

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT BURULMA MOMENTİNE ZORLANAN BİR KONTEYNER GEMİSİNDE
KAYMA GERİLMELERİNİN ANALİTİK VE NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

MUSTAFA TAŞKIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AYDOĞAN ÖZDAMAR**

**İSTANBUL
2013**

ÖNSÖZ

Sabit burulma momentine zorlanan bir konteyner gemisinde kayma gerilmelerini analitik ve nümerik olarak incelediğim yüksek lisans tezimde değerli bilgi, tecrübe ve yardımlarını benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aydoğan Özdamar Hocam'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail Bayer, Sayın Dr. Özgür Demir ve değerli arkadaşım Ercüment Uğur Yüncüoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2013

Mustafa TAŞKIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
ÇOK HÜCRELİ KUTU KESİTLERDE BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİ. 5	
2.1 Kayma Akımlarının Gösterimi.....	5
2.2 Kayma Akımı (qi)'nin Değerlendirilmesi	6
2.3 Kayma Merkezinin Yerinin Bulunması.....	11
BÖLÜM 3	
KONTEYNER GEMİSİNİN TÜRK LOYDU KURALLARI'NA GÖRE BOYUTLANDIRILMASI ...	13
3.1 Geminin Ana Boyutları	13
3.2 Destek Elemanlarının Boyutlandırılması	13
3.2.1 Merkez İç Omurga Yüksekliği	14
3.2.2 Merkez İç Omurga Kalınlığı.....	14
3.2.3 Yan İç Omurga Kalınlığı.....	14
3.2.4 Boyuna Postaların Boyutlandırılması	14
3.2.5 Dolu Döşekler	16
3.3 Dış Kaplamanın Boyutlandırılması.....	16

3.3.1	Dip Kaplama Kalınlığı	17
3.3.2	Levha Omurga	17
3.3.3	Sintine Sırası	17
3.3.4	İç Dip Kaplaması	17
3.3.5	Borda Kaplaması.....	18
3.3.6	Mukavemet Güvertesi Kaplaması	18
3.3.7	Kargo Güverteleri	19
3.3.8	Şiyer Sırası	19
3.4	Su Geçirmez Perdeler	19
3.4.1	Perde Kaplaması.....	20
3.4.2	Stifnerler.....	20
3.5	Boyutlandırılmış Geminin Orta Kesiti	20
BÖLÜM 4		
	SONLU ELEMANLAR METODU	22
4.1	Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Genel Eleman Tipleri ve Müsaade Edilen Deformasyon Halleri.....	25
4.2	Üçgen Eleman İçin Sonlu Elemanlar Denkleminin Elde Edilmesi	28
4.3	Dörtgen Eleman İçin Sonlu Elemanlar Denkleminin Elde Edilmesi	29
BÖLÜM 5		
	ÜNİFORM BURULMA TEORİSİNE GÖRE UYGULAMA DEĞERLERİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ	30
5.1	Konteyner Geminin Sabit Burulma Momenti Altında Analitik Çözümü	32
BÖLÜM 6		
	UYGULAMA DEĞERLERİNİN NÜMERİK METOTLA ÇÖZÜMÜ	39
6.1	Yapısal Elemanları Bulunmayan Geminin Analizi	39
6.1.1	Geminin 3 Boyutlu Modelinin Hazırlanması.....	39
6.1.2	Geminin Matematiksel Modelinin Oluşturulması	40
6.1.3	Analiz Sonucu	45
6.2	Tüm Yapısal Elemanları Bulunan Geminin Analizi.....	47
6.2.1	Geminin 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması.....	47
6.2.2	Geminin Matematiksel Modelinin Oluşturulması	48
6.2.3	Analiz Sonucu	52
BÖLÜM 7		
	SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR		
EK-A		
	PROFİLLERİN VE KİRİŞLERİN KESİT VERİLERİ	60

EK-B

KAYMA MERKEZİ HESAP TABLOSU	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGE LİSTESİ

$\bar{A}$	Toplam enine kesit alanı
A_ℓ	Boyuna kemere ve boyuna posta kesit alanı
A_{PF}	Dolu döşek kesit alanı
B	Gemi genişliği
b	Levha omurga genişliği
C_B	Kalıp blok katsayısı
CC	Geminin aldığı yük
C_{RS}	Servis katsayısı
C_S	Boyuna basınç dağılımı katsayısı
C_s^*	Boyuna şişme direnci
C_W	Dalga katsayısı
D	Gemi derinliği
E	Young modülü
f_i	İndirgenmiş hücre alanı
G	Gemi konteyner taşıma kapasitesi (adet)
G	Kayma modülü
h_B	Yapısal elemanın yük merkezinden perde güvertesinin 1 m. yukarısına veya çatışma perdesi için bu perdenin 1 m. yukarısına olan uzaklık
h_C	Kargo yüksekliği
h_{DB}	Merkez iç omurga yüksekliği
I_b	Burulma atalet momenti
k	Malzeme faktörü
ℓ	Desteklenmeyen boy
ℓ_B	Boyuna perde bulunması durumunda bunlar arasındaki uzaklık
ℓ_{KI}, ℓ_{KJ}	I ve J postalarında uç stifnerleri ve braketlerden dolayı etkin taşıma boyu
L_{OA}	Gemi tam boyu
L_{PP}	Gemi dikmeler arası boy
M_b	Burulma momenti
N	Şekil fonksiyonu
N	Konteyner ağırlığı
P	Basınç

P	Boyuna elemanlar için dizayn yükü
P_S	Bordaya etkiyen hidrostatik yük
P_S	Dibe etkiyen hidrostatik yük
P_{SC}	Statik kargo yükü
P_{WB}	Dibe etkiyen dalga yükü
P_{WS}	Bordaya etkiyen dalga yükü
q	Kayma akımı
R_i	i eksenine göre boyuna şişme momenti (sektör deviasyon momenti)
s	İki posta arası mesafe
s_F	Döşekler arası uzaklık
s_S	Stifnerler arası uzaklık
T	Su çekimi
t_B	Dip kaplama kalınlığı
t_D	Mukavemet güvertesi ve kargo güvertesi kalınlığı
t_F	Dolu döşek kalınlığı
t_{FK}	Levha omurga kalınlığı
t_G	Yan iç omurga kalınlığı
t_{GM}	Merkez iç omurga kalınlığı
t_K	Korozyon payı
t_S	Borda kaplaması kalınlığı
V	Hacim
W_ℓ	Boyuna kemere ve boyuna posta kesit modülü
x	Orantı sabiti
x_m	Kayma merkezinin x eksenindeki koordinatı
y	Dolu döşegın mesnet noktası ile ele alınan kesit arasındaki uzaklık
y_m	Kayma merkezinin y eksenindeki koordinatı
z	Yük merkezinin yüksekliği
σ_V	Eşdeğer gerilme
σ_L	İncelenen konumdaki membran gerilmesi
τ_i	Kayma gerilmesi
τ_L	İncelenen konumda tekne kirişinin boyuna eğilmesinden kaynaklanan kayma gerilmesi
φ'	Birim dönme
Γ	Kontur çizgisi
η_{ii}	Diagonal katsayılar
Ψ_i	İndirgenmiş kayma akımı
ρ_{SW}	Deniz suyu yoğunluğu
ε	Birim şekil değiştirme
ϑ	Poisson Oranı

KISALTMA LİSTESİ

RB2	Rigid Beam 2 (Rijit bağlantı elemanı)
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Yüzer yapı tasarım şeması.....	1
Şekil 1.2 Gemiye etkiyen kuvvet ve momentler.....	2
Şekil 2.1 Çok hücreli bir kutu kesitin kayma akımları.....	5
Şekil 2.2 Burulma momenti T'den oluşan ϕ shaft dönmesi.....	6
Şekil 2.3 Kayma merkezinin gösterimi.....	11
Şekil 2.4 İnce cidarlı açık daire profilin kayma merkezi.....	11
Şekil 3.1 Konteyner gemisi orta kesiti.....	21
Şekil 4.1 Elemanlar ve onları oluşturan nodlar.....	23
Şekil 4.2 Eleman geometrisinde müsaade edilebilir deformasyonlar.....	26
Şekil 4.3 Bir silindirik yüzey etrafındaki tipik eleman dağılımı.....	27
Şekil 4.4 Bir delikli geometride delik etrafındaki tipik eleman dağılımı.....	27
Şekil 4.5 İki boyutlu problemler.....	28
Şekil 4.6 Dört düğümlü dörtgen eleman.....	29
Şekil 5.1 Konteyner gemisinin en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi ...	32
Şekil 6.1 Konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli.....	40
Şekil 6.2 Modelin 3 boyutlu modeli.....	41
Şekil 6.4 Eleman kalitesi skalası.....	42
Şekil 6.5 Moment uygulanacak kayma merkezindeki bağlantı elemanları.....	43
Şekil 6.6 Bağlantı elemanlarının sadece z ekseninde dönme serbestliği bulunan sınır şartı ...	44
Şekil 6.7 Kayma merkezine uygulanan moment.....	45
Şekil 6.8 Kayma gerilmesi dağılımı.....	45
Şekil 6.9 Kayma gerilmesinin orta kesitteki dağılımı.....	46
Şekil 6.10 Yapısal elemanlar üzerindeki kayma gerilmesi değerleri.....	46
Şekil 6.11 Yer değiştirme dağılımı.....	47
Şekil 6.12 Konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli.....	48
Şekil 6.13 Geminin 100'de 1'lik kısmının mesh modeli.....	49
Şekil 6.14 Eleman kalitesi skalası.....	49
Şekil 6.15 Geminin tam boyunun mesh modeli.....	50
Şekil 6.16 Moment uygulanacak kayma merkezindeki bağlantı elemanları.....	51
Şekil 6.17 Bağlantı elemanlarının sadece z ekseninde dönme serbestliği bulunan sınır şartı .	51
Şekil 6.18 Kayma merkezine uygulanan burulma momenti.....	52

Şekil 6.19 Kayma Gerilmesi Dağılımı	52
Şekil 6.20 Yapısal elemanlar üzerindeki kayma gerilmesi değerleri	53
Şekil 6.21 Yer değiştirme dağılımı	53
Şekil 7.1 Analitik ve nümerik hesap sonuçlarının karşılaştırılması	56
Şekil A.1 Profil kesit verileri	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Üniform burulma teorisine göre kayma gerilmeleri	38
Çizelge 7.1 Analitik hesap ve sonlu elemanlar analizleri karşılaştırması	54
Çizelge B.1 Kayma merkezi hesap tablosu.....	61

**SABİT BURULMA MOMENTİNE ZORLANAN BİR KONTEYNER GEMİSİNDE
KAYMA GERİLMELERİNİN ANALİTİK VE NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

Mustafa TAŞKIN

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Geniş güverte açıklığı bulunan gemilerde burulma momentine bağlı yapısal etkiler büyük önem taşımaktadır. Dalgaların gemi omuzluklarından alınması ve simetrik olmayan yüklemeler, burulma momentinin oluşmasında asıl etkindir. Burulma momentinden kaynaklanan kayma gerilmeleri, güverte açıklığına bağlı olarak çok yüksek değerlere çıkabilmektedirler.

Bu çalışmada, geniş güverte açıklığına sahip bir konteyner gemisinin orta kesitinde oluşan burulma momentine bağlı kayma gerilmeleri, analitik ve nümerik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Konteyner gemisinin boyutlandırılmasında ve uygulanan üniform burulma momentinin hesaplanmasında Türk Loydu Kuralları kullanılmıştır. Analitik hesaplarda üniform burulma (St. Venant burulması) teorisi, nümerik hesaplarda ise sonlu elemanlar teorisi kullanılmıştır. 3 boyutlu model tasarımı SolidWorks 2012 paket programında yapılmış, analizler HyperWorks paket programında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi mukavemeti, gemi elemanları, sonlu elemanlar metodu, geniş güverte açıklıklı gemiler

ABSTRACT

ANALYTICAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF SHEAR STRESS OF A CONTAINER SHIP UNDER CONSTANT TORSIONAL MOMENT

Mustafa TAŞKIN

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

In ships which have large deck openings, structural effects related to torsional moments are of great importance. The main parameter of the formation of torsional moment is to take the waves from the bows of the ship and non-symmetrical loadings. The shear stress which is caused by the torsional moment can reach to remarkable values due to the deck openings.

In this study, calculation and comparison of the shear stress due to torsional moment on the cross section of a containership with large deck openings has been examined using analytical and numerical methods. Turkish Lloyd's Rules have been used for dimensioning the containership and calculating the applied uniform torsional moment. Uniform torsion (St. Venant's Torsion) theory was used for the analytical calculations. Finite element method was used for the numerical calculations. 3D model was built using SolidWorks 2012 software, and HyperWorks software was used for the FE analysis.

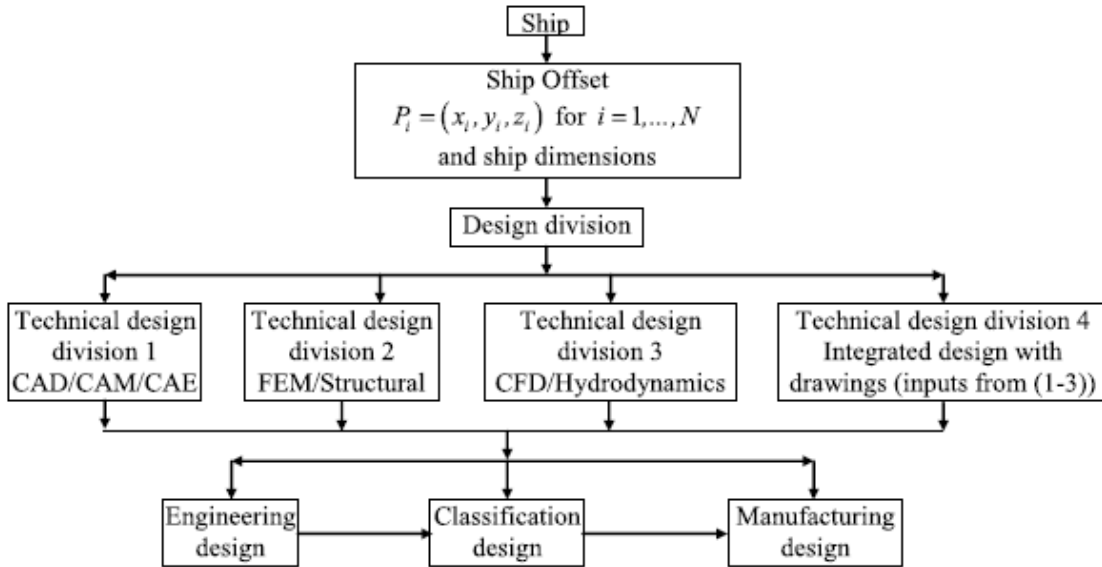
Key Words: Ship strength, ship structural members, finite element method, ships with large deck openings

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

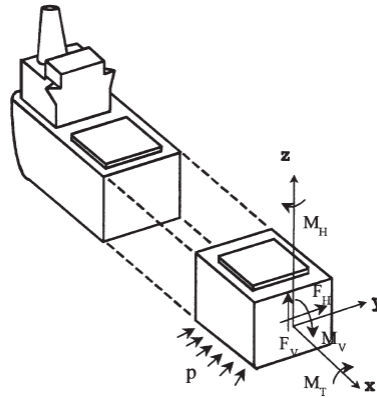
Yüzer yapıların tasarımında, yapının kullanım amacı, taşıyacağı yük miktarı vs. gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Yapının ihtiyaçlara uygun olarak tasarlanması birçok hesaplama yapılmasını gerektirir. Bilgisayar destekli tasarım geçmişten günümüze büyük bir gelişme göstermiştir. Eskiden çok vakit ve emek isteyen tasarımlar, şimdilerde bilgisayarlar yardımıyla hızlı ve kolay bir biçimde yapılabilmektedir. Yüzer yapıların tasarımında belli bir sıralama izlenmektedir. Şekil 1.1’de bir yüzer yapının tasarım şeması gösterilmiştir [1].



Şekil 1.1 Yüzer yapı tasarım şeması [1]

Gemilerin bütün yapısının tasarımı ve tasarım yöntemleri, yapıyı oluşturan alt bloklar, bu blokları oluşturan yapı elemanları ele alınarak incelenmektedir. Alt yapı elemanlarından başlayarak tüm yapının boyutlandırılmasında mukavemet hesaplamaları önemli yer tutmaktadır. Boyutlandırma, ulusal ve/veya uluslararası klas kuruluşlarının belirlemiş olduğu kurallara göre yapılmaktadır. 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. Yapısal analiz, geminin üç boyutlu karmaşık modelinin bilgisayar ortamında oluşturularak, başta sonlu elemanlar yöntemi olmak üzere çeşitli yöntemlerle global veya yerel mukavemet, titreşim, yorulma analizlerinin gerçekleştirilmesidir [2].

Teknolojinin ilerlemesiyle eskiye oranla çok daha büyük gemiler inşa edilebilmektedir. Gemi boylarının büyümesi, yanında bir takım yapısal mukavemet problemlerini de getirmiştir. Geniş ambar açıklığı bulunan gemilerde burulma ve eğilme zorlamasına karşı ayrıntılı incelemeler yapılması, yorulmaya ve yapısal dayanıklılığa bağlı hasarlardan korunmak için büyük önem taşımaktadır. Şu ana kadar burulma ve eğilme zorlamasının birleşiminden kaynaklanan herhangi bir kaza rapor edilmemiştir, ancak burulma zorlamasının güverte yapılarında burkulmaya sebep olması ve hasara yol açması nadir görünen bir durum değildir. Bir geminin mukavemet analizi yapılırken, yapısal tepkiyi her yönüyle inceleyebilmek için yapıya gelen tüm yük bileşenleri hesaba katılmalıdır. Bunlar; yatay ve dikey eğilme momentleri, dikey ve yatay kesme kuvveti ve burulmadır (Şekil 1.2) [3].



Şekil 1.2 Gemiye etkiyen kuvvet ve momentler [3]

Gemilerin dizaynında, olmazsa olmaz şart olan güvenlik, klas kuruluşları tarafından verilen ve mukavemet analizleri sonucunda ortaya çıkarılan klas kuralları ile sağlanmaktadır. Bir klas kuruluşu olan Türk Loydu, gemi boyuna mukavemetinin yeterli olabilmesi için geminin mukavemet analizi sonucunda ortaya çıkacak olan eşdeğer gerilme değerinin

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_L^2 + 3 \cdot \tau_L^2} \leq \frac{190}{k} [N/mm^2] \quad (1.1)$$

şartını sağlamasını istemektedir. Burada, σ_L boyuna normal gerilme ve τ_L kayma gerilmesini simgelemektedir. Bu gerilmeler, statik yerel yükler, dinamik yerel yükler ve darbe yükleri sonucunda ortaya çıkmaktadır [4]. Diğer klas kuruluşları gibi Türk Loydu da, hem dizayn yüklerini hem de ortaya çıkan gerilmeleri ampirik bağıntılar içerecek şekilde vermektedir. Bu ampirik bağıntılar, dizayn yükleri ve gerilmeleri etkileyen parametreleri içerecek şekilde belirlenmekte olup, belli bir oranda belirsizlik içermektedir.

Konteyner gemileri geniş ambar açıklıklarına sahiptirler. Bu yapısal özelliklerinden dolayı dalgaların karmaşık burulma momentleri altında diyagonal deformasyona uğrarlar. Dalga yüklerinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sonrasında elde edilen bu veriler, sonlu elemanlar analizine aktarılarak tüm gemi modelinin analizi yapılır [5]. Deneysel metotlarla geniş güverte açıklığına sahip bir geminin burulma mukavemeti incelendikten sonra sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılması [6] da yapılmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde birçok paket program kullanılabilir [7]. Ayrıca katı-sıvı etkileşimi (FSI) ile de dalga yükünün gemide oluşturduğu deformasyonlar zamana bağlı olarak da incelenebilir [8]. Geniş güverte açıklığı bulunan bir konteyner gemisinde üniform burulma zorlaması altında kayma gerilmeleri ve kesme kuvvetleri, üniform burulma (St. Venant burulması) teorisi ile incelenebilmektedir [9]. Ayrıca üniform ve üniform olmayan burulma zorlaması altında bir konteyner gemisinin güverte açıklığındaki değişimin kayma gerilmelerine etkisi incelenmiştir [10].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, burulma momenti etkisi altındaki bir konteyner gemisinin analitik ve nümerik yöntemlerle mukavemet hesabının yapılması ve sonuçların incelenmesi amaçlanmıştır. 2. Bölüm’de burulma probleminin diferansiyel denklemi üniform burulma (St. Venant burulması)

teorisi kapsamında çıkarılmıştır. 3. Bölüm’de geniş güverte açıklığı bulunan bir konteyner gemisi Türk Loydu Kuralları’na göre boyutlandırılmıştır. 4. Bölüm’de sonlu elemanlar metodu açıklanmıştır. 5. Bölüm’de boyutlandırılan konteyner gemisinin sabit burulma momenti etkisi altında oluşan kayma gerilmeleri üniform burulma teorisine göre hesaplanmıştır. 6. Bölüm’de konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli hazırlanıp sonlu elemanlar analizin yapılmıştır. Analitik ve nümerik hesap sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışma, geniş güverte açıklıklı bir konteyner gemisinde, burulma momentinin neden olduğu kayma gerilmelerinin dağılımının analitik ve nümerik metotlarla hesaplanmasıyla, sonuçların birbirine yakın çıkacağı öngörüsüne dayanarak hazırlanmıştır. Bir problemin çözümünün doğruluğunun kabulü için üç ana etken gerekmektedir. Bunlar; analitik çözümler, nümerik çözümler ve deney sonuçlarıdır. Bu üç etkenden ikisinin yapılması durumunda problemin çözümünün güvenilir olduğu kabul edilir. Analitik metot olarak üniform burulma teorisi, nümerik metot olarak da sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Üniform burulma teorisinde postalar ve enine yapısal elemanlar hesaba katılmadığından sonlu elemanlar analizinde de bu elemanlar modelden çıkarılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda analitik ve nümerik hesap sonuçlarının çok küçük bir farkla birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Bu sonuca dayanarak hazırlanan sonlu elemanlar modelinin ve sınır şartlarının güvenilirliği ispatlanmış olup geminin tüm yapısal elemanları kullanılarak sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir.

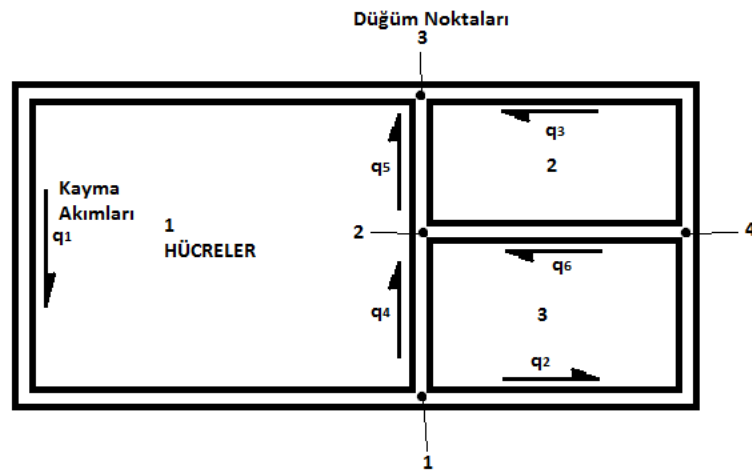
BÖLÜM 2

ÇOK HÜCRELİ KUTU KESİTLERDE BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİ

Herhangi şekle sahip ince cidarlı kesitlerde, uygulanan burulma momenti altında meydana gelebilecek kayma gerilmelerinin şiddeti hesaplanabilir [11]. Analizlerde kolaylık sağlaması açısından kayma gerilmesi yerine kayma akımı kullanılır [12]. Kayma akımı bazı kaynaklarda kayma akması olarak tabir edilebilir. q ile gösterilen kayma akımı, kayma gerilmesi ile cidar kalınlığının çarpımından elde edilir [11].

2.1 Kayma Akımlarının Gösterimi

Kayma akımlarında akımın yönünün gösteriminde kartezyen koordinat sistemi kullanılamaz. İşaret için baz alınabilecek tek şey dönme kavramıdır [9].



Şekil 2.1 Çok hücreli bir kutu kesitin kayma akımları [10]

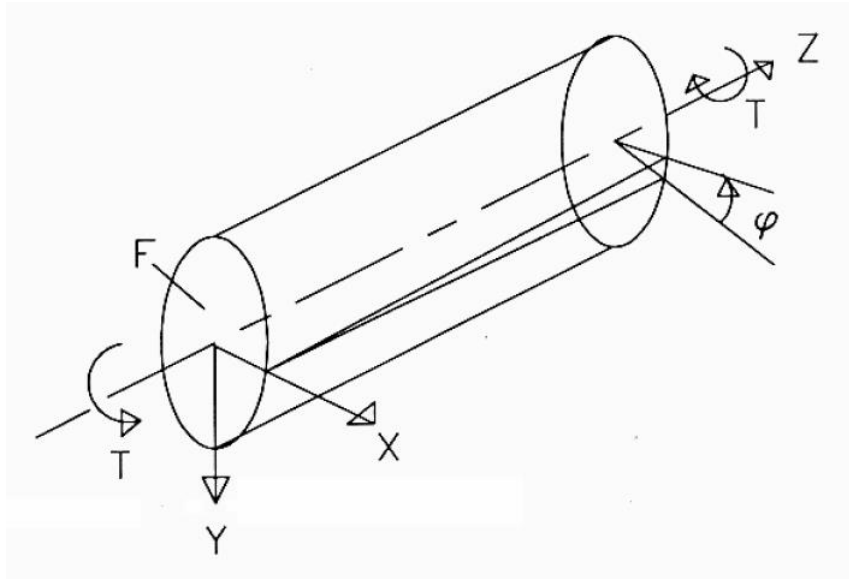
Şekil 2.1’de görüldüğü gibi her hücredeki kayma akımlarının yönü aynı olmalıdır. Koordinat sisteminin belirlenmesinde sağ el kuralı kullanılır. k hücresinde cidarı olan i hücresinin cidarındaki kayma akımı q_{ik} aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$q_{ik} = q_i - q_k \quad (2.1)$$

Bu durum, cidardaki kayma akımının hem değerini hem de işaretini belirler [9].

2.2 Kayma Akımı (q_i)’nin Değerlendirilmesi

Bir kesitin dönmesi, orijinden z kadar mesafedeki en kesitin dönme miktarını belirten φ açısıyla ölçülür (Şekil 2.2). Bu açı orijinin konumuna bağlı olduğundan, burada incelenecek olan her z en kesitin, $M_b(z)$ burulma momentine maruz şaftın $d\varphi/dz = \varphi'$ birim dönmesidir [9].



Şekil 2.2 Burulma momenti T’den oluşan φ şaft dönmesi [9]

Malzeme hooke kanunuyla tanımlanan elastik malzeme olarak kabul edilir. Bu sebeple birim dönme, burulma momenti M_b ile doğru orantılı ve kayma modülü G ile ters orantılıdır.

$$\varphi' = x * \frac{M_b}{G} \quad (2.2)$$

Orantı sabiti x sadece bu denklemin boyutunu belirtmekle kalmayıp, bunun ötesinde burulmaya göre en kesitin uygunluğunu gösterecektir [9].

Denklem (2.2)'yi şöyle yazılabilir:

$$\varphi' = \frac{M_b}{G * I_b} \quad (2.3)$$

Burada I_b burulma atalet momenti, $G * I_b$ ise burulma rijitliği olarak adlandırılmaktadır.

İnce bir zarın, en kesitin üzerine gerildiğini kabul edilsin. Zar üniform bir S gerilmesi altındadır. Burulma momentinin etkisi zar düzlemine dik olarak etkiyen üniform dağılmış P basıncının etkisine eşdeğerdir [9].

Bunun sonucunda oluşan zarın yer değiştirmesi $\varphi(x, y)$ şeklinde gösterilir ve küçük olduğu kabul edilir. $\varphi(x, y)$, aynı zamanda matematiksel olarak burulma gerilme fonksiyonuna eşittir.

Prandtl, zar ve burulma problemleri arasında, burulma momenti M_b 'nin zar ve en kesit düzlemi arasındaki hacmin 2 katına eşit olduğunu göstermiştir:

$$M_b = 2 * V \quad (2.4)$$

Kayma gerilmesinin x ve y koordinatları boyunca bileşenleri

$$\tau_{zx} = \frac{\delta\varphi}{\delta y} \quad \tau_{zy} = -\frac{\delta\varphi}{\delta x} \quad (2.5)$$

olarak verilirler.

Burulma probleminin $2G\varphi'$ çarpanı zar probleminin P/S oranına karşılık gelir.

$$\frac{P}{S} = 2 * G * \varphi' \quad (2.6)$$

Böylece denklem (2.5) ile denklem (2.6) burulma sabitinin hesabı için gerekli olan bağıntıyı oluşturur.

Kesit etrafına çevrili A alanına etkiyen zar basıncının bileşkesi $P * A$ 'ya eşittir. Fakat bu değer kontur çizgisi Γ boyunca etkiyen zar gerilmesinin düşey bileşenlerinin toplamına eşit olmalıdır.

Zar gerilmesinin yatay bileşenleri her yerde S' 'ye eşittir ve denklem (2.5)'e göre zarın eğimi de kayma gerilmesine eşittir. Bunlar kullanılarak denge konumu şu şekilde yazılabilir:

$$P * A = \oint_{\Gamma} S * \tau ds \quad (2.7)$$

S sabit olduğundan

$$\frac{P}{S} * A = \oint_T \tau ds \quad (2.8)$$

olacaktır.

Denklem (2.6)'ya göre

$$2 * G * \varphi' * A = \oint_T \tau ds \quad (2.9)$$

elde edilir.

Eğer (2.9) denklemi, (2.3) formunda verilirse, iki denklemin karşılaştırılması neticesinde aşağıdaki burulma atalet momenti elde edilir.

$$I_b = \frac{2 * A * M_b}{\oint_T \tau ds} \quad (2.10)$$

Bu denklem her bir hücre için yazılırsa

$$\oint \tau ds = \frac{2 * M_b}{I_b} * \bar{A}_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2.11)$$

Eğer bu integralin yolu ya 2 hücreyi ayıracak ya da yüzeyle çakışacak şekilde parçalara bölünecek olursa, çevre integrali bunlara karşılık gelen integrallerin toplamı olarak yazılacaktır [9].

Kayma akımı q_{ik} bu bölgelerin her birinde sabit kalır. Bu sebeple $i=1,2,\dots,n$ ve $k=i$ 'ye bitişik hücre için

$$\oint \tau ds = \oint \frac{q}{t} ds = \sum_{hücre\ i} q_{ik} \int_{ik} \frac{ds}{t} \quad (2.12)$$

yazılabilir ve buradan denklem (2.1)'e göre

$$\oint \tau ds = \sum_{hücre\ i} q_i \oint \frac{ds}{t} - \sum_k q_k \int_{ik} \frac{ds}{t} \quad (2.13)$$

yazılabilir. i hücresinin cidarlarında q_i aynı olduğundan ve bu sebeple toplamdan çıkarılabileceğinden

$$q_i \oint \frac{ds}{t} - \sum_k q_k \int_{ik} \frac{ds}{t} = \frac{2 * M_b}{I_b} * \bar{A}_i \quad (2.14)$$

denklemi elde edilir [9].

Denklem (2.14) kayma akımları için n lineer denklemlili bir sistemi temsil eder [9]. Örneğin hücre 2 için hesaplamalar şu şekilde yapılır.

$$q_2 \oint_2 \frac{ds}{t(s)} = q_2 \int_1^4 \frac{ds}{t(s)} + (q_2 - q_3) \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} + (q_2 - q_1) \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} \quad (2.15)$$

$$= q_2 \left(\int_1^4 \frac{ds}{t(s)} + \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} + \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} \right) - q_3 \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} - q_1 \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} = \frac{2 \cdot M_b}{I_b} * A_2 \quad (2.16)$$

Bu şekilde bilinmeyen sayısı kadar denklem elde edilir [10].

Denklem (2.3)'ten yola çıkılarak

$$\frac{M_b}{I_b} = \varphi' * G \quad (2.17)$$

$$q_2 \left(\int_1^4 \frac{ds}{t(s)} + \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} + \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} \right) - q_3 \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} - q_1 \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} = 2 * \varphi' * G * \bar{A}_2 \quad (2.18)$$

elde edilir.

Denklem sisteminden oluşturulan matristeki elemanlar η ile gösterilen boyutsuz çizgisel integrallerdir. Hepsi cidar merkez hattı boyunca cidar kalınlığının çarpmaya göre tersinin integralleridir. Yalnızca matris elemanlarının indisleriyle direkt olarak gösterilebilen integrasyon bölgeleri farklıdır [9]:

$$\eta_{ik} = \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} : i \text{ ve } k \text{ hücrelerini ayıran cidar boyunca integral} \quad (2.19)$$

$$\eta_{ii} = \int_i \frac{ds}{t(s)} : i \text{ hücresinin çevresi boyunca integral} \quad (2.20)$$

Denklem (2.17)'nin tanımından matrisin simetrik olduğu ortaya çıkmaktadır.

$$\eta_{ik} = \eta_{ki} \quad (2.21)$$

Burada i. hücrenin burulma momenti

$$M_b^{(i)} = 2 * q_i * \bar{A}_i \quad (2.22)$$

ve toplam burulma momenti

$$M_b = \sum_{i=1}^n M_b^{(i)} = 2 * \sum_{i=1}^n q_i * \bar{A}_i \quad (2.23)$$

olarak bulunur [10].

$$\psi_i = \frac{q_i}{\varphi' * G * \bar{A}_i} \quad (2.24)$$

indirgenmiş kayma akımları ve

$$f = \frac{\bar{A}_i}{A} \quad (2.25)$$

indirgenmiş hücre alanlarıdır.

$$\Psi_i * \phi_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_n^{i' \text{ ninkomşu hücreleri}} \left(\Psi_i * \int \frac{ds}{t(s)} \right) = 2 * f_i \quad (2.26)$$

bağıntısı yardımıyla kaç tane hücre var ise o kadar denklemden oluşan denklem sistemi oluşturulur. Denklem (2.19) ve (2.20) kullanılarak

$$\eta_{ii} * \Psi_i - \sum_n^{i' \text{ ninkomşu hücreleri}} (\eta_{ik} * \Psi_k) = 2 * f_i \quad (2.27)$$

denklemleri $i=1,2,3,...,n$ için n adet elde edilir. Ψ_i 'ler elde edildikten sonra aşağıdaki bağıntılar kullanılarak kayma gerilmelerine ulaşılır [10].

$$M_b = 2 * G * \bar{A}_i^2 * \phi' * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (2.28)$$

$$\phi' = \frac{M_b}{2 * G * \bar{A}_i^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i} \quad (2.29)$$

$$I_b = \frac{M_b}{G * \phi'} = 2 * \bar{A}_i^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (2.30)$$

$$q_i = G * \phi' * \bar{A}_i * \Psi_i \quad (2.31)$$

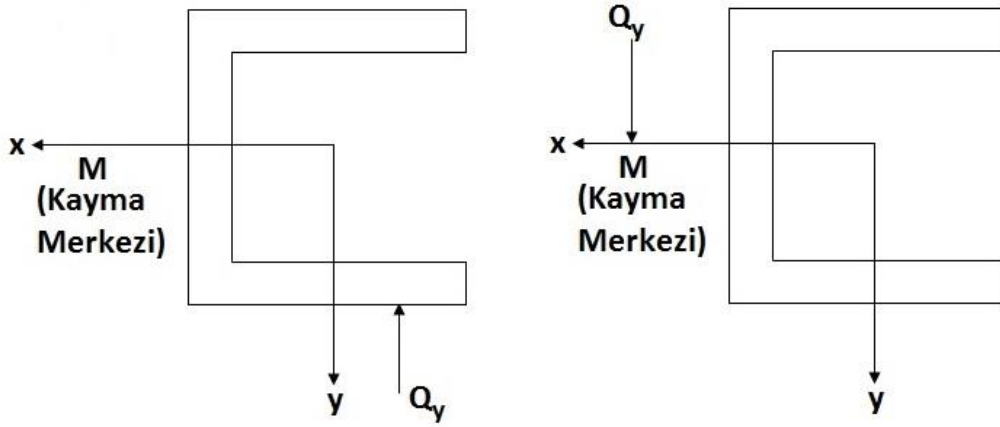
$$\tau_i = \frac{q_i}{t_i} = G * \phi' * \bar{A}_i * \frac{\Psi_i}{t_i} \quad (2.32)$$

Ara cidarlarda ise

$$q_{ik} = G * \phi' * \bar{A} * (\Psi_i - \Psi_k) \quad (2.33)$$

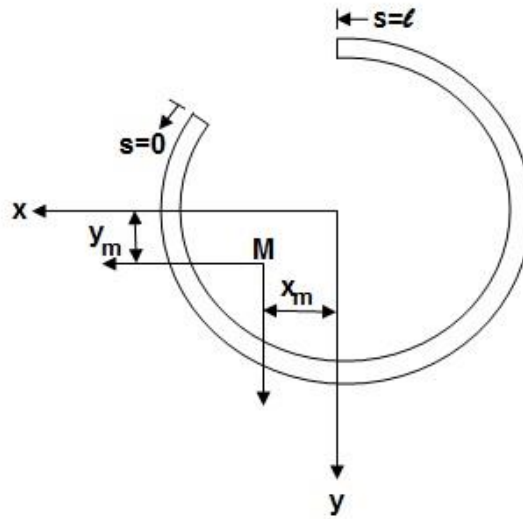
bağıntısı kullanılır [10].

2.3 Kayma Merkezinin Yerinin Bulunması



Şekil 2.3 Kayma merkezinin gösterimi [9]

Şekil 2.3'te 1. durumda sadece kesme kuvveti (Q_y) uygulandığı halde burulma momenti oluşurken, 2. durumda görüldüğü gibi kayma merkezinden (M) uygulanırsa burulma momenti oluşmaz. Eğer kesitte simetri var ise kayma merkezi simetri hattı üzerinde olacaktır [9].



Şekil 2.4 İnce cidarlı açık daire profilin kayma merkezi [9]

Şekil 2.4'te gösterilen açık daire profilin kayma merkezi M'in koordinatları olan x_m ve y_m aşağıdaki şekilde bulunur:

$$x_m = \frac{2}{I_x I_y - I_{xy}^2} * \left[I_y * \int_A y * \bar{A}(s) * dA - I_{xy} * \int_A y * \bar{A}(s) * dA \right], \quad (2.34)$$

$$y_m = \frac{2}{I_x I_y - I_{xy}^2} * \left[I_x * \int_A x * \bar{A}(s) * dA - I_{xy} * \int_A x * \bar{A}(s) * dA \right], \quad (2.35)$$

$$x_m = -\frac{1}{I_x} * \int_A y(s) * t(s) * \omega(s) * ds = -\frac{R_x}{I_x} \quad (2.36)$$

$$y_m = \frac{1}{I_y} * \int_A x(s) * t(s) * \omega(s) * ds = \frac{R_y}{I_y} \quad (2.37)$$

Buradaki R_x ve R_y boyuna şişme momentleri veya sektör deviasyon momentleridir (boyutu L^5) ve

$$R_x^{(0)} = \int_A y * \omega * dA = \int_l y(s) * \omega(s) * t(s) * ds \quad (2.38)$$

$$R_y^{(0)} = \int_A x * \omega * dA = \int_l x(s) * \omega(s) * t(s) * ds \quad (2.39)$$

olarak ifade edilir.

BÖLÜM 3

KONTEYNER GEMİSİNİN TÜRK LOYDU KURALLARI'NA GÖRE BOYUTLANDIRILMASI

Bu kısımda, incelenen konteyner gemisinin yapısal elemanları, Türk Loydu Çelik Gemileri Klaslama Kuralları Cilt A Kısım 1 – Tekne Yapım Kuralları (2012) kitabına göre boyutlandırılmıştır [4].

3.1 Geminin Ana Boyutları

$L_{OA}= 233 \quad [m]$

$L_{pp}= 223 \quad [m]$

$B= 32,3 \quad [m]$

$T= 13 \quad [m]$

$D= 20 \quad [m]$

Gemi 3000 TEU kapasitesinde bir konteyner gemisidir. Her bir konteynerin ağırlığı 25 ton olarak belirlenmiştir.

3.2 Destek Elemanlarının Boyutlandırılması

Bu bölümde dip, borda ve güverte destek elemanları boyutlandırılmıştır.

3.2.1 Merkez İç Omurga Yüksekliği

Merkez iç omurga yüksekliği aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.

$$h_{DB}=50*B \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

Yapılan hesapta konteyner gemisinin merkez iç omurga yüksekliği

$$h_{DB}= 1615 \text{ [mm]}$$

olarak hesaplanmıştır.

3.2.2 Merkez İç Omurga Kalınlığı

Merkez iç omurga kalınlığı, 0,7L boyunca aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır. İleriki bölümlerde yapılacak mukavemet hesaplarında geminin orta kesiti kullanılacağından 0,7L'lik kısmın boyutlandırılması yeterlidir.

$$h_{DB}>1200 \text{ mm için } t_{GM} = \frac{h_{DB}}{h_{DBA}} \left(\frac{h_{DB}}{100} + 1,0 \right) \sqrt{k} \text{ [mm]} \quad (3.2)$$

$$t_{GM}= 16,5 \text{ [mm]}.$$

3.2.3 Yan İç Omurga Kalınlığı

Merkez iç omurga ile borda arasında 10,5 m.'den fazla mesafe olduğundan, gemi çift dip yapısında 3 adet yan iç omurga bulunmalıdır.

Yan iç omurga kalınlığı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır:

$$t_G = \frac{h_{DB}^2}{120h_{DBA}} \sqrt{k} \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

$$t_G= 13,5 \text{ [mm]}.$$

3.2.4 Boyuna Postaların Boyutlandırılması

Boyuna elemanlar için dizayn yükü aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$P = P_S + P_{WB} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.4)$$

$$P_S = \rho_{SW} * g * (T - z) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.5)$$

$$P_S= 130,718 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P_{WB} = 1,2 * C_W * C_S * (C_B + 0,7) * (1 + \frac{2y}{B}) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.6)$$

$$C_W = [10,75 * (\frac{300-L}{100})^{1,5}] * C_{RS} \quad (3.7)$$

$$C_{RS} = 1 \text{ (Sınırsız sefer için)}$$

$$C_W=10,0743$$

$$C_S= 1$$

$$C_B= 0,85 \text{ kabul edilmiştir.}$$

$$P_{WB}= 18,738 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P= 149,456 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Boyuna postaların ve mukavemet güvertesi boyuna kemerlerinin kesit modülü W_ℓ , ve kesme alanı A_ℓ aşağıda belirtilmiş formülle hesaplanan değerden az olmayacaktır.

$$W_\ell = \frac{83,3}{\sigma_P} * m * s * \ell^2 * P \text{ [cm}^3\text{]} \quad (3.8)$$

$$\ell = \frac{L}{100} = 2,23 \text{ [m]} \text{ kabul edilmiştir.}$$

$$m = m_K^2 - m_a^2 \geq \frac{m_K^2}{2} \quad (3.9)$$

$$m_K = 1 - \frac{\ell_{KI} - \ell_{KJ}}{1000\ell} \quad (3.10)$$

$\ell_{KI} = \ell_{KJ} = 0$ değeri ile yapıda stifner veya braket kullanılmadığı kabulü yapılmıştır.

$$m_K = 1$$

$$m_a = 0,204 * \frac{s}{\ell} \left[4 - \left(\frac{s}{\ell} \right)^2 \right], \frac{s}{\ell} \leq 1 \quad (3.11)$$

$$s= 0,75 \text{ [m]} \text{ kabul edilmiştir.}$$

$$m_a= 0,267$$

$$m= 0,929$$

$$k= 1 \text{ (Normal mukavemet çeliği)}$$

$$\sigma_P = \frac{150}{k} = 150 \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ kabul edilmiştir.}$$

$$W_{\ell} = 287,577 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$A_{\ell} = 0,05 * (1 - 0,817m_a) * s * \ell * P * k \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.12)$$

$$A_{\ell} = 9,772 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Bulunan W_{ℓ} ve A_{ℓ} değerleri kullanılarak Ek-A'daki tablodan uygun posta kesiti seçilir.

Sonlu elemanlar analizi için model oluşturulmasında kolaylık olması amacıyla, Ek-A'da gösterilmiş tabloda kesit modülü 300 cm^3 olan $220 \times 18 \text{ mm}$ 'lik düz lama profil seçilmiştir.

3.2.5 Dolu Döşekler

Dolu döşeklerin kalınlığı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$t_F = t_{GM} - 2,0 * \sqrt{k} \text{ [mm]} \quad (3.13)$$

$$t_F = 14,5 \text{ [mm]}$$

Dolu döşek kesit alanı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$A_{PF} = \varepsilon * T * \ell_B * s_F \left(1 - \frac{2y}{\ell_B}\right) * k \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.14)$$

$$\ell_B = 4,04 \cong 4 \text{ [m]}$$

$$s_F = \ell = 2,23 \text{ [m]}$$

$$y = 0,4\ell_B \text{ [m]} \quad (3.15)$$

$$y = 1,6 \text{ [m]}$$

$\varepsilon = 0,3$ (Makine dairesi ve mağazalar gibi tam yüklü durumda da boş kalabilen bölmeler haricindeki yerler)

$$A_{PF} = 6,958 \text{ [cm}^2\text{]}$$

3.3 Dış Kaplamanın Boyutlandırılması

Bu bölümde dip, borda ve güverte kaplaması boyutlandırılmıştır.

3.3.1 Dip Kaplama Kalınlığı

Lateral basınca göre dip kaplama kalınlığı aşağıdaki formüle göre elde edilen değerden az olmayacaktır:

$$t_B = 15 * f_1 * f_2 * s * \sqrt{\frac{P_S + P_{WB}}{\sigma_P}} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.16)$$

$f_1 = f_2 = 1$ kabul edilmiştir.

$$\sigma_P = \frac{120}{k} = 120 \text{ (gemi ortasında 0,4L)}$$

$$t_K = \frac{0,1 * t'}{\sqrt{k}} + 0,5 = 1,756 \text{ [mm]} \quad (3.17)$$

$$t_B = 14,5 \text{ [mm]}$$

3.3.2 Levha Omurga

Gemi boyunca uzayan bir levha omurga bulunacaktır. Levha omurga kalınlığı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$b = 800 + 5L \text{ [mm]} \quad (3.18)$$

$$b = 1915 \text{ [mm]}$$

Levha omurga kalınlığı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$t_{FK} = t_B + 2,0 \text{ [mm]} \quad (3.19)$$

$$t_{FK} = 16,5 \text{ [mm]}$$

3.3.3 Sintine Sırası

Sintine sırasının kalınlığı bitişik dip ve borda kaplama kalınlığından az olmayacaktır. Sintine sırası kalınlığı 14,5 mm. alınmıştır.

3.3.4 İç Dip Kaplaması

İç dip kaplamasının kalınlığı aşağıdaki değerden az olmayacaktır.

$$t = 1,1 * s * \sqrt{P * k} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

$$P = 10 * (T - h_{DB}) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.21)$$

$$P = 113,85 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_K = 1,5 \text{ [mm]} \text{ (} t' < 10 \text{ mm. durumunda)} \quad (3.22)$$

$$t = 10,5 \text{ [mm]}$$

Konteyner gemilerinde kargo yükü iç dibin üzerine bindiğinden, bu çalışmada kullanılan konteyner gemisinin iç dip kaplaması Bölüm 3.2.7’de belirtilen Kargo Güverteleri Kalınlığı olan 14 mm. alınmıştır. Bu değer iç dip kaplaması kuralında belirtildiği gibi minimum değer olan 10,5 mm.’den büyük olduğundan herhangi bir yanlışlık bulunmamaktadır.

3.3.5 Borda Kaplaması

Gemi ortasında 0,4L boyunca lateral basınca göre borda kaplaması kalınlığı aşağıdaki formüle göre elde edilen değerden az olmayacaktır:

$$t_S = 15 * f_1 * f_2 * s * \sqrt{\frac{P_S + P_{WS}}{\sigma_P}} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.23)$$

Bordadan gelen dalgalarda gemi bordasına etkiyen dalga yükü:

$$P_{WS} = 3,6 * C_W (C_B + 0,7) + \frac{135y}{B+75} - 10 * (T - z) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.24)$$

$$y = \frac{32,3}{2} = 16,5 \text{ [m]}$$

$$z = \left(\frac{13-1,615}{2} \right) + 1,615 = 7,3425 \text{ [m]}$$

$$P_{WS} \cong 20 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_S = 14,5 \text{ [mm]}$$

3.3.6 Mukavemet Güvertesi Kaplaması

Mukavemet güvertesi, borda kaplama levhalarının uzandığı en üst devamlı güverte olarak tanımlanır.

Lateral basınca göre mukavemet güvertesi kaplama kalınlığı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$t_D = 15 * f_1 * f_2 * s * \sqrt{\frac{P}{\sigma_P}} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.25)$$

$$t_D = 14,5 \text{ [mm]}$$

Ancak güverte kaplaması aşağıdaki değerden az olamaz:

$$t_{min} = (4,5 + 0,05L) * \sqrt{k} \text{ [mm]} \quad (3.26)$$

$$t_{min} = t_D = 14,5 \text{ [mm]}$$

3.3.7 Kargo Güverteleri

Kargo güvertelerinin kalınlığı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$t_D = 15 * f_1 * f_2 * s * \sqrt{\frac{P}{\sigma_P}} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.27)$$

$$P = P_{SC} + P_{WC} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.28)$$

$$P_{SC} = \rho_c * g * h_c \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.29)$$

$$h_c = 20 \text{ [m]} \text{ kabul edilmiştir.}$$

$$P_{SC} = 137,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_D = 14 \text{ [mm]}$$

3.3.8 Şiyer Sırası

Şiyer sırasının genişliği aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$b = 800 + 5L \text{ [mm]} \quad (3.30)$$

$$b = 1915 \text{ [mm]}$$

Şiyer sırası kalınlığı aşağıdaki değerden az olmayacaktır:

$$t = 0,5 * (t_D + t_s) \text{ [mm]} \quad (3.31)$$

$$t = 14,5 \text{ [mm]}$$

3.4 Su Geçirmez Perdeler

Bu bölümde su geçirmez perdelerin boyutlandırılması yapılmıştır.

3.4.1 Perde Kaplaması

Perde kaplaması kalınlığı aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$t = C_P * s_S * \sqrt{P} + t_K \text{ [mm]} \quad (3.32)$$

$$P = 9,81 * h_B \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.33)$$

$$h_B = 20 - 1,615 + 1 = 19,385 \text{ [m]}$$

$$P = 190,167 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$s_S = \ell = 2,23 \text{ [m]}$$

$$C_P = 1,1\sqrt{f} \text{ (Çatışma perdesi)} \quad (3.34)$$

$$t = 37 \text{ [mm]}$$

3.4.2 Stifnerler

Perde stifnerlerinin kesit modülü aşağıda verilen değerden az olmayacaktır:

$$W = C_S * s_{S*} \ell^2 * P \text{ [cm}^3\text{]} \quad (3.35)$$

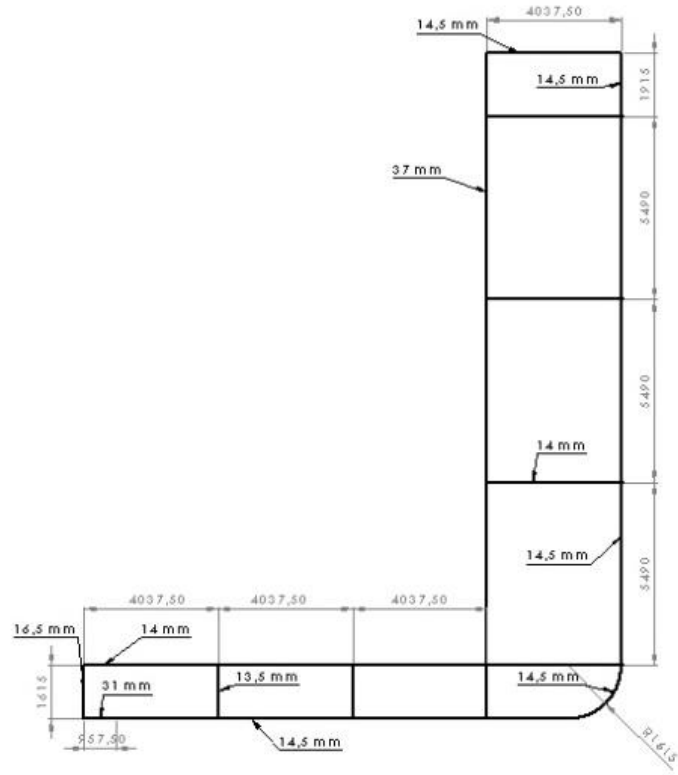
$$C_S = 0,45 * f \quad (3.36)$$

$$C_S = 0,45$$

$$W = 950 \text{ [cm}^3\text{]}$$

3.5 Boyutlandırılmış Geminin Orta Kesiti

Şekil 3.1’de boyutlandırılmış konteyner gemisinin orta kesit en kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Konteyner gemisi orta kesiti

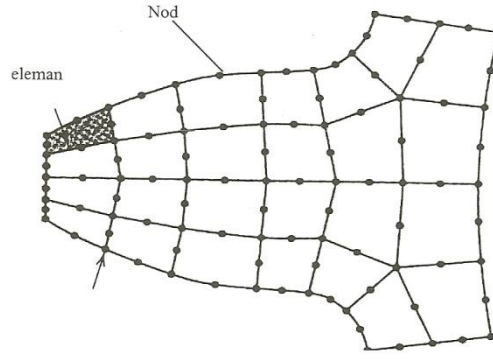
BÖLÜM 4

SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak, her birinin kendi içinde incelenmesiyle sonucun bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. SEM’de genellikle karşılaşılan problemler kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen fiziksel problemlerdir. Örneğin; elastik cisim mekaniğinde aranan sonuç, cismin yaptığı yer değiştirmedir. Bu ise gerilme ve yer değiştirmeler arasında kurulan ikinci dereceden bir kısmi diferansiyel denklemin çözümü ile elde edilir. Denklemler basit geometriler ve yükleme durumları için kesin sonuçlar elde edilecek şekilde çözülebilse de karmaşık problemlerde yaklaşık çözümlerin elde edilmesi kaçınılmaz hale gelir. Yaklaşık çözümleme yöntemleri de genellikle potansiyel enerji ve varyasyonel yöntemleri kullanırlar [13].

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca unsurlar şunlardır [14]:

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



Şekil 4.1 Elemanlar ve onları oluşturan nodlar [13].

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

Bilgisayar teknolojisindeki ve hesaplama algoritmalarındaki son gelişmeler, hem detaylı bir sonlu elemanlar ağına sahip modelin çözümünü hızlandırırken hem de dinamik analizlerdeki iç mekanizmayı çözebilmek için non-lineer hesaplama yöntemlerinin kullanışlı araç haline getirmiştir. Dinamik sonlu elemanlar simülasyonunda iki tip yöntem kullanılmaktadır [15],

- İmplicit Yöntemi
- Explicit Yöntemi

İmplicit yöntemi, non-lineer FE analizlerinde belli sıklıklarla rijitlik matrisi güncelleyerek çözüm yapmaktadır. Ancak bu durum yüksek miktarda hafıza tüketimine ve fazla sayıda işlemci çevrimine yol açmaktadır.

Explicit yöntemi, sabit kütle matrisine dayanır ve sıklıkla rijitlik matrisinin güncellenmesine ihtiyaç duymaz. Ancak bu analizlerde eşitliğin stabil olarak çözülebilmesi için düşük zaman adımlarına ihtiyaç duymaktadır.

Modern sonlu elemanlar yönteminin izleri 1900'lü yılların başına dayanmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff [16] ve Mc Henry [17] tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır Courant isimli bilim adamı "Sonlu Elemanlar" terimini kullanan kişi olarak tanınmıştır. Courant, 1940'lı

yıllarda yaptığı çalışmada, burulma problemlerini araştırmak için parçalı polinom interpolasyonunu üçgensel alt bölgeler (elemanlar) üzerinde kullanmıştır. İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlar olup, bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir. Argyis ve Kelsey [18] virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmişlerdir. Turner [19] bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur.

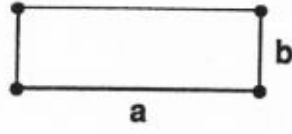
Sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanıldığı diğer önemli adım Boeing'in 1950'lerde uçak kanatlarını modellemek için üçgen gerilim elemanları kullanmasıyla atılmıştır. 1960'larda araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemini diğer mühendislik alanlarında kullanmaya başlamışlardır. Zienkiewicz ve Cheung [20] 1967'de tamamen sonlu elemanları anlatan kitap yazmışlardır. Bu kitapla birlikte statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlanmıştır. Ayrıca Zienkiewicz ve Cheung Poisson denklemini ilk çözen kişilerdir. Genel amaçlı paket programların ortaya çıkması ise 1970'li yıllarda olmuştur. Günümüzde birçok alanda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

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

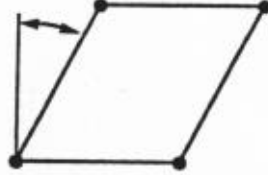
Çizelge 4.1 Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlardan bazıları [13]

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

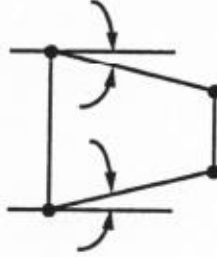
Çizelge (4.1)'de sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri en genel haliyle verilmiştir. İlk başlarda sonlu elemanlar yönteminin bütün işlemleri elle yapılmakta idi. Bu yüzden işlemler 10–100 eleman için yapılmaktaydı ve bu yüzden eleman sayısının azlığı sonuçların hassasiyetini kısıtlamaktaydı. Ancak teknolojinin gelişmesi ile günümüzde bu işlemler bilgisayarlara aktarılmış ve eleman sayıları milyon seviyelerine çıkarılmıştır.



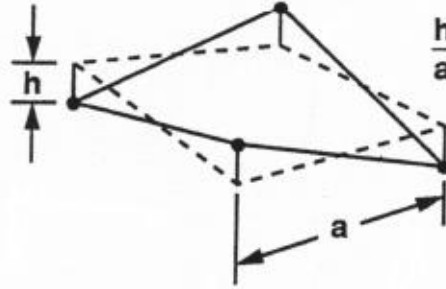
uzunluk oranı a/b için genelde
10:1 oranına kadar müsaade edilebilir.



açı $< 20^\circ-30^\circ$



iki açıda $< 20^\circ-30^\circ$



genelde h/a oranı %5 den küçük olmalı

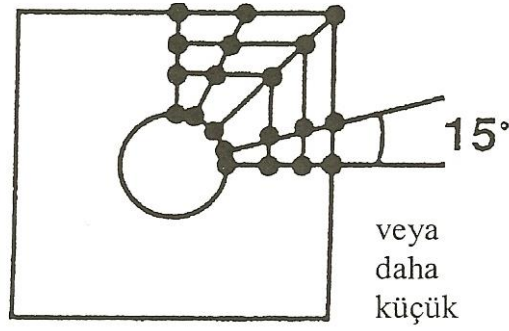
Şekil 4.2 Eleman geometrisinde müsaade edilebilir deformasyonlar [13]



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

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

Şekil 4.3 Bir silindirik yüzey etrafındaki tipik eleman dağılımı [13]



Şekil 4.4 Bir delikli geometride delik etrafındaki tipik eleman dağılımı [13]

Eleman kalitesinin düzgünlüğü, doğru analiz sonuçları elde edilebilmesi için en az problemin fiziksel ve matematik modelinin doğru kurulması kadar önem arz eder. Şekil 4.2, şekil 4.3 ve şekil 4.4'te izin verilen eleman kaliteleri gösterilmiştir. Burada gösterilen değerleri karşılamayan elemanlar kaliteli olmayacağından analiz sonucu tatmin edici yakınsaklıkta olmayacaktır. Bu nedenle sonlu elemanlara ayırma operasyonunun ardından eleman kaliteleri kontrol edilir.

Sonlu elemanlar problemlerinde bir diğer husus eleman tipinin tayinidir. Eleman tipi ve sayısı ne olmalıdır gibi soruların cevaplanması gerekir. Bu sorunun cevabı ancak analizi yapılacak yapının ve eleman tiplerinin tanınması ile mümkün olacaktır. Eleman sayısının yeter seviyelerde olup olmadığı yapılacak olan yakınsama analizi, bir diğer adıyla "Convergence Analizi" ile kontrol edilebilir.

4.2 Üçgen Eleman İçin Sonlu Elemanlar Denkleminin Elde Edilmesi

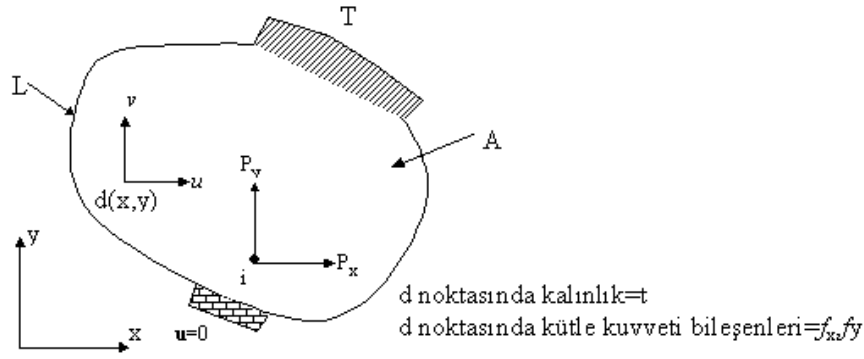
Genel olarak sonlu elemanlar formülasyonuna bakılacak olursa elemanlardaki yer değiştirme; yüzey kuvvetleri, yayılı kütle kuvvetleri ve tekil kuvvet bileşenleri (x,y) ile verilen koordinatın fonksiyonları şeklinde ifade edilebilir. Yer değiştirme vektörü

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

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

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

şeklinde ifade edilebilir. Burada σ , gerilme, ε ise birim şekil değiştirmedir. Şekil 4.5'te genel olarak diferansiyel hacimde hacim kuvveti ve yüzey kuvvet vektörü gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İki boyutlu problemler [15]

$$\{f\} = [f_x, f_y]^T, \{T\} = [T_x, T_y]^T, dV = t \cdot dA \quad (4.3)$$

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

$$\{\varepsilon\} = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (4.4)$$

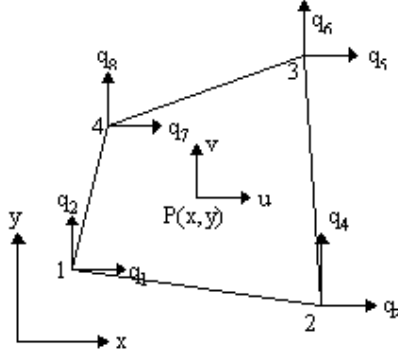
olarak bulunur.

Gerilmeler ve şekil değiştirmeler arasındaki ilişki ise,

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (4.5)$$

olarak gösterilir. Burada D elastisite matrisidir [15].

4.3 Dörtgen Eleman İçin Sonlu Elemanlar Denkleminin Elde Edilmesi



Şekil 4.6 Dört düğümlü dörtgen eleman

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

$$1. \text{ düğümde } N_1=1, \quad 2, 3 \text{ ve } 4. \text{ Düğümde, } N_1=0 \quad (4.6)$$

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

$$N_1 = c(1 - r)(1 - s) \quad (4.7)$$

Buradan hareketle şekil fonksiyonları bulunacak olursa;

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) \quad (4.8)$$

Diğer nodlar için de şekil fonksiyonları aynen benzer yoldan

$$N_2 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s) \quad (4.9)$$

$$N_3 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s) \quad (4.10)$$

$$N_4 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi ise;

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (4.12)$$

Burada $[A]$,

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

olacaktır. Bu durumda;

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = [G]\{q\} \quad (4.14)$$

yazılabilir ki burada $[G]$,

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) & 0 \\ -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) & 0 \\ 0 & -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) \\ 0 & -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) \end{vmatrix} \quad (4.15)$$

şeklinde elde edilir. Şekil değiştirme ve yer değiştirmeler $[B]=[A][G]$ olarak elde edilir. Öte yandan eleman içindeki gerilmeler,

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \quad (4.16)$$

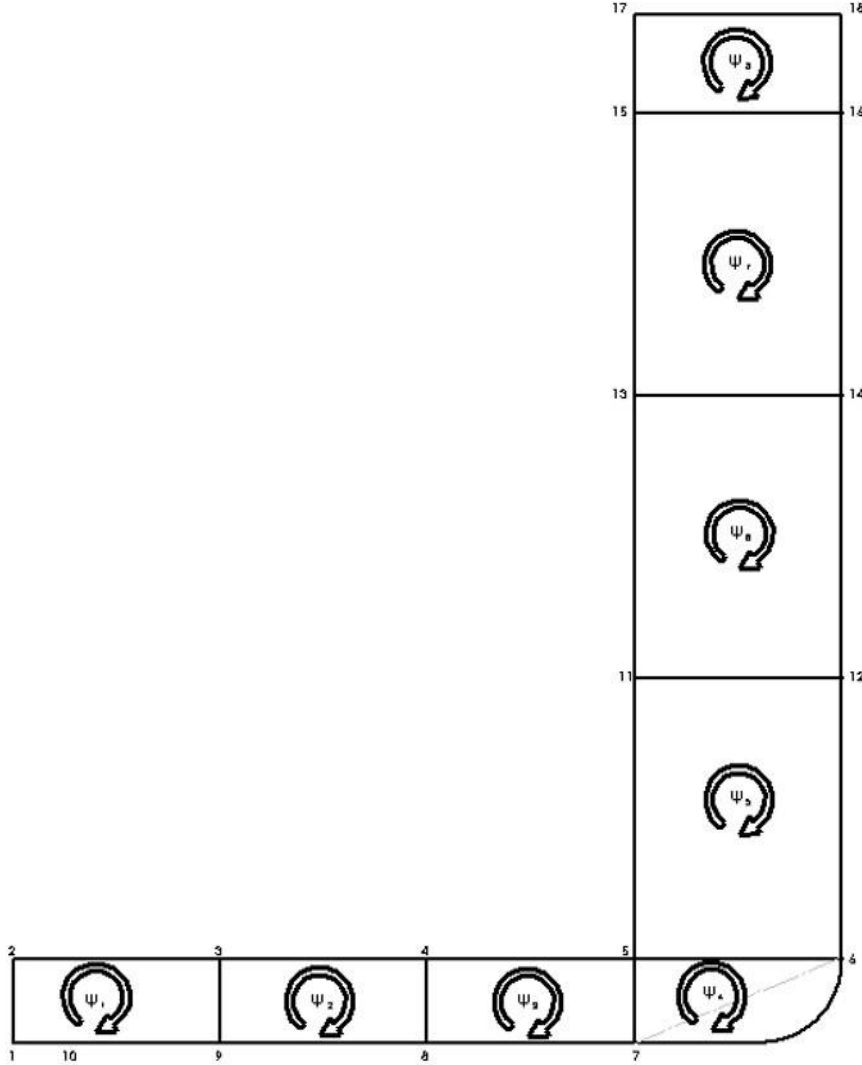
olur. En genel halde sonlu elemanlar denklemleri bu şekilde yazılabilir [15].

BÖLÜM 5

ÜNİFORM BURULMA TEORİSİNE GÖRE UYGULAMA DEĞERLERİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde, Bölüm 3’te Türk Loydu Kuralları’na göre boyutlandırılmış konteyner gemisinin üniform burulma teorisine göre analitik çözümü yapılmıştır.

5.1 Konteyner Gemisinin Sabit Burulma Momenti Altında Analitik Çözümü



Şekil 5.1 Konteyner gemisinin en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

Şekil 5.1’de hesabı yapılacak konteyner en kesiti ve indirgenmiş kayma akımları gösterilmiştir.

Hesabı yapılan konteyner gemisi orta kesiti enine simetrik olduğundan, yarı kesit için burulma atalet momenti hesabı yapılır ve iki ile çarpılır.

$$I_b^{Toplam} = I_b^{Açık} + I_b^{Kapalı} \quad (5.1)$$

$$I_b^{Açık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 \quad (5.2)$$

Konteyner gemisinin orta kesitinde açık kesit bulunmadığından $I_b^{Açık}$ sıfır olacaktır.

$$I_b^{Kapalı} = 2 * \overline{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (5.3)$$

İndirgenmiş kayma akımları Ψ_i aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i' \text{ ninkomşu hücreleri}} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (5.4)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^9 \frac{ds}{t_{39}} + \int_9^{10} \frac{ds}{t_{910}} + \int_{10}^1 \frac{ds}{t_{101}} \right] - \Psi_2 * \int_9^3 \frac{ds}{t_{93}} = 2 * f_1 \quad (5.5)$$

denklemleri oluşturulur. Burada 1-2 elemanı simetri ekseninde olduğundan dolayı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_9^3 \frac{ds}{t_{93}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^8 \frac{ds}{t_{48}} + \int_8^9 \frac{ds}{t_{89}} \right] - \Psi_1 * \int_3^9 \frac{ds}{t_{39}} - \Psi_3 * \int_8^4 \frac{ds}{t_{84}} = 2 * f_2 \quad (5.6)$$

denklemleri oluşturulur.

3 numaralı hücre için;

$$\Psi_3 * \left[\int_8^4 \frac{ds}{t_{84}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^7 \frac{ds}{t_{57}} + \int_7^8 \frac{ds}{t_{78}} \right] - \Psi_2 * \int_4^8 \frac{ds}{t_{48}} - \Psi_4 * \int_7^5 \frac{ds}{t_{75}} = 2 * f_3 \quad (5.7)$$

denklemleri oluşturulur.

4 numaralı hücre için;

$$\Psi_4 * \left[\int_7^5 \frac{ds}{t_{75}} + \int_5^6 \frac{ds}{t_{56}} + \int_6^7 \frac{ds}{t_{67}} \right] - \Psi_3 * \int_5^7 \frac{ds}{t_{57}} - \Psi_5 * \int_6^5 \frac{ds}{t_{65}} = 2 * f_4 \quad (5.8)$$

denklemleri oluşturulur.

5 numaralı hücre için;

$$\Psi_5 * \left[\int_6^5 \frac{ds}{t_{65}} + \int_5^{11} \frac{ds}{t_{511}} + \int_{11}^{12} \frac{ds}{t_{1112}} + \int_{12}^6 \frac{ds}{t_{126}} \right] - \Psi_4 * \int_5^6 \frac{ds}{t_{56}} - \Psi_6 * \int_{12}^{11} \frac{ds}{t_{1211}} = 2 * f_5 \quad (5.9)$$

denklemleri oluşturulur.

6 numaralı hücre için;

$$\Psi_6 * \left[\int_{12}^{11} \frac{ds}{t_{1211}} + \int_{11}^{13} \frac{ds}{t_{1113}} + \int_{13}^{14} \frac{ds}{t_{1314}} + \int_{14}^{12} \frac{ds}{t_{1412}} \right] - \Psi_5 * \int_{11}^{12} \frac{ds}{t_{1112}} - \Psi_7 * \int_{14}^{13} \frac{ds}{t_{1413}} = 2 * f_6 \quad (5.10)$$

denklemleri oluşturulur.

7 numaralı hücre için;

$$\Psi_7 * \left[\int_{14}^{13} \frac{ds}{t_{1413}} + \int_{13}^{15} \frac{ds}{t_{1315}} + \int_{15}^{16} \frac{ds}{t_{1516}} + \int_{16}^{14} \frac{ds}{t_{1614}} \right] - \Psi_6 * \int_{13}^{14} \frac{ds}{t_{1314}} - \Psi_8 * \int_{16}^{15} \frac{ds}{t_{1615}} = 2 * f_7 \quad (5.11)$$

denklemleri oluşturulur.

8 numaralı hücre için;

$$\Psi_8 * \left[\int_{16}^{15} \frac{ds}{t_{1615}} + \int_{15}^{17} \frac{ds}{t_{1517}} + \int_{17}^{18} \frac{ds}{t_{1718}} + \int_{18}^{16} \frac{ds}{t_{1816}} \right] - \Psi_7 * \int_{15}^{16} \frac{ds}{t_{1516}} = 2 * f_8 \quad (5.12)$$

denklemleri oluşturulur.

İndirgenmiş kayma akımlarının hesaplanmasında oluşturulan denklem sistemi için matris katsayıları gerekmektedir. Kontür integraller matrisin köşegenini oluşturacaklardır. $\eta_{i,j}$ matrisinde $i = j$ olacaktır. Komşu hücrelerin getirdiği integrallerde ise $i = \text{hesabı yapılan ana hücre numarası}$ ve $j = \text{komşu hücre numarası}$ olacaktır. Buna göre oluşturulan denklem sistemi;

$$\eta_{11} * \Psi_1 - \eta_{12} * \Psi_2 = 2 * f_1 \quad (5.13)$$

$$\eta_{22} * \Psi_2 - \eta_{21} * \Psi_1 - \eta_{23} * \Psi_3 = 2 * f_2 \quad (5.14)$$

$$\eta_{33} * \Psi_3 - \eta_{32} * \Psi_2 - \eta_{34} * \Psi_4 = 2 * f_3 \quad (5.15)$$

$$\eta_{44} * \Psi_4 - \eta_{43} * \Psi_3 - \eta_{45} * \Psi_5 = 2 * f_4 \quad (5.16)$$

$$\eta_{55} * \Psi_5 - \eta_{54} * \Psi_4 - \eta_{56} * \Psi_6 = 2 * f_5 \quad (5.17)$$

$$\eta_{66} * \Psi_6 - \eta_{65} * \Psi_5 - \eta_{67} * \Psi_7 = 2 * f_6 \quad (5.18)$$

$$\eta_{77} * \Psi_7 - \eta_{76} * \Psi_6 - \eta_{78} * \Psi_8 = 2 * f_7 \quad (5.19)$$

$$\eta_{88} * \Psi_8 - \eta_{87} * \Psi_7 = 2 * f_8 \quad (5.20)$$

olacaktır.

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8) \quad (5.21)$$

$$\bar{A} = 2 * \left[3 * (4,0375 * 1,615) + 3 * \left[(5,49 * 4,0375) + \left(\frac{4,0375 * 1,615}{2} \right) + (4,0375 * 1,915) \right] \right]$$

$$\bar{A} = 200,623 \text{ m}^2$$

olarak hesaplanmıştır.

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = f_2 = f_3 = \frac{\bar{A}_{1,2,3}}{\bar{A}} = \frac{4,0375 * 1,615}{200,623} = 0,032$$

$$f_4 = \frac{\bar{A}_4}{\bar{A}} = \frac{\left(\frac{4,0375 * 1,615}{2} \right)}{200,623} = 0,016$$

$$f_5 = f_6 = f_7 = \frac{\bar{A}_{5,6,7}}{\bar{A}} = \frac{5,49 \cdot 4,0375}{200,623} = 0,110$$

$$f_8 = \frac{\bar{A}_8}{\bar{A}} = \frac{1,915 \cdot 4,0375}{200,623} = 0,038$$

olarak hesaplanmıştır.

Matris katsayıları;

$$\eta_{11} = \phi_1 \frac{ds}{t} = \frac{4,0375}{0,014} + \frac{1,615}{0,0135} + \frac{3,08}{0,0145} + \frac{0,9575}{0,031} = 651,323$$

$$\eta_{22} = \phi_2 \frac{ds}{t} = \frac{1,615}{0,0135} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{1,615}{0,0135} + \frac{4,0375}{0,0145} = 806,100$$

$$\eta_{33} = \phi_3 \frac{ds}{t} = \frac{1,615}{0,0135} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{1,615}{0,0135} + \frac{4,0375}{0,0145} = 806,100$$

$$\eta_{44} = \phi_4 \frac{ds}{t} = \frac{1,615}{0,0135} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{4,3485}{0,0145} = 707,919$$

$$\eta_{55} = \phi_5 \frac{ds}{t} = \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,037} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,0145} = 1103,785$$

$$\eta_{66} = \phi_6 \frac{ds}{t} = \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,037} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,0145} = 1103,785$$

$$\eta_{77} = \phi_7 \frac{ds}{t} = \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,037} + \frac{4,0375}{0,014} + \frac{5,49}{0,0145} = 1103,785$$

$$\eta_{88} = \phi_8 \frac{ds}{t} = \frac{4,0375}{0,014} + \frac{1,915}{0,037} + \frac{4,0375}{0,0145} + \frac{1,915}{0,0145} = 750,667$$

Denklem sistemi;

$$651,323 * \Psi_1 - 119,630 * \Psi_2 = 2 * 0,032$$

$$806,100 * \Psi_2 - 119,630 * \Psi_1 - 119,630 * \Psi_3 = 2 * 0,032$$

$$806,100 * \Psi_3 - 119,630 * \Psi_2 - 119,630 * \Psi_4 = 2 * 0,032$$

$$707,919 * \Psi_4 - 119,630 * \Psi_3 - 288,393 * \Psi_5 = 2 * 0,016$$

$$1103,785 * \Psi_5 - 288,393 * \Psi_4 - 288,393 * \Psi_6 = 2 * 0,110$$

$$1103,785 * \Psi_6 - 288,393 * \Psi_5 - 288,393 * \Psi_7 = 2 * 0,110$$

$$1103,785 * \Psi_7 - 288,393 * \Psi_6 - 288,393 * \Psi_8 = 2 * 0,110$$

$$750,667 * \Psi_8 - 288,393 * \Psi_7 = 2 * 0,038$$

şeklinde oluşturulur.

Oluşturulan denklem sistemiyle elde edilen matris denklemi;

$$\begin{bmatrix} 651,323 & -119,630 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -119,630 & 806,100 & -119,630 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & -119,630 & 806,100 & -119,630 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & -119,630 & 707,119 & -288,393 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & -288,393 & 1103,785 & -288,393 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & -288,393 & 1103,785 & -288,393 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & -288,393 & 1103,785 & -288,393 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & -288,393 & 750,667 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \\ \psi_5 \\ \psi_6 \\ \psi_7 \\ \psi_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,064 \\ 0,064 \\ 0,064 \\ 0,032 \\ 0,220 \\ 0,220 \\ 0,220 \\ 0,076 \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşturulur.

Denklemin sonucunda indirgenmiş kayma akımları;

$$\psi_1 = 1,196 * 10^{-4}$$

$$\psi_2 = 1,161 * 10^{-4}$$

$$\psi_3 = 1,281 * 10^{-4}$$

$$\psi_4 = 2,118 * 10^{-4}$$

$$\psi_5 = 3,558 * 10^{-4}$$

$$\psi_6 = 3,872 * 10^{-4}$$

$$\psi_7 = 3,634 * 10^{-4}$$

$$\psi_8 = 2,409 * 10^{-4}$$

olarak bulunur.

$$I_b^{Kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \psi_i * f_i \quad (5.22)$$

bağıntısı kullanılarak

$$I_b^{Kapalı} = 48,86 \text{ [m}^4\text{]} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için φ' hesaplanır.

$$\varphi' = \frac{M_b}{G * I_b^{Toplam}} \quad (5.23)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (5.24)$$

Young modülü E, normal mukavemetli tekne yapım çeliği için $2,1 \cdot 10^{11}$ N/m² olarak belirlenmiştir. Poison oranı ν de 0,3'tür [4].

$$G = 8,0769231 \cdot 10^{10} \text{ [N/m}^2\text{]}.$$

Sabit burulma momentinin belirlenmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [4].

$$M_b = M_{STmax} = \mp 20 * B * \sqrt{CC} \quad (5.25)$$

$$CC = G * N \quad (5.26)$$

$$G = 3000 \text{ TEU}$$

$$N = 25 \text{ [ton]}$$

$$M_b = 176914390 \text{ [N*m]}.$$

$$\varphi' = 4,483 \cdot 10^{-5} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanmıştır.

$$q_1 = G * \varphi' * \Psi_1 * \bar{A} = 86876,611$$

$$q_2 = G * \varphi' * \Psi_2 * \bar{A} = 84373,268$$

$$q_3 = G * \varphi' * \Psi_3 * \bar{A} = 93029,188$$

$$q_4 = G * \varphi' * \Psi_4 * \bar{A} = 153858,510$$

$$q_5 = G * \varphi' * \Psi_5 * \bar{A} = 258483,044$$

$$q_6 = G * \varphi' * \Psi_6 * \bar{A} = 281298,866$$

$$q_7 = G * \varphi' * \Psi_7 * \bar{A} = 263998,788$$

$$q_8 = G * \varphi' * \Psi_8 * \bar{A} = 174969,269$$

$$q_{12} = G * \varphi' * \Psi_{12} * \bar{A} = 2503,343$$

$$q_{23} = G * \varphi' * \Psi_{23} * \bar{A} = -8655,920$$

$$q_{34} = G * \varphi' * \Psi_{34} * \bar{A} = -60829,322$$

$$q_{45} = G * \varphi' * \Psi_{45} * \bar{A} = -104624,534$$

$$q_{56} = G * \varphi' * \Psi_{56} * \bar{A} = -22815,822$$

$$q_{67} = G * \varphi' * \Psi_{67} * \bar{A} = 17300,078$$

$$q_{78} = G * \varphi' * \Psi_{78} * \bar{A} = 89029,519$$

Son olarak da aşağıdaki bağıntı ile kayma gerilmeleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.1).

$$\tau_{max} = \left(\frac{q_i}{t_i} \right)_{max} \quad (5.27)$$

Çizelge 5.1 Üniform burulma teorisine göre kayma gerilmeleri

τ_{12} [N/mm ²]	τ_{23} [N/mm ²]	τ_{34} [N/mm ²]	τ_{45} [N/mm ²]	τ_{56} [N/mm ²]	τ_{67} [N/mm ²]	τ_{78} [N/mm ²]	τ_{89} [N/mm ²]	τ_{910} [N/mm ²]	τ_{101} [N/mm ²]
0,000	6,205472	6,026662	6,644942	-7,47318	10,61093	6,415806	5,818846	5,99149	2,802471
τ_{1112} [N/mm ²]	τ_{1314} [N/mm ²]	τ_{1516} [N/mm ²]	τ_{1718} [N/mm ²]	τ_{511} [N/mm ²]	τ_{1113} [N/mm ²]	τ_{1315} [N/mm ²]	τ_{1517} [N/mm ²]	τ_{1816} [N/mm ²]	τ_{1614} [N/mm ²]
-1,6297	1,23572	6,359251	12,06685	6,986028	7,602672	7,135102	4,728899	12,06685	18,20681
τ_{1112} [N/mm ²]	τ_{1112} [N/mm ²]	τ_{1112} [N/mm ²]	τ_{1112} [N/mm ²]	τ_{1112} [N/mm ²]					
19,39992	17,82642	0,185433	-0,64118	-4,50588					

UYGULAMA DEĞERLERİNİN NÜMERİK METOTLA ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde konteyner gemisinin sabit burulma momenti altında sonlu elemanlar analizi açıklanmıştır.

Maksimum kayma gerilmesi geminin ortasında oluşacağından, geminin baş ve kış formunun modellenmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

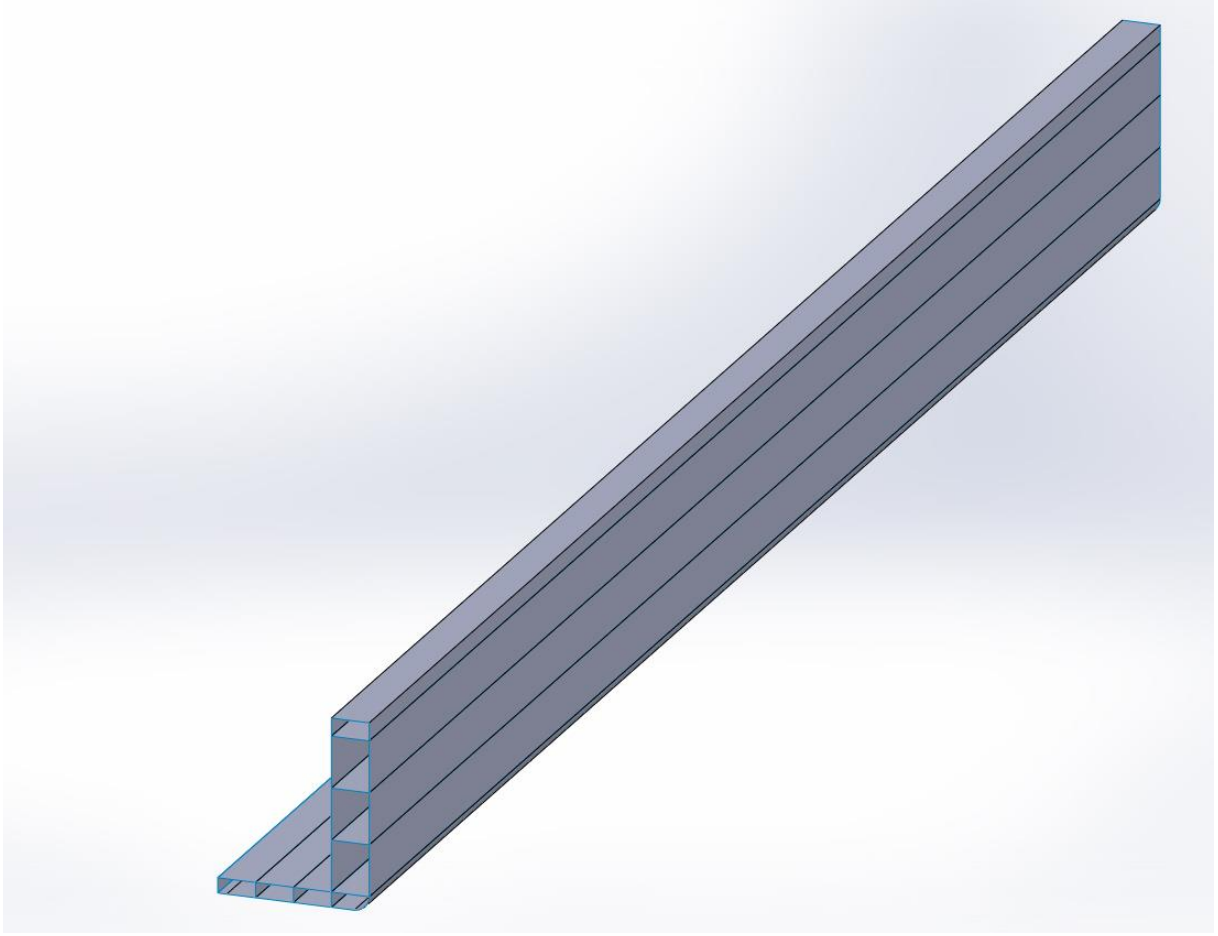
6.1 Yapısal Elemanları Bulunmayan Geminin Analizi

6.1.1 Geminin 3 Boyutlu Modelinin Hazırlanması

Türk Loydu Kuralları'na göre boyutlandırılmış konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli SolidWorks 2012 paket programında modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kabuk eleman kullanılacağından 3 boyutlu model yüzey olarak modellenmiştir.

Üniform burulma teorisinde postalar ve enine yapısal elemanlar hesaba katılmadığından [9], hazırlanan ilk modelde postalar ve yapısal elemanlar modele eklenmemiş, sadece dış kabuk, perdeler ve güverteler modellenmiştir (Şekil 6.1).

Analize hazırlanan modelde mesh oluşturma işleminin kolay olması için güverte ve perdeler gibi birbiriyle kesişen yüzeyler birbirinden ayrılmıştır. Örneğin kargo güvertesi tek bir yüzey olmasına rağmen, yan iç omurgaların bağlandığı yerlerden üç parçaya ayrılmıştır. Bunun yapılmasındaki esas amaç mesh ağı örülürken farklı yapısal elemanlardaki nodların birbirinin üzerine tam oturmasını sağlamaktır. Bu durum analizin daha güvenilir olmasını sağlamaktadır.

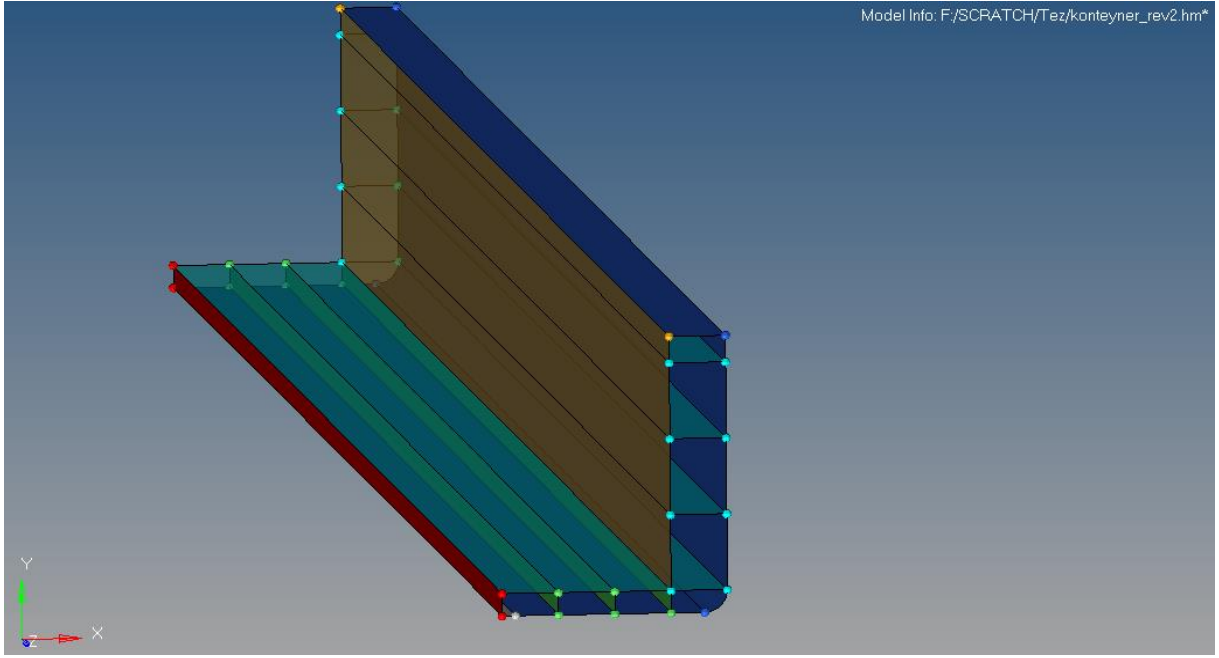


Şekil 6.1 Konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli

6.1.2 Geminin Matematiksel Modelinin Oluşturulması

6.1.2.1 Mesh Ağının Oluşturulması

Model, Bölüm 6.1’de anlatılan işlemlerden sonra sonlu elemanlar analizinin ilk aşaması olan mesh işlemine hazır hale gelmiştir. Mesh işlemi için HyperMesh paket programı kullanılmıştır. SolidWorks’den alınan *.SLDPART uzantılı dosya HyperMesh programına aktarılmıştır.

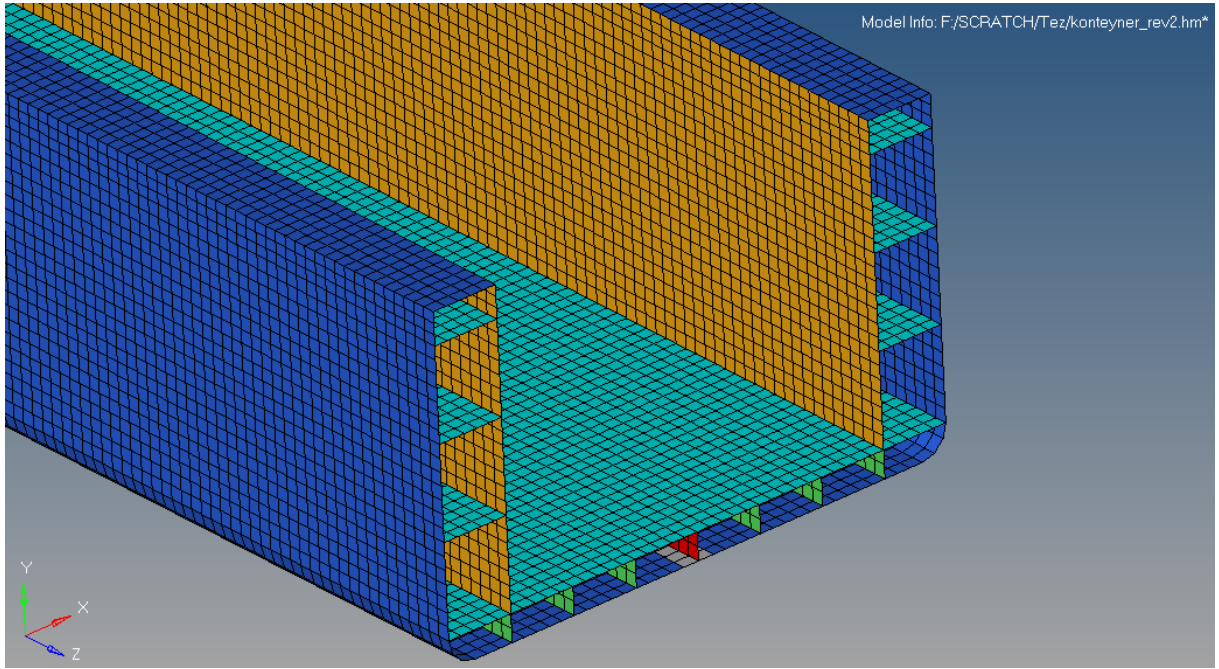


Şekil 6.2 Modelin 3 boyutlu modeli

Şekil 6.2’de değişik renklerde görülen bileşenler farklı kalınlıklara sahip yapısal elemanları temsil etmektedir.

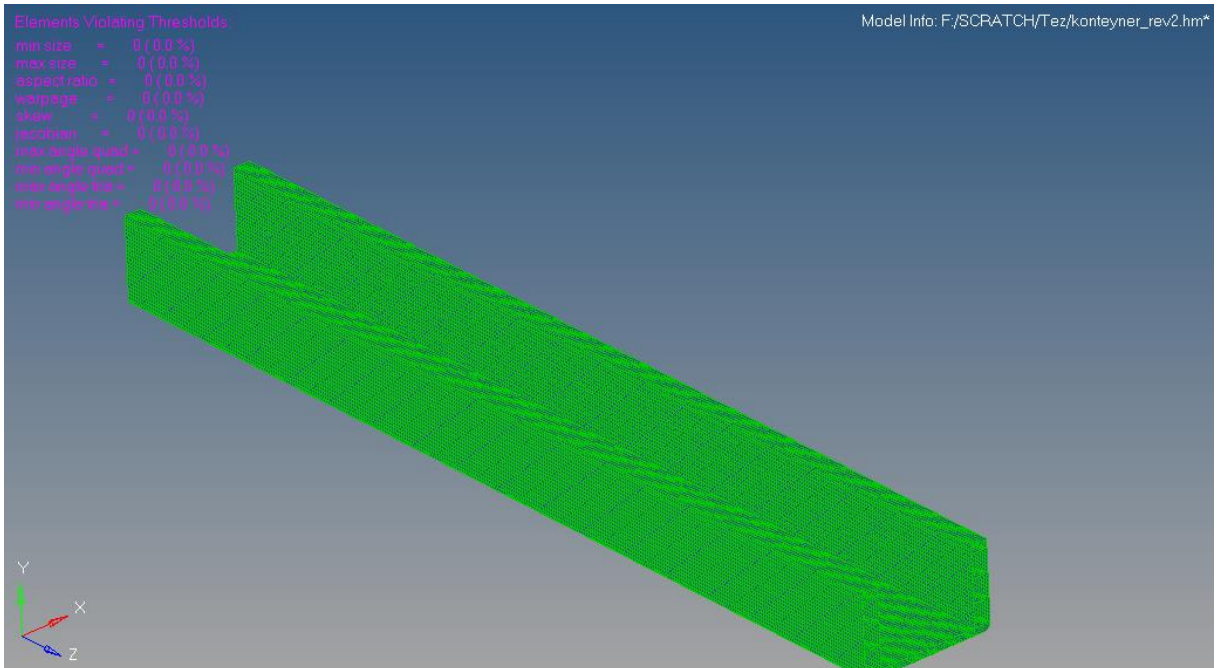
Mesh atma işlemi dörtgen kabuk elemanlar ile gerçekleştirilmiştir. Eleman boyutu 750 mm. olarak belirlenmiştir.

Gemi simetrik olduğundan yarı kesite mesh atıldıktan sonra diğer yarısı kopyalanarak aynalama işlemi gerçekleştirilmiştir ve tüm modelin mesh ağı oluşturulmuştur (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Geminin mesh modeli

Eleman kalitesi kontrol edilmiştir ve herhangi bozuk elemana rastlanmamıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Eleman kalitesi skalası

Matematiksel model 68906 adet dörtgen kabuk eleman ile oluşturulmuştur.

Elemanlara normal mukavemetli tekne yapım çeliği malzeme özellikleri uygulanmıştır [4].

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

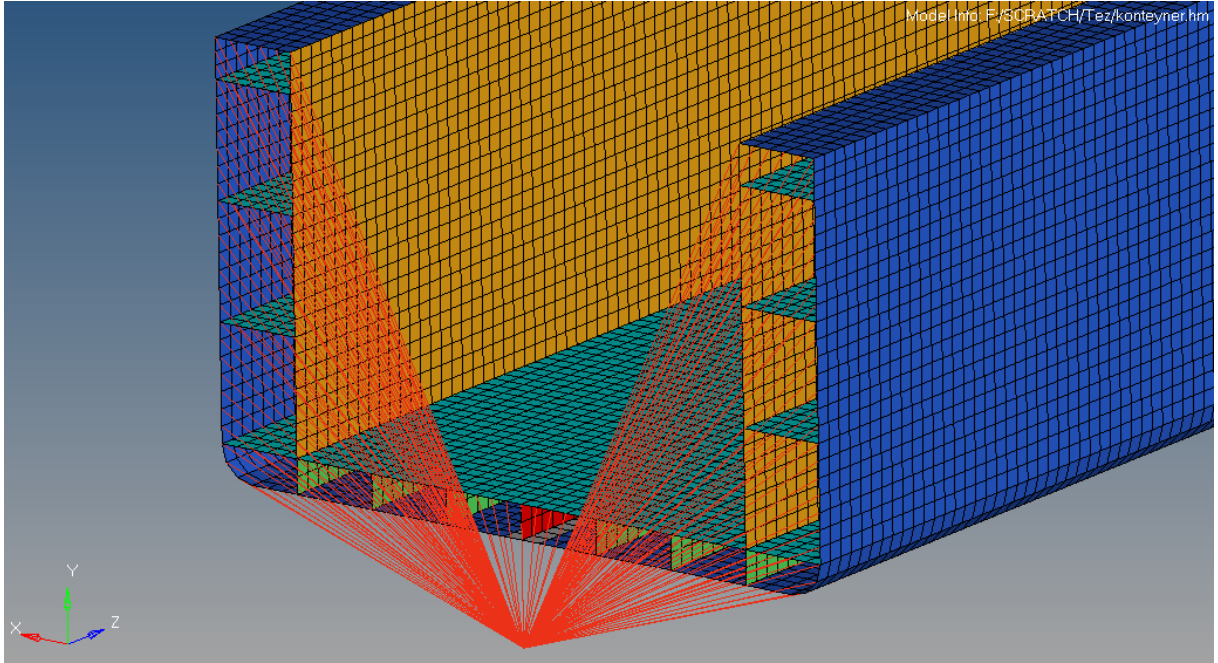
$$\nu = 0,3$$

Şekil 3.1’de gösterilen eleman kalınlıkları modele veri girdisi olarak eklenmiştir.

6.1.2.2 Sınır Şartlarının Uygulanması

Analizi yapılacak modele kayma merkezinden moment uygulamak gerekmektedir. Kayma merkezinin hesabı için Ek-B’deki tablo kullanılmıştır [10]. Yapılan hesap sonucunda kayma merkezi, geminin kaide hattının 4,649 m. aşağısında çıkmıştır.

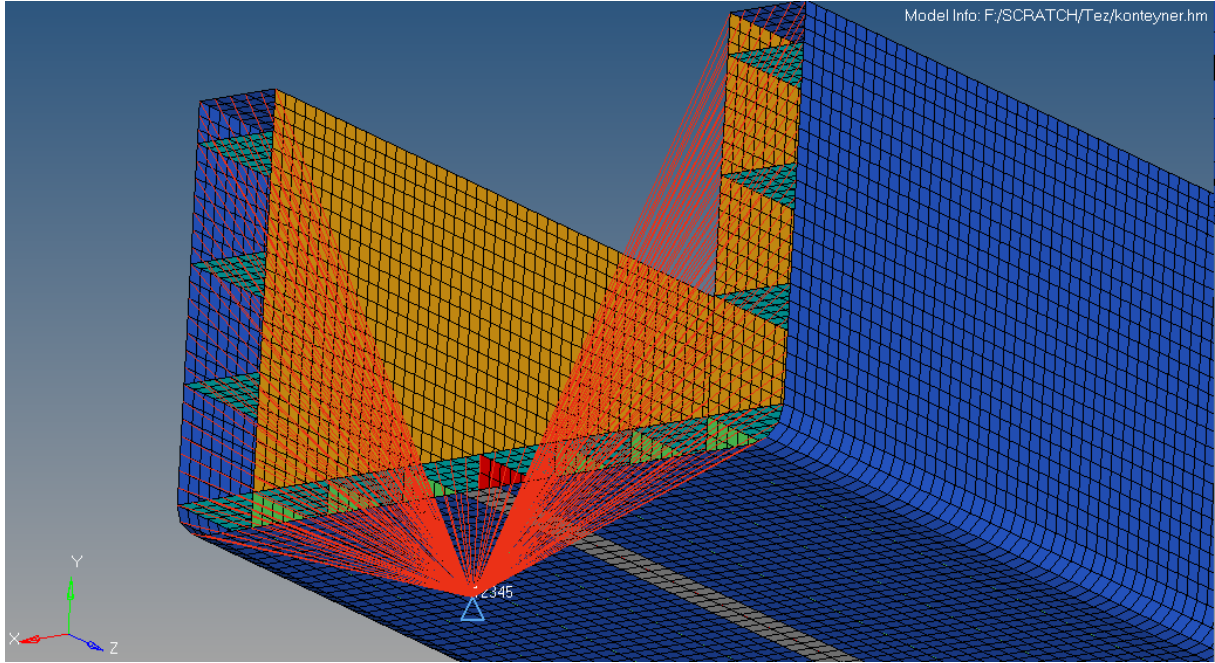
Bu noktadan moment uygulayabilmek için modelin başı ve sonuna, kaide hattının 4649 mm. aşağısına birer nod atanmış ve modelin başı ve sonundaki elemanların tüm nodları bu atanan nodlara RB2 tipi çubuk elemanlarla bağlanmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Moment uygulanacak kayma merkezindeki bağlantı elemanları

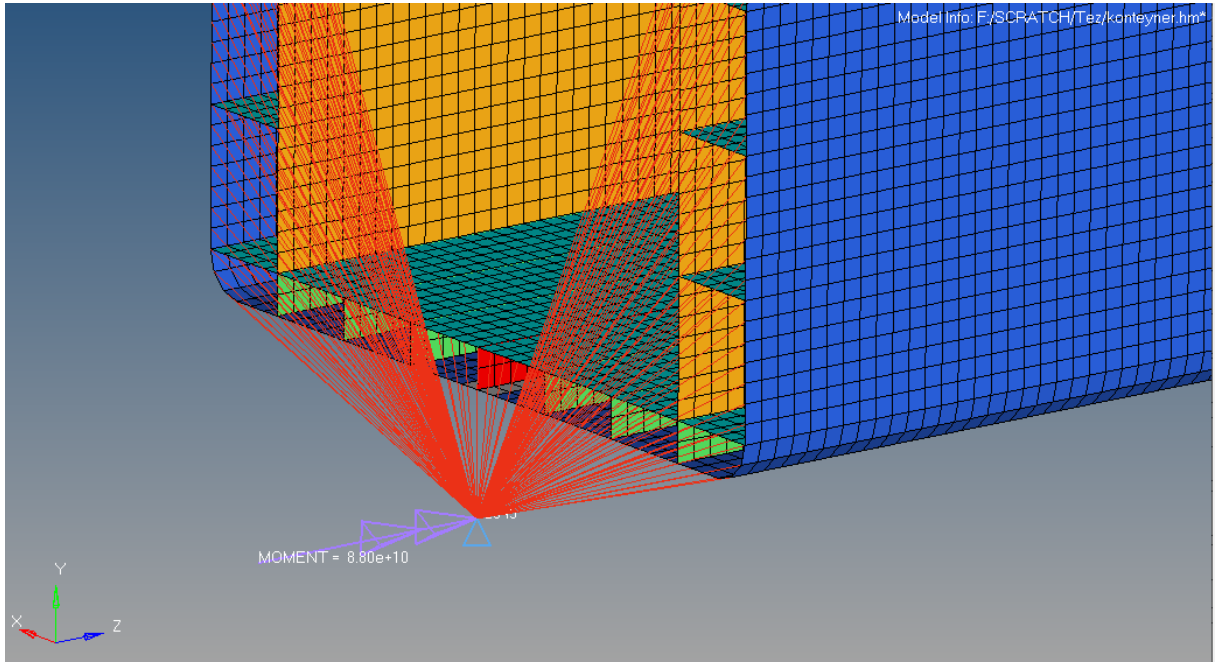
Geminin iki ucuna koyulan bu bağlantı elemanlarının merkezindeki noktaya sadece z ekseninde dönme yapabilecek şekilde sınır şartı tanımlanmıştır (Şekil 6.6). Bunun yapılmasının

sebebi moment uygulanırken, uygulanan noktanın dönme haricinde bir hareket yapmasını engellemektir.



Şekil 6.6 Bağlantı elemanlarının sadece z ekseninde dönme serbestliği bulunan sınır şartı

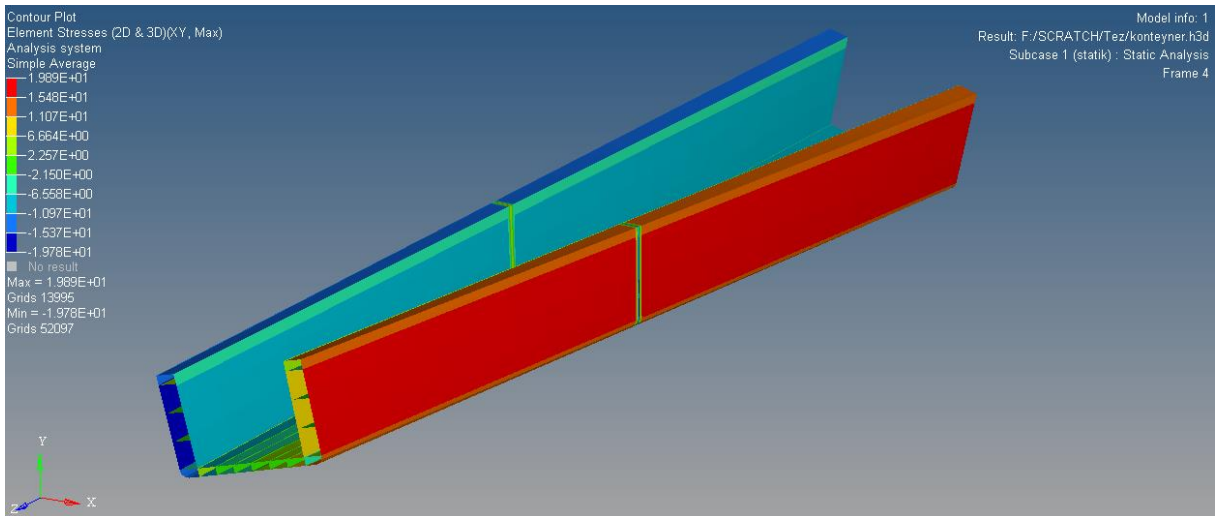
Bölüm 5.1’de Türk Loydu Kuralları’na göre hesaplanan burulma momenti değeri 176914390 N*m’dir. Analizde birim olarak Newton ve milimetre kullanıldığından burulma momenti $17,691 \cdot 10^{10}$ N*mm olacaktır. Geminin iki ucundan ters yönde uygulanacak moment değeri için hesaplanan burulma momentinin yarısı alınmıştır. Her iki uçtaki kayma merkezine $8,846 \cdot 10^{10}$ N*mm moment yükü uygulanmıştır (Şekil 6.7).



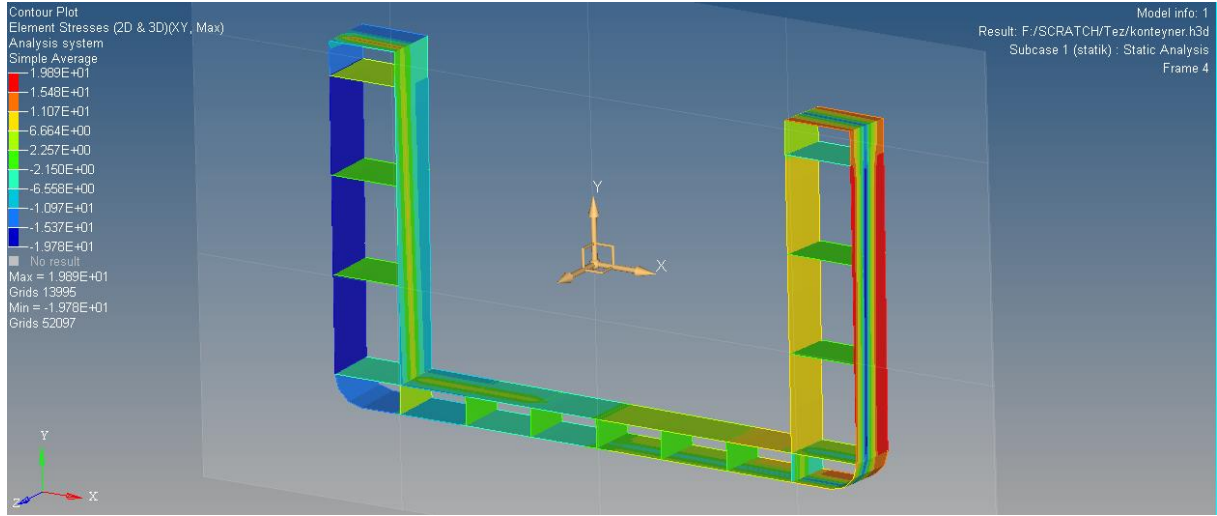
Şekil 6.7 Kayma merkezine uygulanan moment

6.1.3 Analiz Sonucu

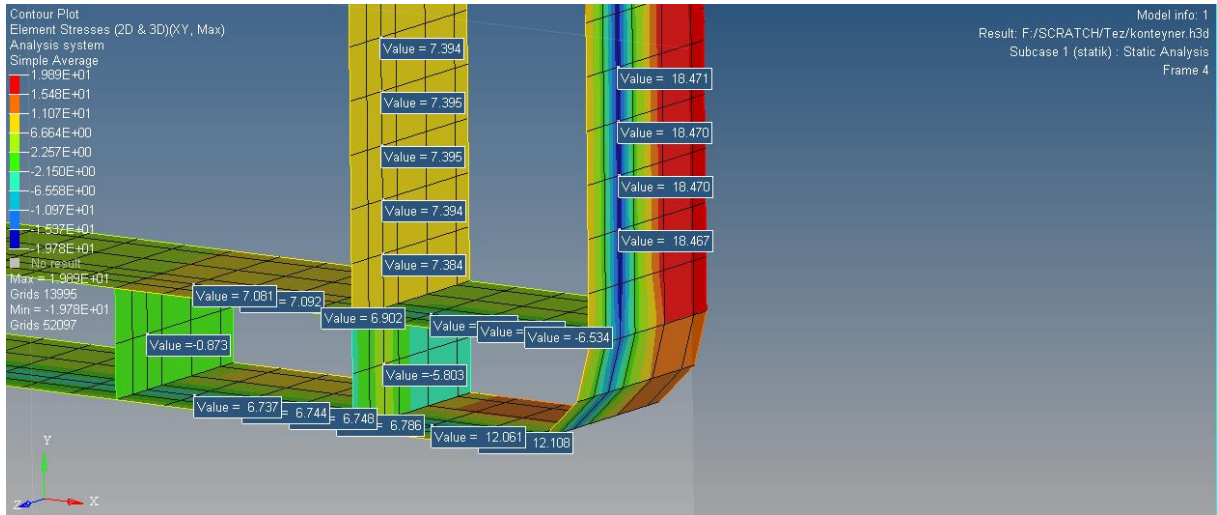
Mesh atılan ve sınır şartları verilen modele lineer statik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde her bir yapısal elemanın kayma gerilmesi değerleri, üniform burulma teorisi hesaplarına oldukça yakın çıkmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, analitik hesaplarda kullanılan yapısal elemanların karşılığı olan elemanlar üzerinde kayma gerilmeleri değerleri okunmuştur (Şekil 6.10).



Şekil 6.8 Kayma gerilmesi dağılımı

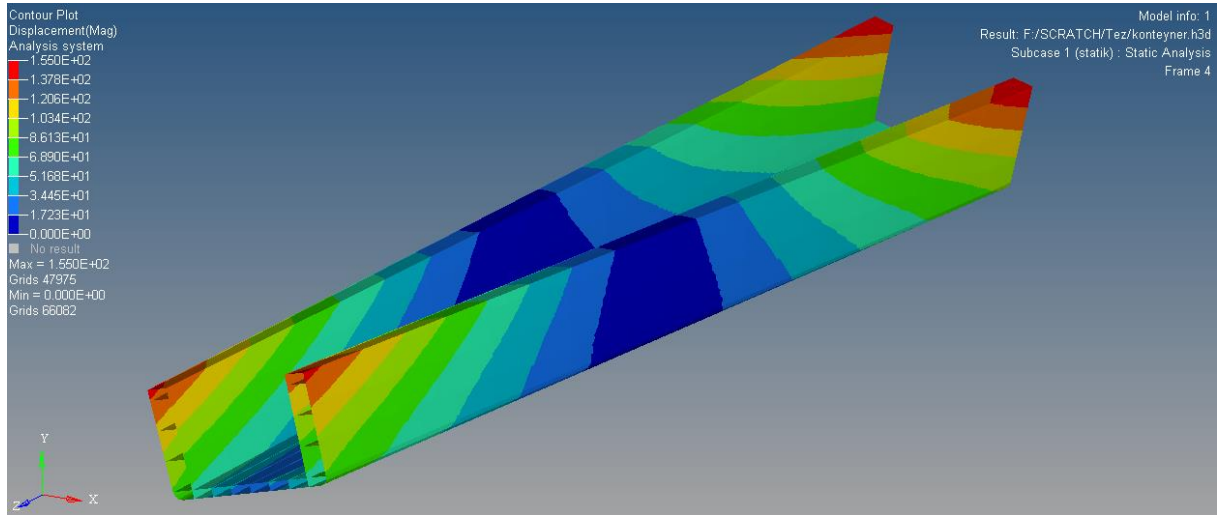


Şekil 6.9 Kayma gerilmesinin orta kesitteki dağılımı



Şekil 6.10 Yapısal elemanlar üzerindeki kayma gerilmesi değerleri

Şekil 6.11'de yer değiştirme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Yer değiştirme dağılımı

Maksimum yer değiştirme modelin baş ve sonunda 155 mm. olarak çıkmıştır.

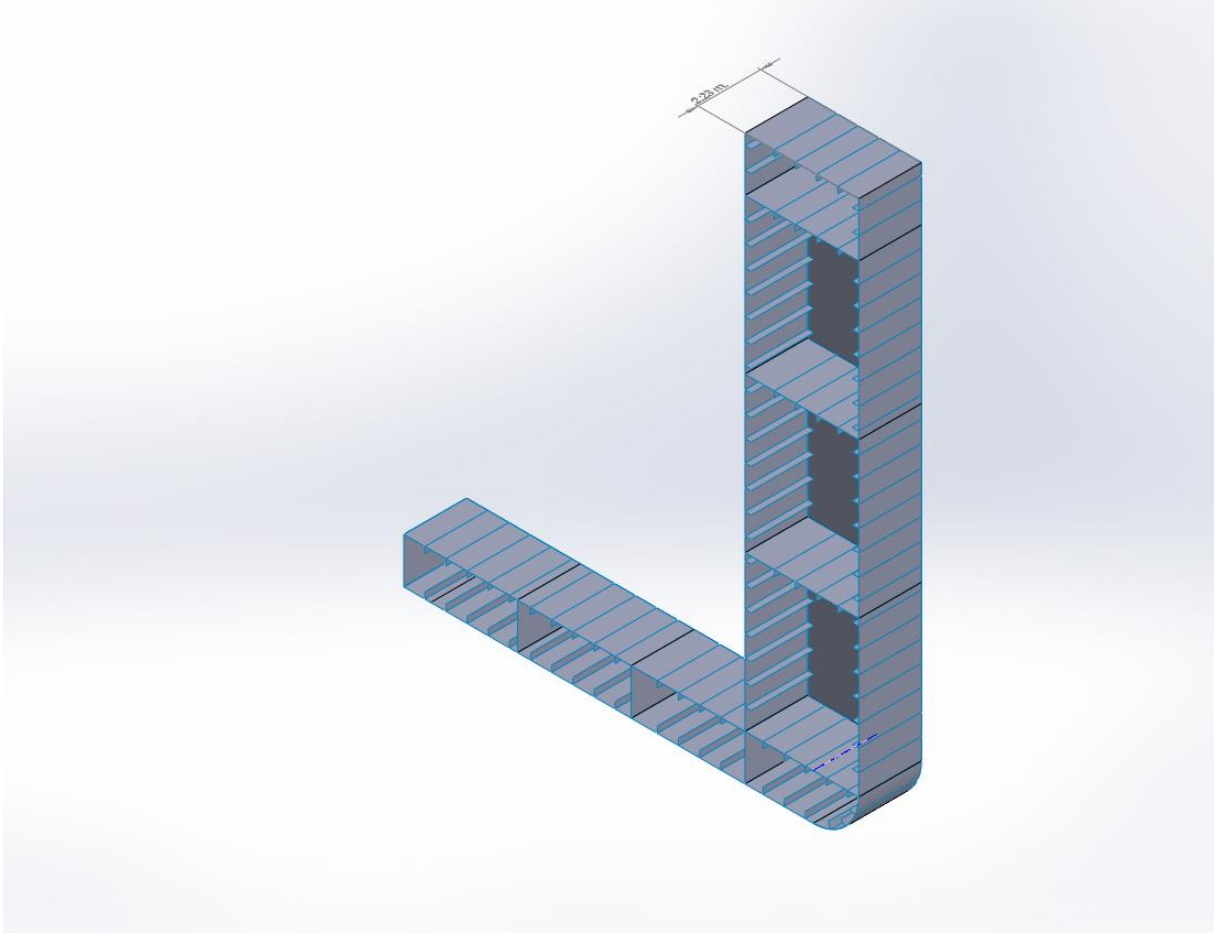
6.2 Tüm Yapısal Elemanları Bulunan Geminin Analizi

6.2.1 Geminin 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması

Türk Loydu Kuralları'na göre boyutlandırılmış konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli SolidWorks 2012 paket programında modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kabuk eleman kullanılacağından 3 boyutlu model yüzey olarak modellenmiştir.

Model kesiti sürekli olduğundan, yani boya göre kesitte değişiklik olmadığından ve L/100 metrede bir dolu döşek bulunduğundan 223 m. olan modelin 2.23 m. boyunda 100'de 1'lik kısmı modellenmiştir (Şekil 6.12). Mesh işlemi yapıldıktan sonra mesh modeli 100 defa kopyalanıp art arda yerleştirilerek bütün model elde edilmiştir.

Analize hazırlanan modelde mesh oluşturma işleminin kolay olması için güverte ve perdeler gibi birbirini kesişen yüzeyler birbirinden ayrılmıştır. Örneğin kargo güvertesi tek bir yüzey olmasına rağmen, yan iç omurgaların bağlandığı yerlerden ve boyuna postalardan ötürü parçalara ayrılmıştır. Bunun yapılmasındaki esas amaç mesh ağı örülürken farklı yapısal elemanlardaki nodların birbirinin üzerine tam oturmasını sağlamaktır. Bu durum analizin daha güvenilir olmasını sağlamaktadır.

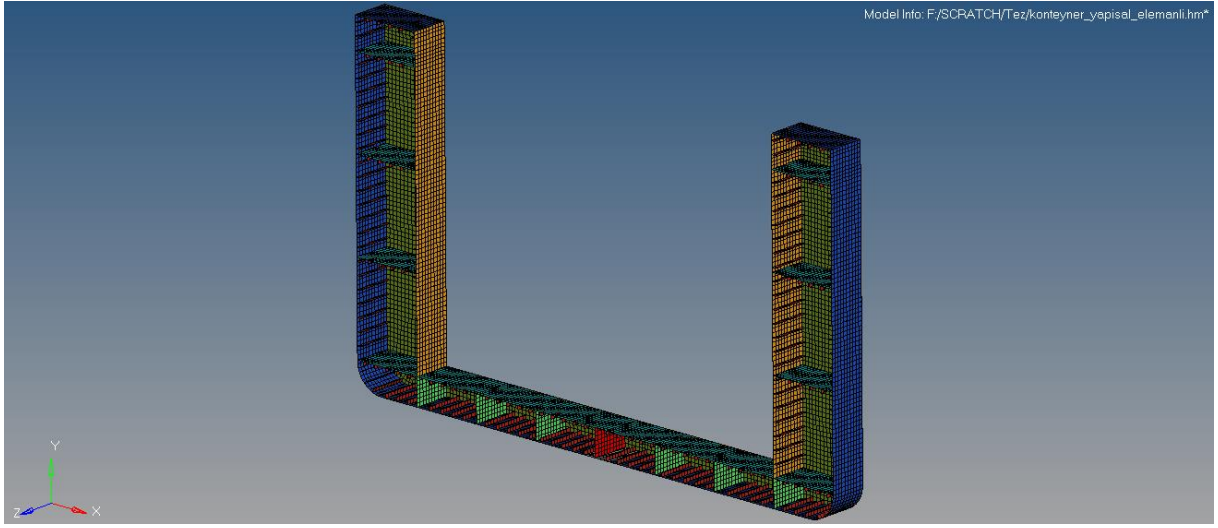


Şekil 6.12 Konteyner gemisinin 3 boyutlu modeli

6.2.2 Geminin Matematiksel Modelinin Oluşturulması

6.2.2.1 Mesh Ağının Oluşturulması

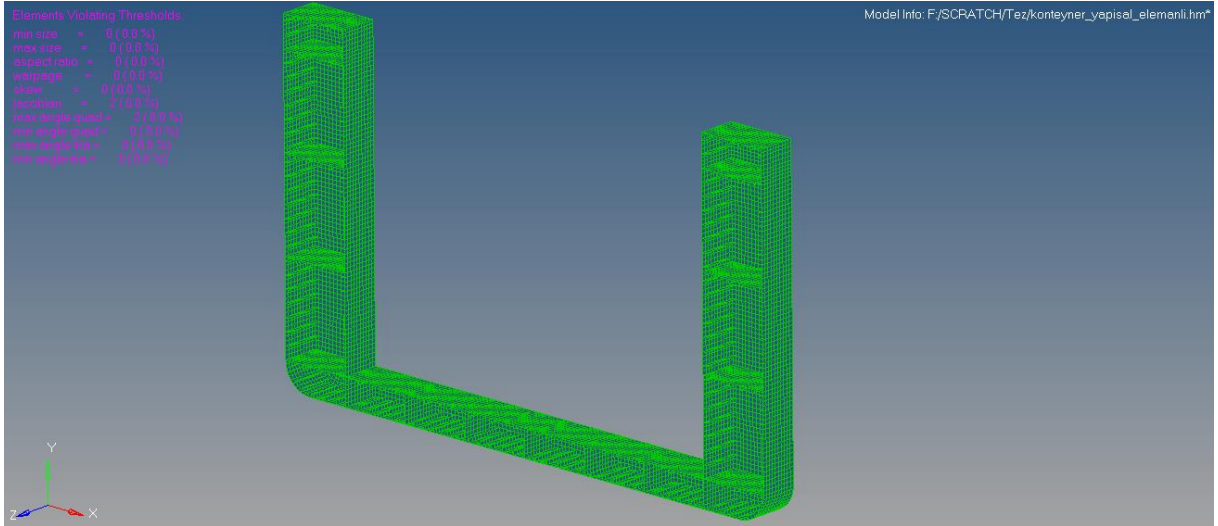
Model, Bölüm 6.1’de anlatılan işlemlerden sonra sonlu elemanlar analizinin ilk aşaması olan mesh işlemine hazır hale gelmiştir. Mesh işlemi için HyperMesh paket programı kullanılmıştır. SolidWorks’den alınan *.SLDPART uzantılı dosya HyperMesh programına aktarılmıştır.



Şekil 6.13 Geminin 100'de 1'lik kısmının mesh modeli

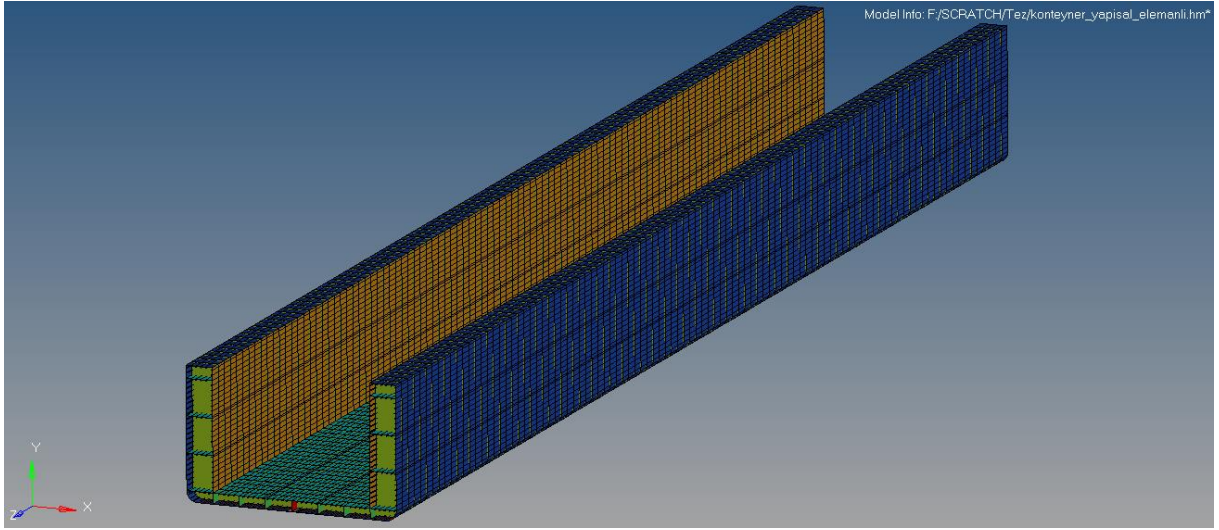
Mesh atma işlemi dörtgen kabuk elemanlar ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.13). Geminin boyuna posta boyu 220 mm. olduğundan mesh ağı oluşturulurken kolaylık olması amacıyla mesh eleman boyutu 220 mm. olarak belirlenmiştir.

Eleman kalitesi kontrol edilmiştir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Eleman kalitesi skalası

Mesh ağı oluşturulan 100'de 1'lik kesit çoğaltılarak geminin tam modeli elde edilmiştir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 Geminin tam boyunun mesh modeli

Matematiksel model 1315700 adet dörtgen kabuk eleman ile oluşturulmuştur.

Elemanlara normal mukavemetli tekne yapım çeliği malzeme özellikleri uygulanmıştır [4].

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

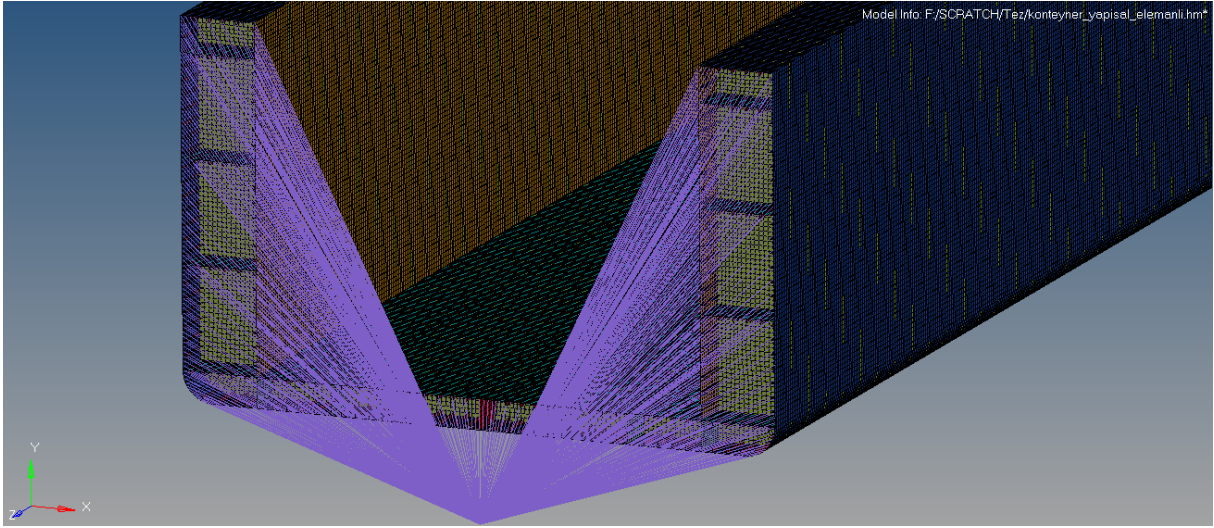
$$\nu = 0,3$$

Bölüm 3’de hesaplanan eleman kalınlıkları modele veri girdisi olarak eklenmiştir.

6.2.2.2 Sınır Şartlarının Uygulanması

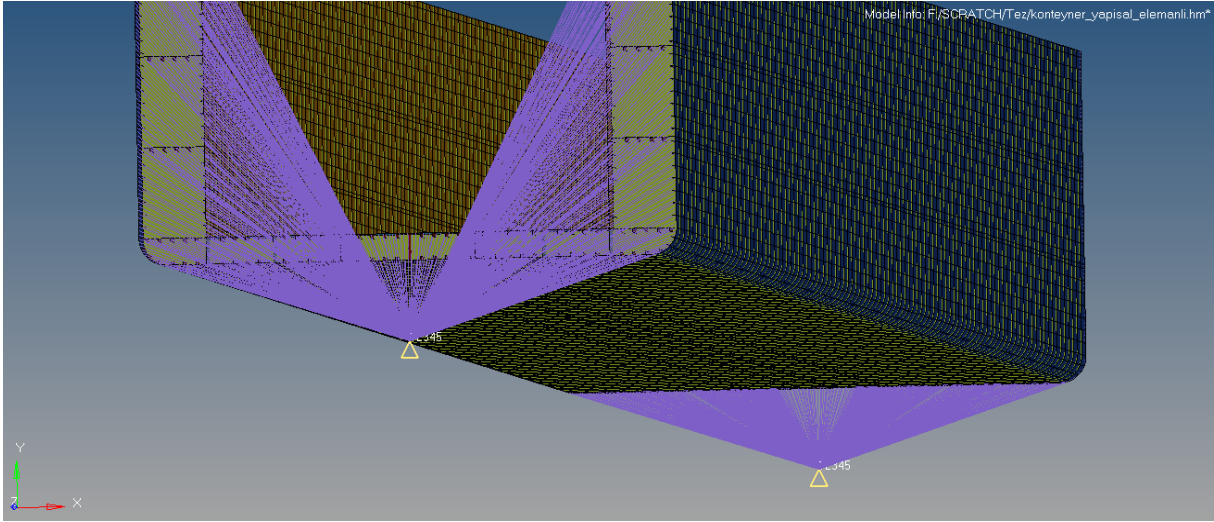
Analizi yapılacak modele kayma merkezinden moment uygulamak gerekmektedir. Kayma merkezinin hesabı için Ek-B’deki tablo kullanılmıştır [10]. Yapılan hesap sonucunda kayma merkezi, geminin kaide hattının 4,649 m. aşağısında çıkmıştır.

Bu noktadan moment uygulayabilmek için modelin başı ve sonuna, kaide hattının 4649 mm. aşağısına birer nod atanmış ve modelin başı ve sonundaki elemanların tüm nodları bu atanan nodlara RB2 tipi çubuk elemanlarla bağlanmıştır (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 Moment uygulanacak kayma merkezindeki bağlantı elemanları

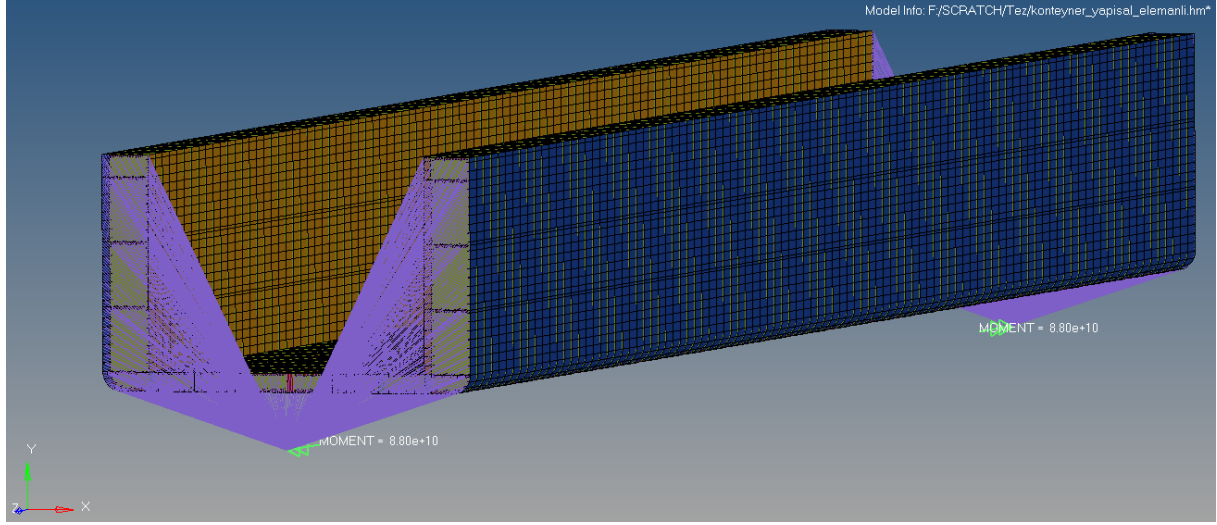
Geminin iki ucuna koyulan bu bağlantı elemanlarının merkezindeki noktaya sadece z ekseninde dönme yapabilecek şekilde sınır şartı tanımlanmıştır (Şekil 6.17). Bunun yapılmasının sebebi moment uygulanırken, uygulanan noktanın dönme haricinde bir hareket yapmasını engellemektir.



Şekil 6.17 Bağlantı elemanlarının sadece z ekseninde dönme serbestliği bulunan sınır şartı

Bölüm 5.1’de Türk Loydu Kuralları’na göre hesaplanan burulma momenti değeri 176914390 N*m’dir. Analizde birim olarak Newton ve milimetre kullanıldığından burulma momenti $17,691 \cdot 10^{10}$ N*mm olacaktır. Geminin iki ucundan ters yönde uygulanacak moment değeri için

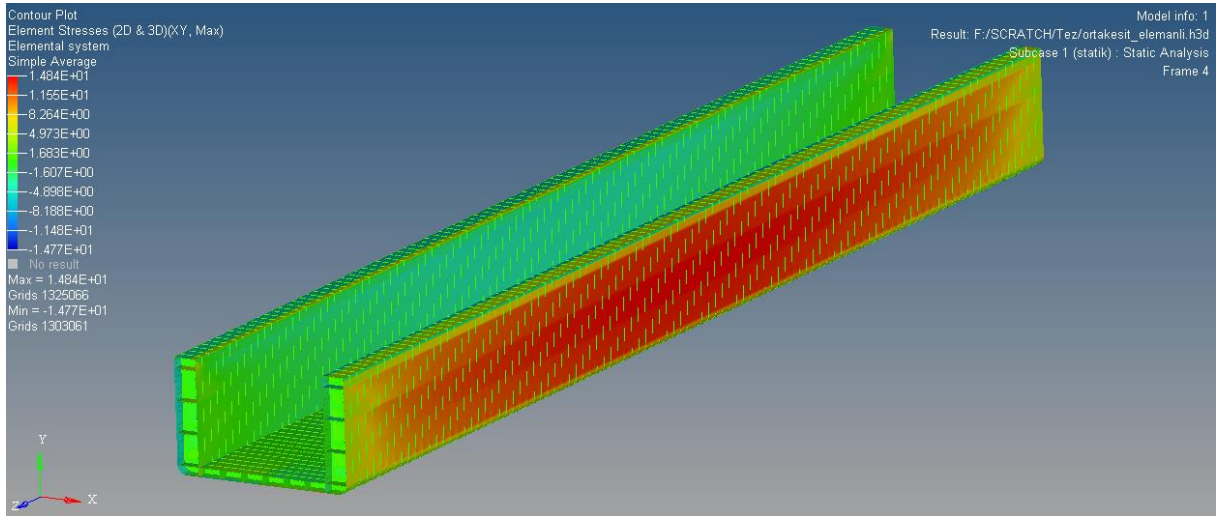
hesaplanan burulma momentinin yarısı alınmıştır. Her iki uçtaki kayma merkezine $8,846 \cdot 10^{10}$ N*mm moment yükü uygulanmıştır (Şekil 6.18).



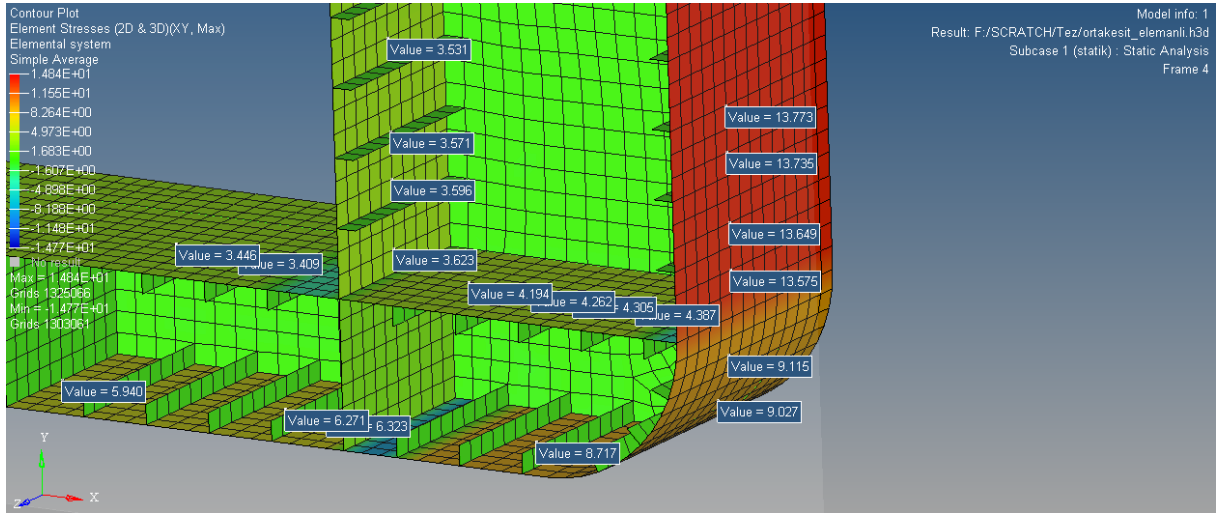
Şekil 6.18 Kayma merkezine uygulanan burulma momenti

6.2.3 Analiz Sonucu

Mesh atılan ve sınır şartları verilen modele lineer statik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde üniform burulma teorisi hesaplarında eklenemeyen boyuna postalar ve enine yapısal elemanlardan ötürü kayma gerilmesi dağılımı bir miktar farklılıklar göstermiştir. Sonlu elemanlar analizinde, analitik hesaplarda kullanılan yapısal elemanların karşılığı olan elemanlar üzerinde kayma gerilmeleri değerleri okunmuştur (Şekil 6.20).

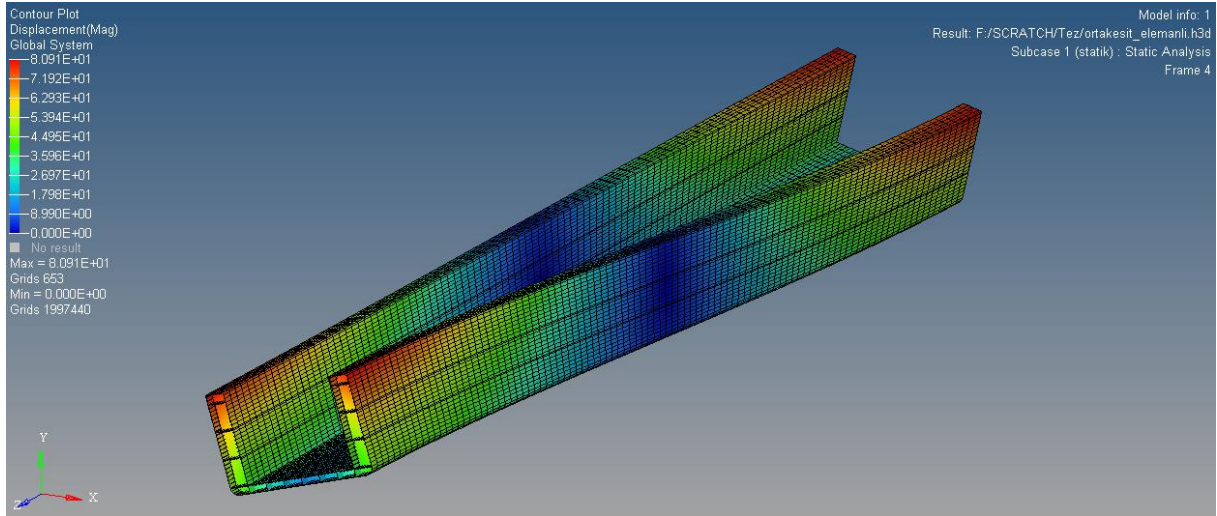


Şekil 6.19 Kayma Gerilmesi Dağılımı



Şekil 6.20 Yapısal elemanlar üzerindeki kayma gerilmesi değerleri

Şekil 6.21’de analizi yapılan modelin yer değiştirme dağılımı gösterilmiştir. Maksimum yer değiştirme modelin baş ve sonunda 81 mm. olarak çıkmıştır.



Şekil 6.21 Yer değiştirme dağılımı

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Üniform burulma teorisi ile yapılan hesaplar ile sonlu elemanlar analizleri sonuçlarının karşılaştırması Çizelge 7.1’de verilmiştir. Nümerik analiz sonuçlarındaki %hata değerleri analitik sonuçla aralarındaki farkın yüzdesini göstermektedir.

$$\%hata = \frac{|Analitik Hesap Sonucu - Nümerik Hesap Sonucu|}{Nümerik Hesap Sonucu} * 100 \quad (7.1)$$

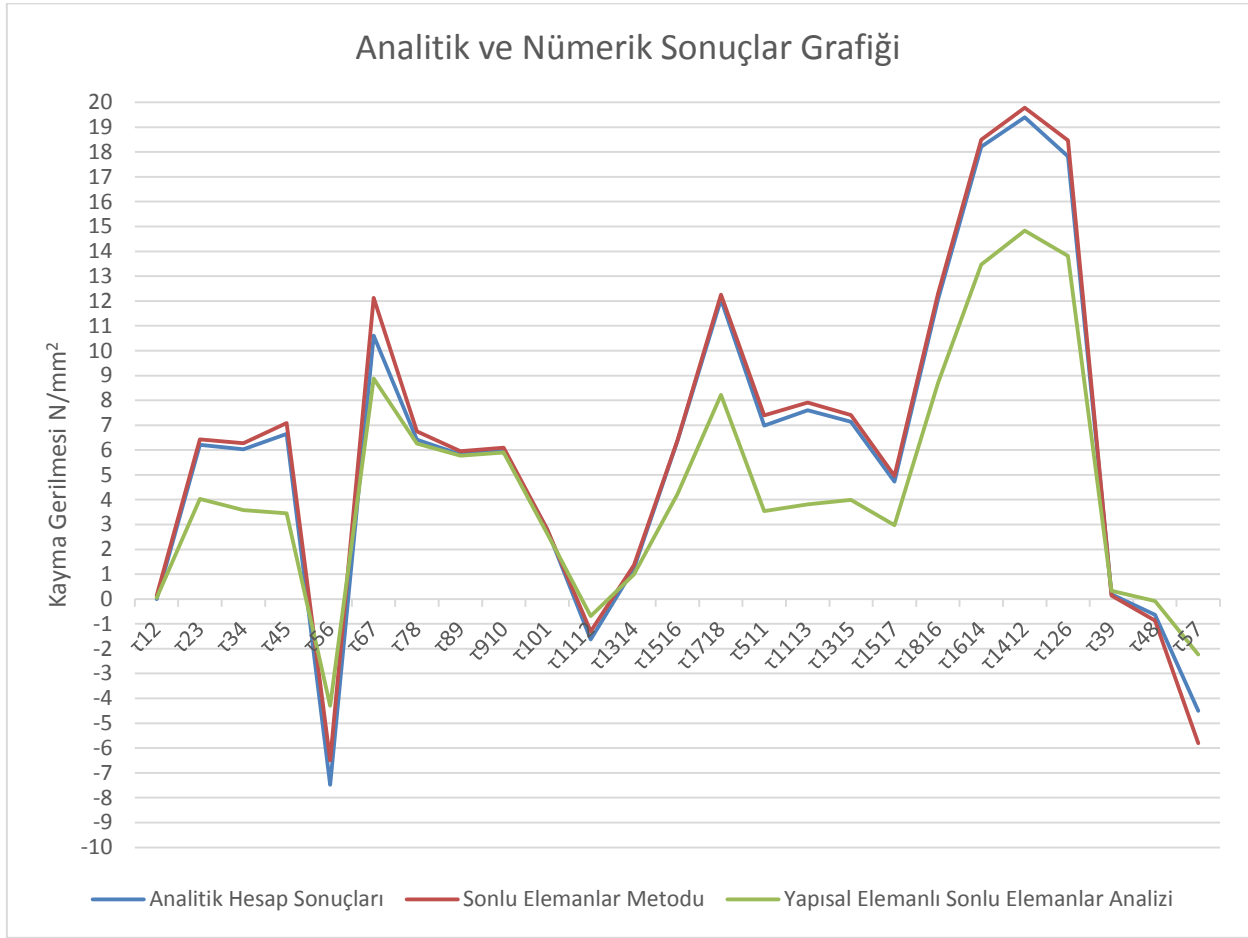
Çizelge 7.1 Analitik hesap ve sonlu elemanlar analizleri karşılaştırması

	<i>Analitik Hesap Sonuçları</i>	<i>Yapısal Elemansız Sonlu Elemanlar Analizi (%hata)</i>	<i>Yapısal Elemanlı Sonlu Elemanlar Analizi (%hata)</i>
τ_{12} N/mm ²	0,000	0,143 (%100)	0,045
τ_{23} N/mm ²	6,205472227	6,433 (%3.54)	4,03
τ_{34} N/mm ²	6,026662033	6,272 (%3.9)	3,578
τ_{45} N/mm ²	6,644942015	7,08 (%6.16)	3,452
τ_{56} N/mm ²	-7,473180983	-6,506 (%14.86)	-4,297
τ_{67} N/mm ²	10,61093175	12,12 (%12.46)	8,876
τ_{78} N/mm ²	6,415806084	6,75 (%5.04)	6,255
τ_{89} N/mm ²	5,8188461	5,95 (%2.18)	5,766
τ_{910} N/mm ²	5,991490426	6,1 (%1.80)	5,897

Çizelge 7.1 Analitik hesap ve sonlu elemanlar analizleri karşılaştırması (devamı)

τ_{101} N/mm ²	2,802471328	2,808 (%0.2)	2,637
τ_{1112} N/mm ²	-1,629701547	-1,311 (%24.33)	-0,680
τ_{1314} N/mm ²	1,235719871	1,364 (%9.38)	0,992
τ_{1516} N/mm ²	6,359251356	6,392 (%0.52)	4,230
τ_{1718} N/mm ²	12,06684611	12,25 (%1.49)	8,220
τ_{511} N/mm ²	6,986028219	7,394 (%5.52)	3,547
τ_{1113} N/mm ²	7,602672047	7,908 (%3.86)	3,817
τ_{1315} N/mm ²	7,135102367	7,405 (%3.65)	3,990
τ_{1517} N/mm ²	4,728899151	4,956 (%4.58)	2,969
τ_{1816} N/mm ²	12,06684611	12,3 (%1.89)	8,701
τ_{1614} N/mm ²	18,20681294	18,5 (%1.58)	13,461
τ_{1412} N/mm ²	19,39992178	19,78 (%1.92)	14,83
τ_{126} N/mm ²	17,82641683	18,47 (%3.47)	13,82
τ_{39} N/mm ²	0,185432795	0,143 (%29.37)	0,328
τ_{48} N/mm ²	-0,641179241	-0,872 (%26.49)	-0,085
τ_{57} N/mm ²	-4,505875713	-5,803 (%22.37)	-2,230

Bu çizelgeye göre yapılan analitik ve nümerik hesaplarda yapısal elemanları bulunmayan gemi kesitinin sonlu elemanlar analizi ile üniform burulma teorisine göre yapılan analitik hesap sonuçları birbirine çok yakın çıktığından, yapılan hesapların geçerli olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 7.1 Analitik ve nümerik hesap sonuçlarının karşılaştırılması

Yapısal elemanları eklenmiş modelin sonlu elemanlar analizi sonucundaki kayma gerilmeleri, yapısal elemanları bulunmayan modelden bir miktar farklılıkları göstermiştir. Bunun çeşitli sebepleri vardır. Yapısal elemanların hesaba eklenmemesi [9] bu farklılığı doğurmuştur. Ayrıca üniform burulma teorisinde cidarlar membran olarak tanımlanırken nümerik analizde matematiksel model kabuk elemanlar ile oluşturulmuştur. Analitik hesaplamalarda yalnızca kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri mevcutken nümerik hesaplarda elemanlarda şişme yapan normal gerilmeler de hesaplanmıştır. Simetri ekseninde kayma gerilmesinin sıfır çıkması beklenirken nümerik analizde sıfırdan farklı çıkması σ normal gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde modelin hazırlanması ve sınır şartlarının verilmesi için aynı işlemler uygulandığından, yapısal elemanları eklenmiş modelin analiz sonuçlarının geçerli olduğu kabul edilebilir.

Hesapların yapılmasında harcanan zaman göz önünde bulundurulduğunda paket program yardımıyla yapılan sonlu elemanlar analizi çok daha kısa sürede sonuç vermiştir. Doğru hazırlanan bir model ile yapılacak nümerik analizler zaman ve para tasarrufu sağlayacaktır. Ancak, analizin doğruluğunun ispatlanması hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, geniş güverte açıklığı bulunan bir konteyner gemisinin sonlu elemanlar modelinin doğru bir şekilde nasıl hazırlanacağı ve analiz edileceği, analitik hesap sonuçlarıyla desteklenerek sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Sharma, R., Kim, T., Storch, R.L., Hopman, H., ve Erikstad, S.O., (2012). "Challenges in Computer Applications for Ship and Floating Structure Design and Analysis", Computer-Aided Design, 44: 166-185.
- [2] Ölmez, H., (2008). Gemilerin Yapısal Tasarımı Ve Yapı Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [3] Paik, J.K., Thayamballi, A.K., Pedersen, P.T., ve Park, Y.I., (2001). "Ultimate Strength of Ship Hulls Under Torsion", Ocean Engineering, 28: 1097,1133.
- [4] Türk Loydu, (2012). Türk Loydu Kuralları, Cilt A, Kısım 1- Tekne Yapım Kuralları
- [5] Iijima, K., Shigemi, T., Miyake, R., ve Kumano, A., (2004). "A Practical Method for Torsional Strength Assessment of Container Ship Structures", Marine Structures, 17: 355-384.
- [6] Sun, H., ve Soares, C. G., (2003). " An Experimental Study of Ultimate Torsional Strength of A Ship-type Hull Girder with A Large Deck Opening", Marine Structures, 16: 51-67
- [7] Molland, A.F., (2008). Maritime Engineering Reference Book, Chapter 4: Ship Structures, Section 4.2: Structural Design and Analysis, 169
- [8] Paik, K., Carrica, P.M., Lee, D., ve Maki, K., (2009). "Strongly Coupled Fluid–Structure Interaction Method for Structural Loads on Surface Ships", Ocean Engineering, 36 (17-18): 1346-1367.
- [9] Ünsan, Y., (1995). Geniş Ambar Ağızlı Gemilerin Mukavemet Yönünden İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Yüncüoğlu, E. U., (2013). Güverte Genişliğinin Burulma Zorlamasına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Popov, E. P., (1990). Mukavemet Katı Cisimlerin Mekaniğine Giriş, İkinci Baskı, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 195.

- [12] Bakioğlu, M, (2009). Cisimlerin Mukavemeti, Cilt 2, 2. Baskı, Beta, İstanbul.
- [13] Demir, Ö., (2008). Bir Gemi Yapısının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Topçu, M., Taşgetiren, S., (1998). Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, PAÜ Mühendislik Fakültesi, Ders kitapları Yayın No: 007
- [15] İnce, S. T., (2012). Gemi Çarpışmasının Nümerik Yöntemlerle Analizi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Hrennikof, A., (1941). "Solution of Problems in Elasticity by the Framework Method", Journal of Applied Mechanics, 169-175.
- [17] McHenry, D., (1943). "A Lattice Analogy for the Solution of Plane Stres Problems", Journal of Inst. Civil Eng., 21: 59-82.
- [18] Argyis, J.H. ve Kelsey, S., (1960). "Energy Theorems and Structural Analysis", Butterworths.
- [19] Turner, M.J., Clough, R.W., Martin, H.C. ve Topp, L.T., (1956). "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures", J. Aero. Sci., 3: 805–823.
- [20] Zienkiewicz, O.C., (1977). The Finite Element Method, 3.Baskı, McGraw-Hill Book Company.

PROFİLLERİN VE KİRİŞLERİN KESİT VERİLERİ

Kesit Modülü [cm ³]	Levhaları ile birlikte Profiller [mm]				Braketlerin Boyutları [mm]	
					Flençsiz	Flençli *
280		- 150x100x14	- 220 x 10	- 220 x 17 - 200 x 20 - 240 x 15	- 280 x 9,5	- 280 x 8
290		- 180x90x12				
300	- 140x140x13	- 200x100x10		- 220 x 18		
310	- 130x130x16		- 220 x 11,5	- 240 x 16 - 260 x 14	- 290 x 9,5	- 290 x 9
320	- 120x120x20			- 220 x 19		
330		- 180x90x14		- 240 x 17 - 260 x 15 - 220 x 20		
340	- 140x140x15		- 240 x 10			
350				- 240 x 18 - 260 x 16	- 300 x 10	- 300 x 8
360		- 200x100x12				
370	- 150x150x14		- 240 x 11	- 240 x 19		
380	- 140x140x17	- 250x90x10		- 260 x 17	- 310 x 10,5	- 310 x 8,5
390			- 240 x 12	- 240 x 20		
400				- 260 x 18	- 315 x 10,5	- 315 x 8,5
410	- 150x150x16	- 200x100x14		- 280 x 16		
420			- 260 x 10		- 320 x 10,5	- 320 x 8,5
430				- 260 x 19 - 280 x 17		
440						
450	- 160x160x15		- 260 x 11			
460		- 250x90x12		- 260 x 20 - 280 x 18	- 330 x 11	- 330 x 9
470	- 150x150x18	- 200x100x16	- 260 x 12			
480						

Şekil A.1 Profil kesit verileri

KAYMA MERKEZİ HESAP TABLOSU

Çizelge B.1 Kayma merkezi hesap tablosu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	xi	xk	yi	yk	Lik	tik	Aik	ωi	ωk
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²
								7*8		
1	2	0,000	0,000	0,000	1,615	1,615	0,017	0,027	0,000	0,000
2	3	0,000	4,038	1,615	1,615	4,038	0,014	0,057	0,000	7,768
3	4	4,038	8,075	1,615	1,615	4,038	0,014	0,057	7,768	15,125
4	5	8,075	12,113	1,615	1,615	4,038	0,014	0,057	15,125	23,905
5	6	12,113	16,150	1,615	1,615	4,038	0,014	0,057	23,905	34,593
6	7	16,150	12,113	1,615	0,000	4,349	0,015	0,063	34,593	60,908
7	8	12,113	8,075	0,000	0,000	4,038	0,015	0,059	60,908	75,681
8	9	8,075	4,038	0,000	0,000	4,038	0,015	0,059	75,681	89,080
9	10	4,038	0,958	0,000	0,000	3,080	0,015	0,045	89,080	99,604
10	1	0,958	0,000	0,000	0,000	0,958	0,031	0,030	99,604	101,134
5	11	0,000	12,113	1,615	7,105	5,490	0,037	0,203	23,905	56,510
11	13	12,113	12,113	7,105	12,595	5,490	0,037	0,203	56,510	13,817
13	15	12,113	12,113	12,595	18,085	5,490	0,037	0,203	13,817	-30,341
15	17	12,113	12,113	18,085	20,000	1,915	0,037	0,071	-30,341	-48,372
17	18	12,113	16,150	20,000	20,000	4,038	0,015	0,059	-48,372	-101,336
11	12	16,150	16,150	7,105	7,105	4,038	0,014	0,057	56,510	-126,270
13	14	16,150	16,150	12,595	12,595	4,038	0,014	0,057	13,817	-179,968
15	16	16,150	16,150	18,085	18,085	4,038	0,014	0,057	-30,341	-238,343
12	6	16,150	16,150	7,105	1,615	5,490	0,015	0,080	-126,270	-271,192
14	12	16,150	16,150	12,595	7,105	5,490	0,015	0,080	-179,968	-299,114
16	14	16,150	16,150	18,085	12,595	5,490	0,015	0,080	-238,343	-330,772
18	16	16,150	16,150	20,000	18,085	1,915	0,015	0,028	-101,336	-348,520
3	9	16,150	4,038	1,615	0,000	1,615	0,014	0,022	7,768	-354,870
4	8	4,038	8,075	1,615	0,000	1,615	0,014	0,022	15,125	-367,321
5	7	8,075	12,225	1,615	0,000	1,615	0,014	0,022	23,905	-382,732

Çizelge B.1 Kayma merkezi hesap tablosu (devamı)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$2x_k + x_i$	$2x_i + x_k$	$(2x_k + x_i) \cdot \omega_k$	$(2x_k + x_i) \cdot \omega_i$	ΔR_{yik}	$x_i^2 + x_i \cdot x_k + x_k^2$	Δl_{yik}	$\omega_k \cdot$	$\omega_i \cdot$	$\Delta C_{şik}$	$(\omega_k \cdot + \omega_i \cdot)/2$
m	m	m ⁵	m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
		11*12	10*13	(14+15)*9 *1/6		9*17* 1/3				
0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,08	4,04	62,729	0,000	0,591	16,301	0,307	0,000	0,000	0,000	0,000
20,2	16,2	305,335	125,459	4,058	114,110	2,150	-0,118	0,147	0,001	0,015
32,3	28,3	772,140	427,470	11,301	309,727	5,836	0,449	-0,51	0,013	-0,032
44,4	40,4	1536,348	965,175	23,566	603,152	11,364	1,102	-1,21	0,076	-0,055
40,4	44,4	2459,152	1536,348	41,988	603,152	12,677	20,79	-18,9	24,998	0,945
28,3	32,3	2138,935	1967,321	40,066	309,727	6,044	22,15	-19,4	25,589	1,385
16,2	20,2	1438,637	1527,811	28,944	114,110	2,227	36,60	-29,3	65,873	3,660
5,95	9,03	592,893	804,612	10,402	21,084	0,314	67,87	-44,7	159,50	11,572
0,96	1,92	96,836	190,742	1,423	0,917	0,009	101,1	-50,6	227,70	25,284
24,2	12,1	1368,958	289,553	56,149	146,713	9,934	-11,95	23,91	87,061	5,976
36,3	36,3	502,058	2053,437	86,516	440,138	29,802	-21,35	21,35	92,563	0,000
36,3	36,3	-1102,52	502,058	-20,329	440,138	29,802	-22,08	22,08	99,020	0,000
36,3	36,3	-1757,71	-1102,52	-33,777	440,138	10,395	-9,015	9,015	5,759	0,000
44,4	40,3	-4500,60	-1953,01	-62,970	603,152	11,770	-14,94	16,43	14,496	0,747
48,5	48,5	-6117,79	2737,916	-31,841	782,468	14,743	-91,39	91,39	472,11	0,000
48,5	48,5	-8719,44	669,411	-75,838	782,468	14,743	-96,89	96,89	530,66	0,000
48,5	48,5	-11547,7	-1470,02	-122,638	782,468	14,743	-104,0	104,0	611,39	0,000
48,5	48,5	-13139,3	-6117,79	-255,493	782,468	20,763	-72,46	72,46	417,97	0,000
48,5	48,5	-14492,1	-8719,44	-307,959	782,468	20,763	-59,57	59,57	282,51	0,000
48,5	48,5	-16025,9	-11547,7	-365,833	782,468	20,763	-46,21	46,21	170,02	0,000
48,5	48,5	-16885,8	-4909,74	-100,868	782,468	7,242	-123,6	123,6	424,15	0,000
24,2	36,3	-8596,73	282,283	-30,213	342,330	2,488	-305,8	203,9	1586,2	-50,973
20,2	16,2	-7415,29	244,268	-26,058	114,110	0,829	-113,6	142,0	369,23	14,199
32,5	28,3	-					-			
25	75	12448,36					153,1	175,5	597,11	
		5	678,312	-42,769	313,373	2,277	51	51	7	11,200
				Toplam						
				=	-2343,158	Toplam=	503,97			
						1		Ç_s =	6263,9	
									63	
				Kayma merkezi=	-4,649	m				

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa TAŞKIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.08.1988, KIRKLARELİ
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : mtaskin@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Anabilim Dalı	YTÜ	2013
Lisans	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Bölümü	YTÜ	2010
Lise	Fen	Mersin Özel Toros Fen Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	TEKYZ	SolidWorks Teknik Destek Sorumlusu
2012	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi