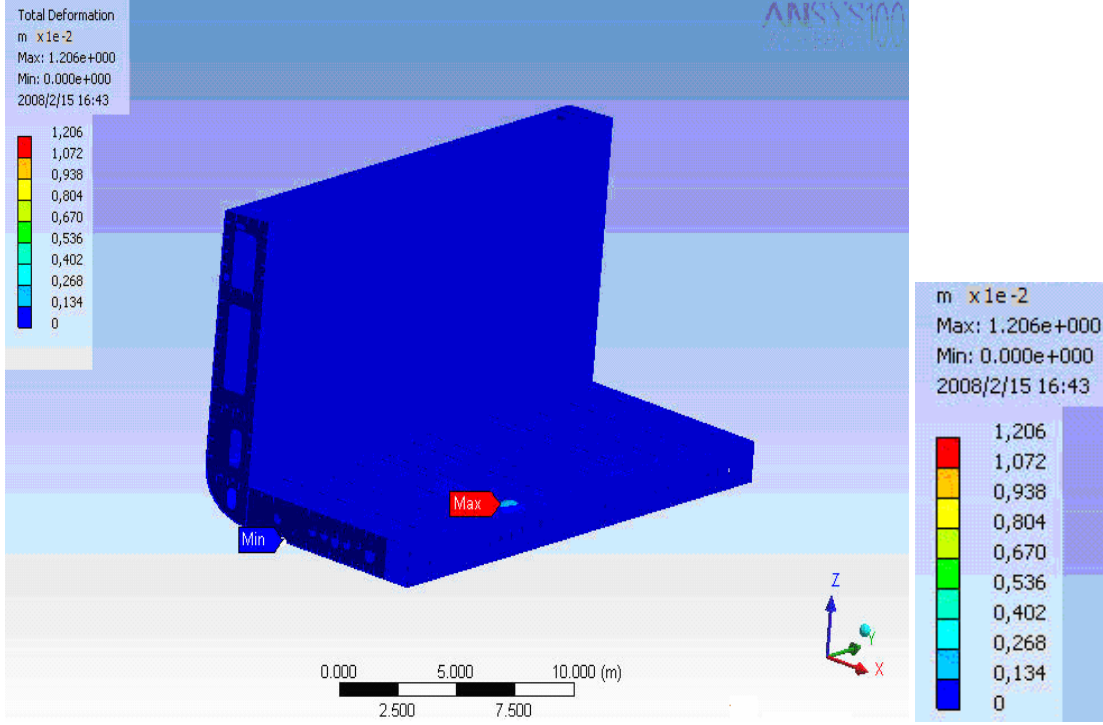
Şekil 4.9. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde kayma gerilmesi dağılımı



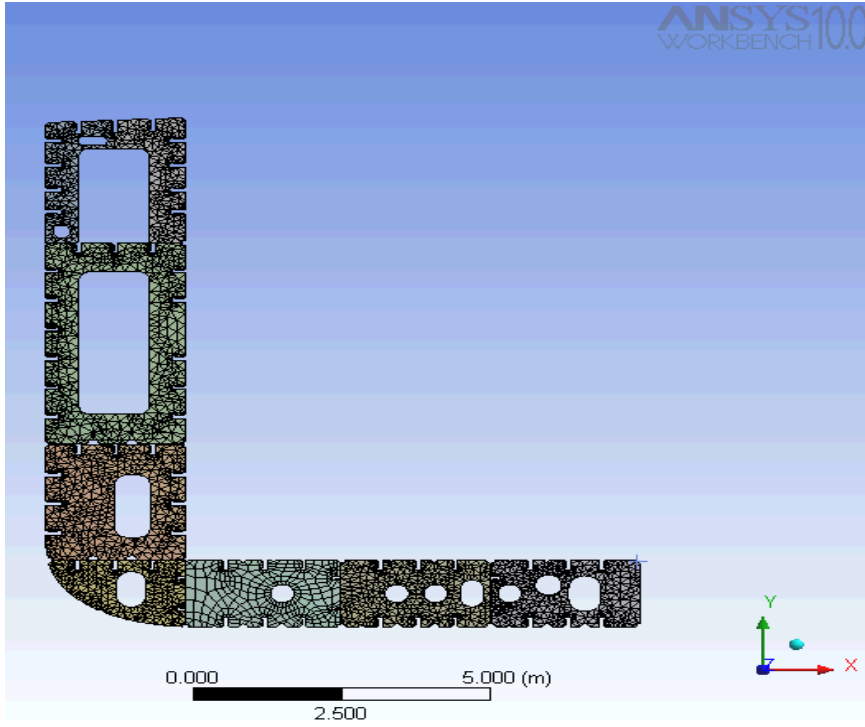
Şekil 4.10. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde eşdeğer elastik şekil değiştirme dağılımı



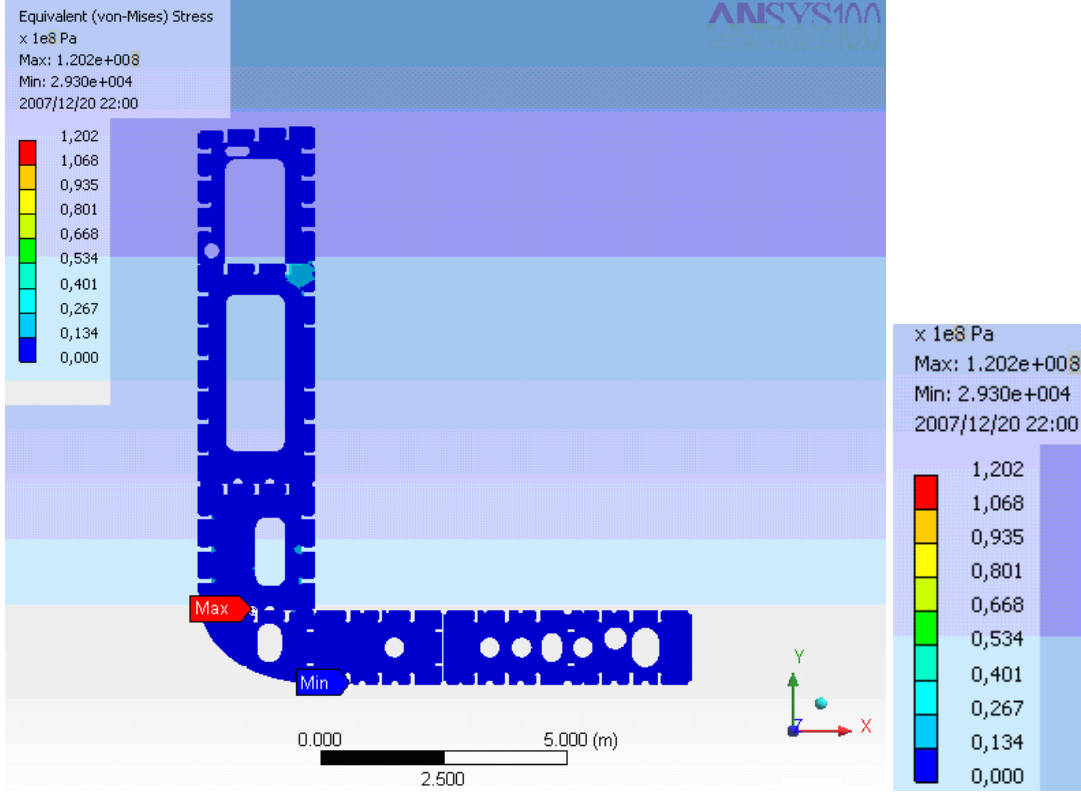
Şekil 4.11. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde x ekseninde yönel deformasyon dağılımı



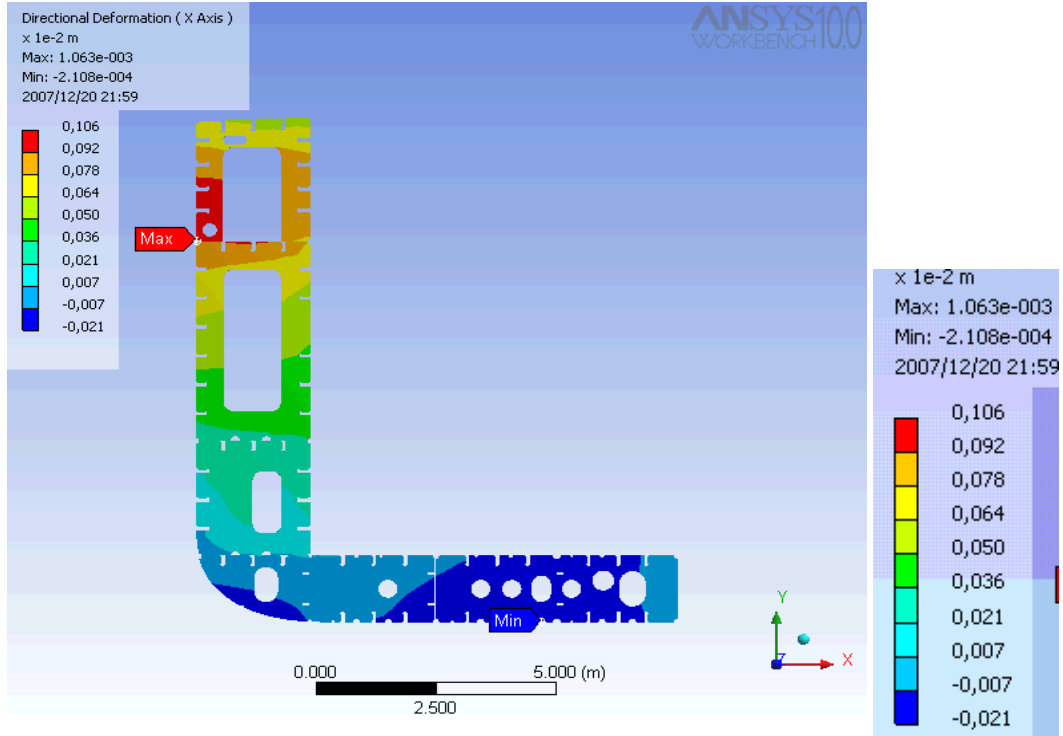
Şekil 4.12. Çift cidarlı konteyner gemisi ambar modelinin genel görünümü üzerinde toplam deformasyon dağılımı



Şekil 4.13. Enine kesitin ağ örgülü görünümü



Şekil 4.14. Enine kesit üzerinde eşdeğer (Von-Mises) gerilme



Şekil 4.15. Enine kesitte oluşan yönel deformasyon dağılımı

4.4. Örnek Analiz II-Karma Sistemde İnşa Edilmiş Çift Cidarlı Bir Kimyasal Tanker Modeli

Modellenen gemini ana boyutları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{LOA} &= 90.8 \text{ m} & \text{LBP} &= 84.7 \text{ m} & \text{B} &= 13.7 \text{ m} & \text{D} &= 6.8 \text{ m} \\ \text{d} &= 5.5 \text{ m} & \text{c}_B &= 0.76 & \text{DWT} &= 3200 \text{ t} \end{aligned}$$

4.4.1. Modelleme ve Analiz Detayları

Söz konusu kimyasal tanker gemisi için gerçekleştirilen üç boyutlu yapısal analizde, geminin orta bölgesinde 76-92 postalar arasındaki kargo tankı kısmı modellenmiştir. Modelleme, geminin boyuna eksene göre simetrisi göz önüne alınarak yarım blok olarak yapılmak yerine ilerideki çalışmalar için bilgisayar performansını görmek amacıyla tam blok olarak modellenmiştir. Modelde kullanılan yapı elemanları şunlardır.

- Borda kaplaması
- Çift dip kaplaması
- Dış kaplama sacları
- Ambar yan sacı
- Döşekler (Merkez, su geçirmez)
- Merkez omurga
- Yan iç omurgalar
- Ara güverte
- Tulaniler
- Çift dip boyuna postaları
- Çift dip boyuna ters postaları
- Braketler
- Yan normal postalar
- Ondüle (Corrugate) perdeler

Program içerisindeki büyüklükler SI birim sistemine göre ayarlıdır. Ayrıca programa girilecek girdiler de SI birim sisteminde olacak şekilde ayarlanmıştır.

Uzunluk	(L) = Metre (m)	Kütle	(M) = Kiloqram (kg)
Zaman	(T) = Saniye (sn)	Temperature (T)	= Kelvin (K)
Kuvvet	(F) = Newton (N) (kg.m/s ²)	Basınç	(P) = Pascal (N/m ²)
Enerji	(W) = Joule (N.m)		

Modelde kullanılan malzeme normal gemi inşaatı çeliği A Kalite st-42'dir. Malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Elastisite modülü (E)	: 2.1 x 10 ¹¹ N/m ²
Poisson oranı (ν)	: 0.3
Yoğunluk (ρ)	: 7850 kg/m ³
Akma sınırı (σ ₀)	: 235 N/mm ²

Modelleme yapılırken koordinat eksenleri, gemi boyu x , gemi genişliği y ve gemi yüksekliği z ekseni olarak seçilmiştir. Modellemede, ilk örnekte olduğu gibi yine bilgisayar destekli tasarım programlarından AutoCAD ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz imkânı tanıyan ANSYS paket programlarından yararlanılmıştır. Üç boyutlu modellemesi ilk olarak AutoCAD programında yapıldıktan sonra ANSYS programının Workbench modulüne aktarılan modelde iyileştirilmeler yapılarak analize hazır hale getirilmiştir. Modelde kullanılan eleman tipleri Tablo 4.4 de verilmiştir.

Tablo 4.4. Modelde kullanılan eleman tipleri

20-Node Hexahedral Yapısal Katı Eleman (SOLID186) (Döşekler, yan ambar ağızı, braketler, yan normal postalar)	20-Node Hexahedron
4-Node Quadrilateral Yapısal Kabuk Eleman (SHELL181) (Borda kaplaması, çift dip kaplaması, dış kaplama sacları, ambar yan sacları, ondula perdeler, ara güverte)	4-Node Quadrilateral Kabuk Eleman
3-Node Yapısal Kiriş Eleman (BEAM188) (Çift dip boyuna postaları, çift dip boyuna ters postaları, merkez omurga, yan iç omurgalar)	3-Node Kiriş Eleman
Birleşim Bölgesi (CONTA174)	8-Node Quadratic Quadralateral Contact

İlk örnekteki gibi gerçekleştirilen modellemenin ardından, modelin kendi ağırlığı yük olarak, tank içerisindeki taşınan yük yayılı basınç yükü ve hidrostatik basınç yükü geminin su altında kalan kısmı boyunca yayılı yük olarak yükleme yapılmıştır. Modelin ağırlığı program tarafından 185 t olarak verilmektedir. Sınır şartları, ambarın iki ucu ankastre mesnetli olacak şekilde uygulandıktan sonra, çözüm başlangıcında oluşturulan yapının matematiksel modelinde (mesh yapılmış durum) toplam 162431 eleman ve 557649 düğüm noktası meydana gelmiştir. Modelin toplam kütlesi, kütle merkezi koordinatları ve atalet momenti değerleri orjine göre ve kütle merkezine göre Tablo 4.5 de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kimyasal Tankerin ambar modelinin kütle ve atalet momenti değerleri

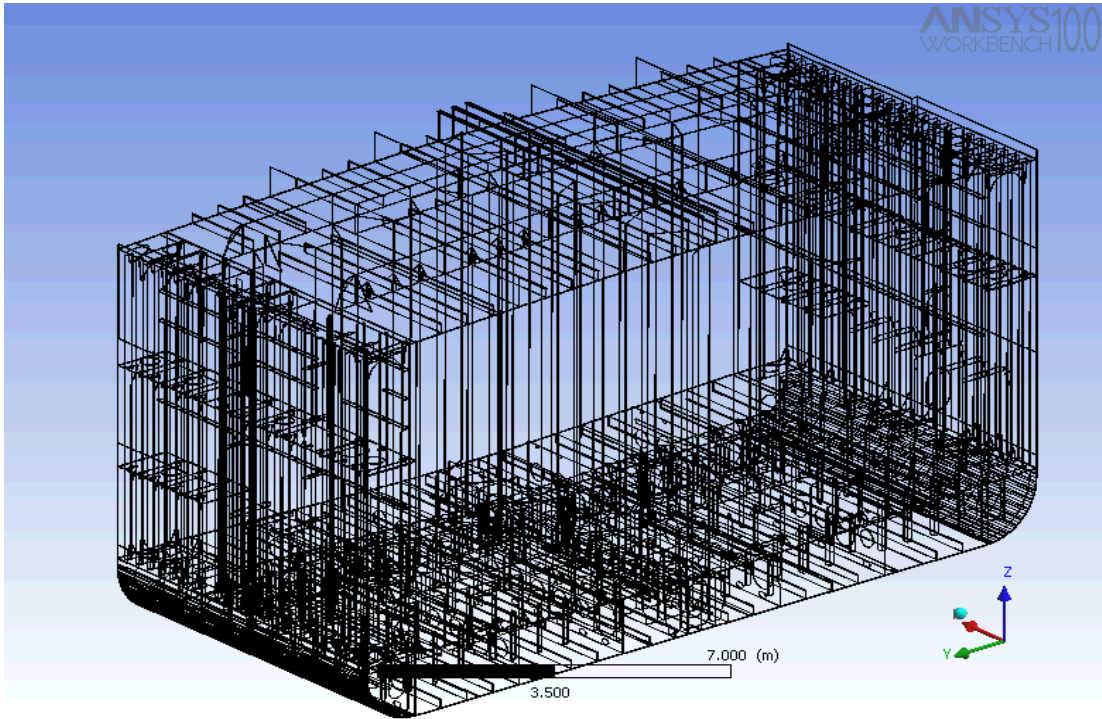
TOPLAM KÜTLE = 0.18213E+06		
ATALET MOMENTİ (m ⁴)		
KÜTLE MERKEZİ	ORJİNE GÖRE	KÜTLE MERKEZİNİN YERİNE GÖRE
XC = -3.0743	IXX = 0.2291E+08	IXX = 0.8185E+07
YC = 8.6038	IYY = 0.5917E+07	IYY = 0.2954E+07
ZC = 2.6113	IZZ = 0.2208E+08	IZZ = 0.6873E+07
	IXY = 0.4795E+07	IXY = -0.2224E+05
	IYZ = -0.4057E+07	IYZ = 0.3508E+05
	IZX = 0.1438E+07	IZX = -0.2432E+05

4.4.2. Analiz Bulguları

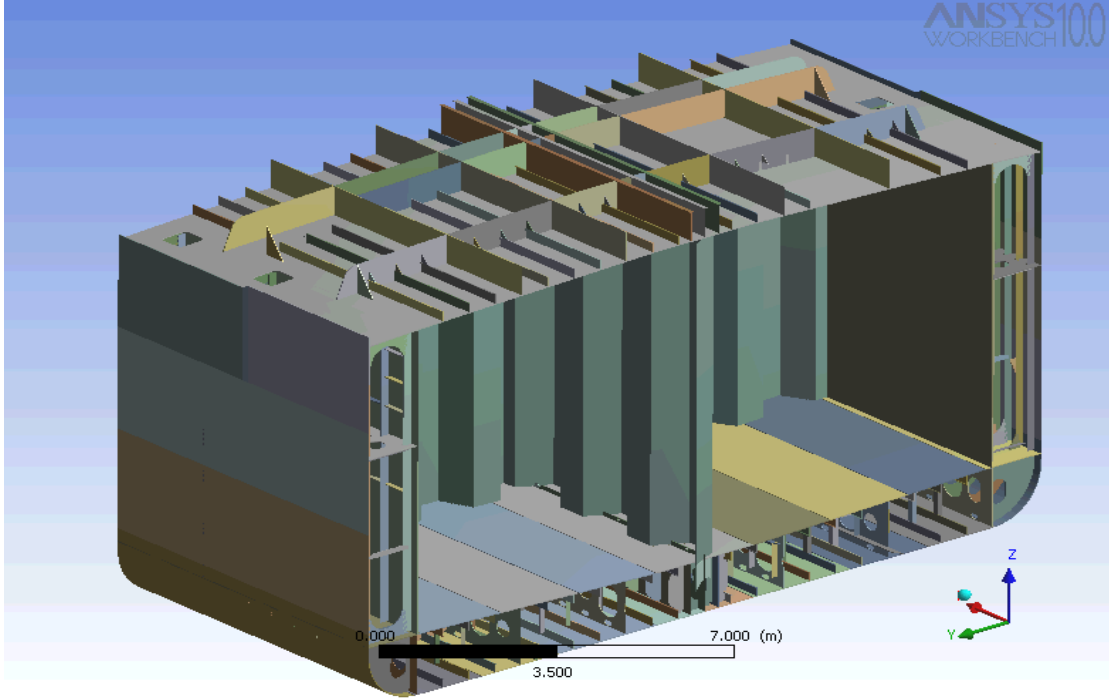
Modelleme ve analiz sonuçları sonrası elde edilen gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon bulgularının kritik değerleri aşağıda önce Tablo 4.6 da verilmiştir. Arkasından da, Şekil 4.16 da modelin çizgilerden oluşmuş hali, Şekil 4.17 de modelin alanlardan oluşmuş hali, Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20 de modelin ağ örgülü (meshli) hali farklı açılardan gösterilmiştir. Daha sonra, Şekil 4.21 de modelin genel görünümü üzerinde eşdeğer (Von Mises) gerilme dağılımı, Şekil 4.22 ve 4.23 de sırasıyla modelin genel görünümü üzerinde ve elemanlı genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımları, Şekil 4.24 ve 4.25 de sırasıyla modelin genel görünümü üzerinde eşdeğer elastik birim şekil değiştirme dağılımı ve toplam deformasyon dağılımı, Şekil 4.26 modelin genel görünümü üzerinde kayma gerilmesi dağılımı renk düzeyleri ile gösterilmiştir. En büyük gerilme beklendiği gibi uçlara yakın bölgede perde civarında 668. elemanda 127 MPa olarak belirlenmiş ve akma sınırının (235 MPa) altında kalmıştır. En büyük birim şekil değiştirme miktarı 0,635 mm olarak belirlenmiş ve şekil değiştirmeler gemi ortasında perdeye doğru artış göstermektedir. En büyük deformasyon değeri de 6.4 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Modelde oluşan gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon kritik değerleri

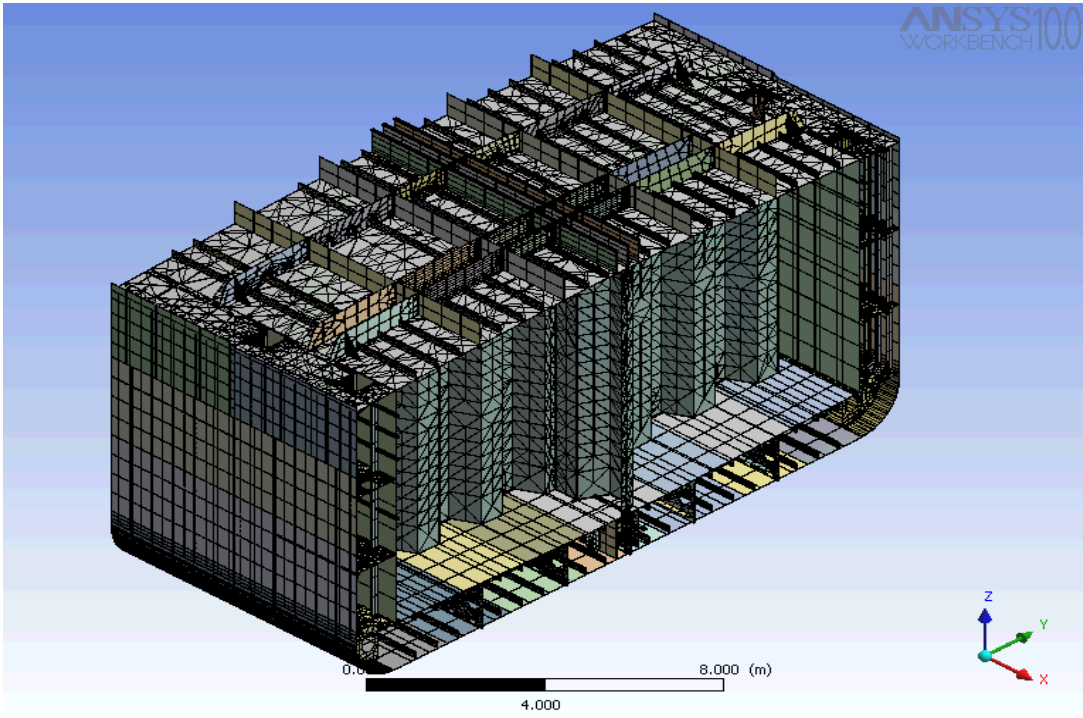
Durum	Analiz Kapsamı	Uygulama Yönü	Minimum Değer	Maximum Değer	Minimum Değerin Oluştuğu Yer	Maximum Değerin Oluştuğu Yer
Eşdeğer Gerilme	Modeldeki tüm elemanlar	Global	15.3 Pa	1.27×10^8 Pa	Eleman 995	Eleman 668
Eşdeğer Elastik Şekil Değiştirme	Modeldeki tüm elemanlar	Global	7.65×10^{-11} m/m	6.35×10^{-4} m/m	Eleman 995	Eleman 668
Toplam Deformasyon	Modeldeki tüm elemanlar	Global	0.0 m	6.4×10^{-3} m	Eleman 1	Eleman 988
Normal Gerilme	Modeldeki tüm elemanlar	X Eksen	-2.54×10^7 Pa	2.62×10^7 Pa	Eleman 689	Eleman 424
Kayma Gerilmesi	Modeldeki tüm elemanlar	XY Düzlemi	-2.28×10^7 Pa	2.28×10^7 Pa	Eleman 295	Eleman 295



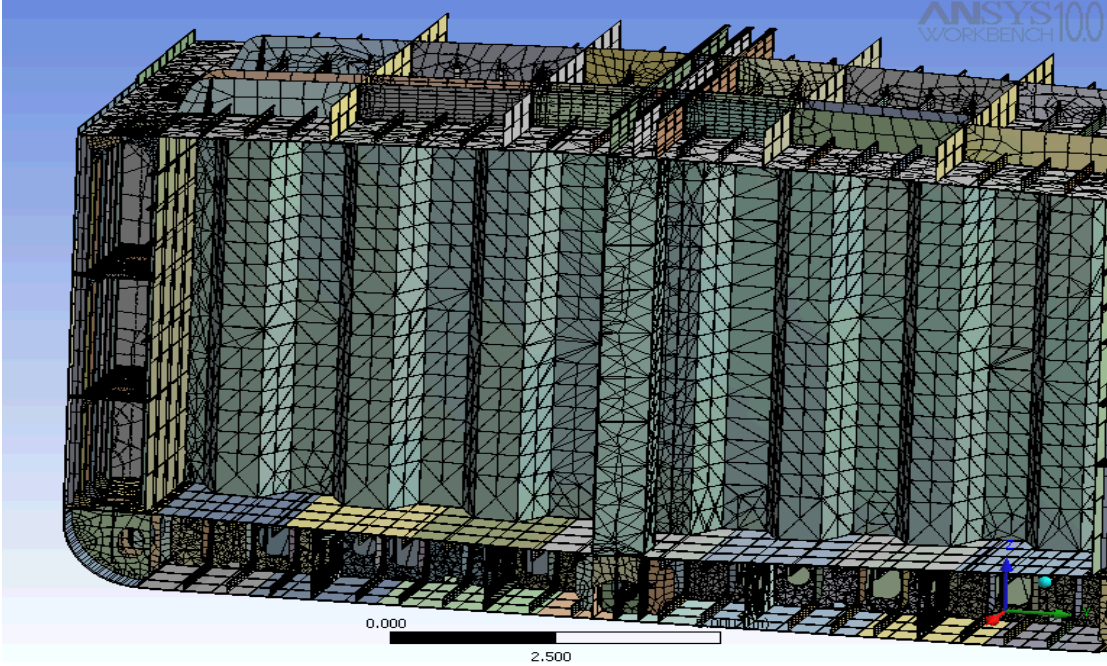
Şekil 4.16. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin çizgilerden oluşmuş görünümü



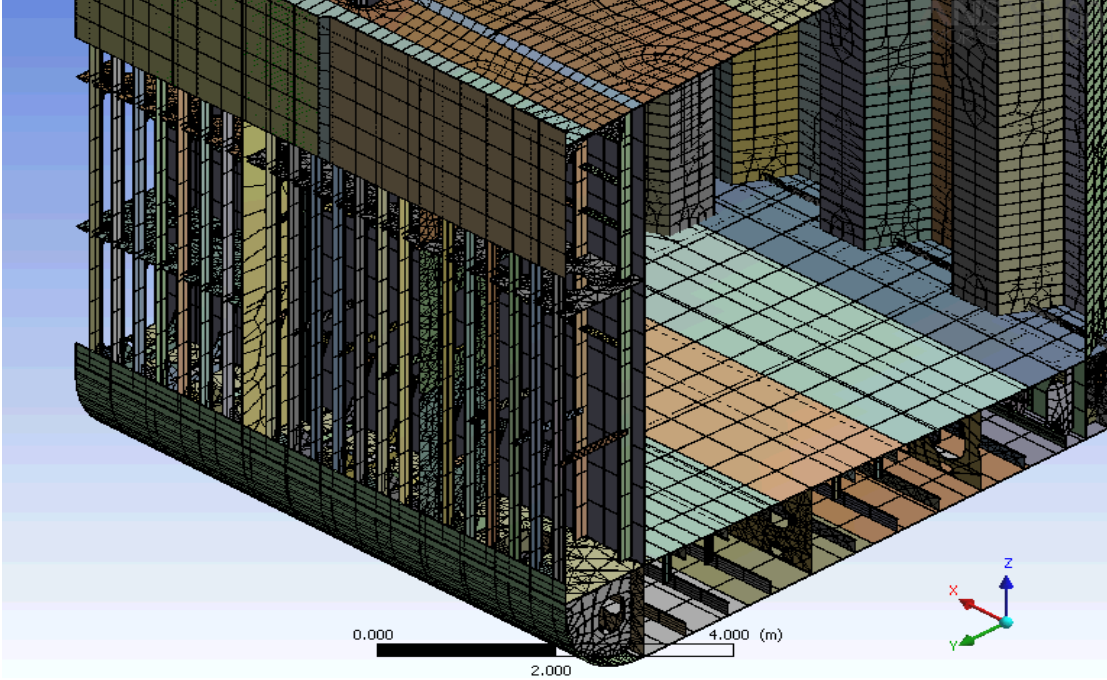
Şekil 4.17. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin alanlardan oluşmuş görünümü



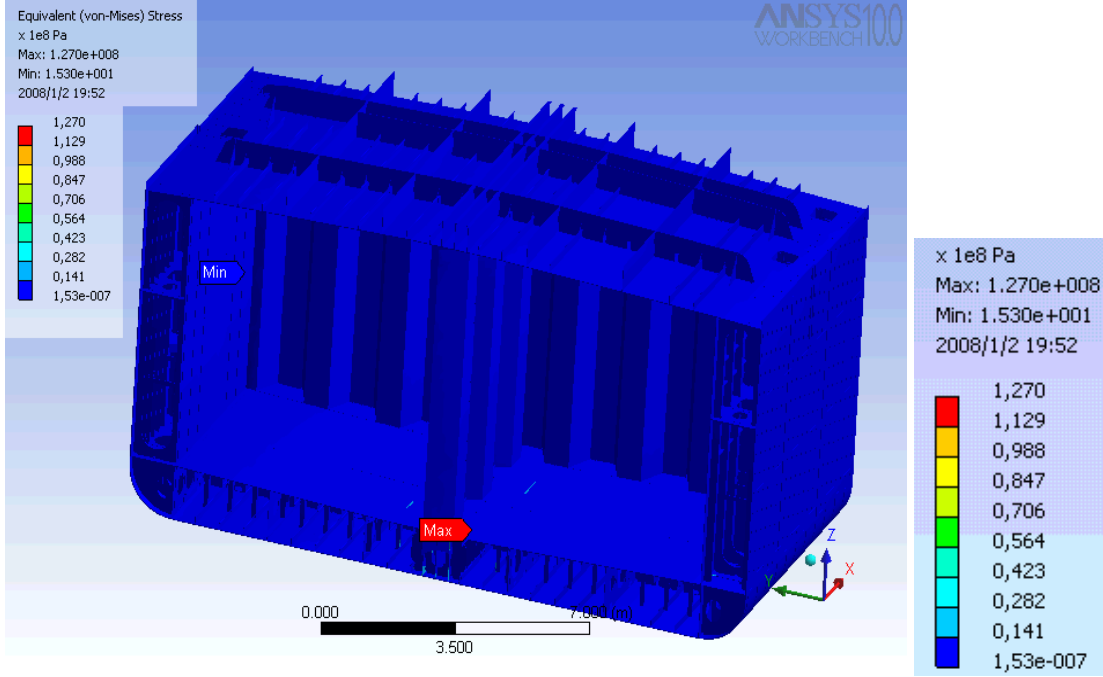
Şekil 4.18. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) görünümü



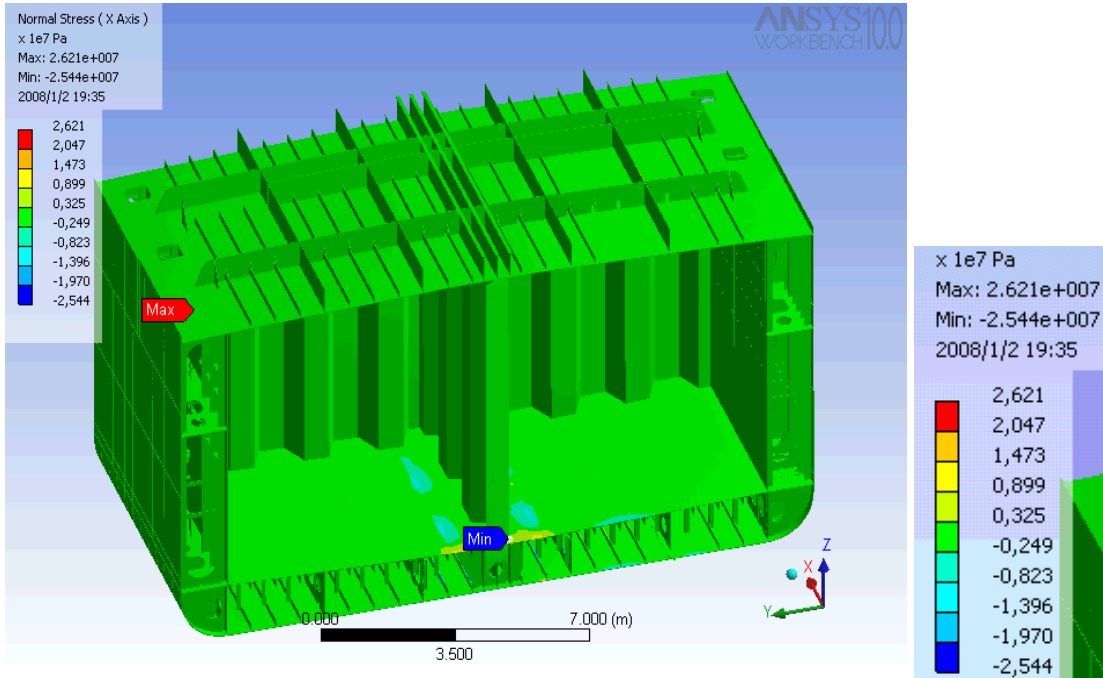
Şekil 4.19. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) Bir başka görünümü



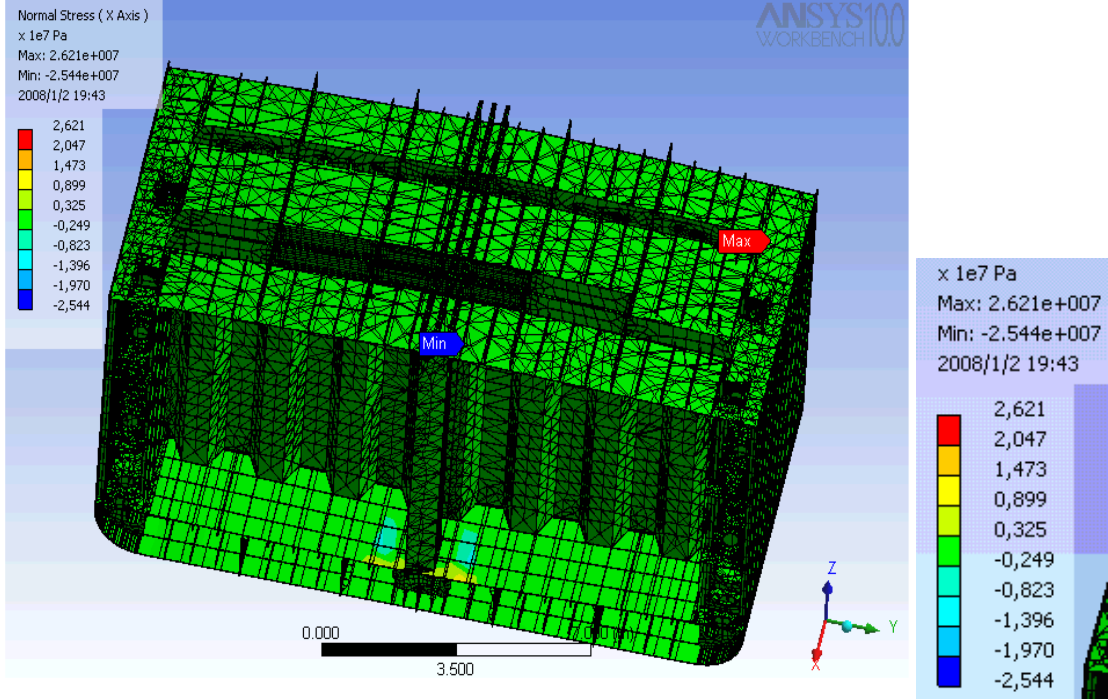
Şekil 4.20. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgüsü oluşturulmuş (meshing) yakın plan bir başka görünümü



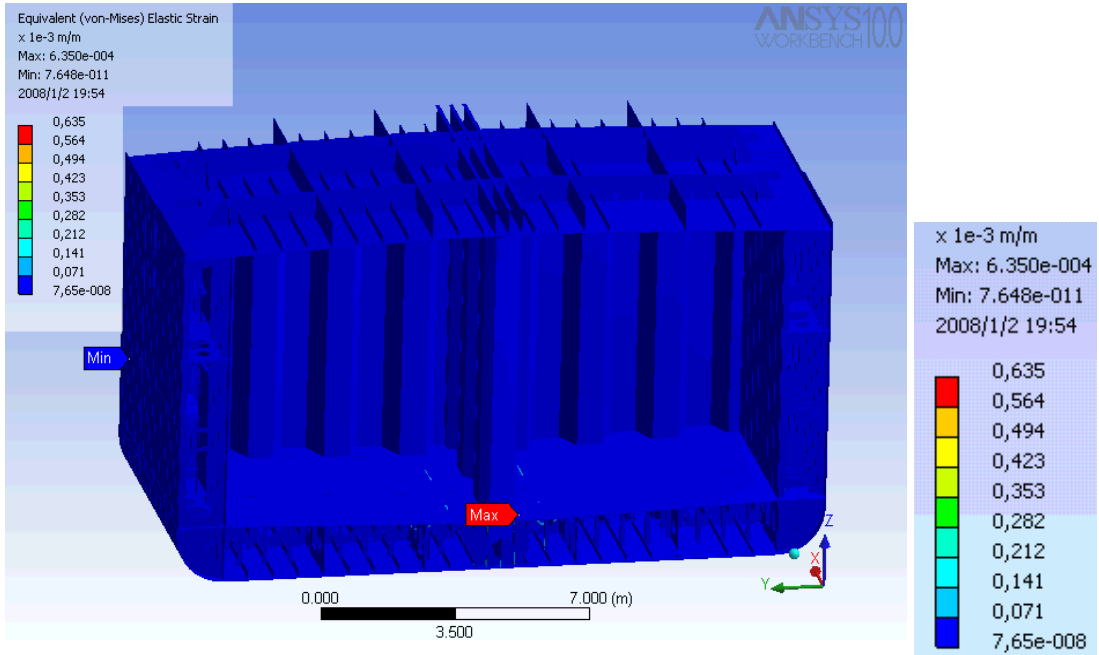
Şekil 4.21. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde Von-Mises gerilme dağılımı



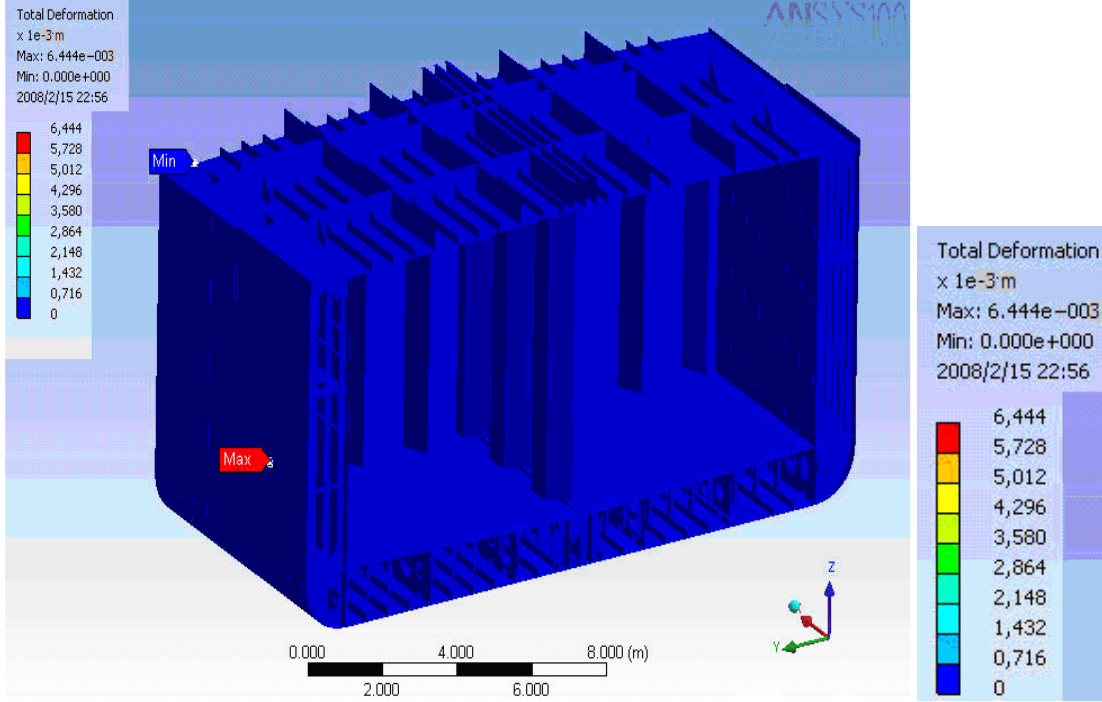
Şekil 4.22. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı



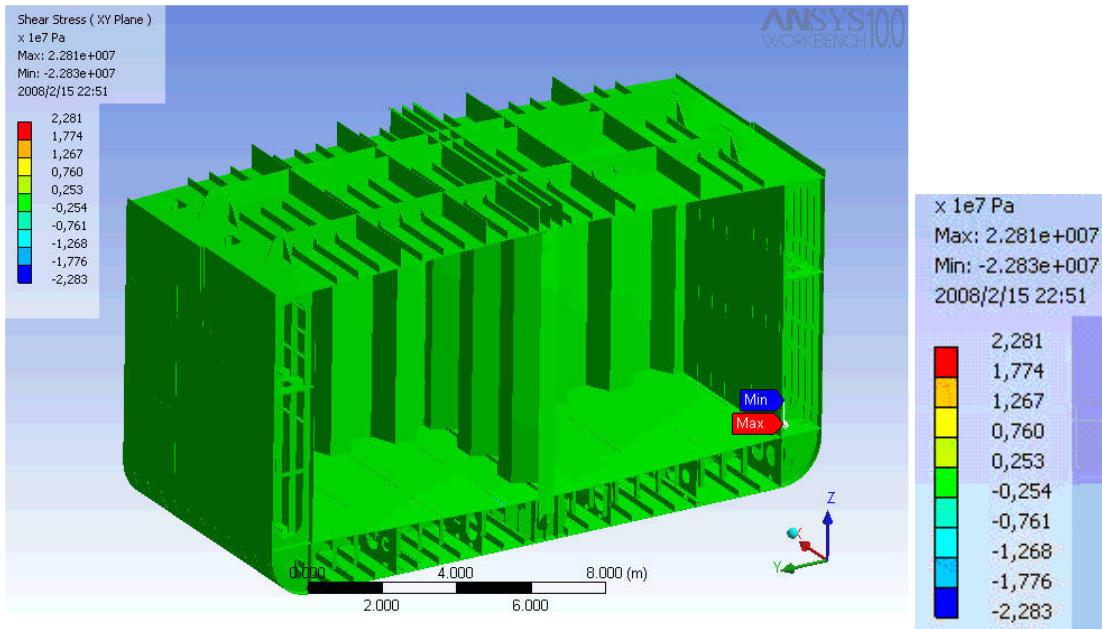
Şekil 4.23. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin ağ örgülü eleman görünümü üzerinde normal gerilme dağılımı



Şekil 4.24. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde Von-Mises elastik şekil değiştirme dağılımı



Şekil 4.25. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde toplam deformasyon dağılımı



Şekil 4.26. Çift cidarlı kimyasal tanker modelinin genel görünümü üzerinde kayma gerilmesi dağılımı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gemi inşaatı sektörünün günümüzde gelmiş olduğu nokta geçmiş yıllara oranla düşünüldüğünde oldukça yüksek seviyededir. Bu sonucun doğmasında devlet desteğinin beraberinde teknolojinin ve mühendislik hizmetlerinin daha yakından takip edilip sektöre kazandırılmasının ve uygulamalarının artırılmasının etkisi çok büyüktür. Gelişen teknolojinin kullanılması ile üretim yöntemlerinin değişmesi iç ve dış pazarda sektöre büyük ivme kazandırmıştır. Üretim kapasiteleri artmış, üretim süreleri ve her türlü kayıplar (malzeme, verimlilik vb.) azaltılmıştır. Bir diğer deyişle üretimde hassasiyet artmıştır.

Gelişen teknoloji olarak bahsettiğimiz unsurların başında, gemi üretimine geçmeden önce geminin tasarlanan halinin bilgisayar ortamında birebir modellenerek gerçeğe yakın sonuçlar veren analizlerinin yapılabilmesi gelmektedir. Geminin tasarımında yüzme koşullarının sağlanmasının yanında, statik ve dinamik şartlarda kendisine etkileyen kuvvetler etkisi altında yapının bütün olarak ve/veya yerel olarak dayanımı (mukavemeti) da sağlanmalıdır. Fakat bu dayanımı sağlarken gereğinden fazla eleman kullanarak gereksiz yere ağırlık ve masraf artışına sebep olmamak gerekmektedir. Bunun yanında, oluşturulan yapıda tehlikeli durum teşkil edebilecek nokta ve bölgeler ile bunların sınırları belirlenebilecektir. Gemi üretiminde bu öngörülerin hassasiyetinin artmasını sağlayan yapı analizlerinin yapılması bundan sonrası için de kaçınılmazdır.

Bu doğrultuda, çalışma içerisinde gemi yapısı ve elemanları tanıtılmış. Buna paralel olarak yapının karşılaşılabileceği yük durumları ve bunlar etkisiyle yapı ve elemanların davranışları ile oluşabilecek bozulma durumları üzerinde durulmuştur. Doktora çalışması başta olmak üzere ilerideki çalışmalarına ve analizler için kullanılan paket yazılım programlarının kullanılmasına temel oluşturması açısından da bu teorik bilgilerin üzerine, gerilme değerleri limitler içerisinde tutulup başarılı olarak gerçeğe inşası yapılmış örnek farklı iki gemi alt bloğu için statik yapısal analizler yürütülmüş ve ortaya çıkan sonuçların (gerilme ve şekil değiştirmeler) beklentiler ile karşılaştığı görülmüştür.

Boyuna posta sistemiyle inşa edilmiş çift cidarlı konteyner gemisi için yapılan ilk analiz sonucunda tasarım yükleri ve konteyner ağırlıkları etkisinde gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon durumları ve dağılımları hesaplanmış ve renk düzeyleri çizdirilmiştir. Kritik bölgeler tespit edilmiş ve alt değerler elde edilmiştir.

Gerilmeler beklendiği üzere uçlara yakın bölgelerde yoğunlaşmıştır. Şekil değiştirmeler kabul edilebilir düzeyde ambar ortasına doğru artmaktadır. Maksimum gerilme, merkez omurga yanındaki yan iç omurgada, adam geçme delikleri civarında ve akma sınırının üzerinde görülmektedir. Bölge daha hassas modellenirse örneğin söz konusu bölgede tulani destek elemanları da eklenirse gerilmelerin azalacağı söylenebilir. Bunun yanında üç boyutlu görünümde modelin alt yapı elemanları için kritik noktaların daha sağlıklı görülmesi için örnek bir enine kesit, iç dip sacı ve bir dip yapı boyuna elemanı ayrı olarak incelenmiş ve sunulmuştur.

Karma posta sistemiyle inşa edilmiş çift cidarlı bir kimyasal tanker için yapılan ikinci analiz örneğinde de ilk örneğe benzer şekilde uygun yükleme durumları ardından gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon durumları ve dağılımları belirlenmiş ve resmedilmiştir. Eşdeğer Von-Mises gerilmelerin gemi ortasında ve boyuna ondüle perde civarında yoğunlaştığı ve gerilmelerin model genelinde akma sınırının altında tutulduğu görülmüştür.

Her iki analizde kullanılan modeller ilk olarak CAD ortamında modellenmişler, ardından da analizler için ANSYS paket programına aktarılmışlardır. Her iki çalışmada da gerilmeler kabul edilebilir sınırlar içerisinde belirlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda statik durumlar için gerilme yığılmalarının azaltılması çalışmalarının yanı sıra çarpışma, karaya oturma gibi kaza durumları için, gerçeğe olabildiğince yakın elemanlar kullanılarak oluşturulmuş modeller ve kaza senaryoları ile yapısal analiz çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- ANSYS, 2005, Release 10.0 Documentation, U.S.A.
- ANSYS Workbench , 2005, Release 10.0 Documentation, U.S.A.
- Bai, Y., 2003. Marine Structural Design, First Edition, Elsevier Science, U.K.
- Bannerman, D.B. ve Jan, H.Y.Jr., 1980. Analysis And Design of Pricipal Hull Structure, Taggart, R., Ship Design and Construction, SNAME.
- Bayraktarkatal, E., 1995, Gemi Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması için Gerilme Analizi, Doktora Tezi, İTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chen, Y.K., Kutt, M.L., Piaszczyk, M.C. ve Bieniek, P.M., 1983. Ultimate Strength of Ship Structures, SNAME.
- Dokum, K.V., 2003. Ship Knowledge, DOKMAR, Netherlands.
- Elbatouti, T.M.A., Jan, Y.H.ve Stinansen, G.S., 1976. Structural Analysis of a Containership Steel Model and Comparison with the Test Results, SNAME.
- Ergin, A., Bayraktarkatal, E.ve Ünşan, Y., 2000. Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları, Seminer Kitabı, Yapım Matbaacılık, İstanbul.
- Eyres, D.J., 2001. Ship Construction, Fifth Edition, Butterworth-Heinemann, U.K.
- Faulkner, D., 1975. Compression Strength of Welded Grillages, Cornell Maritime Press, 633-712.
- Hakala, M.K., 1980. A Nonlinear Finite Element Analysis of an Ice-Strengthened Ship Shell Structure, Computers & Structures, 12, 4, 541-547.
- Huges, O.F., 1988. A Rationally-Based, Computer-Aided Optimization Approach, Ship Structural Design, SNAME, New Jersey.
- Kendric, S.B., 1970. The Structural Design of Supertankers, Trans. R.I.N.A.
- Mansour, A.E., 1977. Gross Panel Strength under Combined Loading, Ship Structure Committee, SSC-270, NTIS, Washington DC.
- Marshall, R.W., 1974. Shear Flow Distribution in Multi-Cell Girders, Computers & Structures, 4, 2, 307-325.

- McVee, D.J., 1986. Development in Finite Element Analysis of Naval Structures, International Conference, A.R.E.
- Michelsen, F.C.ve Nielsen, R., 1962. Analysis of Grillage Structures by Means of Laplace Transform, Schiffstechnik, Band 9.
- Mukhopadhyay, M., 1981. Stiffened Plate Panel Stres Elements for The Analysis of Ship Structures, Computers & Structures, 13, 4, 563-573.
- Nilsen, R., Chang, Y. ve Deschamps, C.L., 1971. A Simple Approach to the Strength Analysis of Tankers, Trans. SNAME.
- Ostapenko, A., 1981. Strength of Ship Hulls Girders under Moment, Shear and Torque, Extreme Loads Response Symposium, The Society of Naval Architects and Maritime Engineers, Arlington, VA, U.S.A, 149-165.
- Özalp, T., 1977. Gemi Yapısı ve Elemanları, Özarkadaş Matbaası, İTÜ, İstanbul.
- Pang, A.A., Ultimate Strength and Behavior of Plate and Box Components of Double Hull Ships under Axial and Lateral Loads, Doktora Tezi, Lehigh University, U.S.A, 1994.
- Rawson, K.J., 2001. Tupper, E.C., 2001. Basic Ship Theory, Volume 1, Fifth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K.
- Rigo, P., Rizzuto, E., 2003. Analysis and Design of Ship Structure, Ship Design & Construction, 1, 18, 1-76.
- Shama, M.A., 1976. Analysis of Shear Stresses in Bulk Carriers, Computers & Structures, 6, 2, 75-79.
- Skaar, K.T. ve Carlsen, C.A., 1980. Modelling Aspects for Finite Element Analysis of Ship Vibration, Computers & Structures, 12, 4, 409-419.
- TL Kuralları 1.0, 2000. Tekne Yapım Kuralları, Türk Loydu, İstanbul.
- Tupper, E., 1996. Introduction to Naval Architecture, Third Edition, Butterworth Heinemann, Oxford, U.K.
- Ünsan, Y., Geniş Ambar Ağızlı Gemilerin Mukavemet Yönünden İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
- Vatsa, J., 1958. Lessons Learned from Full-Scale Ship Structural Tests, Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 66, 165-243.
- Watson, D.G.M., 2002. Practical Ship Design, Volume 1, Second Edition, Elsevier Science, Oxford, U.K.

Yuille, M.J. ve Wilson, B.L., 1960. Transverse Strength of Single Hulled Ships, Trans. R.I.N.A.

URL-1, www.proteusengineering.com/maestro.htm, MAESTRO (Methods for Analysis Evaluation and Structural Optimization) Yazılımı. 06 Eylül 2007.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Burdur'da doğdu. İlk ve orta öğretimini yine aynı şehirde tamamladı. Lise öğrenimini 1999 yılında Burdur Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak, 2004-2005 akademik yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ocak 2004 de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı Anabilim Dalı kadrosuna Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.