

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

**GÜVERTE GENİŞLİĞİNİN BURULMA ZORLAMASINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

ERCÜMENT UĞUR YÜNCÜOĞLU

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

**DANIŞMAN
PROF. DR. AYDOĞAN ÖZDAMAR**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜVERTE GENİŞLİĞİNİN BURULMA ZORLAMASINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması, 18.01.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Halil ÖZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İsmail BAYER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Konusu “Güverte Genişliğinin Burulma Zorlamasına Etkisinin İncelenmesi” olan bu yüksek lisans tezinde, gemi enine kesitine sahip olan kirişlerin üniform (St. Venant Burulması) ve üniform olmayan (boyuna şişmeli) burulma problemi tüm yönleriyle analitik olarak incelenmiştir. Bu incelemede, güverte genişliği parametre olarak seçilerek, bu parametrenin kayma ve normal gerilmelere etkisi ana amacı oluşturmıştır.

Bu yüksek lisans tezinin, öğrenciler ve bu alanda çalışanlar için yararlı olmasını diler, bu tez çalışmasında benden hiçbir şekilde yardımlarını esirgemeyen Hocam Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR’a, tez jürimde yer alarak katkıda bulunan değerli Hocam Doç. Dr. Halil ÖZER’e ve lisans öğrenimimden itibaren katkılarını gördüğüm Hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail BAYER’e, tezimin ön sunumunda bulunarak yapıcı eleştirilerde bulunan Hocam Doç. Dr. Eyup BAĞCI’ya, RMK Tersanesi Tasarım Hesaplama Uzman Mühendisi Erhan ASLANTAŞ’a, daima yanımda olan aileme ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 2013

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

İÇİNDEKİLER

SAYFA

SİMGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2.....	4
BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİ.....	4
2.1 Üniform Burulma (St.Venant Burulması) Teorisi	6
2.1.1 İnce Cıdarlı Açık Profillerin Burulması	10
2.1.2 Tek Hücreli İnce Cıdarlı Kapalı Profillerde Burulma	12
2.1.3 Çok Hücreli İnce Cıdarlı Halka Enine Kesitlerde Burulma	15
2.2 Üniform Olmayan Burulma	18
2.2.1 Üniform Olmayan (Boyuna Şişmeli) Burulma Teorisinin Diferansiyel Denklemleri	20
2.2.1.1 M_b^{Toplam} Sabit Olursa Özel Çözüm	23
2.2.1.2 M_b^{Toplam} Değişken Olursa Özel Çözüm	24
2.2.2 Boyuna Şişme Fonksiyonu Hesabı $[\omega(s)]$	25
2.2.3 Kayma Merkezi Koordinatları	27
BÖLÜM 3.....	29
İNCELENEN GEMİ ENİNE KESİTLİ DUBA VE BURULMA MOMENTİ.....	29

3.1	Üniform Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri	29
3.2	Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri	30
3.2.1	Sabit Toplam Burulma Momenti Etkisi Altında, Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri	31
3.2.2	Değişken Toplam Burulma Momenti Etkisi Altında, Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri	32
BÖLÜM 4		37
UYGULAMA DEĞERLERİNE GÖRE BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ		37
4.1	Üniform Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler	37
4.1.1	a=0 mm İçin Analitik Çözüm	37
4.1.2	a=3500 mm İçin Analitik Çözüm	40
4.1.3	a=4000 mm İçin Analitik Çözüm	44
4.1.4	a=4500 mm İçin Analitik Çözüm	47
4.1.5	a=5000 mm İçin Analitik Çözüm	50
4.1.6	a=5500 mm İçin Analitik Çözüm	54
4.1.7	a=16000 mm İçin Analitik Çözüm	57
4.1.8	Üniform Burulma Teorisinde Güverte Genişliğine Bağlı Sonuçlar	63
4.2	Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler	63
4.2.1	Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam}) Sabit Olduğunda Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler	63
4.2.1.1	Boyuna Şişme Fonksiyonunun, Kayma Merkezinin, Boyuna Şişme Normal Gerilmelerinin ve Kayma Gerilmelerinin Pratik Hesabı	63
4.2.1.2	a=0 mm İçin Analitik Çözüm	65
4.2.1.3	a=3500 mm İçin Analitik Çözüm	68
4.2.1.4	a=4000 mm İçin Analitik Çözüm	71
4.2.1.5	a=4500 mm İçin Analitik Çözüm	73
4.2.1.6	a=5000 mm İçin Analitik Çözüm	76
4.2.1.7	a=5500 mm İçin Analitik Çözüm	79
4.2.1.8	a=15999 mm İçin Analitik Çözüm	82
4.2.2	Üniform Olmayan Burulma Teorisinde Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam}) Sabit Olduğunda Güverte Genişliğine Bağlı Sonuçlar	85
4.2.3	Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam}) Değişken Olduğunda Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler	86
4.2.3.1	a=0 mm İçin Analitik Çözüm	86
4.2.3.2	a=3500 mm İçin Analitik Çözümler	93
4.2.3.3	a=4000 mm İçin Analitik Çözümler	100
4.2.3.4	a=4500 mm İçin Analitik Çözümler	106
4.2.3.5	a=5000 mm İçin Analitik Çözümler	112
4.2.3.6	a=5500 mm İçin Analitik Çözümler	119
4.2.3.7	a=15999 mm İçin Analitik Çözümler	126
BÖLÜM 5		133
SONUÇ VE ÖNERİLER		133

KAYNAKLAR.....	136
ÖZGEÇMİŞ.....	137

SİMGE LİSTESİ

$\bar{A}$	Toplam enine kesit alanı
ψ_z	Kesit dönme açısı, indirgenmiş kayma akımı
$1/m$	1 bölü metre
$1/m^2$	1 bölü metre kare
a	Değişken güverte genişliği
a_{ij}	Diagonal katsayılar
B	Gemi genişliği
C_s^*	Boyuna şişme direnci
F	Kuvvet
f_i	İndirgenmiş hücre alanı
G	Kayma modülü
I_b	Burulma atalet momenti
$I_b^{\text{açık}}$	Açık kesitin burulma atalet momenti
$I_b^{\text{kapalı}}$	Kapalı kesitin burulma atalet momenti
I_b^{Toplam}	Toplam burulma atalet momenti
$kN.m$	KiloNewton çarpı metre
L	Duba boyu
l_{ik}	Gemi enine kesit elemanının boyu
$L_{yük}$	Dubanın ambar uzunluğu
M	Kayma merkezi
m	Metre
m^2	Metre üzeri 2
m^3	Metre üzeri 3
m^4	Metre üzeri 4
m^5	Metre üzeri 5
M_b^i	i. hücrenin burulma momenti
M_b^{Toplam}	Toplam burulma momenti
$M_b^{\text{Üniform}}$	Üniform burulma momenti
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
M_s	Boyuna şişme kayma akımından kaynaklanan burulma momenti
N	Normal kuvvet
$N.m$	Newton çarpı metre

N/m	Newton bölü metre
N/mm	Newton bölü milimetre
N/mm^2	Newton bölü milimetre kare
p	Moment kolu
E	Malzemenin elastisite modülü
Pa	Pascal
Q_y	Kesme kuvveti
r	Yarıçap
R	Yarıçap
R_i	i eksenine göre boyuna şişme momenti (sektör deviasyon momenti)
s	Eğrisel koordinat
$S_\omega(s)$	Sektörel statik moment (statik boyuna şişme momenti)
T	Kayma akımı
t	Kesit elemanın cıdar kalınlığı
T_ξ	Boyuna şişme kayma akımı
w	Uzama(boyuna öteleme)
x_M	Kayma merkezinin koordinatı
y_M	Kayma merkezinin koordinatı
z	Gemi boy eksen
$\Delta I_{y_{ik}}$	Burulma atalet momentindeki değişim
$\Delta R_{y_{ik}}$	Boyuna şişme fonksiyonundaki değişim
$\Delta S_{\omega_{ik}}$	Statik boyuna şişme momentindeki değişim
$\Delta \omega_{ik}$	Boyuna şişme fonksiyonundaki değişim
σ_z	Boyuna şişme normal gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
$v(z)$	Birim dönme açısı
$v'(z)$	Birim dönme açısının birinci türevi
$v''(z)$	Birim dönme açısının ikinci türevi
ω	Boyuna şişme(çarpılma) fonksiyonu
ω^*	Kayma merkezine göre ötelenmiş boyuna şişme fonksiyonu
ζ	Değişken
--	Birimsiz
Φ	Burulma fonksiyonu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Üniform burulma teorisi.....6
Şekil 2.2	Elips kesit için kayma gerilmeleri.....8
Şekil 2.3	İnce cıdarlı açık dikdörtgen profil.....11
Şekil 2.4	Dengede duran bir cismin kayma akımları.....12
Şekil 2.5	İnce cıdarlı halka kesit için kayma gerilmesi ve kayma akımları.....13
Şekil 2.6	Çok hücreli ince cıdarlı halka enine kesit.....15
Şekil 2.7	Şişmenin engellendiği rijit enine kesit.....18
Şekil 2.8	Bir ucu ankastre bir ucu serbest uç olan I uzunluğunda bir kiriş.....23
Şekil 2.9	Boyuna şişme fonksiyonu gösterimi.....25
Şekil 2.10	Kayma merkezinin gösterimi.....27
Şekil 2.11	İnce cıdarlı açık daire profilin kayma merkezi.....27
Şekil 3.1	Gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi.....30
Şekil 3.2	Sabit gemi enine kesitine sahip dubanın yükü.....30
Şekil 3.3	İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi.....31
Şekil 3.4	İncelenen gemi enine kesitine sahip duba.....32
Şekil 3.5	$a=0$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....33
Şekil 3.6	$a=3500$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....33
Şekil 3.7	$a=4000$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....33
Şekil 3.8	$a=4500$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....34
Şekil 3.9	$a=5000$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....34
Şekil 3.10	$a=5500$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....34
Şekil 3.11	$a=15999$ mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....35
Şekil 3.12	İncelenen gemi enine kestine sahip dubanın en kesit resmi.....35
Şekil 3.13	İncelenen gemi enine kesitine sahip duba.....36
Şekil 4.1	$a=0$ mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....37
Şekil 4.2	$a=3500$ mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....41
Şekil 4.3	$a=4000$ mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....44
Şekil 4.4	$a=4500$ mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....47

Şekil 4.5	a=5000 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....	51
Şekil 4.6	a=5500 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....	54
Şekil 4.7	a=15999 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....	57
Şekil 4.8	a=15999 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi.....	58
Şekil 4.9	$t_{ik}, p_{ik}, \Psi_{ik}$ 'nın sabit olduğu ince cıdarlı dikdörtgen profili.....	64
Şekil 4.10	a=0 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	87
Şekil 4.11	a=3500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	94
Şekil 4.12	a=4000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	100
Şekil 4.13	a=4500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	107
Şekil 4.14	a=5000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	113
Şekil 4.15	a=5500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	120
Şekil 4.16	a=15999 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi.....	127

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Üniform burulma teorisinde güverte genişliğine bağlı sonuçlar.....63
Çizelge 4.2	$a=0$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....66
Çizelge 4.3	$a=0$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....66
Çizelge 4.4	$a=0$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....67
Çizelge 4.5	$a=0$ mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....68
Çizelge 4.6	$a=3500$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....68
Çizelge 4.7	$a=3500$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....69
Çizelge 4.8	$a=3500$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....70
Çizelge 4.9	$a=3500$ mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....70
Çizelge 4.10	$a=4000$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....71
Çizelge 4.11	$a=4000$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....72
Çizelge 4.12	$a=4000$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....73
Çizelge 4.13	$a=4000$ mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....73
Çizelge 4.14	$a=4500$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....74
Çizelge 4.15	$a=4500$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....74
Çizelge 4.16	$a=4500$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....76
Çizelge 4.17	$a=4500$ mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....76
Çizelge 4.18	$a=5000$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....77
Çizelge 4.19	$a=5000$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....77
Çizelge 4.20	$a=5000$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....79
Çizelge 4.21	$a=5000$ mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....79
Çizelge 4.22	$a=5500$ mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....80
Çizelge 4.23	$a=5500$ mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....80

Çizelge 4.24	a=5500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....	82
Çizelge 4.25	a=5500 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....	82
Çizelge 4.26	a=15999 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları.....	83
Çizelge 4.27	a=15999 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması.....	83
Çizelge 4.28	a=15999 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı).....	85
Çizelge 4.29	a=15999 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması.....	85
Çizelge 4.30	Üniform olmayan burulma teorisinde toplam burulma momentinin sabit olduğu durumda güverte genişliğine bağlı sonuçlar.....	86
Çizelge 4.31	a=0 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	87
Çizelge 4.32	a=0 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri.....	88
Çizelge 4.33	a=0 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	89
Çizelge 4.34	a=0 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	89
Çizelge 4.35	a=0 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	90
Çizelge 4.36	a=0 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	90
Çizelge 4.37	a=0 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	90
Çizelge 4.38	a=0 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	91
Çizelge 4.39	a=0 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	91
Çizelge 4.40	a=0 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	91
Çizelge 4.41	a=0 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	92
Çizelge 4.42	a=0 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	92
Çizelge 4.43	a=0 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	92
Çizelge 4.44	a=0 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	93
Çizelge 4.45	a=3500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	93
Çizelge 4.46	a=3500 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri.....	95
Çizelge 4.47	a=3500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	95
Çizelge 4.48	a=3500 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	96
Çizelge 4.49	a=3500 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	96
Çizelge 4.50	a=3500 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	97

Çizelge 4.51	a=3500 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	97
Çizelge 4.52	a=3500 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	97
Çizelge 4.53	a=3500 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	98
Çizelge 4.54	a=3500 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	98
Çizelge 4.55	a=3500 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	98
Çizelge 4.56	a=3500 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	99
Çizelge 4.57	a=3500 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	99
Çizelge 4.58	a=3500 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	99
Çizelge 4.59	a=4000 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	100
Çizelge 4.60	a=4000 mm için kesitlerdeki $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ değerleri.....	101
Çizelge 4.61	a=4000 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	102
Çizelge 4.62	a=4000 mm için $z/L=0$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	102
Çizelge 4.63	a=4000 mm için $z/L=0,1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	103
Çizelge 4.64	a=4000 mm için $z/L=0,2$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	103
Çizelge 4.65	a=4000 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	103
Çizelge 4.66	a=4000 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	104
Çizelge 4.67	a=4000 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	104
Çizelge 4.68	a=4000 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	104
Çizelge 4.69	a=4000 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	105
Çizelge 4.70	a=4000 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	105
Çizelge 4.71	a=4000 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	105
Çizelge 4.72	a=4000 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	106
Çizelge 4.73	a=4500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	106
Çizelge 4.74	a=4500 mm için kesitlerdeki $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ değerleri.....	108
Çizelge 4.75	a=4500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	108

Çizelge 4.76	a=4500 mm için $z/L=0$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	109
Çizelge 4.77	a=4500 mm için $z/L=0,1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	109
Çizelge 4.78	a=4500 mm için $z/L=0,2$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	109
Çizelge 4.79	a=4500 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	110
Çizelge 4.80	a=4500 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	110
Çizelge 4.81	a=4500 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	110
Çizelge 4.82	a=4500 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	111
Çizelge 4.83	a=4500 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	111
Çizelge 4.84	a=4500 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	111
Çizelge 4.85	a=4500 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	112
Çizelge 4.86	a=4500 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	112
Çizelge 4.87	a=5000 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	113
Çizelge 4.88	a=5000 mm için kesitlerdeki $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ değerleri.....	114
Çizelge 4.89	a=5000 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	115
Çizelge 4.90	a=5000 mm için $z/L=0$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	115
Çizelge 4.91	a=5000 mm için $z/L=0,1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	116
Çizelge 4.92	a=5000 mm için $z/L=0,2$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	116
Çizelge 4.93	a=5000 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	116
Çizelge 4.94	a=5000 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	117
Çizelge 4.95	a=5000 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	117
Çizelge 4.96	a=5000 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	117
Çizelge 4.97	a=5000 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	118
Çizelge 4.98	a=5000 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	118
Çizelge 4.99	a=5000 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	118

Çizelge 4.100	a=5000 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	119
Çizelge 4.101	a=5500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	119
Çizelge 4.102	a=5500 mm için kesitlerdeki $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ değerleri.....	121
Çizelge 4.103	a=5500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	121
Çizelge 4.104	a=5500 mm için $z/L=0$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	122
Çizelge 4.105	a=5500 mm için $z/L=0,1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	122
Çizelge 4.106	a=5500 mm için $z/L=0,2$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	123
Çizelge 4.107	a=5500 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	123
Çizelge 4.108	a=5500 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	123
Çizelge 4.109	a=5500 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	124
Çizelge 4.110	a=5500 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	124
Çizelge 4.111	a=5500 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	124
Çizelge 4.112	a=5500 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	125
Çizelge 4.113	a=5500 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	125
Çizelge 4.114	a=5500 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	125
Çizelge 4.115	a=15999 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti.....	126
Çizelge 4.116	a=15999 mm için kesitlerdeki $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ değerleri.....	128
Çizelge 4.117	a=15999 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri.....	128
Çizelge 4.118	a=15999 mm için $z/L=0$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	129
Çizelge 4.119	a=15999 mm için $z/L=0,1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	129
Çizelge 4.120	a=15999 mm için $z/L=0,2$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	130
Çizelge 4.121	a=15999 mm için $z/L=0,3$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	130
Çizelge 4.122	a=15999 mm için $z/L=0,4$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	130
Çizelge 4.123	a=15999 mm için $z/L=0,5$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	131
Çizelge 4.124	a=15999 mm için $z/L=0,6$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	131

Çizelge 4.125	a=15999 mm için $z/L=0,7$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	131
Çizelge 4.126	a=15999 mm için $z/L=0,8$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	132
Çizelge 4.127	a=15999 mm için $z/L=0,9$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	132
Çizelge 4.128	a=15999 mm için $z/L=1$ kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri.....	132

GÜVERTE GENİŞLİĞİNİN BURULMA ZORLAMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Gemilerde burulma momentleri, özellikle, gemi omuzluklarından gelen dalgalardan ve gemi boy eksenine göre simetrik olmayan yüklemelerden oluşurlar. Konteyner gemileri gibi büyük güverte açıklıklı gemilerde, bu burulma momentlerinden kaynaklanan kayma gerilmeleri, dikkate değer büyüklüklere ulaşmaktadır. Gemi omuzluklarından gelen dalgaların oluşturduğu burulma momenti, gemi boyunca değişmektedir. Ayrıca, gemi ambarlarının başladığı enine kesit oldukça rijit olduğu için, gemi boy eksenindeki şişmeler engellenmektedir. Bu nedenlerle, üniform burulma teorisinin sabit burulma momenti ve enine kesitlerin boy ekseninde serbest şişebilmesi ön şartları gerçekleşmemekte, gemi enine kesitinde kayma gerilmelerinin yanında, gemi boyu ekseninde şişme normal gerilmeleri oluşmaktadır. Bu çalışmada, gemi boy eksenine eğik gelen dalgaların ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu burulma momenti etkisindeki gemi enine kesitine sahip bir dubada oluşan kayma gerilmelerine ve boyuna şişme normal gerilmelerine, güverte genişliğinin (a) etkisi incelenmiştir.

Bu amaç için, duba, statik burulma momenti, dalgalardan kaynaklanan burulma momenti ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu burulma momenti etkisinde bırakılmıştır. Ardından da, üniform burulma teorisi ve üniform olmayan burulma teorisi baz alınarak, güverte genişliğinin gemi genişliğine oranının (a/B) 0 (tam açık kesit); 0,219; 0,250; 0,281; 0,313; 0,344; 0,999 (yaklaşık kapalı enine kesit) veya 1 (tam kapalı

enine kesit) olması durumları için kayma gerilmelerinin ve normal gerilmelerin enine kesitteki değerleri hesaplanmıştır.

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

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE DECK WIDTH ON TORSIONAL
FORCE**

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

The torsional moments in ships, in particular, is formed by the incoming waves from the ship bow and the loading that is not symmetric with respect to ship length axis. In ships which have large deck openness, such as container ships, the shear stress that is caused by the torsional moment reaches there markable magnitudes. The torsional moment formed by the incoming waves from the ship bows varies through out the ship. In addition, the bloating at the ship length axis is prevented because the transverse section where the cargo area of the ship starts is rigid. For these reasons, prerequisites for the constant torsional moment of the uniform torsional the oryand the independent bloating of the transverse sections at the length axis are not provided. Addition to the shear stress at the ship transverse section, the bloating normal stress occurs at the ship length axis. The effect of the deck width for shear and bloating normal stress that is produced the torsional moment, which is formed by the incoming waves from the ship bow and the loading that is not symmetric with respect to ship length axis, in barges which have ship section, are investigated in this thesis.

For these aim, the barge is effected by statical torsional moment, torsional moment which is formed by waves and torsional moment which is produced nonsymmetrical load. Then values of shear and normal stress are calculated for ratio between deck width and ship beam(a/B), which are 0(opened section); 0,219; 0,250; 0,281; 0,313;

0,344; 0,999(approximate closed section) and 1(closed section), according to uniform torsional theory and nonuniform torsional theory.

Keywords: Ship strength, ship structural elements, ships which have large deck openness

1.1 Literatür Özeti

Gemilerin mukavemetinin incelenmesinde; geminin kiriş olarak kabul edildiği boyuna mukavemet, dip-posta-kemere çerçevesinin yükler altında incelendiği enine mukavemet, gemideki levhaların incelendiği levha mukavemeti ve özellikle enine kesitlerinde geniş açıklıklar bulunan gemilerde burulma mukavemeti, en önemli konulardır. Cisimler; dış yükler karşısında normal gerilmelere neden olan eğilme momenti yalın zorlaması, kayma gerilmesine neden olan kesme kuvveti yalın zorlaması, normal gerilmelere neden olan eksenel kuvvet yalın zorlaması ve kayma gerilmelerine neden olan burulma momenti yalın zorlamasına maruz kalırlar. Bir kiriş olarak modellenen gemilerde, hem bu dört yalın zorlama hem de bunların bir arada olmasıyla oluşan bileşik zorlama durumlarıyla karşılaşılır. Bazı durumlarda, sadece bir tek yalın zorlama söz konusu olduğu halde, iki gerilme durumu birden olabilir. Gemilerin burulma yalın zorlaması, bu duruma en iyi örnektir. Burulmaya zorlanan bir gemi, sabit burulma momenti altındaysa ve enine kesitler boy yönünde serbestçe şişebiliyorlarsa, sadece kayma gerilmeleri oluşurken, burulma momenti gemi boyunca değişiyorsa veya enine kesitlerin boy yönündeki şişmeleri engellenirse, hem kayma gerilmeleri hem de normal gerilmeler oluşur.

Deniz taşımacılığının önem kazanması ile, büyük güverte açıklı konteyner gemilerinin inşaatı da artmaktadır [1]. Büyük güverte açıklıklı gemilerin en büyük mukavemet problemi, kayma gerilmelerinin kritik değerlere ulaşabilmesidir. Kayma gerilmelerinin gemi mukavemeti alanındaki ilk uygulamalarına 1924 yılında rastlanılmakta olup [2], bu

alandaki çalışmalar son yıllarda analitik, deneysel ve nümerik yöntemleri içerecek şekilde kompozit malzemelerin incelenmesine kadar genişlemiştir [3]. Geniş ambar ağızlı gemilerin mukavemet yönünden incelendiğı bir çalışmada, statik olarak belirsiz olan kapalı kesitlerdeki burulma momenti gerilmeleri ve kesme kuvveti gerilmelerinin tayini araştırılmıştır [4].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, burulma momenti etkisi altında bulunan bir geminin güverte genişliğinin kayma gerilmelerine ve boyuna şişme normal gerilmelere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, 2. bölümde burulma probleminin diferansiyel denklemi, üniform burulma teorisi ve üniform olmayan burulma teorisi kapsamında çıkarılmıştır. Daha sonra, üniform burulma teorisine dayanan diferansiyel denklem sabit burulma momenti kabulü altında, üniform olmayan burulma teorisine dayanan diferansiyel denklem de sabit toplam burulma momenti kabulü ve değişken toplam burulma momenti kabulü altında çözölmüştür. 3. bölümde, incelenen gemi enine kesitli duba tanıtılmıştır. Üniform burulma teorisi ve üniform olmayan burulma teorisi için güverte genişliği parametre olarak belirlenmiştir. Üniform olmayan burulma teorisine göre yapılan incelemede burulma momenti olarak Türk Loydu tarafından verilen statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti hesaplanmış ve diferansiyel denklemde yerine yazabilmek için analitik olarak ifade edilmiştir. 4. bölümde güverte genişliğine bağlı olarak, üniform burulma teorisi ve üniform olmayan burulma teorisi çerçevesinde kayma gerilmeleri ve boyuna şişme normal gerilmeler hesaplanmıştır. Son bölümde ise, sonuçlar değerlendirilmiş ve yorum yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu alışma, geniş güverte açıklıklı gemilerde, burulma momentinin neden olduğu kayma gerilmeleri ve boyuna şişme normal gerilmelerinin, güverte genişliği arttıkça, yani kapalı enine kesite yaklaştıkça azaldığı öngörüsüne göre hazırlanmıştır. Bu öngörü için, inceleme, hem üniform burulma teorisine göre hem de üniform olmayan burulma teorisinin sabit burulma momenti ve değişken burulma momenti durumları için

yapılmıştır. Yapılan üç ayrı inceleme durumu için de sonuç, kapalı kesite yaklaşıldıkça kayma gerilmeleri ve boyuna şişme normal gerilmelerinin azalması yönünde olmuştur.

BÖLÜM 2

BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİ

Eğer boyuna şişme normal gerilmeleri varsa, yani σ_z mevcutsa, denge denklemleri gereği τ_s (kayma gerilmeleri) ve buna bağlı olarak T_s (boyuna şişme kayma akısı) da olacaktır.[5]

Denge denklemlerinden[6];

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} * t + \frac{\partial T}{\partial s} = 0 \quad (2.1)$$

bağıntısı integre edilerek;

$$\begin{aligned} \tau_s * t(s) = T_s = T_s(z, s) = T_0 - \int_0^s \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} * t(\zeta) * d\zeta &= - \int_0^s \frac{\partial \sigma_z(z, s)}{\partial z} * t(\zeta) * d\zeta \\ \Rightarrow T_s(z, s) = - \int_0^s E * v''(z) * \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta &= -E * v''(z) * \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta \end{aligned} \quad (2.2)$$

bulunur.

Burada kısmi integrasyon;

$$\int_0^s u(\eta) * v'(\eta) = u(\eta) * v(\eta) \Big|_0^s - \int_0^s u'(\eta) * v(\eta) * d\eta \quad (2.3)$$

bağıntısıyla çözülür ve

$$-p(s) * ds = d\omega^*(s) \quad (2.4)$$

eşitliğinden yararlanılarak;

T_s' den kaynaklanan burulma momenti;

$$M_s = \int_0^l T_s(s) * p(s) * ds = - \int_0^l p(s) * ds * [-E * v''(z) * - \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] \quad (2.5)$$

$$= -E * v''(z) * \int_0^l p(s) ds * \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta = E * v''(z) * \int_0^l [\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] * d\omega^* \quad (2.6)$$

eşitliği ile verilir. Burada;

$$u = [\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] \text{ ve } v' = d\omega^* \text{ olduğuna göre,}$$

$$M_s = E * v''(z) * [\omega^*(s) * \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta - \int_0^l (\omega^*(s))^2 * t(s) * ds] \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} &= -E * v''(z) * \int_A (\omega^*(s))^2 * t(s) * ds \\ &= -E * v''(z) * \int_A (\omega^*(s))^2 * dA \end{aligned} \quad (2.8)$$

olur ve (2.8) eşitliğinde;

$$C_s^* = \int_A (\omega^*(s))^2 * dA \quad (2.9)$$

bağıntısına kayma gerilmelerine göre boyuna şişme direnci denirse, T_s' den kaynaklanan burulma momenti;

$$M_s(z) = -E * C_s^* * v''(z) \quad (2.10)$$

olur. Toplam burulma momenti ise;

$$M_b^{toplamlam} = M_b^{uniform} + M_s = G * I_b * v(z) - E * C_s^* * v''(z) \quad (2.11)$$

olarak bulunur. Buradan problemin diferansiyel denklemi;

$$\Rightarrow v''(z) - \frac{G * I_b}{E * C_s^*} * v(z) = v''(z) - \alpha^2 * v(z) = - \frac{M_b^{toplamlam}}{E * C_s^*} \quad (2.12)$$

olarak bulunur ve diferansiyel denklemdeki

$$\alpha^2 = \frac{G * I_b}{E * C_s} \text{ 'dir.} \quad (2.13)$$

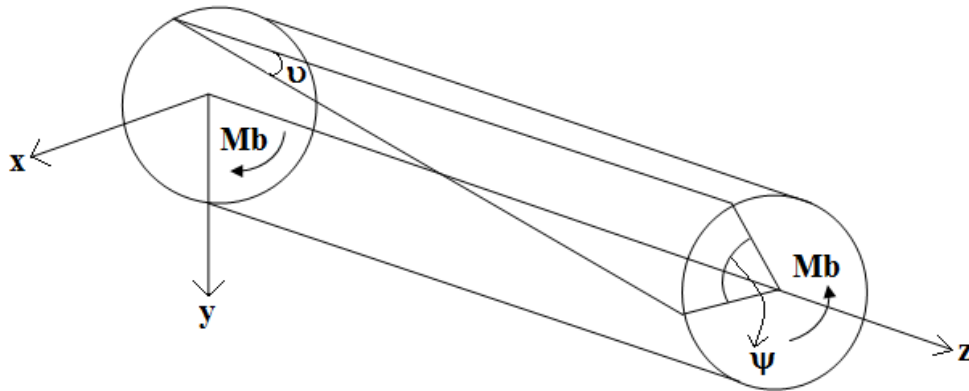
2.1 Üniform Burulma (St. Venant Burulması) Teorisi

Üniform burulma teorisinde yukarıdaki diferansiyel denklemde verilen $\nu(z)$ ifadesi sabit olduğundan, $\nu''(z)$ ifadesinin değeri 0 olacağından ve bu teoride T_s den kaynaklanan burulma momenti $M_s=0$ olacağından, bağıntı

$$M_b^{uniform} = G * I_b * \nu(z) \quad (2.14)$$

halini alacaktır.

Üniform burulmada (St. Venant Burulması), enine kesit ile burulma momenti yükü sabittir ve uç enine kesitlerin boy ekseninde serbestçe uzayabilmeleri ön şarttır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Üniform burulma teorisi

$\Psi(z)$, kesit dönme açısı olup z eksenindeki enine kesitin $z=0$ 'daki kesite göre dönme açısıdır.

$$\frac{d\Psi(z)}{dz} = \nu \text{ değeri sabit olduğundan;}$$

$$\Psi(z) = \nu * z \quad (2.15)$$

bağıntısı bulunur.

$\Phi = \Phi(x, y)$ burulma fonksiyonu olup,

$$\tau_{zx} = G * \nu * \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad (2.16)$$

z ekseninin x doğrultusundaki kayma gerilmesi ve

$$\tau_{zy} = -G * \nu * \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (2.17)$$

z ekseninin y doğrultusundaki kayma gerilmesi olacaktır. Bu burulma fonksiyonu, herhangi bir enine kesit için;

tüm enine kesitte ve sınırdaki $\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = -2$ ve sınırdaki $\Phi = 0$ şartlarını sağlamalıdır.

Böylece burulma momenti;

$$M_b = M_z = 2 * G * \nu * \iint_A \Phi(x, y) * dx * dy = G * \nu * I_b \quad (2.18)$$

olur. Burada,

$$I_b = 2 \iint_A \Phi(x, y) * dx * dy \quad (2.19)$$

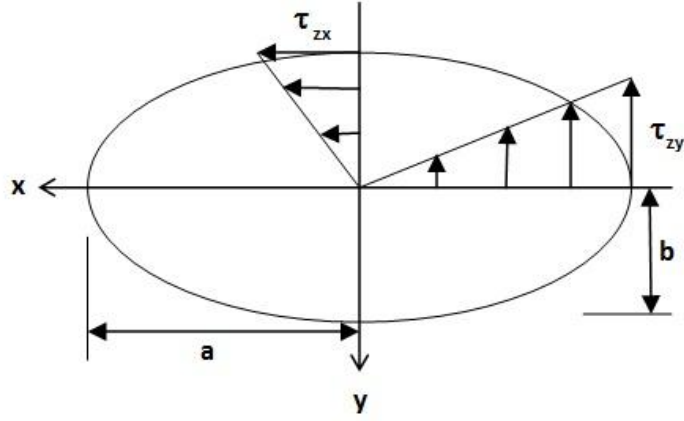
burulma atalet momenti,

$$\nu = \frac{M_b}{G * I_b} \quad (2.20)$$

birim dönme açısı ve $G * I_b$ ise burulma rijitliğidir.

Burulma sınır değer probleminin, çok az basit enine kesitler için tam çözümü vardır.

İlk olarak elips enine kesiti ele alınacak olursa, bu kesit için burulma sınır probleminin tam çözümünün olduğu görülür.



Şekil 2.2 Elips kesit için kayma gerilmeleri

Elips için burulma fonksiyonu

$$\Phi(x, y) = \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}\right) * \frac{a^2 * b^2}{a^2 + b^2} \quad (2.21)$$

olup, burulma atalet momenti ise

$$I_b = \frac{a^3 * b^3 * \Pi}{a^2 + b^2} \quad (2.22)$$

olur.

Daire enine kesit için de, burulma sınır probleminin tam çözümü vardır. Burada, $a=b=R$ yarıçaptır.

Daire için burulma fonksiyonu

$$\Phi(x, y) = \left(1 - \frac{x^2}{R^2} - \frac{y^2}{R^2}\right) * \frac{R^2}{2} = \frac{1}{2}(R^2 - x^2 - y^2) \quad (2.23)$$

olup, burulma atalet momenti ise

$$I_b = \frac{R^4 * \Pi}{2} \quad (2.24)$$

olur. Gerilmeler

$$\tau_{zx} = -G * \nu * y \quad (2.25)$$

$$\tau_{zy} = G * \nu * x \quad (2.26)$$

olur. Buradan hareketle bileşke gerilme,

$$\tau = \sqrt{\tau_{zx}^2 + \tau_{zy}^2} = G * \nu * \sqrt{x^2 + y^2} = G * \nu * r \quad (2.27)$$

olur.

Maksimum gerilme,

$$\tau_{maks}(r = R) = G * \nu * R \quad (2.28)$$

bağıntısında $\nu = \frac{M_b}{G * I_b} = \frac{2 * M_b}{G * R^4 * \Pi}$ eşitliği yerine konursa, maksimum gerilme

$$\tau_{maks}(r = R) = G * \nu * R = \frac{2 * M_b}{\Pi * R^3} \quad (2.29)$$

olarak bulunur.

Dikdörtgen enine kesit için de, burulma sınır probleminin tam çözümü vardır.

Dikdörtgen için burulma fonksiyonu ($a \neq b$);

$$\Phi(x, y) = a * x - x^2 - \frac{8 * a^2}{\Pi^3} * \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\cosh(\lambda_n * y) * \sin(\lambda_n * x)}{n^3 * \cosh(\lambda_n * \frac{b}{2})} \quad (2.30)$$

olup, burada $\lambda_n = \frac{\Pi * n}{a}$ 'dır. Burulma atalet momenti ise

$$I_b \approx \frac{a^3 * b}{3} * (1 - 0,627 * \frac{a}{b}) \quad (2.31)$$

olur.

Kare enine kesit için de, burulma sınır probleminin tam çözümü vardır. Aynı şekilde,

kare enine kesit için burulma fonksiyonu ($a = b$);

$$\Phi(x, y) = a * x - x^2 - \frac{8 * a^2}{\Pi^3} * \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\cosh(\lambda_n * y) * \sin(\lambda_n * x)}{n^3 * \cosh(\lambda_n * \frac{a}{2})} \quad (2.32)$$

olup, burulma atalet momenti ise

$$I_b \approx a^4 * 0,142\bar{3} \quad (2.33)$$

olur.

2.1.1 İnce Cıdarlı Açık Profillerin Burulması

x ekseninde a ve y ekseninde b yarıçap uzunluğuna sahip bir elips için burulma fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$\Phi(x, y) = \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}\right) * \frac{a^2 * b^2}{a^2 + b^2} \quad (2.34)$$

Bu problem, çok dar bir dikdörtgen için çözülürse ($b \rightarrow \infty$ ve a : sonlu);

$$\Phi(x) = \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}\right) * \frac{a^2 * b^2}{a^2 + b^2} \quad (2.35)$$

ifadesindeki

$$-\frac{y^2}{b^2} = -\frac{y^2}{\infty^2} \approx 0 \quad (2.36)$$

$$\frac{a^2 * b^2}{a^2 + b^2} = \frac{a^2 * \infty^2}{a^2 + \infty^2} \approx a^2 \quad (2.37)$$

olacağından, burulma fonksiyonu

$$\Phi(x) = a^2 - x^2 \quad (2.38)$$

olarak elde edilir. Böylece burulma sınır değer problemi, 2. mertebe adi diferansiyel denklem ile ifade edilir. Bu diferansiyel denklem tüm enine kesitte ve sınırda

$$\frac{d^2\Phi}{dx^2} = -2 \quad \text{şartı ile, sınırda yani } x = \pm a = \pm \frac{t}{2} \text{ değerlerinde } \Phi(x) = 0 \text{ şartını}$$

sağlamalıdır. Bu diferansiyel denklemin iki kez integre edilmesiyle

$$\frac{d\Phi}{dx} = -2 * x + c_1 \quad \text{ve} \quad (2.39)$$

$$\Phi(x) = -x^2 + c_1 * x + c_2 \quad (2.40)$$

denklemleri bulunur. Sınır şartlarından;

$$\Phi\left(x = \frac{t}{2}\right) = -\frac{t^2}{4} + c_1 * \frac{t}{2} + c_2 = 0 \quad (2.41)$$

$$\Phi(x = -\frac{t}{2}) = -\frac{t^2}{4} - c_1 * \frac{t}{2} + c_2 = 0 \quad (2.42)$$

denklemleri yardımıyla, katsayılar $c_1 = 0$ ve $c_2 = \frac{t^2}{4}$ olarak bulunur. Burulma sınır değer problemi ise buradan hareketle

$$\Phi(x) = -x^2 + \frac{t^2}{4} \quad (2.43)$$

olmaktadır. Gerilme değerleri ise,

$$\tau_{zx} = \frac{d\Phi}{dx} * G * \nu = 0 \quad (2.44)$$

$$\tau_{zy} = -\frac{d\Phi}{dy} * G * \nu = +2 * G * \nu * x \quad (2.45)$$

olacaktır. Maksimum gerilme $x = \pm \frac{t}{2}$ 'de olacağından

$$|\tau|_{maks} = 2 * G * \nu * \frac{t}{2} = \frac{M_b}{I_b} * t \quad (2.46)$$

olur.



Şekil 2.3 İnce cıdarlı açık dikdörtgen profil

Örnek olarak, Şekil 2.3'de ince cıdarlı açık dikdörtgen bir profil verilmiştir. Bu profil için burulma atalet momenti;

$$I_b^{açık} = 2 \iint_A \Phi(x) * dx * dy = 2 \int_{-t/2}^{t/2} (-x^2 + \frac{t^2}{4}) * dx * \int_{-L/2}^{L/2} dy \quad (2.47)$$

$$= 4 * L * \int_0^{t/2} \left(-x^2 + \frac{t^2}{4} \right) dx = 4 * L \left(\frac{x^3}{4} - \frac{x^3}{3} \right) \int_0^{t/2} \quad (2.48)$$

$$= \frac{1}{3} * L * t^3 \quad (2.49)$$

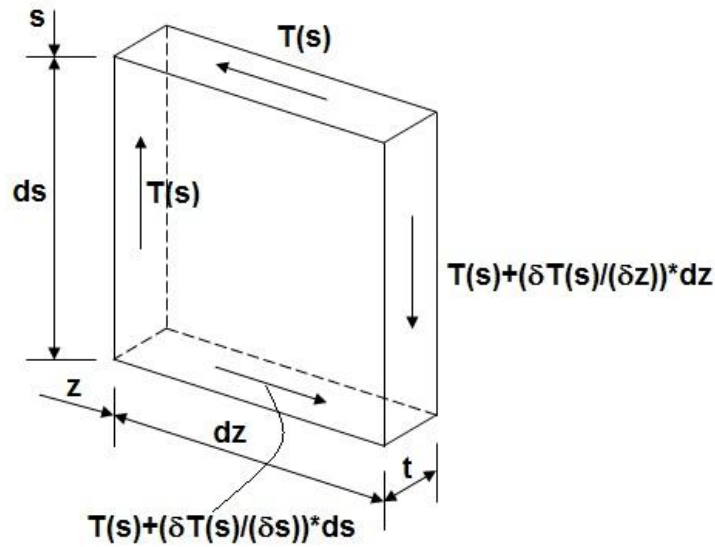
olarak bulunur.

Maksimum gerilme ise $y = \pm \frac{t}{2}$ de oluşur ve

$$|\tau|_{maks} = \frac{3 * M_b}{t^2} \quad (2.50)$$

olacaktır.

2.1.2 Tek Hücreli İnce Cıdarlı Kapalı Profillerde Burulma



Şekil 2.4 Dengede duran bir cismin kayma akımları

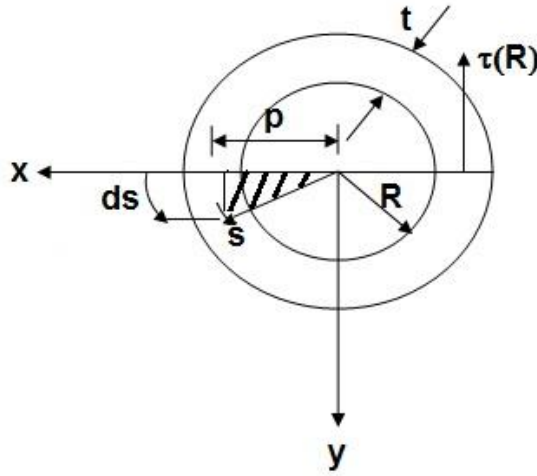
Şekil 2.4’de, dengede duran bir cismin kayma akımları gösterilmiştir. Cisim dengede olduğundan, $\sum F_{zi} = 0$ ‘dır. Buradan hareketle;

$$-T(s) * dz + \left[T(s) + \frac{\partial T(s)}{\partial s} ds \right] * dz = 0, \quad (2.51)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial T(s)}{\partial s} ds * dz = 0, \quad (2.52)$$

$$\Rightarrow T(s) = t(s) * \tau(s) \quad (2.53)$$

olur ve bu da sabittir.



Şekil 2.5 İnce cıdarlı halka kesit için kayma gerilmesi ve kayma akımları

Şekil 2.5’de, kayma gerilmesi ve kayma akımları gösterilmiştir. Buna göre, burulma momenti

$$dM_b = T * ds * p = T * 2 * d\bar{A} \quad (2.54)$$

olurken, bu bağıntıdaki, $d\bar{A} = \frac{p * ds}{2}$, $T * ds$ kuvvet ve $ds * p$ ise üçgen alanının iki katı olmaktadır. Buradan hareketle burulma momenti;

$$M_b = T \oint p ds = 2 * T \int_A d\bar{A} = 2 * T * \bar{A} \quad (1. \text{Bredt Formülü}) \quad (2.55)$$

olarak bulunur. Bu bağıntıdaki $\bar{A}$ ise, profil orta hattının içinde kalan alandır. Bu durumda kayma gerilmesi ise,

$$\tau(s) = \frac{T(s)}{t(s)} = \frac{M_b}{2 * \bar{A} * t(s)} \quad (2.56)$$

olur. Kayma gerilmeleri olduğunda, genel olarak, enine kesit yüzeyinde kesit düzlemine dik z eksenine yönünde şişme olur. St. Venant (üniform burulma) burulmasının özelliği, boy doğrultusunda burulma momentinin sabit olmasıydı. Bu durumda bu şişme (çarpılma) z ’nin fonksiyonu değildir ve şişme (çarpılma) fonksiyonu $\omega(x, y, z)$ genel halinden $\omega(x, y)$ haline geçer. Bu durumda z yönündeki uzama,

$$w(x, y) = \nu^* \omega(x, y) \quad (2.57)$$

olur. Şişme fonksiyonu sadece enine kesite bağlı olduğundan, enine kesitin boyu doğrultusundaki uzamasını x ve y 'ye bağlı verir. Böylece gerilmeler,

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = G^* \nu^* \left(x + \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \quad (2.58)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = -G^* \nu^* \left(y + \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) \quad (2.59)$$

olur. Toplam çevresel uzunluğu l olan ince cidalı halka kesitte $dy=ds$ ve $x=p$, $dx=ds$ ve $y=p$ için gerilmeler;

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = G^* \nu^* \left(p + \frac{d\omega}{ds} \right) \quad (2.60)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = -G^* \nu^* \left(p + \frac{d\omega}{ds} \right) \quad (2.61)$$

olur. Buradan,

$$\frac{d\omega(s)}{ds} = \frac{\tau(s)}{G^* \nu} - p(s) \quad (2.62)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade integre edilirse,

$$\omega(s) = \frac{1}{G^* \nu} * \int_0^s \tau(\zeta) d\zeta - \int_0^s p(\zeta) d\zeta + \omega_0 \quad (2.63)$$

bulunur. Burada sınır şartlarından,

$$\omega(s=0) = \omega_0 \text{ ve } \omega(s=l) = \omega_0 + \frac{1}{G^* \nu} * \int_l^l \tau(s) ds - \int_l^l p(s) ds \text{ gelir. Yalnız } s=0 \text{ ve } s=l$$

aynı noktalar olduğundan $\omega(s=l) = \omega(s=0) = \omega_0$ olur. Eşitlik yazılırsa,

$$\omega_0 = \omega_0 + \frac{1}{G^* \nu} * \int_l^l \tau(s) ds - \int_l^l p(s) ds \quad (2.64)$$

olur ve

$$\Rightarrow \int_I \tau(s) ds = G * \nu * \int_I p(s) ds \Rightarrow \nu = \frac{\int_I \tau(s) ds}{G * \int_I p(s) ds} = \frac{M_b}{4 * G * \bar{A}^2} * \int_I \frac{ds}{t(s)} \quad (2.65)$$

2. Bredt Formülü bulunur. Buradan hareketle, tek hücreli ince cidarlı halka kesit için aşağıdaki burulma atalet momenti elde edilir:

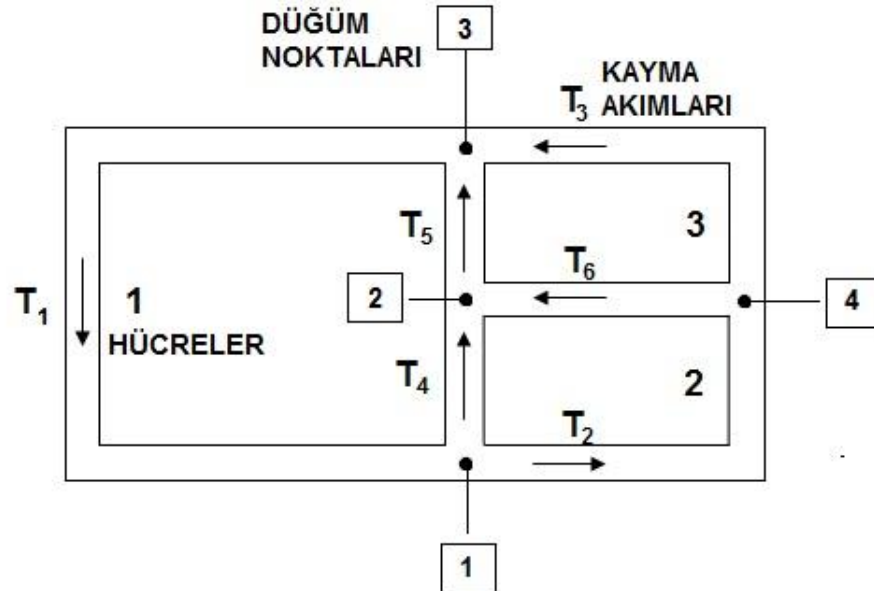
$$I_b = \frac{M_b}{G * \nu} = \frac{M_b * 4 * G * \bar{A}^2}{G * M_b * \int_I \frac{ds}{t(s)}} = \frac{4 * \bar{A}^2}{\int_I \frac{ds}{t(s)}} \quad (2.66)$$

Eğer halka kesit sabit cidar kalınlıklı ise;

$$\int_I \frac{ds}{t(s)} = \frac{l}{t} \quad (2.67)$$

olur.

2.1.3 Çok Hücreli İnce Cidarlı Halka Enine Kesitlerde Burulma



Şekil 2.6 Çok hücreli ince cidarlı halka enine kesit

Şekil 2.6'da çok hücreli ince cidarlı halka enine kesit görülmektedir. Bu halka kesitlerde işlem yapabilmek için, bazı şartlar sağlanmak zorundadır. Bu şartlar şunlardır:

- Her hücrenin kayma akımı vardır. T_1, T_2, T_3
- Hücre kayma akımlarının yönleri aynıdır.
- Düğüm noktalarında (1,2,3,4), giren kayma akımları çıkan kayma akımlarına eşit olmak zorundadır. $T_1=T_2+T_4$

Burada i. hücrenin burulma momenti;

$$M_b^{(i)} = 2 * T_i * \overline{A_i} \quad (2.68)$$

ve toplam burulma momenti

$$M_b = \sum_{i=1}^n M_b^{(i)} = 2 * \sum_{i=1}^n T_i * \overline{A_i} \quad (2.69)$$

olarak bulunur. Üniform burulmada x-y düzleminde z doğrultusunda uzama olmadığı için, her hücrede ν birim dönme açısı aynı olacaktır. 2. Bredt Formülü'ne göre her i. hücre için;

$$\oint_l T_i(s) * \frac{ds}{t_i(s)} = 2 * G * \nu * \overline{A_i} \quad (2.70)$$

olur. Örneğin 2. hücre için hesaplamalar şu şekilde yapılır:

$$\oint_2 T(s) * \frac{ds}{t(s)} = T_2 * \int_1^4 \frac{ds}{t(s)} + (T_2 - T_3) * \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} + (T_2 - T_1) * \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} \quad (2.71)$$

$$= T_2 \left(\int_1^4 \frac{ds}{t(s)} + \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} + \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} \right) - T_3 * \int_4^2 \frac{ds}{t(s)} - T_1 * \int_2^1 \frac{ds}{t(s)} = 2 * G * \nu * \overline{A_2} \quad (2.72)$$

Bu şekilde kaç hücre, yani kaç bilinmeyen varsa, o kadar denklem elde edilir.

$$\Psi_i = \frac{T_i}{G * \nu * \overline{A}} \quad (2.73)$$

indirgenmiş kayma akımları ve

$$f_i = \frac{\overline{A_i}}{\overline{A}} \quad (2.74)$$

indirgenmiş hücre alanlarıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_n^{i'ninkomsuhücreleri} (\Psi_i * \int \frac{ds}{t(s)}) = 2 * f_i \quad (2.75)$$

bu bağıntı yardımıyla kaç hücre var ise, o kadar denklemden oluşan denklem sistemi oluşturulur. Burada $a_{ii} = \oint_i \frac{ds}{t(s)}$ diyagonal katsayılar ve $a_{ik} = a_{ki} = \oint_i \frac{ds}{t_{i,k}(s)}$ ara cıdar katsayıları olmak üzere,

$$a_{ii} * \Psi_i - \sum_k^{i'ninkomsuhücreleri} (a_{ik} * \Psi_k) = 2 * f_i \quad (2.76)$$

$i=1,2,3...n$ için n adet denklem elde edilir. Amaç, buradaki Ψ_i 'leri bulmaktır. Ψ_i 'lerin değerleri bulunduktan sonra, aşağıdaki bağıntılar yardımıyla sırasıyla burulma momenti, birim dönme açısı, burulma atalet momenti, kayma akımları ve son olarak da kayma gerilmeleri bulunur:

$$M_b = 2 * \sum_{i=1}^n G * \nu * \bar{A}_i * \Psi_i * \bar{A}_i * f_i = 2 * G * \nu * \bar{A}_i^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (\text{Burulma momenti}) \quad (2.77)$$

$$\nu = \frac{M_b}{2 * G * \bar{A}_i^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i} \quad (\text{Birim dönme açısı}) \quad (2.78)$$

$$I_b = \frac{M_b}{G * \nu} = 2 * \bar{A}_i^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (\text{Burulma atalet momenti}) \quad (2.79)$$

$$T_i = G * \nu * \bar{A}_i * \Psi_i \quad (\text{Kayma akımı}) \quad (2.80)$$

$$\tau_i = \frac{T_i}{t_i} = G * \nu * \bar{A}_i * \frac{\Psi_i}{t_i} \quad (\text{Kayma gerilmesi}) \quad (2.81)$$

Ara cıdarlar için yapılan hesaplamalarda ise,

$$\Psi_{ik} = \Psi_i - \Psi_k \quad (2.82)$$

bağıntısı kullanılır. Örneğin 1. hücrenin denklemleri yazılıyorsa, bu arada 1. ve 2. hücrenin ortak elemanı var ise, bu eleman için $i=1, k=2$ olur. Benzer şekilde, ara elemanların kayma akımları hesaplanırken

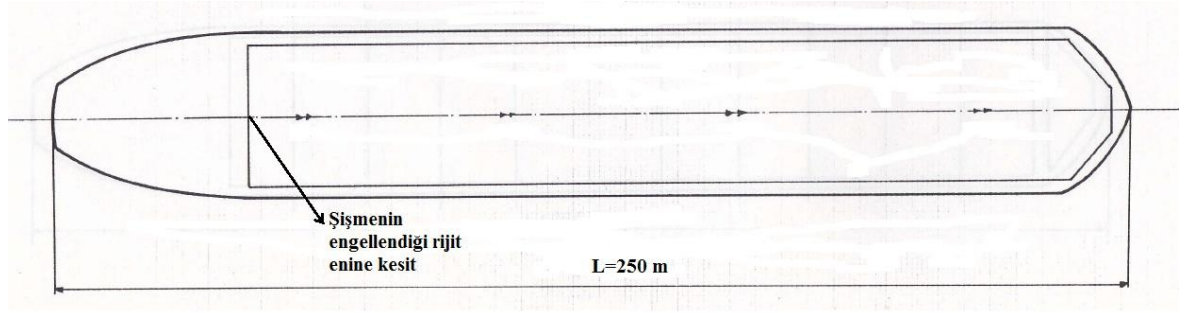
$$T_{ik} = G * \nu * \bar{A} * (\Psi_i - \Psi_k) \quad (2.83)$$

bağıntısı kullanılır.

2.2 Üniform Olmayan Burulma

Üniform burulma, sabit enine kesit (sabit burulma rijitliği, $G \cdot I_b$:sabit), sabit burulma momenti ve uç enine kesitlerin serbestçe uzayabilmesi ön şartlarına sahiptir. Yalnız uygulamada, sabit burulma momenti ve uç enine kesitlerin serbestçe uzayabilmesi (şişmesi) şartları genellikle sağlanamaz.

- Dolu enine kesit ve kapalı halka enine kesitlerde, üniform burulma teorisi, yeterli yaklaşıklık sağlamaktadır.
- Konteyner gemileri gibi ince cıdarlı açık profile sahip enine kesitlerde, üniform burulma teorisi yeterli yaklaşıklığı sağlamamaktadır.



Şekil 2.7 Şişmenin engellendiği rijit enine kesit

Şekil 2.7’de[6] görüldüğü üzere, şişmenin engellendiği rijit enine kesitin iki tarafında da burulma atalet momentleri farklıdır. Çünkü, bir taraf açık diğer taraf ise kapalı kısımdır. O bölgede enine kesitin serbest şişmesi engellenir ve boyuna şişme normal gerilmesi, σ_z oluşur. Daire ve dairesel halka kesitlerde boyuna şişme olmaz.

z doğrultusundaki uzama(boyuna öteleme) için;

$$w = w(z, x, y) = v(z) * \omega(x, y) \quad (2.84)$$

kabulü yapılsın. Burada, $\omega(x, y)$ boyuna şişme fonksiyonudur. İnce cıdarlı profiller için $\omega(x, y) \rightarrow \omega(s)$ olur ve açık profiller için,

$$\omega(s_0) = \omega_0 - \int_0^{s_0} p(s) * ds = \omega_0 - 2 * \bar{A}(s_0) \quad (2.85)$$

olur. Kapalı profiller için ise

$$\omega(s_0) = \frac{1}{G^* \nu} \int_0^{s_0} \tau(s)^* ds + \omega_0 - \int_0^{s_0} p(s)^* ds = \bar{A}^* \int_0^{s_0} \frac{\Psi(s)}{t(s)}^* d\zeta - \int_0^{s_0} p(s)^* ds + \omega_0 \quad (2.86)$$

olur. Kapalı profiller için boyuna şişme fonksiyonundaki $\int_0^{s_0} \tau(s)^* ds$ ifadesinin açık profillerde olmamasının sebebi, bu ifadenin açık profillerde “0” olmasıdır. Bu durumda boyuna öteleme (uzama),

$$w = w(z, s) = \nu(z)^* \omega(s) \quad (2.87)$$

haline gelir. Boyuna öteleme yani $w(z)$ var ise,

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{d\nu(z)}{dz}^* \omega(s) = \nu'(z)^* \omega(s) \quad (2.88)$$

olur. Boyuna şişme normal gerilmeleri de

$$\sigma_z = \sigma_z(z, s) = E^* \varepsilon_z = E^* \nu'(z)^* \omega(s) \quad (2.89)$$

olarak elde edilir. Eğer varsa, eğilme ve normal kuvvet gerilmeleri de buna eklenir. Ya da sadece genel olarak z' 'ye bağlı bir burulma momenti zorlaması varsa,

$$N_z = \int_A \sigma_z^* dA = 0 \quad (2.90)$$

$$M_x = \int_A y^* \sigma_z^* dA = 0 \quad (2.91)$$

$$M_y = - \int_A x^* \sigma_z^* dA = 0 \quad (2.92)$$

olacaktır. Bu durumda,

$$N_z = \int_A \sigma_z^* dA = \int_A E^* \nu'(z)^* \omega(s)^* dA = 0 \quad (2.93)$$

olur ve $E, \nu' = \text{sabit}$ olduğundan

$$N_z = \int_A \omega(s)^* dA = 0 \quad (2.94)$$

olur. Buradan boyuna şişme fonksiyonu

$$\int_A \omega(s) * dA = \int_A [\omega_0 - 2 * \bar{A}(s)] * dA = \omega_0 * \int_A dA - 2 * \int_A \bar{A}(s) * dA = 0 \quad (2.95)$$

ve $dA = t * ds$ olmak üzere

$$\omega_0 = \frac{2}{A} * \int_A \bar{A}(s) * t * ds \quad (2.96)$$

olarak bulunur. Benzer şekilde

$$M_x = \int_A y * \omega(s) * dA = 0 \text{ ve } M_y = - \int_A x * \omega(s) * dA = 0 \quad (2.97)$$

bulunur.

Boyuna şişme normal gerilme yani σ_z mevcut ise, z ekseninin kayma merkezi M'den geçmelidir.

Boyuna şişme fonksiyonu $\omega(s)$, kayma merkezi M'ye göre olmalıdır ve $\omega^*(s)$ olarak belirtilir. Eğer herhangi bir A noktasına göre boyuna şişme fonksiyonu $\omega^{(A)}$ eldeyse ve A'nın kayma merkezine uzaklıkları x_m ve y_m ise

$$\omega^*(s) = \omega^{(A)}(s) - y_m * x(s) + x_m * y(s) \quad (2.98)$$

dönüşüm formülü kullanılır.

2.2.1 Üniform Olmayan (Boyuna Şişmeli) Burulma Teorisinin Diferansiyel Denklemleri

Eğer boyuna şişme normal gerilmeleri varsa yani σ_z mevcutsa, denge denklemleri gereği τ_s (kayma gerilmeleri) ve buna bağlı olarak T_s (boyuna şişme kayma akısı) olacaktır [5].

Denge denklemlerinden [6];

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} * t + \frac{\partial T}{\partial s} = 0 \quad (2.99)$$

integre edilerek;

$$\tau_s * t(s) = T_s = T_s(z, s) = T_0 - \int_0^s \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} * t(\zeta) * d\zeta = - \int_0^s \frac{\partial \sigma_z(z, s)}{\partial z} * t(\zeta) * d\zeta$$

$$\Rightarrow T_s(z, s) = -\int_0^s E * v''(z) * \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta = -E * v''(z) * -\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta \quad (2.100)$$

olacaktır.

Burada kısmi integrasyon;

$$\int_0^s u(\eta) * v'(\eta) = u(\eta) * v(\eta) \int_0^s -\int_0^s u(\eta) * v(\eta) * d\eta \quad (2.101)$$

bağıntısıyla çözülür ve

$$-p(s) * ds = d\omega^*(s) \quad (2.102)$$

eşitliğinden yararlanılarak;

T_s' den kaynaklanan burulma momenti;

$$M_s = \int_0^l T_s(s) * p(s) * ds = -\int_0^l p(s) * ds * [-E * v''(z) * -\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] \quad (2.103)$$

$$= -E * v''(z) * \int_0^l p(s) ds * \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta \quad (2.104)$$

$$= E * v''(z) * \int_0^l [\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] * d\omega^* \quad (2.105)$$

eşitliği ile verilir. Burada;

$$u = [\int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta] \text{ ve } v' = d\omega^* \text{ olduğuna göre,}$$

$$M_s = E * v''(z) * [\omega^*(s) * \int_0^s \omega^*(\zeta) * t(\zeta) * d\zeta \int_0^l -\int_0^l (\omega^*(s))^2 * t(s) * ds] \quad (2.106)$$

$$\begin{aligned} &= -E * v''(z) * \int_A (\omega^*(s))^2 * t(s) * ds \\ &= -E * v''(z) * \int_A (\omega^*(s))^2 * dA \end{aligned} \quad (2.107)$$

olur ve (2.107) eşitliğinde;

$$C_s^* = \int_A (\omega^*(s))^2 * dA \quad (2.108)$$

bağıntısına kayma gerilmelerine göre boyuna şişme direnci denirse, T_s 'den kaynaklanan burulma momenti;

$$M_s(z) = -E^* C_s^* \cdot v''(z) \quad (2.109)$$

olur. Toplam burulma momenti ise;

$$M_b^{toplamlam} = M_b^{uniform} + M_s = G^* I_b \cdot v(z) - E^* C_s^* \cdot v''(z) \quad (2.110)$$

olarak bulunur. Buradan problemin diferansiyel denklemi;

$$\Rightarrow v''(z) - \frac{G^* I_b}{E^* C_s^*} \cdot v(z) = v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{toplamlam}}{E^* C_s^*} \quad (2.111)$$

olarak bulunur ve diferansiyel denklemdeki

$$\alpha^2 = \frac{G^* I_b}{E^* C_s^*}, \text{dir.} \quad (2.112)$$

$$v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{toplamlam}}{E^* C_s^*} \quad (2.113)$$

Olarak ifade edilen diferansiyel denklemin

çözüm kabulü: $v = v_h + v_o$

olacaktır. Homojen çözüm; $v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = 0$, denkleminde hareketle,

$$v_h(z) = A \cdot \cosh(\alpha \cdot z) + B \cdot \sinh(\alpha \cdot z)$$

$$v_h(z) = C \cdot e^{\alpha \cdot z} + D \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$

$$v_h'(z) = \alpha \cdot (C \cdot e^{\alpha \cdot z} - D \cdot e^{-\alpha \cdot z})$$

$$v_h''(z) = \alpha^2 \cdot (C \cdot e^{\alpha \cdot z} + D \cdot e^{-\alpha \cdot z})$$

olurken, C ve D sınır şartlarından belirlenir.

Özel çözüm için; $v_o(z) = h = \text{sabit} \Rightarrow v_o' = 0; v_o'' = 0$,

Olduğundan, diferansiyel denklemden

$$-\alpha^2 \cdot h = \frac{G^* I_b}{E^* C_s^*} \cdot h = -\frac{M_b^{toplamlam}}{E^* C_s^*} \Rightarrow h = \frac{M_b^{toplamlam}}{G^* I_b} \quad (2.114)$$

Elde edilir.

Bulunan üniform olmayan burulmanın diferansiyel denkleminin özel çözümü, iki durum için yapılacaktır.

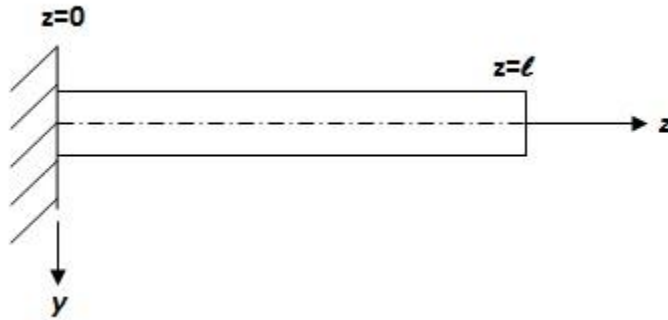
2.2.1.1 M_b^{Toplam} Sabit Olursa Özel Çözüm

Eğer M_b^{Toplam} sabit olursa,

$$v(z) = h + C * e^{\alpha * z} + D * e^{-\alpha * z} = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} + C * e^{\alpha * z} + D * e^{-\alpha * z} \quad (2.115)$$

olur. Boyuna şişmenin engellenmediği serbest uçta, $\sigma_z = 0 \rightarrow v'(z) = 0$ ve $v = sabit \neq 0$ bağıntıları geçerlidir. Eğer boyuna şişmenin engellendiği ankastre uç söz konusu ise;

$w = 0 \rightarrow v(z) = 0$ olur ve $v' \neq 0$ 'dir.



Şekil 2.8 Bir ucu ankastre bir ucu serbest uç olan l uzunluğunda bir kiriş

Şekil 2.8'de l uzunluğunda, bir ucu ankastre bir ucu serbest uç olan bir kiriş verilmiştir. Bu kiriş için sınır şartları $w(z=0) = 0$, $v(z=0) = 0$ ve $\sigma_z(z=l) = 0$ olduğundan $v'(z=l) = 0$ 'dır. Bu sınır şartları göz önüne alındığında;

$$v'(z=l) = 0 = 0 + \alpha * C * e^{\alpha * l} - \alpha * D * e^{-\alpha * l} = C * e^{\alpha * l} - C * e^{-\alpha * l} = 0 \quad (2.116)$$

olur ve buradan $C=0$,

$$v(z=0) = 0 = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} + D * e^0 \quad (2.117)$$

olacaktır. Buradan da $D = -\frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b}$ olarak bulunur. C ve D gerekli denklemlerde yerine konulduğunda ise,

$$\Rightarrow v(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * (1 - e^{-\alpha * z}) \quad (2.118)$$

$$\Rightarrow v'(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * \alpha * e^{-\alpha * z} \quad (2.119)$$

$$\sigma_z(z) = E * v'(z) * \omega^*(s) = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * E * \omega^*(s) * \alpha * e^{-\alpha * z} \quad (2.120)$$

olarak bulunur. Enine kesitin boyuna uzaması ise;

$$w(z, s) = v(z) * \omega^*(s) = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * (1 - e^{-\alpha * z}) * \omega^*(s) \quad (2.121)$$

bağıntısı ile bulunur. Açık profillerde boyuna şişme kayma akısı T_s ve boyuna şişme kayma gerilmeleri;

$$T_s(z, s_0) = \tau(z, s_0) * t(s_0) = -E * v''(z) * \int_0^{s_0} \omega^*(s) * t(s) * ds \quad (2.122)$$

$$T_s(z, s_0) = \frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * E * \alpha^2 * e^{-\alpha * z} * \int_0^{s_0} \omega^*(s) * t(s) * ds \quad (2.123)$$

bağıntıları ile bulunur.

2.2.1.2 M_b^{Toplam} Değişken Olursa Özel Çözüm

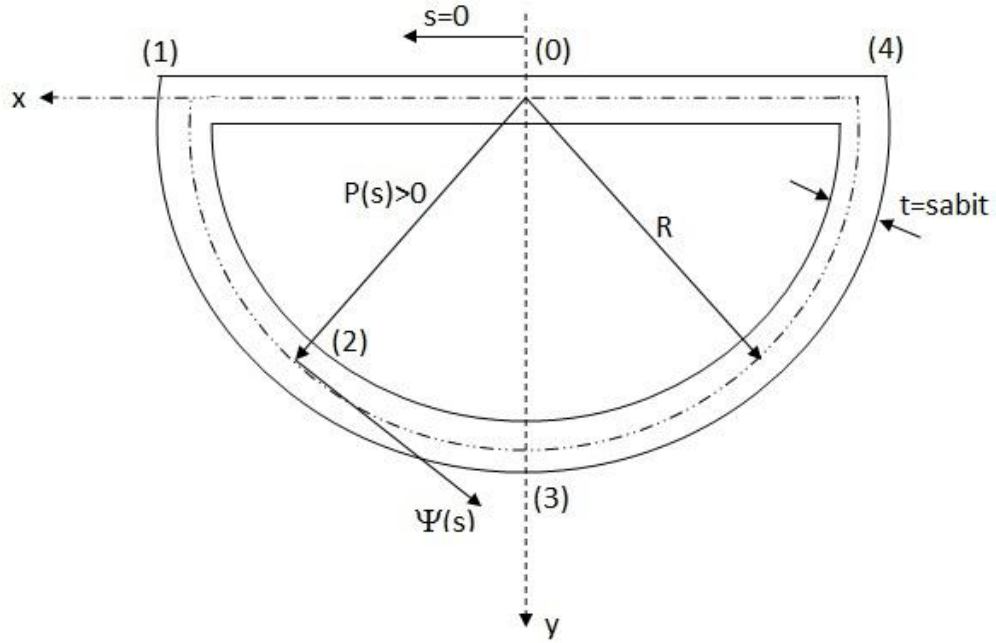
Eğer M_b^{Toplam} değişken olursa, üniform olmayan burulmanın diferansiyel denkleminde

$$v''(z) - \alpha^2 * v(z) = -\frac{M_b^{toplaml}}{E * C_s^*} \quad (2.124)$$

M_b^{Toplam} yerine, toplam burulma momentinin z eksenine bağlı ifadesi yazılır: Bu işlem yapıldıktan sonra sabit değerler de yerine yazılarak, diferansiyel denklem, önce

anlatılan şekilde çözülür ve buradan $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ ifadeleri bulunur. Daha sonra ise, boyuna şişme kayma akıları ve boyuna şişme kayma gerilmeleri elde edilir.

2.2.2 Boyuna Şişme Fonksiyonu Hesabı $[\omega(s)]$



Şekil 2.9 Boyuna şişme fonksiyonu gösterimi

Boyuna şişme fonksiyonu,

$$\omega(s) = \omega_0 + \bar{A} * \int_0^s \frac{\Psi(\zeta)}{t(\zeta)} * d\zeta - \int_0^s p(\zeta) * d\zeta \quad (2.125)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Şekil 2.9'da (0) noktasına göre aşağıdaki eşitlikler söz konusudur:

$$p(\zeta) = p(-\zeta)$$

$$t(\zeta) = t(-\zeta)$$

$$\Psi(\zeta) = \Psi(-\zeta)$$

Ayrıca, $\omega(s) = -\omega(-s)$ geçerlidir ve $\omega(0) = \omega_0 = 0$ 'dır.

$$\Psi(s) = \frac{2}{\oint \frac{ds}{t}} = \frac{2 \cdot t}{\oint ds} = \frac{2 \cdot t}{\Pi \cdot R + 2 \cdot R} = \frac{2 \cdot t}{R(\Pi + 2)} = \text{sabit} \quad \text{bağıntısı geçerlidir. Böylece,}$$

$$\omega(s) = \omega_0 + \bar{A} \cdot \frac{\Psi}{t} \cdot \int_0^s d\zeta - \int_0^s p(\zeta) \cdot d\zeta \quad (2.126)$$

olur ve burada $\bar{A} = \frac{\Pi \cdot R^2}{2}$ 'dir. O zaman bağıntı,

$$\omega(s) = 0 + \frac{\Pi \cdot R^2}{2} \cdot \frac{2 \cdot t}{t \cdot R \cdot (\Pi + 2)} \cdot s - \int_0^s p(\zeta) \cdot d\zeta = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s - \int_0^s p(\zeta) \cdot d\zeta \quad (2.127)$$

olacaktır.

- 0-1 arasında, $p(\zeta) = 0$. Bu durumda boyuna şişme fonksiyonu,

$$\omega(s) = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s - \int_0^s 0 \cdot d\zeta = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s \quad \text{olur. Boyuna şişme fonksiyonu } s \text{ ile}$$

doğrusal değişiyor. Buradan 1 noktasındaki boyuna şişme

$$s_1 = R \Rightarrow \omega_1 = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot R = \frac{\Pi \cdot R^2}{2 + \Pi} \approx 0,611 \cdot R^2 \text{ olarak bulunur.}$$

- 1-4 arasında, $p(\zeta) = R$. Bu durumda boyuna şişme fonksiyonu,

$$\omega(s) = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s - R \cdot \int_0^s d\zeta = R^2 - \frac{2 \cdot R \cdot s}{2 + \Pi} \quad \text{olur. Buradan 2 ve 3 noktalarındaki}$$

boyuna şişmeler;

$$s_2 = R + \frac{\Pi \cdot R}{4} \Rightarrow \omega_2 \approx 0,3055 \cdot R^2$$

$$s_3 = R + \frac{\Pi \cdot R}{2} \Rightarrow \omega_3 = 0 \text{ olarak bulunur.}$$

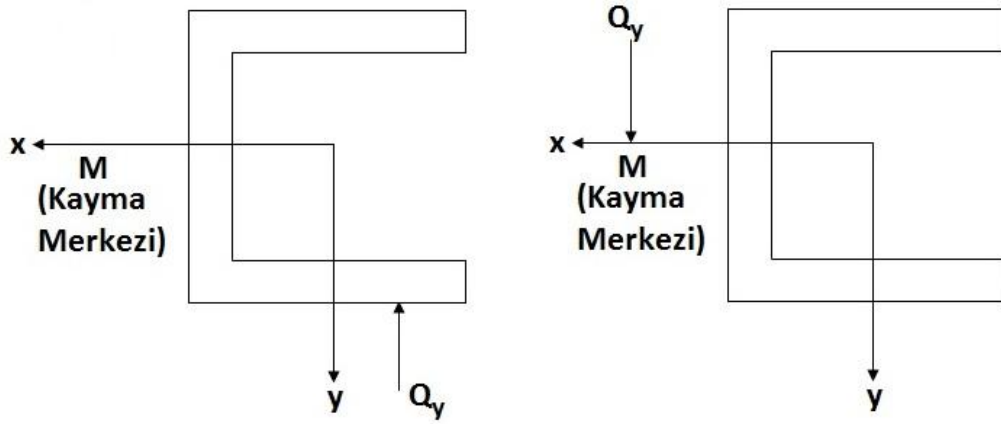
- 4-0 arasında, $p(\zeta) = 0$. Bu durumda boyuna şişme fonksiyonu,

$$\omega(s) = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s - \int_0^s p(\zeta) \cdot d\zeta \quad \text{olur. Buradan 4 ve 0 noktalarındaki boyuna}$$

şişmeler;

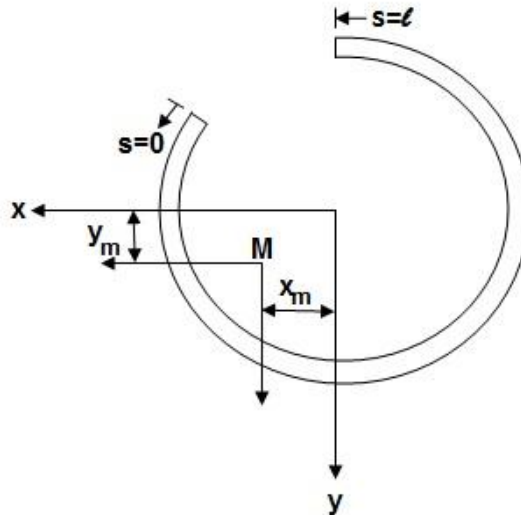
$$s_0 = 2 \cdot R + \Pi \cdot R \Rightarrow \omega_0 = \omega_4 = \frac{\Pi \cdot R}{2 + \Pi} \cdot s = 0 \text{ olarak bulunur.}$$

2.2.3 Kayma Merkezi Koordinatları



Şekil 2.10 Kayma merkezinin gösterimi

Şekil 2.10'da 1. durumda sadece kesme kuvveti (Q_y) olduğu halde, burulma momenti oluşabilir. Sadece bir durumda, Q_y 'nin etkimesi halinde bile burulma momenti oluşmaz. Bu durum sadece kesme kuvvetinin, Şekil 2.10'da 2. durumda gösterildiği gibi M noktasından, yani kayma merkezinden etkimesiyle mümkündür. Enine kesitte simetri hattı varsa, kayma merkezi bu hat üzerindedir. İki simetri hattı varsa, bu hatların kesim noktası, yani ağırlık merkezi aynı zamanda kayma merkezidir.



Şekil 2.11 İnce cıdarlı açık daire profilin kayma merkezi

Şekil 2.11’de ince cidarlı açık daire profilin kayma merkezi gösterilmiştir. Burada bahsi geçen kayma merkezi M’nin koordinatları olan x_m ve y_m şu şekilde bulunur:

$$x_m = \frac{2}{I_x * I_y - I_{xy}^2} * \left[I_y * \int_A y * \bar{A}(s) * dA - I_{xy} * \int_A y * \bar{A}(s) * dA \right], \quad (2.128)$$

$$y_m = \frac{2}{I_x * I_y - I_{xy}^2} * \left[I_x * \int_A x * \bar{A}(s) * dA - I_{xy} * \int_A y * \bar{A}(s) * dA \right], \quad (2.129)$$

$$x_m = -\frac{1}{I_x} * \int_A y(s) * t(s) * \omega(s) * ds = -\frac{R_x}{I_x}, \quad (2.130)$$

$$y_m = \frac{1}{I_y} * \int_A x(s) * t(s) * \omega(s) * ds = \frac{R_y}{I_y} \quad (2.131)$$

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

$$R_x^{(0)} = \int_A y * \omega * dA = \int_l y(s) * \omega(s) * t(s) * ds, \quad (2.132)$$

$$R_y^{(0)} = \int_A x * \omega * dA = \int_l x(s) * \omega(s) * t(s) * ds \quad (2.133)$$

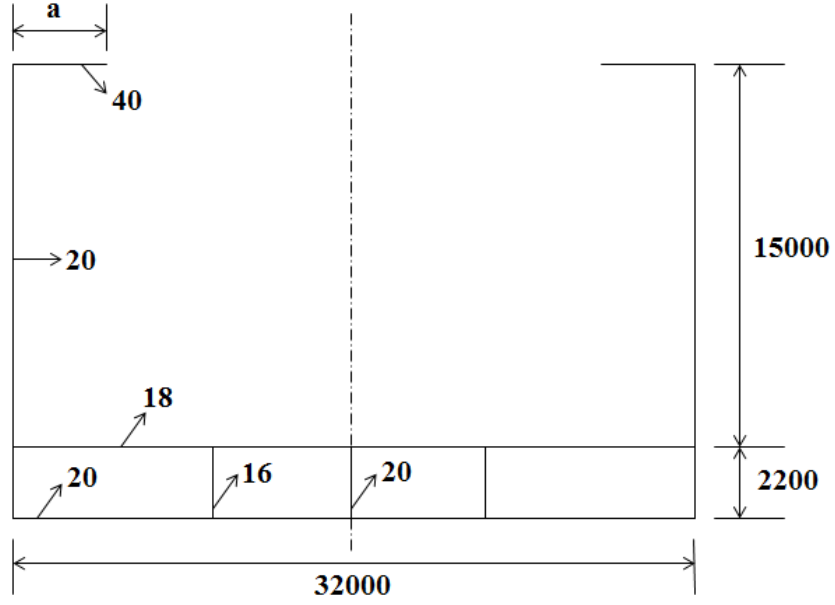
olarak ifade edilir.

İNCELENEN GEMİ ENİNE KESİTLİ DUBA VE BURULMA MOMENTİ

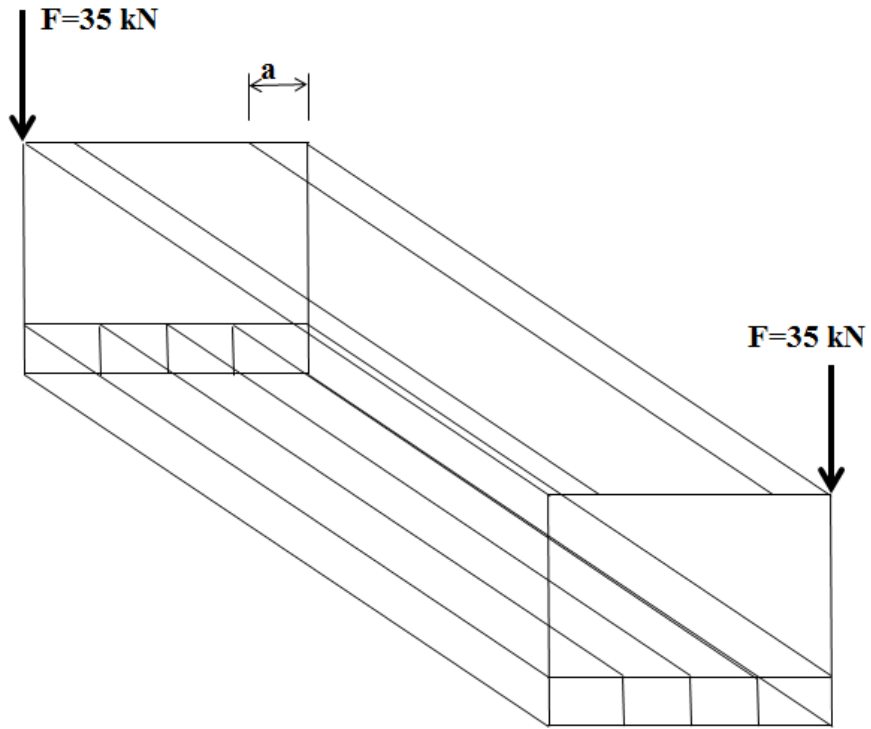
Bu kısımda gemi enine kesitli bir dubaya ait, üniform ve üniform olmayan burulma teorilerinin incelenmesi için parametreler belirlenmiştir.

3.1 Üniform Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri

Üniform burulma başlığı altında, gemi enine kesitine sahip 7 farklı duba için işlem yapılacaktır. Bu 7 farklı dubayı birbirinden ayıran en önemli özellik ise, değişken güverte genişliği diye tanımlanan 'a' uzunluğunun sırasıyla 0 mm (tam açık enine kesit), 3500 mm, 4000 mm, 4500 mm 5000 mm, 5500 mm ve 16000 mm (tam kapalı enine kesit) olmasıdır. İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Enine kesit, tüm duba boyunca sabittir ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Aynı zamanda, enine kesit doğrultusunda simetrik olmayan yükleme kaynaklı sabit burulma momenti etkisi altındadır ve bu yükleme de Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Dubanın boyu, $L=230$ m'dir. Duba enine kesitinde, yan iç omurga ile orta iç omurga arasındaki mesafe 6 m ve yan iç omurga ile borda arasındaki mesafe de 10 m'dir.



Şekil 3.1 Gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi



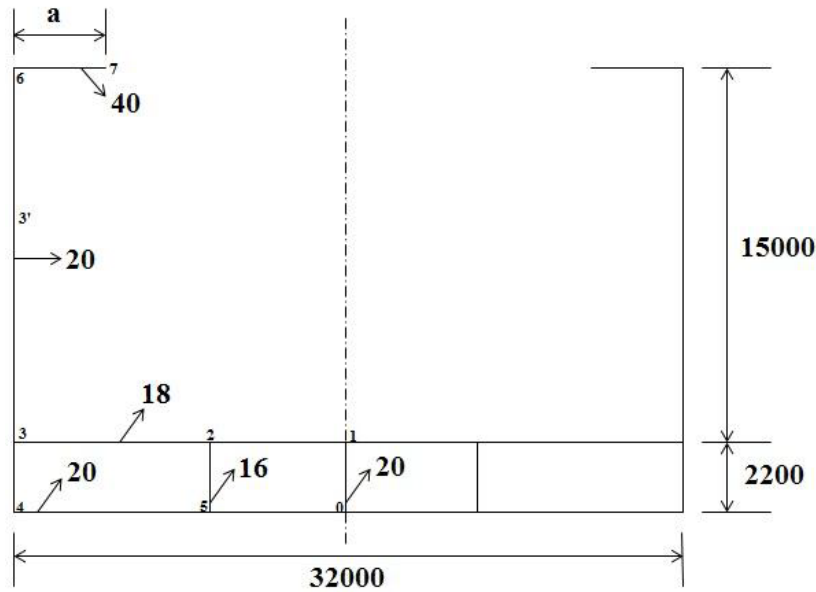
Şekil 3.2 Sabit gemi enine kesitine sahip dubanın yükü

3.2 Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri

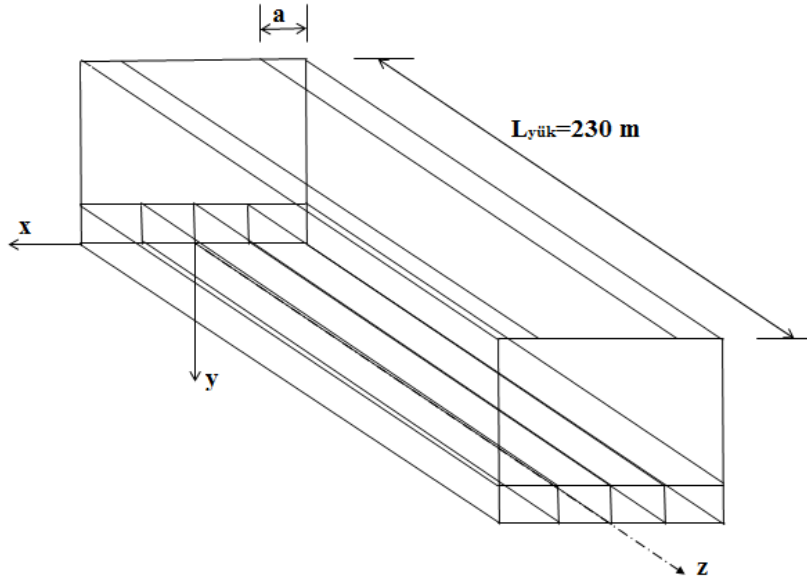
Üniform olmayan burulma konusu, etkiyen toplam burulma momentinin sabit ve değişken olmasına göre iki kısımda incelenmiştir.

3.2.1 Sabit Toplam Burulma Momenti Etkisi Altında, Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri

Üniform olmayan burulma başlığı altında, gemi enine kesitine sahip 7 farklı duba için işlem yapılacaktır. Bu 7 farklı dubayı birbirinden ayıran en önemli özellik ise değişken güverte genişliği diye tanımlanan 'a' uzunluğunun sırasıyla 0 mm (tam açık enine kesit), 3500 mm, 4000 mm, 4500 mm, 5000 mm, 5500 mm ve 15999 mm (yaklaşık kapalı enine kesit) olmasıdır. İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi, Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Enine kesit, tüm duba boyunca sabittir ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Duba, statik burulma momenti, dalgalardan kaynaklanan burulma momenti ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu burulma momenti etkisinde bırakılmıştır ve duba boyunca bu moment etkisi her kesit için aynı değerdedir ve sabittir. Dubanın boyu $L=250$ m ve $L_{yük}=230$ m'dir. Duba enine kesitinde, yan iç omurga ile orta iç omurga arasındaki mesafe 6 m ve yan iç omurga ile borda arasındaki mesafe de 10 m'dir. Ambarların başladığı enine kesit oldukça rijit olduğu için, gemi boy eksenindeki şişmeler engellenmektedir. Toplam burulma momentinin değeri $2,16 \cdot 10^8$ N.m'dir.



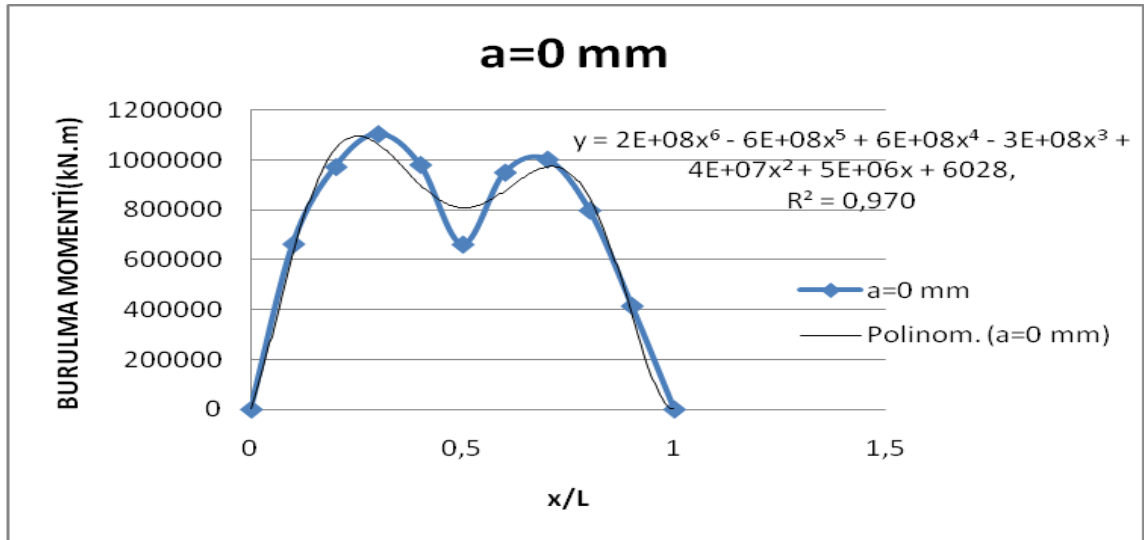
Şekil 3.3 İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi



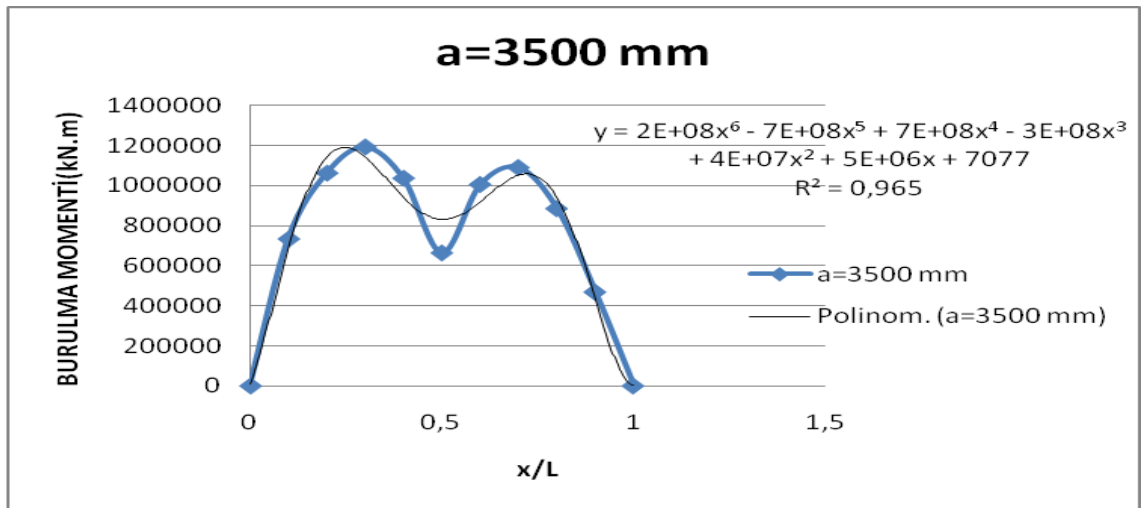
Şekil 3.4 İncelenen gemi enine kesitine sahip duba

3.2.2 Değişken Toplam Burulma Momenti Etkisi Altında, Üniform Olmayan Burulma Teorisinin Uygulama Değerleri

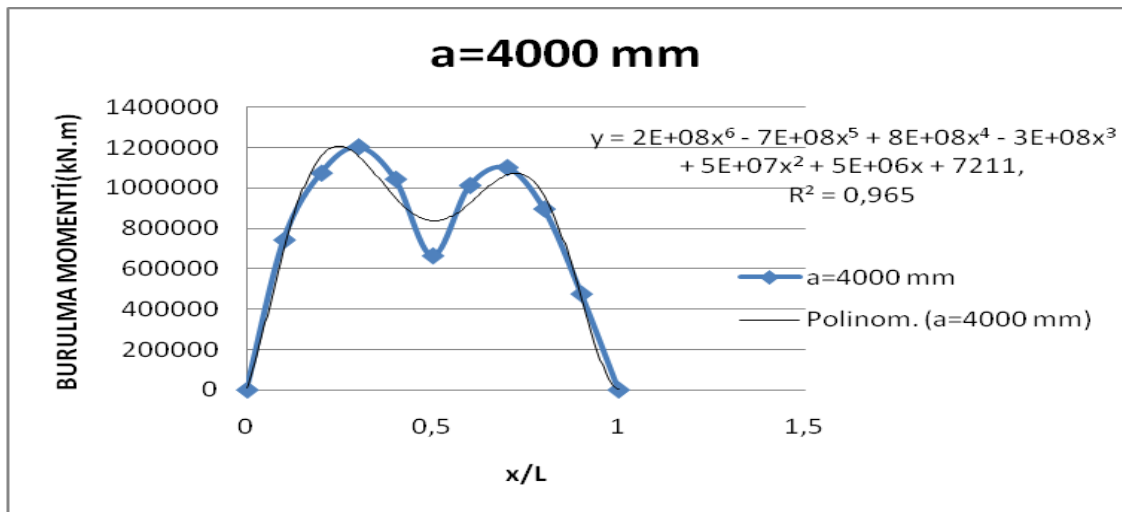
Üniform olmayan burulma başlığı altında, gemi enine kesitine sahip 7 farklı duba için işlem yapılacaktır. Bu 7 farklı dubayı birbirinden ayıran özelliklerden biri, değişken güverte genişliği diye tanımlanan 'a' uzunluğunun sırasıyla 0 mm (tam açık enine kesit), 3500 mm, 4000 mm, 4500 mm 5000 mm, 5500 mm ve 15999 mm (yaklaşık kapalı enine kesit) olmasıdır. Diğer özellik ise, her bir duba için Türk Loydu'nun burulma momenti değerlerinin 11 kesit için bulunması ($x/L=0,0.1,...,1$), bu duba boyunca değişen momentlere uygun eğri uydurulması ile diferansiyel denklem çözümünün yapılmasıdır. Dubalar için burulma moment eğrileri ve denklemleri Şekil 3.5-Şekil 3.11'de verilmiştir. İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi, Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Enine kesit, tüm duba boyunca sabittir ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Duba, statik burulma momenti, dalgalardan kaynaklanan burulma momenti ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu değişken burulma momenti etkisinde bırakılmıştır ve duba boyunca bu moment etkisi, her kesit için farklı değerde ve değişkendir. Dubanın boyu $L=250$ m ve $L_{yük}=230$ m'dir. Duba enine kesitinde, yan iç omurga ile orta iç omurga arasındaki mesafe 6 m ve yan iç omurga ile borda arasındaki mesafe de 10 m'dir. Ambarların başladığı enine kesit oldukça rijit olduğu için, gemi boy eksenindeki şişmeler engellenmektedir.



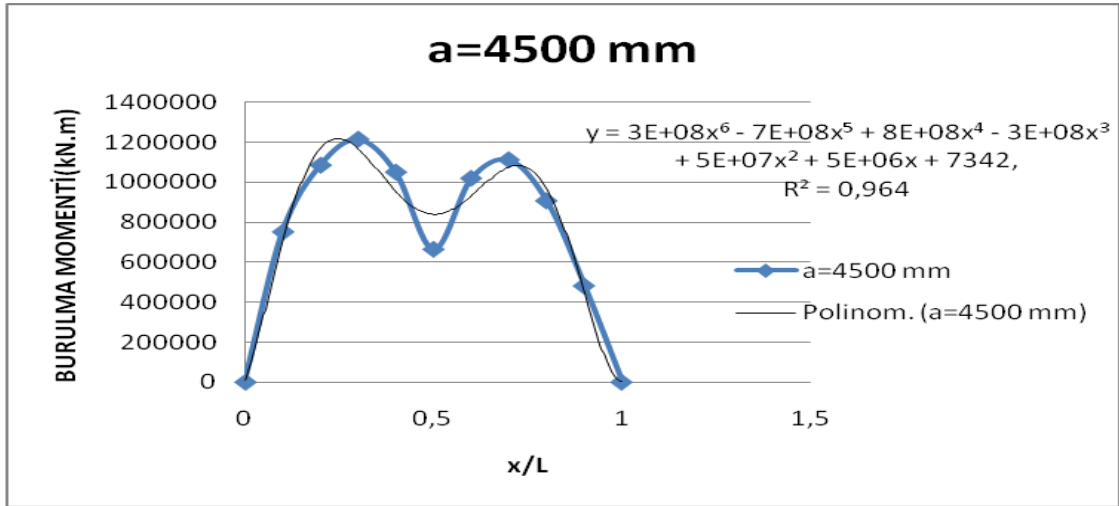
Şekil 3.5 a=0 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



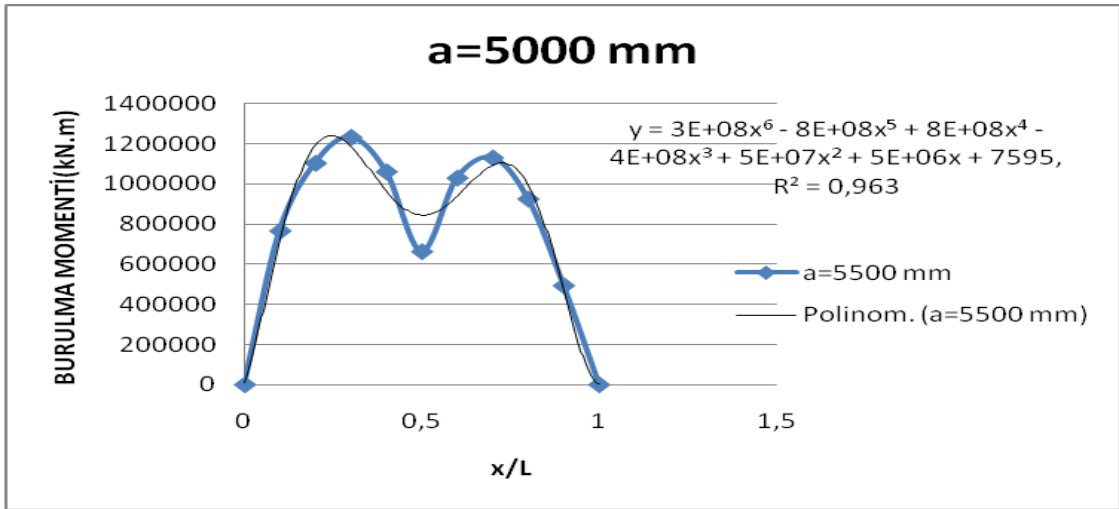
Şekil 3.6 a=3500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



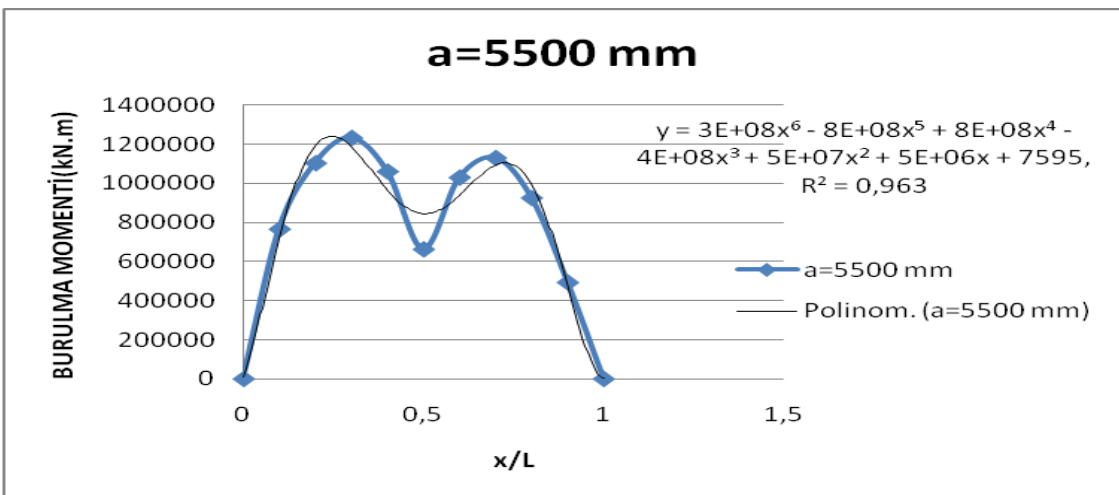
Şekil 3.7 a=4000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



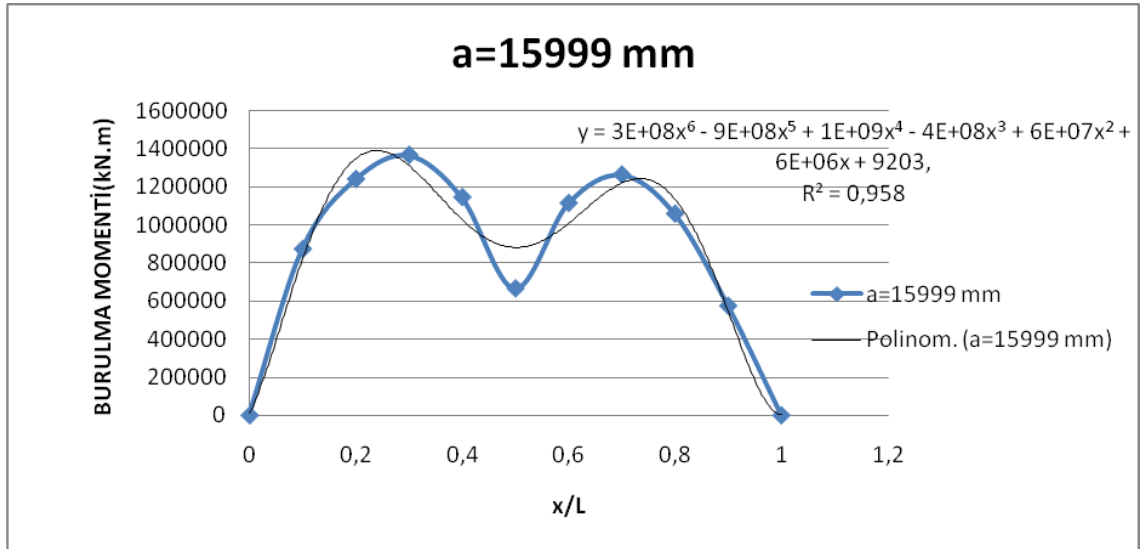
Şekil 3.8 a=4500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



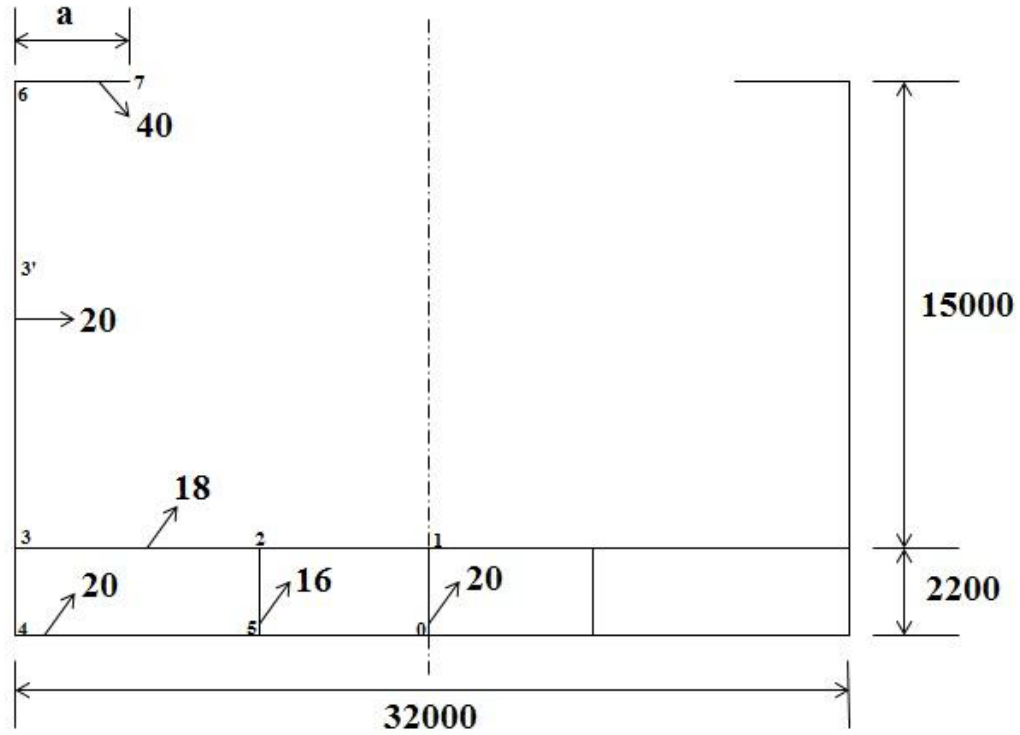
Şekil 3.9 a=5000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



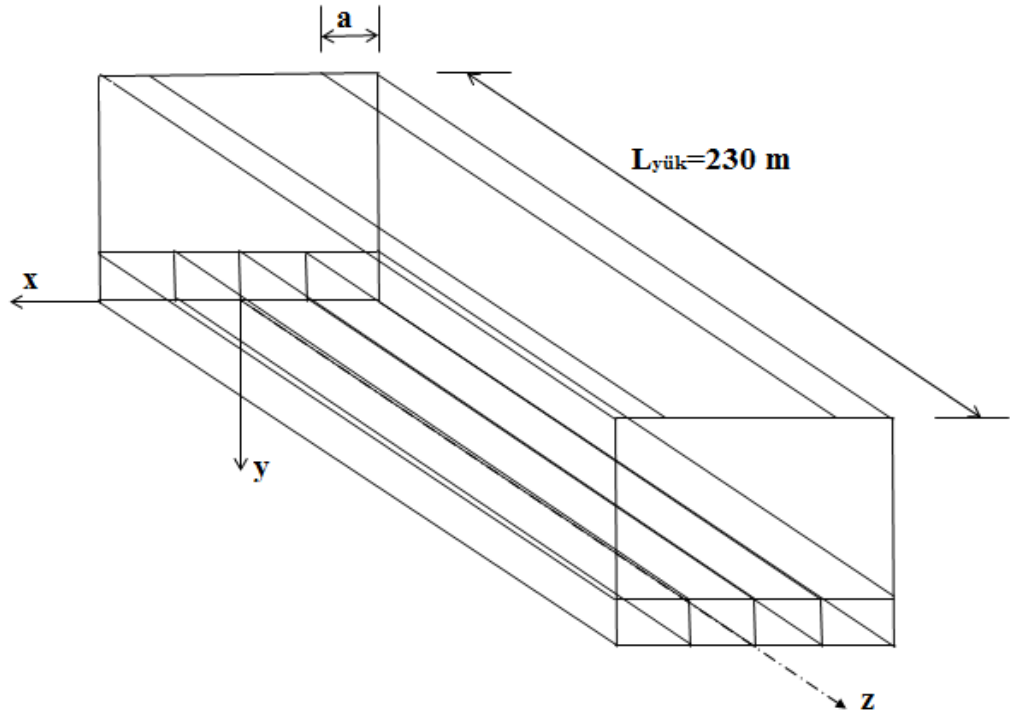
Şekil 3.10 a=5500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



Şekil 3.11 a=15999 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi



Şekil 3.12 İncelenen gemi enine kesitine sahip dubanın en kesit resmi



Şekil 3.13 İncelenen gemi enine kesitine sahip duba

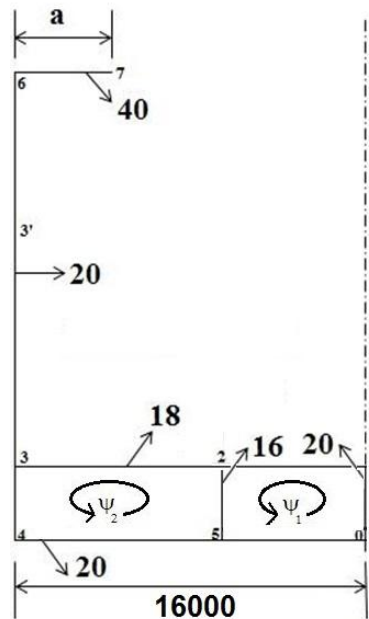
UYGULAMA DEĞERLERİNE GÖRE BURULMA PROBLEMİNİN DİFERANSİYEL DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Bir önceki bölümde bahsedilen parametrelere göre analitik çözümler, üniform burulma teorisi ve üniform olmayan burulma teorisine göre yapılmıştır.

4.1 Üniform Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler

4.1.1 $a=0$ mm İçin Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momenti hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.1 $a=0$ mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} \quad (4.1)$$

$$I_b^{açık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [0 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 8 * 10^{-5} m^4 \quad \text{olarak bulunur. 2 ile}$$

çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.2)$$

İfadesinden, kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'nin komşu hücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.3)$$

Denklemden, 1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.4)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.5)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}$, hücre 2 için $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}$, hücre 1 ve 2 için ortak $\int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12}$ ve

$\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21}$ matris katsayıları yazılır. Denklemler sistemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Toplam enine kesit alanı;

$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4m^2$ olarak hesaplanır.

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem sistemi,

$$770,883 * \Psi_1 - 137,5 * \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 * \Psi_1 + 1303,056 * \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$$\Psi_1 = 5,830185 * 10^{-4}, \Psi_2 = 5,411625 * 10^{-4} \text{ olarak bulunur.}$$

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i = 2 * [2 * 70,4^2 * (\Psi_1 * f_1 + \Psi_2 * f_2)] \quad (4.7)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 * [2 * 70,4^2 * (5,830185 * 10^{-4} * 0,1875 + 5,411625 * 10^{-4} * 0,3125)]$$

$I_b^{kapalı} = 5,51976m^4$ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 8 * 10^{-5} + 5,51976 = 5,51984m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak v hesaplanır.

$$v = \frac{M_b}{G * I_b^{Toplam}} = \frac{35000 * 16}{7,6923 * 10^{10} * 5,51984} = 1,88411 * 10^{-6}$$

Daha sonra, kayma akımları hesaplanır:

$$\begin{aligned}
T_1 &= G * \nu * \Psi_1 * \bar{A} = 4163,055 \\
T_2 &= G * \nu * \Psi_2 * \bar{A} = 3865,11 \\
T_{12} &= G * \nu * \Psi_{12} * \bar{A} = G * \nu * (\Psi_1 - \Psi_2) * \bar{A}
\end{aligned} \tag{4.8}$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \tag{4.9}$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{a\tilde{c}ik}} * t \tag{4.10}$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

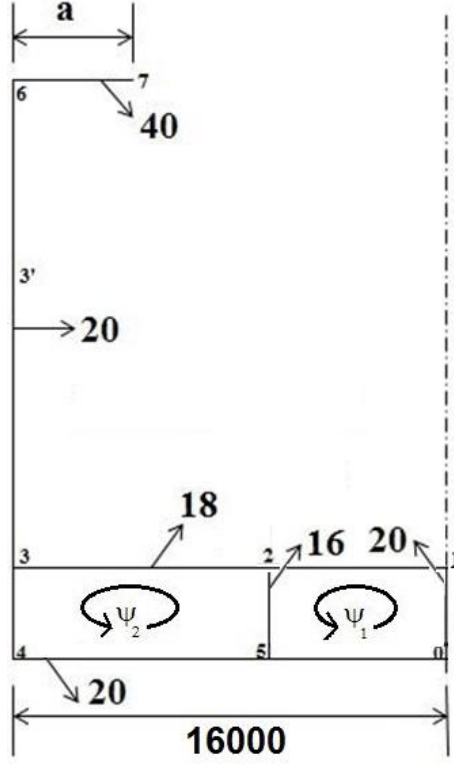
$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193N / mm^2 ;$$

$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{a\tilde{c}ik}} * t_{36} = 140N / mm^2 .$$

4.1.2 a=3500 mm İçin Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momenti hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.2 a=3500 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} \quad (4.11)$$

$$I_b^{açık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [3,5 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 2,2933 * 10^{-4} m^4 \text{ olarak bulunur.}$$

2 ile çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.12)$$

kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.13)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.14)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.15)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}$, hücre 2 için $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}$, hücre 1 ve 2 için ortak $\int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12}$ ve

$\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21}$ matris katsayıları yazılır. Denklem sistemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4 m^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem sistemi,

$$770,883 * \Psi_1 - 137,5 * \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 * \Psi_1 + 1303,056 * \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$\Psi_1 = 5,830185 \cdot 10^{-4}$, $\Psi_2 = 5,411625 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunur.

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot \bar{A}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \Psi_i \cdot f_i = 2 \cdot [2 \cdot 70,4^2 \cdot (\Psi_1 \cdot f_1 + \Psi_2 \cdot f_2)] \quad (4.17)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot [2 \cdot 70,4^2 \cdot (5,830185 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1875 + 5,411625 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3125)]$$

$I_b^{kapalı} = 5,51976 m^4$ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 2,2933 \cdot 10^{-4} + 5,51976 = 5,51998 m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak ν hesaplanır.

$$\nu = \frac{M_b}{G \cdot I_b^{Toplam}} = \frac{35000 \cdot 16}{7,6923 \cdot 10^{10} \cdot 5,51998} = 1,88406 \cdot 10^{-6}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır.

$$T_1 = G \cdot \nu \cdot \Psi_1 \cdot \bar{A} = 4163,943$$

$$T_2 = G \cdot \nu \cdot \Psi_2 \cdot \bar{A} = 3865$$

$$T_{12} = G \cdot \nu \cdot \Psi_{12} \cdot \bar{A} = G \cdot \nu \cdot (\Psi_1 - \Psi_2) \cdot \bar{A} \quad (4.18)$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.19)$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{açık}} \cdot t \quad (4.20)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır.

$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231 N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214 N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193 N / mm^2 ;$$

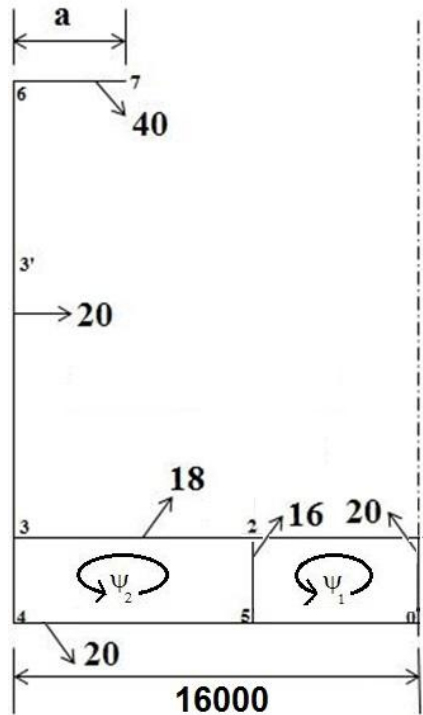
$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193 N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208 N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208 N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018 N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{a\acute{c}ık}} * t_{36} = 48,83 N / mm^2 ;$$

$$\tau_{67} = \frac{M_b}{I_b^{a\acute{c}ık}} * t_{67} = 97,67 N / mm^2 .$$

4.1.3 a=4000 mm için Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momentini hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.3 a=4000 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{a\acute{c}ık} + I_b^{kapalı} \quad (4.21)$$

$$I_b^{a\acute{c}ık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [4 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 2,506 * 10^{-4} m^4 \text{ olarak bulunur. 2 ile}$$

çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.22)$$

ile ifade edilen kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.23)$$

İfadesinden, 1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.24)$$

yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.25)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}$, hücre 2 için $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}$, hücre 1 ve 2 için ortak $\int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12}$ ve

$\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21}$ matris katsayıları yazılır. Denklem sistemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.26)$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4 m^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklemleri,

$$770,883 \cdot \Psi_1 - 137,5 \cdot \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 \cdot \Psi_1 + 1303,056 \cdot \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$$\Psi_1 = 5,830185 \cdot 10^{-4}, \Psi_2 = 5,411625 \cdot 10^{-4} \text{ olarak bulunur.}$$

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot \bar{A}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \Psi_i \cdot f_i = 2 \cdot [2 \cdot 70,4^2 \cdot (\Psi_1 \cdot f_1 + \Psi_2 \cdot f_2)] \quad (4.27)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot [2 \cdot 70,4^2 \cdot (5,830185 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1875 + 5,411625 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3125)]$$

$$I_b^{kapalı} = 5,51976 m^4 \text{ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için}$$

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 2,506 \cdot 10^{-4} + 5,51976 = 5,52001 m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak ν hesaplanır.

$$\nu = \frac{M_b}{G \cdot I_b^{Toplam}} = \frac{35000 \cdot 16}{7,6923 \cdot 10^{10} \cdot 5,52001} = 1,88406 \cdot 10^{-6}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır.

$$T_1 = G \cdot \nu \cdot \Psi_1 \cdot \bar{A} = 4163,927$$

$$T_2 = G \cdot \nu \cdot \Psi_2 \cdot \bar{A} = 3864,99$$

$$T_{12} = G \cdot \nu \cdot \Psi_{12} \cdot \bar{A} = G \cdot \nu \cdot (\Psi_1 - \Psi_2) \cdot \bar{A} \quad (4.28)$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.29)$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t \quad (4.30)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193N / mm^2 ;$$

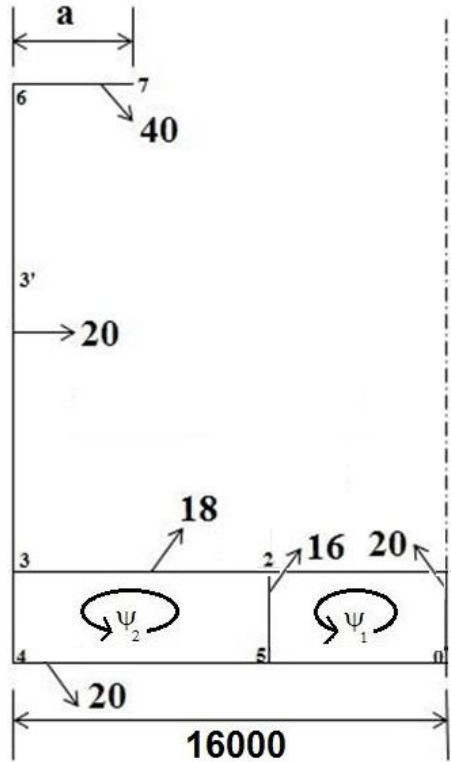
$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t_{36} = 44,69N / mm^2 ;$$

$$\tau_{67} = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t_{67} = 89,38N / mm^2 .$$

4.1.4 a=4500 mm İçin Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momenti hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.4 a=4500 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} \quad (4.31)$$

$$I_b^{açık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [4,5 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 2,72 * 10^{-4} m^4 \text{ olarak bulunur. 2 ile}$$

çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.32)$$

kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.33)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.34)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.35)$$

ifadesi yazılır.

$$\text{Hücre 1 için } \oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}, \text{ hücre 2 için } \oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}, \text{ hücre 1 ve 2 için ortak } \int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12} \text{ ve}$$

$$\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21} \text{ matris katsayıları yazılır. Denklem sistemi oluşturulur.}$$

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.36)$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4 m^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem sistemi,

$$770,883 * \Psi_1 - 137,5 * \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 * \Psi_1 + 1303,056 * \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$$\Psi_1 = 5,830185 * 10^{-4}, \Psi_2 = 5,411625 * 10^{-4} \text{ olarak bulunur.}$$

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i = 2 * \left[2 * 70,4^2 * (\Psi_1 * f_1 + \Psi_2 * f_2) \right] \quad (4.37)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 * \left[2 * 70,4^2 * (5,830185 * 10^{-4} * 0,1875 + 5,411625 * 10^{-4} * 0,3125) \right]$$

$I_b^{kapalı} = 5,51976 m^4$ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 2,72 * 10^{-4} + 5,51976 = 5,52003 m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak v hesaplanır.

$$v = \frac{M_b}{G * I_b^{Toplam}} = \frac{35000 * 16}{7,6923 * 10^{10} * 5,52003} = 1,88405 * 10^{-6}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır:

$$\begin{aligned}
T_1 &= G * \nu * \Psi_1 * \bar{A} = 4163,91 \\
T_2 &= G * \nu * \Psi_2 * \bar{A} = 3864,97 \\
T_{12} &= G * \nu * \Psi_{12} * \bar{A} = G * \nu * (\Psi_1 - \Psi_2) * \bar{A}
\end{aligned} \tag{4.38}$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \tag{4.39}$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{açık}} * t \tag{4.40}$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193N / mm^2 ;$$

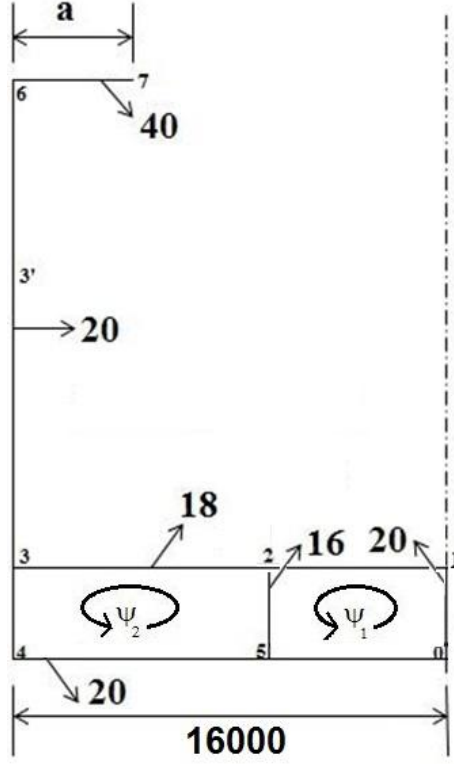
$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{açık}} * t_{36} = 41,17N / mm^2 ;$$

$$\tau_{67} = \frac{M_b}{I_b^{açık}} * t_{67} = 82,35N / mm^2 .$$

4.1.5 a=5000 mm İçin Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momenti hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.5 a=5000 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} \quad (4.41)$$

$$I_b^{açık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [5 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 2,933 * 10^{-4} m^4 \text{ olarak bulunur. 2 ile}$$

çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.42)$$

kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.43)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.44)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.45)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}$, hücre 2 için $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}$, hücre 1 ve 2 için ortak $\int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12}$ ve

$\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21}$ matris katsayıları yazılır. Denklem sistemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.46)$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4 m^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem sistemi,

$$770,883 * \Psi_1 - 137,5 * \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 * \Psi_1 + 1303,056 * \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$\Psi_1 = 5,830185 \cdot 10^{-4}$, $\Psi_2 = 5,411625 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunur.

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot \bar{A}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \Psi_i \cdot f_i = 2 \cdot \left[2 \cdot 70,4^2 \cdot (\Psi_1 \cdot f_1 + \Psi_2 \cdot f_2) \right] \quad (4.47)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 \cdot \left[2 \cdot 70,4^2 \cdot (5,830185 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1875 + 5,411625 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3125) \right]$$

$I_b^{kapalı} = 5,51976 m^4$ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 2,933 \cdot 10^{-4} + 5,51976 = 5,52005 m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak ν hesaplanır.

$$\nu = \frac{M_b}{G \cdot I_b^{Toplam}} = \frac{35000 \cdot 16}{7,6923 \cdot 10^{10} \cdot 5,52005} = 1,88404 \cdot 10^{-6}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır:

$$\begin{aligned} T_1 &= G \cdot \nu \cdot \Psi_1 \cdot \bar{A} = 4163,894 \\ T_2 &= G \cdot \nu \cdot \Psi_2 \cdot \bar{A} = 3864,96 \\ T_{12} &= G \cdot \nu \cdot \Psi_{12} \cdot \bar{A} = G \cdot \nu \cdot (\Psi_1 - \Psi_2) \cdot \bar{A} \end{aligned} \quad (4.48)$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.49)$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{açık}} \cdot t \quad (4.50)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231 N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214 N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193 N / mm^2 ;$$

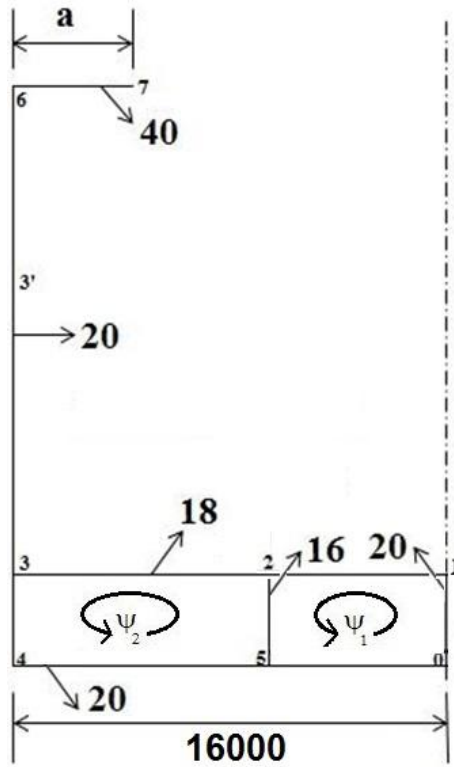
$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193 N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208 N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208 N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018 N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{a\acute{c}ık}} * t_{36} = 38,18 N / mm^2 ;$$

$$\tau_{67} = \frac{M_b}{I_b^{a\acute{c}ık}} * t_{67} = 76,37 N / mm^2 .$$

4.1.6 a=5500 mm için Analitik Çözüm

Enine kesit simetrik olduğu için yarısı için burulma atalet momentini hesaplanır ve iki ile çarpılır.



Şekil 4.6 a=5500 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{Toplam} = I_b^{a\acute{c}ık} + I_b^{kapalı} \quad (4.51)$$

$$I_b^{a\acute{c}ık} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n L_i * t_i^3 = 2 * \frac{1}{3} * [5,5 * 0,04^3 + 15 * 0,02^3] = 3,146 * 10^{-4} m^4 \text{ olarak bulunur. 2 ile}$$

çarpılmasının sebebi, yarısı hesaplanılıp simetri özelliğinden dolayı tüm enine kesitin açık burulma atalet momentinin bulunmasıdır.

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.52)$$

kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = 2 * f_i \quad (4.53)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^1 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} = 2 * f_1 \quad (4.54)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} = 2 * f_2 \quad (4.55)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}$, hücre 2 için $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}$, hücre 1 ve 2 için ortak $\int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{12}$ ve $\int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{21}$ matris katsayıları yazılır. Denklem sistemi oluşturulur.

$$\begin{aligned} a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 &= 2 * f_1 \\ -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 &= 2 * f_2 \end{aligned} \quad (4.56)$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2) = 2 * (6 * 2,2 + 10 * 2,2) = 2 * (13,2 + 22) = 70,4 m^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İndirgenmiş hücre alanları;

$$f_1 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{70,4} = 0,1875 \text{ ve } f_2 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{70,4} = 0,3125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 333,33 + 137,5 + 300 = 770,833,$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 137,5 + 555,556 + 110 + 500 = 1303,056,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem sistemi,

$$770,883 * \Psi_1 - 137,5 * \Psi_2 = 0,375$$

$$-137,5 * \Psi_1 + 1303,056 * \Psi_2 = 0,625 \text{ şeklinde oluşturulur ve}$$

$$\Psi_1 = 5,830185 * 10^{-4}, \Psi_2 = 5,411625 * 10^{-4} \text{ olarak bulunur.}$$

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i = 2 * [2 * 70,4^2 * (\Psi_1 * f_1 + \Psi_2 * f_2)] \quad (4.57)$$

bağıntısından yararlanılarak

$$I_b^{kapalı} = 2 * [2 * 70,4^2 * (5,830185 * 10^{-4} * 0,1875 + 5,411625 * 10^{-4} * 0,3125)]$$

$$I_b^{kapalı} = 5,51976 m^4 \text{ olarak bulunur. Daha sonra toplam burulma atalet momenti için}$$

$$I_b^{Toplam} = I_b^{açık} + I_b^{kapalı} = 3,146 * 10^{-4} + 5,51976 = 5,52007 m^4 \text{ bağıntısı kullanılır.}$$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak ν hesaplanır.

$$\nu = \frac{M_b}{G * I_b^{Toplam}} = \frac{35000 * 16}{7,6923 * 10^{10} * 5,52007} = 1,88403 * 10^{-6}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır:

$$T_1 = G * \nu * \Psi_1 * \bar{A} = 4163,878$$

$$T_2 = G * \nu * \Psi_2 * \bar{A} = 3864,94$$

$$T_{12} = G * \nu * \Psi_{12} * \bar{A} = G * \nu * (\Psi_1 - \Psi_2) * \bar{A} \quad (4.58)$$

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.59)$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t \quad (4.60)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

$$\tau_{12} = \frac{T_1}{t_{12}} = 0,231N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_2}{t_{23}} = 0,214N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = 0,193N / mm^2 ;$$

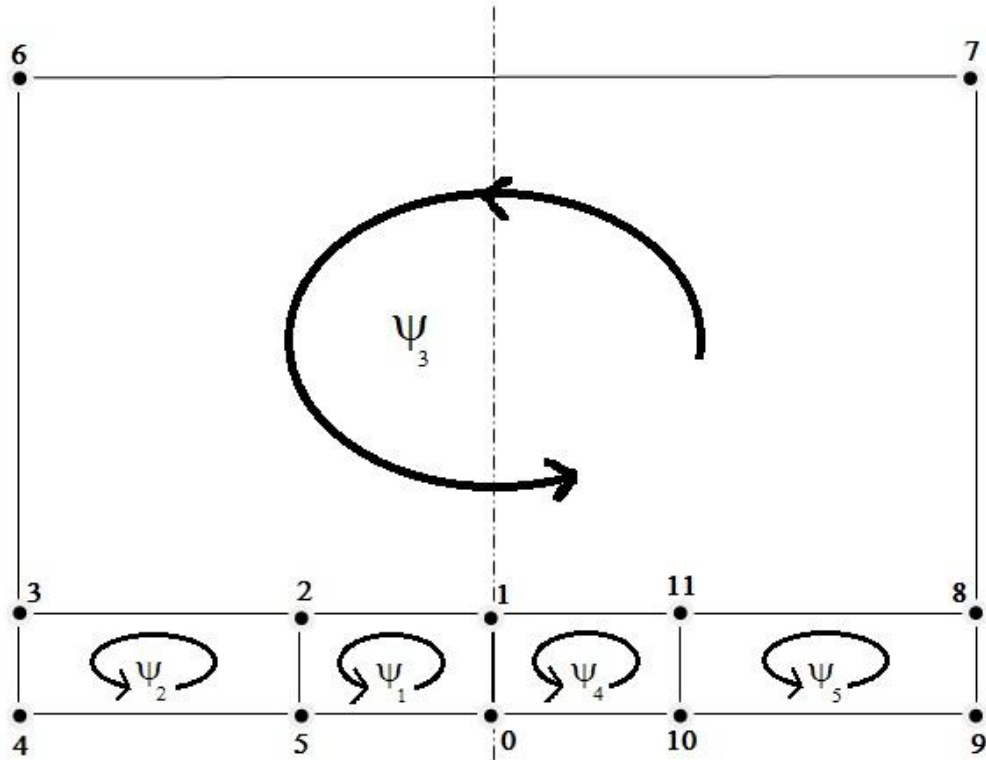
$$\tau_{45} = \frac{T_2}{t_{45}} = 0,193N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = 0,208N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_1}{t_{01}} = 0,208N / mm^2 ;$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,018N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t_{36} = 35,16N / mm^2 ;$$

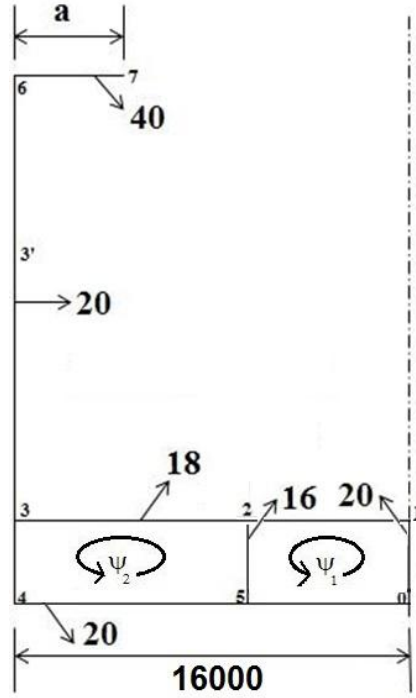
$$\tau_{67} = \frac{M_b}{I_b^{a\text{çık}}} * t_{67} = 71,2N / mm^2 .$$

4.1.7 a=16000 mm İçin Analitik Çözüm

Aşağıda, tam kapalı kesit için simetri özelliğinden yararlanılmadan çözüm yapılmıştır.



Şekil 4.7 a=15999 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi



Şekil 4.8 a=15999 mm için en kesit resmi ve indirgenmiş kayma akımlarının gösterimi

$$I_b^{kapalı} = 2 * \bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i \quad (4.61)$$

kapalı burulma atalet momentinin bulunması için öncelikle indirgenmiş kayma akımları Ψ_i ve indirgenmiş hücre alanları f_i bulunmalıdır.

$$\Psi_i * \oint_i \frac{ds}{t(s)} - \sum_{i=1}^{i'ninkomşuhücreleri} \int_{i,k} \frac{ds}{t(s)} = f_i \quad (4.62)$$

1 numaralı hücre için;

$$\Psi_1 * \left[\int_0^1 \frac{ds}{t_{01}} + \int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} + \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} + \int_5^0 \frac{ds}{t_{50}} \right] - \Psi_2 * \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} - \Psi_3 * \int_2^1 \frac{ds}{t_{21}} - \Psi_4 * \int_1^0 \frac{ds}{t_{10}} = f_1 \quad (4.63)$$

ifadesi yazılır. Burada simetri ekseninde yer alan 0-1 elemanı dikkate alınmaz.

2 numaralı hücre için;

$$\Psi_2 * \left[\int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} + \int_3^4 \frac{ds}{t_{34}} + \int_4^5 \frac{ds}{t_{45}} + \int_5^2 \frac{ds}{t_{52}} \right] - \Psi_1 * \int_2^5 \frac{ds}{t_{25}} - \Psi_3 * \int_3^2 \frac{ds}{t_{32}} = f_2 \quad (4.64)$$

ifadesi yazılır.

3 numaralı hücre için;

$$\Psi_3 * \left[\int_3^8 \frac{ds}{t_{38}} + \int_8^7 \frac{ds}{t_{87}} + \int_7^6 \frac{ds}{t_{76}} + \int_6^3 \frac{ds}{t_{63}} \right] - \Psi_1 * \int_1^2 \frac{ds}{t_{12}} - \Psi_2 * \int_2^3 \frac{ds}{t_{23}} - \Psi_4 * \int_{11}^1 \frac{ds}{t_{11,1}} - \Psi_5 * \int_8^{11} \frac{ds}{t_{811}} = f_3 \quad (4.65)$$

ifadesi yazılır.

4 numaralı hücre için;

$$\Psi_4 * \left[\int_0^{10} \frac{ds}{t_{010}} + \int_{10}^{11} \frac{ds}{t_{1011}} + \int_{11}^1 \frac{ds}{t_{11,1}} + \int_1^0 \frac{ds}{t_{10}} \right] - \Psi_1 * \int_0^1 \frac{ds}{t_{01}} - \Psi_3 * \int_1^{11} \frac{ds}{t_{1,11}} - \Psi_3 * \int_{11}^{10} \frac{ds}{t_{1110}} = f_4 \quad (4.66)$$

ifadesi yazılır.

5 numaralı hücre için;

$$\Psi_5 * \left[\int_{10}^9 \frac{ds}{t_{109}} + \int_9^8 \frac{ds}{t_{98}} + \int_8^{11} \frac{ds}{t_{811}} + \int_1^0 \frac{ds}{t_{10}} \right] - \Psi_4 * \int_{10}^{11} \frac{ds}{t_{1011}} - \Psi_3 * \int_{11}^8 \frac{ds}{t_{118}} = f_5 \quad (4.67)$$

ifadesi yazılır.

Hücre 1 için; $\oint_1 \frac{ds}{t} = a_{11}, \int_5^2 \frac{ds}{t} = a_{12}, \int_2^1 \frac{ds}{t} = a_{13}, \int_1^0 \frac{ds}{t} = a_{14}$ matris katsayıları yazılır.

Hücre 2 için; $\oint_2 \frac{ds}{t} = a_{22}, \int_2^5 \frac{ds}{t} = a_{21}, \int_3^2 \frac{ds}{t} = a_{23}$ matris katsayıları yazılır.

Hücre 3 için; $\oint_3 \frac{ds}{t} = a_{33}, \int_1^2 \frac{ds}{t} = a_{31}, \int_2^3 \frac{ds}{t} = a_{32}, \int_{11}^1 \frac{ds}{t} = a_{34}, \int_5^{11} \frac{ds}{t} = a_{35}$ matris katsayıları

yazılır.

Hücre 4 için; $\oint_4 \frac{ds}{t} = a_{44}, \int_0^1 \frac{ds}{t} = a_{41}, \int_1^{11} \frac{ds}{t} = a_{43}, \int_{11}^{10} \frac{ds}{t} = a_{45}$ matris katsayıları yazılır.

Hücre 5 için; $\oint_5 \frac{ds}{t} = a_{55}, \int_{10}^{11} \frac{ds}{t} = a_{54}, \int_{11}^8 \frac{ds}{t} = a_{53}$ matris katsayıları yazılır.

Denklem sistemi oluşturulur:

$$\begin{aligned}
 +a_{11} * \Psi_1 - a_{12} * \Psi_2 - a_{13} * \Psi_3 - a_{14} * \Psi_4 - a_{15} * \Psi_5 &= f_1 \\
 -a_{21} * \Psi_1 + a_{22} * \Psi_2 - a_{23} * \Psi_3 - a_{24} * \Psi_4 - a_{25} * \Psi_5 &= f_2 \\
 -a_{31} * \Psi_1 - a_{32} * \Psi_2 + a_{33} * \Psi_3 - a_{34} * \Psi_4 - a_{35} * \Psi_5 &= f_3 \\
 -a_{41} * \Psi_1 - a_{42} * \Psi_2 - a_{43} * \Psi_3 + a_{44} * \Psi_4 - a_{45} * \Psi_5 &= f_4 \\
 -a_{51} * \Psi_1 - a_{52} * \Psi_2 - a_{53} * \Psi_3 - a_{54} * \Psi_4 + a_{55} * \Psi_5 &= f_5
 \end{aligned} \tag{4.68}$$

Toplam enine kesit alanı;

$$\bar{A} = 2 * (\bar{A}_1 + \bar{A}_2 + \bar{A}_3 + \bar{A}_4 + \bar{A}_5) = (6 * 2,2 + 10 * 2,2 + 6 * 2,2 + 10 * 2,2 + 15 * 32) = 550,4 m^2$$

olarak hesaplanır.

İndirgenmiş hücre alanları;

$$\begin{aligned}
 f_1 = f_4 = \frac{\bar{A}_1}{\bar{A}} = \frac{13,2}{550,4} &= 0,024, & f_2 = f_5 = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}} = \frac{22}{550,4} &= 0,04 & \text{ve} \\
 f_3 = \frac{\bar{A}_3}{\bar{A}} = \frac{480}{550,4} &= 0,872 \text{ olarak hesaplanır.}
 \end{aligned}$$

Matris katsayıları;

$$a_{11} = \oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,02} + \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,02} = 880,83,$$

$$a_{12} = a_{21} = \int_2^5 \frac{ds}{t} = \int_5^2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5$$

$$a_{13} = a_{31} = \int_2^1 \frac{ds}{t} = \int_1^2 \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} = 333,33$$

$$a_{14} = a_{41} = \int_1^0 \frac{ds}{t} = \int_0^1 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,02} = 110$$

$$a_{22} = \oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 1303,056,$$

$$a_{23} = a_{32} = \int_2^3 \frac{ds}{t} = \int_3^2 \frac{ds}{t} = \frac{10}{0,018} = 555,55$$

$$a_{33} = \oint_3 \frac{ds}{t} = \frac{32}{0,04} + \frac{32}{0,018} + \frac{15}{0,02} + \frac{15}{0,02} = 4077,77$$

$$a_{34} = a_{43} = \int_{11}^1 \frac{ds}{t} = \int_1^{11} \frac{ds}{t} = \frac{6}{0,018} = 333,33$$

$$a_{35} = a_{53} = \int_5^{11} \frac{ds}{t} = \int_{11}^5 \frac{ds}{t} = \frac{10}{0,018} = 555,55$$

$$a_{44} = \oint_4 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{6}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{6}{0,02} = 880,83$$

$$a_{45} = a_{54} = \int_{11}^{10} \frac{ds}{t} = \int_{10}^{11} \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} = 137,5$$

$$a_{55} = \oint_5 \frac{ds}{t} = \frac{2,2}{0,016} + \frac{10}{0,018} + \frac{2,2}{0,02} + \frac{10}{0,02} = 1303,056 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklemler sistemi,

$$\begin{aligned} 880,83*\Psi_1 - 137,5*\Psi_2 - 333,33*\Psi_3 - 110*\Psi_4 - 0*\Psi_5 &= 0,024 \\ -137,5*\Psi_1 + 1303,055*\Psi_2 - 555,55*\Psi_3 - 0*\Psi_4 - 0*\Psi_5 &= 0,04 \\ -333,33*\Psi_1 - 555,55*\Psi_2 + 4077,77*\Psi_3 - 333,33*\Psi_4 - 555,55*\Psi_5 &= 0,872 \\ -110*\Psi_1 - 0*\Psi_2 - 333,33*\Psi_3 + 880,83*\Psi_4 - 137,5*\Psi_5 &= 0,024 \\ -0*\Psi_1 - 0*\Psi_2 - 555,55*\Psi_3 - 137,5*\Psi_4 + 1303,055*\Psi_5 &= 0,04 \end{aligned}$$

şeklinde oluşturulur ve

$$\Psi_1 = -2,77664*10^{-4},$$

$$\Psi_2 = -4,35617*10^{-4},$$

$$\Psi_3 = 34,95371*10^{-4},$$

$$\Psi_4 = -2,77664*10^{-4}$$

$$\Psi_5 = -4,35617*10^{-4} \text{ olarak bulunur.}$$

$$I_b^{kapalı} = 2*\bar{A}^2 * \sum_{i=1}^n \Psi_i * f_i = \left[2*550,4^2 * (\Psi_1 * f_1 + \Psi_2 * f_2 + \Psi_3 * f_3 + \Psi_4 * f_4 + \Psi_5 * f_5) \right]$$

(4.69)

bağıntısından yararlanılarak $I_b^{kapalı} = 1817,511471m^4$ olarak bulunur. Açık alan olmadığı için açık burulma atalet momenti yoktur bu yüzden toplam burulma atalet momenti kapalı burulma atalet momentine eşittir. $I_b^{Toplam} = I_b^{kapalı} = 1817,511471m^4$

Kayma gerilmelerini bulmak için bu adımdan sonra ilk olarak ν hesaplanır.

$$\nu = \frac{M_b}{G * I_b^{Toplam}} = \frac{35000 * 16}{7,6923 * 10^{10} * 1817,511471} = 4,01 * 10^{-9}$$

Daha sonra kayma akımları hesaplanır.

$$\begin{aligned} T_1 &= G * \nu * \Psi_1 * \bar{A} = -47,087 \\ T_2 &= G * \nu * \Psi_2 * \bar{A} = -73,874 \\ T_3 &= G * \nu * \Psi_3 * \bar{A} = 592,765 \\ T_4 &= G * \nu * \Psi_4 * \bar{A} = -47,087 \\ T_5 &= G * \nu * \Psi_5 * \bar{A} = -73,874 \\ T_i &= G * \nu * \Psi_i * \bar{A} \end{aligned} \quad (4.70)$$

Hücreler arasındaki ara elemanların kayma akımları ise,

$$T_{ik} = G * \nu * \Psi_{ik} * \bar{A} = G * \nu * (\Psi_i - \Psi_k) * \bar{A} \quad (4.71)$$

bağıntısı yardımı ile bulunur.

En son olarak da kapalı alanlar için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.72)$$

bağıntısı yardımıyla, açık alanlar için ise

$$\tau = \frac{M_b}{I_b^{açık}} * t \quad (4.73)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri hesaplanır:

$$\begin{aligned} \tau_{12} &= \frac{T_{13}}{t_{12}} = 0,035N / mm^2 ; \tau_{23} = \frac{T_{23}}{t_{23}} = 0,037N / mm^2 ; \tau_{34} = \frac{T_2}{t_{34}} = -0,0036N / mm^2 ; \\ \tau_{45} &= \frac{T_2}{t_{45}} = -0,0036N / mm^2 ; \tau_{50} = \frac{T_1}{t_{50}} = -0,0023N / mm^2 ; \tau_{01} = \frac{T_{14}}{t_{01}} = 0N / mm^2 ; \end{aligned}$$

$$\tau_{25} = \frac{T_{12}}{t_{25}} = 0,0016 N / mm^2 ; \tau_{36} = \frac{T_3}{t_{36}} = 0,029 N / mm^2 ; \tau_{67} = \frac{T_3}{t_{67}} = 0,014 N / mm^2$$

4.1.8 Üniform Burulma Teorisinde Güverte Genişliğine Bağlı Sonuçlar

Yukarıda farklı güverte genişlikleri için yapılan işlemler sonucu bulunan veriler çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Üniform burulma teorisinde güverte genişliğine bağlı sonuçlar

		a=0 mm	a=3500 mm	a=4000 mm	a=4500 mm	a=5000mm	a=5500mm	a=16000 mm
I_b açık	m^4	0,00008	0,00022933	0,0002506	0,000272	0,0002933	0,0003146	0
I_b kapalı	m^4	5,51976	5,51976	5,51976	5,51976	5,51976	5,51976	1817,51
I_b Toplam	m^4	5,51984	5,51998	5,52001	5,52003	5,52005	5,52007	1817,51
M_b	N.m	560000	560000	560000	560000	560000	560000	560000
ϕ	radyan/m	$1,88411 \cdot 10^{-6}$	$1,88406 \cdot 10^{-6}$	$1,88406 \cdot 10^{-6}$	$1,88405 \cdot 10^{-6}$	$1,88404 \cdot 10^{-6}$	$1,88403 \cdot 10^{-6}$	$4,01 \cdot 10^{-9}$
G	Pa	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$	$7,6923 \cdot 10^{10}$
Ψ_1		$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$-2,78 \cdot 10^{-4}$
Ψ_2		$5,412 \cdot 10^{-4}$	$5,412 \cdot 10^{-4}$	$5,412 \cdot 10^{-4}$	$5,412 \cdot 10^{-4}$	$5,412 \cdot 10^{-4}$	$5,412 \cdot 10^{-4}$	$-4,36 \cdot 10^{-4}$
Ψ_3		-	-	-	-	-	-	$3,50 \cdot 10^{-3}$
Ψ_4		-	-	-	-	-	-	$-2,78 \cdot 10^{-4}$
Ψ_5		-	-	-	-	-	-	$-4,36 \cdot 10^{-4}$
T_1	N/m	4164,055	4163,943	4163,927	4163,91	4163,894	4163,878	-47,087
T_2	N/m	3865,11	3865	3864,99	3864,97	3864,96	3864,94	-73,874
T_3	N/m	-	-	-	-	-	-	592,765
T_4	N/m	-	-	-	-	-	-	-47,087
T_5	N/m	-	-	-	-	-	-	-73,874
τ_{12}	N/mm ²	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,035
τ_{23}	N/mm ²	0,214	0,214	0,214	0,214	0,214	0,214	0,037
τ_{34}	N/mm ²	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	-0,0036
τ_{45}	N/mm ²	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	-0,0036
τ_{50}	N/mm ²	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208	-0,0023
τ_{01}	N/mm ²	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208	0,208	0
τ_{25}	N/mm ²	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0016
τ_{36}	N/mm ²	140	48,83	44,69	41,17	38,18	35,6	0,029
τ_{67}	N/mm ²	0	97,67	89,38	82,35	76,37	71,2	0,014

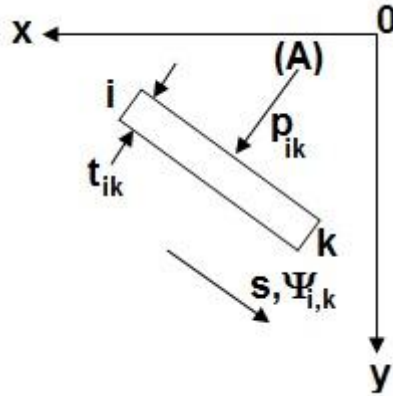
4.2 Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler

4.2.1 Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam}) Sabit Olduğunda Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler

4.2.1.1 Boyuna Şişme Fonksiyonunun, Kayma Merkezinin, Boyuna Şişme Normal Gerilmelerinin ve Kayma Gerilmelerinin Pratik Hesabı

$t(s)$, $p(s)$ ve $\Psi(s)$ değişimleri eğrisel ise $\omega(s)$, R_y ve I_y hesabı kolaylaşır. İnce cıdarlı kapalı veya açık enine kesitlerde, boyuna şişme fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\omega(s) = \bar{A} * \int_0^s \frac{\Psi(\zeta)}{t(\zeta)} * d\zeta - \int_0^s p(\zeta) * d\zeta + \omega_0 \quad (4.74)$$



Şekil 4.9 $t_{ik}, p_{ik}, \Psi_{ik}$ 'nın sabit olduğu ince cıdarlı dikdörtgen profil

Eğer $t_{ik} = \text{sabit}$, $p_{ik} = \text{sabit}$ ve $\Psi_{ik} = \text{sabit}$ olursa i ve k noktalarında boyuna şişme fonksiyonu;

$$\omega_i = \bar{A} * \int_0^{s_i} \frac{\Psi(s)}{t(s)} * ds - \int_0^{s_i} p(s) * ds + \omega_0, \quad (4.75)$$

$$\omega_k = \bar{A} * \int_0^{s_k} \frac{\Psi(s)}{t(s)} * ds - \int_0^{s_k} p(s) * ds + \omega_0 \quad (4.76)$$

$$\omega_k - \omega_i = \Delta\omega_{ik} = \left[\bar{A} * \frac{\Psi_{ik}}{t_{ik}} - p_{ik} \right] * l_{ik} \quad (4.77)$$

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.78)$$

olur.

Statik boyuna şişme momenti veya sektörel statik moment diye tanımlanan $S_\omega(s)$ şu şekilde tanımlanır:

$$T_z(z, s_0) = \tau(z, s_0) * t(s) = K(z) * S_\omega(s) \quad (4.79)$$

Buradaki $K(z)$ ifadesi

$$K(z) = \frac{M_b^{\text{Toplam}}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.80)$$

ifadesinin kısaltmasıdır. Statik boyuna şişme momentindeki değişim,

$$\Delta S_{\omega_k} = \frac{1}{2} * A_k * (\omega_k^* + \omega_i^*) \quad (4.81)$$

olarak ve statik boyuna şişme momenti veya sektörel statik moment ise

$$S_{\omega_k} = \sum_0^{(K)} \Delta S_{\omega_k} \quad (4.82)$$

olarak bulunur.

Boyuna şişme Normal gerilmeleri ise;

$$\sigma(z, s) = E * \nu'(z) * \omega^*(s) = -\frac{M_b^{Toplam}}{G * I_b} * E * \omega^*(s) * \alpha * e^{-\alpha * z} \quad (4.83)$$

olarak bulunur ve

$$\alpha^2 = \frac{G * I_b}{E * C_s^*} = \frac{I_b}{2 * (1 + \nu) * C_s^*} \quad (4.84)$$

olur.

4.2.1.2 a=0 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda, ilk olarak, üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alınmıştır.

Bu değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturulmuş ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.2 a=0 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A \cdot \Psi/t_{ik}$	$(A \cdot \Psi/t_{ik}) - P_{ik}$	$\Delta \omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A^*(3/4)$	$(7-6)$	$5*8$	w_i+9
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830*10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411*10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411*10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411*10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830*10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185*10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469

Bu adımda ise, her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulunmuştur. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$L_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.85)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.3 a=0 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	L_{ik}	t_{ik}	A_{ik}	ω_i	ω_k	$2x_k+x_i$	$2x_i+x_k$	$(2x_k+x_i)*\omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								$7*8$					$11*12$
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5,778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek, kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_s^*) hesaplanmıştır. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * [(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k] \quad (4.86)$$

$$18. \text{ s\u00fctunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * [x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2] \quad (4.87)$$

$$19. \text{ s\u00fctunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.88)$$

$$20. \text{ s\u00fctunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.89)$$

$$21. \text{ s\u00fctunda } \Delta C_s^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * (\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2}) \quad (4.90)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca, kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken, o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamının, yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanılmıştır. Örneğin,

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.91)$$

bağıntısı kullanılmıştır. x eksen simetri eksen olduğu için, x_M değeri 0 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4 a=0 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması
(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i + x_k) * \omega_i$	$\Delta R_{y_{ik}}$	$x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2$	$\Delta I_{y_{ik}}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{s_{ik}}^*$	$(\omega_k^* + \omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁶	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,104	36	1,296	-21,3439	0	16,40027	-10,672
13,482	0,001921	388	23,28	-58,5542	-21,3439	308,0362	-39,9491
-16,9488	-11,164	768	11,264	-89,5642	-58,5542	244,8557	-74,0592
-1191,8	-51,22	388	25,866	-34,1396	-89,5642	816,3299	-61,8519
144,77	2,895	36	1,44	0	-34,1396	46,62049	-17,0698
8,667	-1,2495	108	1,2672	-34,1396	-21,3439	27,57038	-27,7418
-16,9488	574,305	768	76,8	181,4458	-58,5542	2572,675	61,44578
Toplam=	1027,345	Toplam=	282,4264		C _s [*] =	4032,488	
		Kayma merkezi	3,637567	m			

Son olarak, kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturulmuştur. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.92)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 a=0 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _{ik}	Sω _k =Sω _{ik} +ΔSω _{ik}	T _k =K(z)*Sω _k	τ _k =T _k /tω _k
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	6												0	0	0
6	3'	16	16	-17,2	-5,86	0,02	11,34	0,2268	181,446	0	90,723	10,28799	10,29	551,08	27,55
3'	3	16	16	-5,86	-2,2	0,02	3,66	0,0732	0	-58,5542	-29,2771	-1,07154	-1,07	-57,40	-2,87
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-58,5542	-21,3439	-39,9491	-3,59541	-4,67	-249,99	-13,89
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-21,3439	0	-10,672	-0,57629	-5,24	-280,85	-15,60
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	-5,24	-280,85	-14,04
	3												-1,07		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-58,5542	-89,5642	-74,0592	-1,6293	-2,70	-144,59	-7,23
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-89,5642	-34,1396	-61,8519	-6,18519	-8,88	-475,90	-23,79
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-34,1396	0	-17,0698	-1,02419	-9,91	-530,76	-26,54

4.2.1.3 a=3500 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.6 a=3500 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t _{ik}	L _{ik}	P _{ik}	A.Ψ/t _{ik}	(A.Ψ/t _{ik})-P _{ik}	Δω _{ik}	ω _k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						A*(3/4)	(7-6)	5*8	w _i +9
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	5,830*10 ⁻⁴	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	5,411*10 ⁻⁴	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	5,411*10 ⁻⁴	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	5,411*10 ⁻⁴	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	5,830*10 ⁻⁴	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	4,185*10 ⁻⁵	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	3,5	-17,2	0	17,2	60,2	299,8469

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.93)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.7 a=3500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	L _{ik}	t _{ik}	A _{ik}	ω _i	ω _k	2x _k +x _i	2x _i +x _k	(2x _k +x _i)*ω _k
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								7*8					11*12
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0,00
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5778,00
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,42
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3141	0	6	12	0,00
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,66
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	12,5	17,2	17,2	3,5	0,04	0,14	239,6469	299,6469	41	44,5	12285,52

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_s^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * [(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k] \quad (4.94)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * [x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2] \quad (4.95)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.96)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.97)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_s^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * (\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2}) \quad (4.98)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.99)$$

bağıntısı kullanıldı. x eksen simetri eksen olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.8 a=3500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)^* \omega_i$	$\Delta R_{y_{ik}}$	$x_i^2+x_i^*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y_{ik}}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z_{ik}}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,10	36,00	1,30	-36,59	0,00	48,21	-18,30
13,48	0,00	388,00	23,28	-99,22	-36,59	888,93	-67,91
-16,95	-11,16	768,00	11,26	-130,23	-99,22	582,68	-114,73
-1191,80	-51,22	388,00	25,87	-49,39	-130,23	1722,16	-89,81
144,77	2,90	36,00	1,44	0,00	-49,39	97,58	-24,70
8,67	-1,25	108,00	1,27	-49,39	-36,59	65,54	-42,99
-16,95	574,31	768,00	76,80	140,78	-99,22	1569,50	20,78
10664,29	535,50	612,50	28,57	222,40	140,78	4694,26	181,59
Toplam=	2098,334842	Toplam=	339,5704		$C_z^*=$	9668,861	
		Kayma merkezi	6,179381	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.100)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.9 a=3500 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_{ik}	L_{ik}	A_{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_{ik}$	$S \omega_k = S \omega_{ik} + \Delta S \omega_{ik}$	$T_k = K(z)^* S \omega_{ik}$	$\tau_k = T_k / t \omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
7													0	0	0
7	6	12,5	16	-17,2	-17,2	0,04	3,5	0,14	222,4094	140,7829	181,6	12,71	12,71	283,98	7,10
6	3'	16	16	-17,2	-8,4	0,02	8,8	0,176	140,7829	0	70,391	6,194	18,91	422,33	21,12
3'	3	16	16	-8,4	-2,2	0,02	6,2	0,124	0	-99,2171	-49,61	-3,076	9,64	215,27	10,76
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-99,2171	-36,5925	-67,9	-6,111	3,52	78,74	4,37
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-36,5925	0	-18,3	-0,988	2,54	56,67	3,15
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	2,54	56,67	2,83
3													9,64		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-99,2232	-130,233	-114,7	-2,524	7,11	158,88	7,94
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-130,2332	-49,3905	-89,81	-8,981	-1,87	-41,76	-2,09
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-49,39047	0	-24,7	-1,482	-3,35	-74,86	-3,74

4.2.1.4 a=4000 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.10 a=4000 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A \cdot \Psi/t_{ik}$	$(A \cdot \Psi/t_{ik}) - P_{ik}$	$\Delta \omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A^*(3/4)$	$(7-6)$	$5*8$	w_i+9
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830*10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411*10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411*10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411*10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830*10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185*10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	4	-17,2	0	17,2	68,8	308,4469

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.101)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.11 a=4000 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	L _{ik}	t _{ik}	A _{ik}	ω _i	ω _k	2x _k +x _i	2x _i +x _k	(2x _k +x _i)*ω _k
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								7*8					11*12
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5.778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	12	17,2	17,2	4	0,04	0,16	239,6469	308,4469	40	44	12337,88

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_s^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * \left[(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k \right] \quad (4.102)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left[x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2 \right] \quad (4.103)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.104)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.105)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_s^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left(\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2} \right) \quad (4.106)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.107)$$

bağıntısı kullanıldı. x ekseni simetri ekseni olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.12 a=4000 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)^* \omega_i$	$\Delta R_{y,ik}$	$x_i^2+x_i^*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y,ik}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z,ik}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,104	36	1,296	-38,5448	0	53,4852	-19,2724
13,482	0,001921	388	23,28	-104,423	-38,5448	984,8921	-71,484
-16,9488	-11,164	768	11,264	-135,433	-104,423	636,3677	-119,928
-1191,8	-51,22	388	25,866	-51,3405	-135,433	1862,079	-93,3868
144,77	2,895	36	1,44	0	-51,3405	105,4337	-25,6702
8,667	-1,2495	108	1,2672	-51,3405	-38,5448	71,57861	-44,9426
-16,9488	574,305	768	76,8	135,5768	-104,423	1512,791	15,57682
10544,46	610,195	592	31,573	230,3943	135,5768	5477,267	182,9856
Toplam=	2247,735	Toplam=	345,5724		C _z *=	10703,9	
		Kayma merkezi	6,504382	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.108)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.13 a=4000 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _k	A _k	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _k	Sω _k =Sω _k +ΔSω _k	T _k =K(z)*Sω _k	τ _{ik} =T _k /tω _k
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	7												0	0	0
7	6	12	16	-17,2	-17,2	0,04	4	0,16	230,394	135,577	182,9855	14,63884	14,64	295,40	7,39
6	3'	16	16	-17,2	-8,53	0,02	8,47	0,1694	135,577	0	67,7885	5,741686	20,38	411,27	20,56
3'	3	16	16	-8,53	-2,2	0,02	6,53	0,1306	0	-104,423	-52,2115	-3,40941	11,23	226,60	11,33
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-104,423	-38,5448	-71,4839	-6,43355	4,80	96,78	5,38
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-38,5448	0	-19,2724	-1,04071	3,76	75,78	4,21
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	3,76	75,78	3,79
	3												11,23		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-104,423	-135,433	-119,928	-2,63842	8,59	173,37	8,67
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-135,433	-51,3405	-93,3868	-9,33868	-0,75	-15,08	-0,75
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-51,3405	0	-25,6702	-1,54021	-2,29	-46,16	-2,31

4.2.1.5 a=4500 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu

değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.14 a=4500 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A.\Psi/t_{ik}$	$(A.\Psi/t_{ik})-P_{ik}$	$\Delta\omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A^*(3/4)$	$(7-6)$	$5*8$	w_i+9
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830*10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411*10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411*10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411*10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830*10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185*10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	4,5	-17,2	0	17,2	77,4	317,0469

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.109)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.15 a=4500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	L_{ik}	t_{ik}	A_{ik}	ω_i	ω_k	$2x_k+x_i$	$2x_i+x_k$	$(2x_k+x_i)*\omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								$7*8$					$11*12$
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5,778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	11,5	17,2	17,2	4,5	0,04	0,18	239,6469	317,0469	39	43,5	12364,83

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_s^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * \left[(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k \right] \quad (4.110)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left[x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2 \right] \quad (4.111)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.112)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.113)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_s^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left(\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2} \right) \quad (4.114)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.115)$$

bağıntısı kullanıldı. x ekseni simetri ekseni olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.16 a=4500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)*\omega_i$	$\Delta R_{y,ik}$	$x_i^2+x_i*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y,ik}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z,ik}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,104	36	1,296	-40,4425	0	58,88151	-20,2213
13,482	0,001921	388	23,28	-109,484	-40,4425	1083,006	-74,9632
-16,9488	-11,164	768	11,264	-140,494	-109,484	690,903	-124,989
-1191,8	-51,22	388	25,866	-53,2382	-140,494	2003,497	-96,866
144,77	2,895	36	1,44	0	-53,2382	113,3722	-26,6191
8,667	-1,2495	108	1,2672	-53,2382	-40,4425	77,70975	-46,8404
-16,9488	574,305	768	76,8	130,5162	-109,484	1473,177	10,51618
10424,64	683,684	572,25	34,335	238,6092	130,5162	6306,671	184,5627
Toplam=	2394,713	Toplam=	351,0964		C _z *=	11807,22	
		Kayma merkezi	6,82067	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.116)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.17 a=4500 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$	$\Delta S\omega_{ik}$	$S\omega_k=S\omega_i+\Delta S\omega_{ik}$	$T_k=K(z)*S\omega_k$	$\tau_k=T_k/t\omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	7												0	0	0
7	6	11,5	16	-17,2	-17,2	0,04	4,5	0,18	238,609	130,516	184,5625	16,61063	16,61	303,87	7,60
6	3'	16	16	-17,2	-9,05	0,02	8,15	0,163	130,516	0	65,258	5,318527	21,93	401,17	20,06
3'	3	16	16	-9,05	-2,2	0,02	6,85	0,137	0	-109,484	-54,742	-3,74983	12,86	235,27	11,76
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-109,484	-40,4425	-74,9633	-6,74669	6,11	111,85	6,21
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-40,4425	0	-20,2213	-1,09195	5,02	91,87	5,10
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	5,02	91,87	4,59
	3												12,86		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-109,484	-140,494	-124,989	-2,74975	10,11	184,96	9,25
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-140,494	-53,2382	-96,866	-9,6866	0,42	7,75	0,39
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-53,2382	0	-26,6191	-1,59715	-1,17	-21,47	-1,07

4.2.1.6 a=5000 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu

değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.18 a=5000 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A \cdot \Psi/t_{ik}$	$(A \cdot \Psi/t_{ik}) - P_{ik}$	$\Delta \omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A \cdot (3/4)$	$(7-6)$	$5 \cdot 8$	$w_i + 9$
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830 \cdot 10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830 \cdot 10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185 \cdot 10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	5	-17,2	0	17,2	86	325,6469

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.117)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.19 a=5000 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	L_{ik}	t_{ik}	A_{ik}	ω_i	ω_k	$2x_k + x_i$	$2x_i + x_k$	$(2x_k + x_i) \cdot \omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								$7 \cdot 8$					$11 \cdot 12$
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5,778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	11	17,2	17,2	5	0,04	0,2	239,6469	325,6469	38	43	12374,58

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_y^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * \left[(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k \right] \quad (4.118)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left[x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2 \right] \quad (4.119)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.120)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.121)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_y^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left(\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2} \right) \quad (4.122)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.123)$$

bağıntısı kullanıldı. x ekseni simetri ekseni olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.20 a=5000 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)^* \omega_i$	$\Delta R_{y,ik}$	$x_i^2+x_i^*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y,ik}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z,ik}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,104	36	1,296	-42,2968	0	64,40457
13,482	13,482	0,001921	388	23,28	-114,428	-42,2968	1183,37
-16,9488	-16,9488	-11,164	768	11,264	-145,438	-114,428	746,3649
-1191,8	-1191,8	-51,22	388	25,866	-55,0924	-145,438	2146,672
144,77	144,77	2,895	36	1,44	0	-55,0924	121,4071
8,667	8,667	-1,2495	108	1,2672	-55,0924	-42,2968	83,94525
-16,9488	-16,9488	574,305	768	76,8	125,5715	-114,428	1449,313
10424,64	10304,82	755,98	553	36,866	247,2201	125,5715	7195,319
Toplam=	2539,305	Toplam=	356,1584		C _z *=	12990,8	
		Kayma merkezi	7,129706	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.124)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.21 a=5000 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _{ik}	Sω _{ik} =Sω _{ik} +ΔSω _{ik}	T _k =K(z)*Sω _{ik}	τ _{ik} =T _k /tω _{ik}
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	7												0	0	0
7	6	11	16	-17,2	-17,2	0,04	5	0,2	247,22	125,572	186,396	18,6396	18,64	309,92	7,75
6	3'	16	16	-17,2	-9,35	0,02	7,85	0,157	125,572	0	62,786	4,928701	23,57	391,87	19,59
3'	3	16	16	-9,35	-2,2	0,02	7,15	0,143	0	-114,428	-57,214	-4,0908	14,55	241,91	12,10
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-114,428	-42,2968	-78,3624	-7,05262	7,50	124,64	6,92
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-42,2968	0	-21,1484	-1,14201	6,35	105,65	5,87
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	6,35	105,65	5,28
	3												14,55		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-114,428	-145,438	-129,933	-2,85854	11,69	194,40	9,72
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-145,438	-55,0924	-100,265	-10,0265	1,66	27,68	1,38
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-55,0924	0	-27,5462	-1,65277	0,01	0,20	0,01

4.2.1.7 a=5500 mm için Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indigenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu

değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.22 a=5500 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A.\Psi/t_{ik}$	$(A.\Psi/t_{ik})-P_{ik}$	$\Delta\omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A*(3/4)$	$(7-6)$	$5*8$	w_i+9
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830*10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411*10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411*10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411*10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830*10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185*10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	5,5	-17,2	0	17,2	94,6	334,2469

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.125)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.23 a=5500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	L_{ik}	t_{ik}	A_{ik}	ω_i	ω_k	$2x_k+x_i$	$2x_i+x_k$	$(2x_k+x_i)*\omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								$7*8$					$11*12$
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5,778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	10,5	17,2	17,2	5,5	0,04	0,22	239,6469	334,2469	37	42,5	12367,14

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_y^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * \left[(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k \right] \quad (4.126)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left[x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2 \right] \quad (4.127)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.128)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.129)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_y^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left(\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2} \right) \quad (4.130)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.131)$$

bağıntısı kullanıldı. x ekseni simetri ekseni olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.24 a=5500 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)*\omega_i$	$\Delta R_{y,ik}$	$x_i^2+x_i*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y,ik}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z,ik}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,104	36	1,296	-44,1077	0	70,03755	-22,0538
13,482	0,001921	388	23,28	-119,258	-44,1077	1285,682	-81,6826
-16,9488	-11,164	768	11,264	-150,268	-119,258	802,6079	-134,763
-1191,8	-51,22	388	25,866	-56,9034	-150,268	2291,271	-103,585
144,77	2,895	36	1,44	0	-56,9034	129,5197	-28,4517
8,667	-1,2495	108	1,2672	-56,9034	-44,1077	90,2687	-50,5055
-16,9488	574,305	768	76,8	120,7424	-119,258	1440,165	0,74242
10184,99	826,911	534,25	39,178	256,2158	120,7424	8151,836	188,4791
Toplam=	2681,167	Toplam=	360,7824		$C_z^*=$	14261,39	
		Kayma merkezi	7,431534	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.132)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.25 a=5500 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_{ik}	L_{ik}	A_{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$	$\Delta S\omega_{ik}$	$S\omega_k=S\omega_i+\Delta S\omega_{ik}$	$T_k=K(z)*S\omega_k$	$\tau_k=T_k/t\omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	7												0	0	0
7	6	10,5	16	-17,2	-17,2	0,04	5,5	0,22	256,216	120,742	188,479	20,73269	20,73	314,01	7,85
6	3'	16	16	-17,2	-9,65	0,02	7,55	0,151	120,742	0	60,371	4,558011	25,29	383,05	19,15
3'	3	16	16	-9,65	-2,2	0,02	7,45	0,149	0	-119,258	-59,629	-4,44236	16,29	246,73	12,34
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-119,258	-44,1077	-81,6829	-7,35146	8,94	135,39	7,52
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-44,1077	0	-22,0539	-1,19091	7,75	117,35	6,52
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	7,75	117,35	5,87
	3												16,29		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-119,258	-150,268	-134,763	-2,96478	13,33	201,82	10,09
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-150,268	-56,9034	-103,585	-10,3585	2,97	44,93	2,25
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-56,9034	0	-28,4517	-1,7071	1,26	19,08	0,95

4.2.1.8 a=15999 mm İçin Analitik Çözüm

Bu adımda ilk olarak üniform burulma teorisi için yapılan analitik çözümlerde bulunan burulma atalet moment değerleri ve indirgenmiş kayma akımları Ψ_{ik} aynen alındı. Bu

değerlere göre aşağıdaki çizelge oluşturuldu ve gerekli işlemler yapılarak boyuna şişme fonksiyonu değerleri bulundu.

Çizelge 4.26 a=15999 mm için boyuna şişme fonksiyonunun hesap sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	k	Ψ_{ik}	t_{ik}	L_{ik}	P_{ik}	$A \cdot \Psi/t_{ik}$	$(A \cdot \Psi/t_{ik}) - P_{ik}$	$\Delta \omega_{ik}$	ω_k
--	--	--	m	m	m	m	m	m ²	m ²
						$A \cdot (3/4)$	$(7-6)$	$5 \cdot 8$	$w_i + 9$
0	1	0	0,02	2,2	0	0	0	0	0
1	2	$5,830 \cdot 10^{-4}$	0,018	6	2,2	2,28	0,08	0,4815	0,4815
2	3	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,018	10	2,2	2,11	-0,08	-0,083	-0,3531
3	4	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,02	2,2	16	1,9	-14,09	-31,01	-31,3631
4	5	$5,411 \cdot 10^{-4}$	0,02	10	0	1,9	1,9	19,048	-12,31418
5	0	$5,830 \cdot 10^{-4}$	0,02	6	0	2,05	2,05	12,31	0,0008
	2								0,4815
2	5	$4,185 \cdot 10^{-5}$	0,016	2,2	6	0,18	-5,81	-12,79	-12,3133
	3								-0,3531
3	6	0	0,02	15	-16	0	16	240	239,6469
6	7	0	0,04	15,999	-17,2	0	17,2	275,18	514,8269

Bu adımda ise her bir elemanın i ve k noktalarındaki boyuna şişme fonksiyon değerleri bulundu. Bu çizelgedeki 7. sütunda

$$l_{ik} = \sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2} \quad (4.133)$$

bağıntısı kullanılmış ve işlemlere devam edilmiştir.

Çizelge 4.27 a=15999 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	L_{ik}	t_{ik}	A_{ik}	ω_i	ω_k	$2x_k + x_i$	$2x_i + x_k$	$(2x_k + x_i) \cdot \omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m ³
								$7 \cdot 8$					$11 \cdot 12$
0	1	0	0	0	2,2	2,2	0,02	0,044	0	0	0	0	0
1	2	0	6	2,2	2,2	6	0,018	0,108	0	0,4815	12	6	5,778
2	3	6	16	2,2	2,2	10	0,018	0,18	0,4815	-0,3531	38	28	-13,4178
3	4	16	16	2,2	0	2,2	0,02	0,044	-0,3531	-31,3631	48	48	-1505,43
4	5	16	6	0	0	10	0,02	0,2	-31,3631	-12,3142	28	38	-344,78
5	0	6	0	0	0	6	0,02	0,12	-12,3142	0	6	12	0
2	5	6	6	2,2	0	2,2	0,016	0,0352	0,4815	-12,3142	18	18	-221,655
3	6	16	16	2,2	17,2	15	0,02	0,3	-0,3531	239,6469	48	48	11503,05
6	7	16	0,001	17,2	17,2	15,999	0,04	0,63996	239,6469	514,8269	16,002	32,001	8238,26

Bir önceki çizelgedeki işlemlere devam edilerek kayma merkezinin koordinatları(x_M, y_M) ve boyuna şişme rijitliği (C_s^*) hesaplandı. Bu çizelgede hesaplar yapılırken;

$$16. \text{ sütunda } \Delta R_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{6} * A_{ik} * \left[(2 * x_i + x_k) * \omega_i + (x_i + 2 * x_k) * \omega_k \right] \quad (4.134)$$

$$18. \text{ sütunda } \Delta I_{y_{ik}}^{(0)} = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left[x_i^2 + x_i * x_k + x_k^2 \right] \quad (4.135)$$

$$19. \text{ sütunda } \omega_k^* = \omega_k^{(0)} - y_M * x_k + x_M * y_k \quad (4.136)$$

$$20. \text{ sütunda } \omega_i^* = \omega_i^{(0)} - y_M * x_i + x_M * y_i \quad (4.137)$$

$$21. \text{ sütunda } \Delta C_s^* = \frac{1}{3} * A_{ik} * \left(\omega_k^{*2} + \omega_k^* * \omega_i^* + \omega_i^{*2} \right) \quad (4.138)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Ayrıca kayma merkezinin koordinatları (x_M, y_M) bulunurken o eksendeki sektör deviasyon momentlerindeki değişimin toplamını yine o eksendeki burulma atalet momentlerindeki değişime oranından yararlanıldı. Örneğin

$$y_M = \frac{\Delta R_{y_{ik}}^{(0)}}{\Delta I_{y_{ik}}^{(0)}} \quad (4.139)$$

bağıntısı kullanıldı. x ekseni simetri ekseni olduğu için x_M değeri 0 olarak bulundu.

Çizelge 4.28 a=15999 mm için kayma merkezi ve boyuna şişme rijitliğinin hesaplanması(devamı)

15	16	17	18	19	20	21	22
$(2x_i+x_k)^* \omega_i$	$\Delta R_{y,ik}$	$x_i^2+x_i^*x_k+x_k^2$	$\Delta I_{y,ik}$	ω_k^*	ω_i^*	$\Delta C_{z,ik}^*$	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$
m ³	m ⁵	m ²	m ⁴	m ²	m ²	m ⁵	m ²
10*13	(14+15)*9*1/6		9*17*1/3				
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,104	36	1,296	-67,2417	0	162,7721	-33,6209
13,482	0,001921	388	23,28	-180,948	-67,2417	2965,86	-124,095
-16,9488	-11,164	768	11,264	-211,958	-180,948	1701,657	-196,453
-1191,8	-51,22	388	25,866	-80,0374	-211,958	4553,126	-145,998
144,77	2,895	36	1,44	0	-80,0374	256,2393	-40,0187
8,667	-1,2495	108	1,2672	-80,0374	-67,2417	191,3622	-73,6395
-16,9488	574,305	768	76,8	59,0517	-180,948	2554,409	-60,9483
7668,94	1696,662	256,016	54,613	514,8156	59,0517	63766,24	286,9337
Toplam=	4420,669	Toplam=	391,6524		C _z *=	76151,67	
		Kayma merkezi	11,28723	m			

Son olarak kayma gerilmelerini bulmak için bir çizelge daha oluşturuldu. Bu çizelgede 15. sütundaki kayma akımı T_k değerini bulmak için

$$K(z) = \frac{M_b^{Toplam}}{C_s^*} * e^{-\alpha * z} \quad (4.140)$$

bağıntısı kullanıldı.

Çizelge 4.29 a=15999 mm için kayma gerilmelerinin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^*+\omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_{ik}$	$S \omega_k = S \omega_{ik} + \Delta S \omega_{ik}$	$T_k = K(z)^* S \omega_{ik}$	$\tau_k = T_k / t \omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	N/mm	MPa
								7*8				9*12/(2)		K*14	15/7
	7												0	0	0
7	6	0,001	16	-17,2	-17,2	0,04	15,999	0,63996	514,816	140,7829	327,7995	104,8893	104,89	297,51	7,44
6	3'	16	16	-17,2	-13,51	0,02	3,69	0,0738	59,0517	0	29,52585	1,089504	105,98	300,60	15,03
3'	3	16	16	-13,51	-2,2	0,02	11,31	0,2262	0	-99,2171	-49,6086	-5,61073	99,28	281,59	14,08
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-180,948	-36,5925	-108,77	-9,78932	89,49	253,83	14,10
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-67,2417	0	-33,6209	-1,81553	87,67	248,68	13,82
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	87,67	248,68	12,43
	3												99,28		
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-180,948	-211,958	-196,453	-4,32197	94,96	269,34	13,47
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-211,958	-80,0374	-145,998	-14,5998	80,36	227,93	11,40
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-80,0374	0	-40,0187	-2,40112	77,96	221,12	11,06

4.2.2 Üniform Olmayan Burulma Teorisinde Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam})

Sabit Olduğunda Güverte Genişliğine Bağlı Sonuçlar

Yukarıda farklı güverte genişlikleri için yapılan işlemler sonucu bulunan veriler, Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30 Üniform olmayan burulma teorisinde toplam burulma momentinin sabit olduğu durumda güverte genişliğine bağlı sonuçlar

		a=0 mm	a=3500 mm	a=4000 mm	a=4500 mm	a=5000 mm	a=5500 mm	a=15999 mm
I_b^{Toplam}	m^4	5,51984	5,51998	5,52001	5,52003	5,52005	5,52007	1817,511
C_z^*	m_s	4032,49	9668,86	10703,9	11807,2	12990,8	14261,4	76151,7
E	MPa	206000	206000	206000	206000	206000	206000	206000
α	m^{-1}	0,0226	0,0146	0,0138	0,0132	0,0125	0,0120	0,0944
G	Mpa	76923	76923	76923	76923	76923	76923	76923
M_b	N.m	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$
ω_{maks}^*	m^2	181,44	222,40	230,39	238,60	247,22	256,21	514,81
τ_{maks}	MPa	27,55	21,12	20,56	20,06	19,59	19,15	15,03
σ_{maks}	N/mm ²	417,529	330,504	325,402	320,873	316,945	313,503	15,023
σ/τ		15,15	15,64	15,82	15,99	16,17	16,37	0,999

4.2.3 Toplam Burulma Momenti (M_b^{Toplam}) Değişken Olduğunda Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre Analitik Çözümler

Bu bölümde, toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), duba boyunca her kesitte farklı bir değerde alınmıştır. Bu değerler, Türk Loydu kurallarına göre hesaplanmıştır. Toplam burulma momenti, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinden oluşmaktadır. Her bir duba için bu değerler hesaplanmış ve bu moment dağılımına uygun 6. dereceden bir eğri uydurulmuştur. Bu şekilde toplam burulma momenti z eksenine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bu adımdan sonra, burulma probleminin diferansiyel denklemi her bir duba için ayrı ayrı çözülerek, $\nu(z)$, $\nu'(z)$ ve $\nu''(z)$ fonksiyonları gemi boy eksenine yani z' ye bağlı olarak bulunmuştur. Daha sonra ise, her bir dubanın her kesiti için gerilme değerleri hesaplanmıştır.

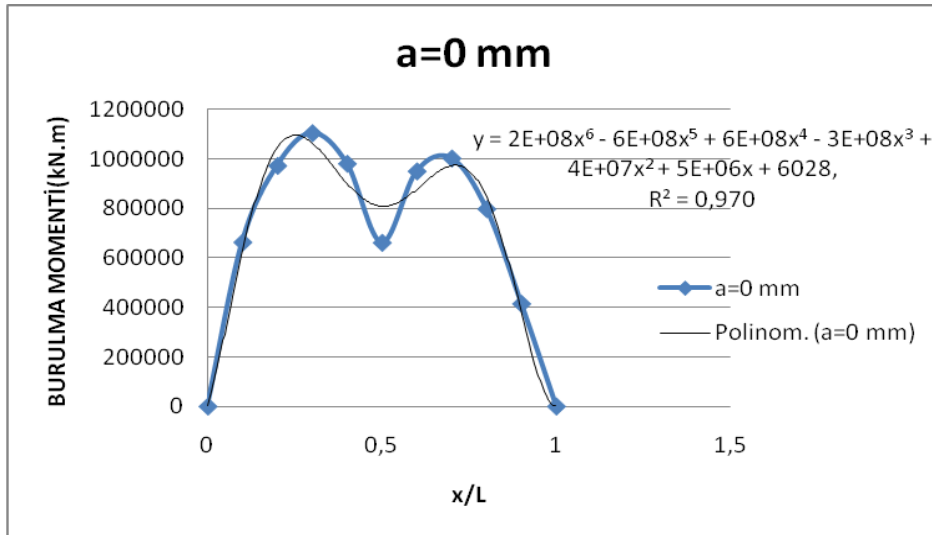
4.2.3.1 a=0 mm İçin Analitik Çözüm

İlk olarak, ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.31 a=0 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8022	528516,0217	663147,8239
0,2	195601,6338	776565,7695	972167,4033
0,3	220297,4822	883838,627	1104136,109
0,4	192597,5772	787993,5965	980591,1738
0,5	125169,024	536074,2228	661243,2468
0,6	186777,2176	763066,1452	949843,3628
0,7	200958,868	801015,1596	1001974,028
0,8	162269,1227	635314,6173	797583,74
0,9	85452,89268	329114,0618	414566,9545
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.10 a=0 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar, toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan

6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir:

$$M_b^{Toplam} = 2*10^8 * z^6 - 6*10^8 * z^5 + 6*10^8 * z^4 - 3*10^8 * z^3 + 4*10^7 * z^2 + 5*10^6 * z + 6028$$

Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konulmuş;

$$v''(z) - \alpha^2 * v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E * C_{\varphi}^*} \quad (4.141)$$

diferansiyel denklemini;

$v(z=0) = 0$ ve $v'(z=l=1) = 0$ sınır şartlarına göre çözülmüş ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulunmuştur. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.32 $a=0$ mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	-3,73E-05	-7,26E-06
0,1	-2,33E-06	-3,78E-05	-8,05E-06
0,2	-4,56E-05	-3,86E-05	-8,44E-06
0,3	-4,53E-05	-3,97E-05	-7,78E-06
0,4	-2,74E-05	-4,02E-05	-5,45E-06
0,5	-1,07E-06	-4,10E-05	-1,21E-07
0,6	1,94E-05	-4,02E-05	1,12E-05
0,7	-3,65E-06	-3,77E-05	3,39E-05
0,8	-2,41E-05	-3,27E-05	7,65E-05
0,9	-4,57E-05	-2,18E-05	1,51E-04
1	-6,90E-05	0	2,76E-04

$a=0$ mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.33 a=0 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _{ik}	Sω _k =Sω _{ik} +ΔSω _{ik}
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	6												0
6	3'	16	16	-17,2	-5,86	0,02	11,34	0,2268	181,446	0	90,723	10,28799	10,29
3'	3	16	16	-5,86	-2,2	0,02	3,66	0,0732	0	-58,5542	-29,2771	-1,07154	-1,07
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-58,5542	-21,3439	-39,9491	-3,59541	-4,67
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-21,3439	0	-10,672	-0,57629	-5,24
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	-5,24
	3												-1,07
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-58,5542	-89,5642	-74,0592	-1,6293	-2,70
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-89,5642	-34,1396	-61,8519	-6,18519	-8,88
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-34,1396	0	-17,0698	-1,02419	-9,91

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.142)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.143)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.144)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.34 a=0 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S _{ωk}	ω*	v'(z)	v''(z)	t _{ik}	T _s	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	15379751	768,9876	-1,39E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	-1601871	-80,0935	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,73E-05	-7,26E-06	0,018	-6976733	-387,596	4,50E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,73E-05	-7,26E-06	0,018	-7838234	-435,457	1,64E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	-7838234	-391,912	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	-4035246	-201,762	4,50E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	-1,3E+07	-664,081	6,88E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,73E-05	-7,26E-06	0,02	-1,5E+07	-740,635	2,62E+02

Çizelge 4.35 a=0 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	17052325	852,6163	-1,41E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	-1776077	-88,8038	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,78E-05	-8,05E-06	0,018	-7735464	-429,748	4,56E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,78E-05	-8,05E-06	0,018	-8690655	-482,814	1,66E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	-8690655	-434,533	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	-4474085	-223,704	4,56E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	-1,5E+07	-736,301	6,98E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,78E-05	-8,05E-06	0,02	-1,6E+07	-821,18	2,66E+02

Çizelge 4.36 a=0 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	17889248	894,4624	-1,44E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	-1863246	-93,1623	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,86E-05	-8,44E-06	0,018	-8115118	-450,84	4,66E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,86E-05	-8,44E-06	0,018	-9117190	-506,511	1,70E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	-9117190	-455,859	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	-4693672	-234,684	4,66E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	-1,5E+07	-772,438	7,13E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,86E-05	-8,44E-06	0,02	-1,7E+07	-861,484	2,72E+02

Çizelge 4.37 a=0 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	16484133	824,2067	-1,48E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	-1716897	-85,8449	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,97E-05	-7,78E-06	0,018	-7477715	-415,429	4,78E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,97E-05	-7,78E-06	0,018	-8401078	-466,727	1,74E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	-8401078	-420,054	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	-4325007	-216,25	4,78E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	-1,4E+07	-711,767	7,32E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,97E-05	-7,78E-06	0,02	-1,6E+07	-793,818	2,79E+02

Çizelge 4.38 a=0 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	11558603	577,9301	-1,50E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	-1203881	-60,194	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-4,02E-05	-5,45E-06	0,018	-5243341	-291,297	4,85E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-4,02E-05	-5,45E-06	0,018	-5890800	-327,267	1,77E+02
1	0	206000	-5,24	0	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	-5890800	-294,54	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	-3032676	-151,634	4,85E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	-9981759	-499,088	7,42E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-4,02E-05	-5,45E-06	0,02	-1,1E+07	-556,622	2,83E+02

Çizelge 4.39 a=0 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	256523,5	12,82617	-1,53E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	-26718,1	-1,3359	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-4,10E-05	-1,21E-07	0,018	-116367	-6,46483	4,94E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-4,10E-05	-1,21E-07	0,018	-130736	-7,26312	1,80E+02
1	0	206000	-5,24	0	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	-130736	-6,53681	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	-67305,1	-3,36525	4,94E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	-221528	-11,0764	7,56E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-4,10E-05	-1,21E-07	0,02	-247065	-12,3533	2,88E+02

Çizelge 4.40 a=0 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	-2,4E+07	-1190,64	-1,50E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	2480208	124,0104	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-4,02E-05	1,12E-05	0,018	10802212	600,1229	4,85E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-4,02E-05	1,12E-05	0,018	12136091	674,2273	1,77E+02
1	0	206000	-5,24	0	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	12136091	606,8046	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	6247850	312,3925	4,85E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	20564192	1028,21	7,41E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-4,02E-05	1,12E-05	0,02	22934794	1146,74	2,83E+02

Çizelge 4.41 a=0 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	-7,2E+07	-3596,71	-1,41E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	7492276	374,6138	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,77E-05	3,39E-05	0,018	32631602	1812,867	4,55E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,77E-05	3,39E-05	0,018	36661018	2036,723	1,66E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	36661018	1833,051	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	18873666	943,6833	4,55E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	62120843	3106,042	6,95E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,77E-05	3,39E-05	0,02	69282019	3464,101	2,65E+02

Çizelge 4.42 a=0 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	-1,6E+08	-8107,49	-1,22E+03
3'	3	206000	-1,07	0	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	16888636	844,4318	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-3,27E-05	7,65E-05	0,018	73556179	4086,454	3,94E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-3,27E-05	7,65E-05	0,018	82639046	4591,058	1,44E+02
1	0	206000	-5,24	0	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	82639046	4131,952	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	42543874	2127,194	3,94E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	1,4E+08	7001,452	6,03E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-3,27E-05	7,65E-05	0,02	1,56E+08	7808,566	2,30E+02

Çizelge 4.43 a=0 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	-3,2E+08	-16042,3	-8,17E+02
3'	3	206000	-1,07	0	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	33417469	1670,873	0,00E+00
3	2	206000	-4,67	-58,5542	-2,18E-05	1,51E-04	0,018	1,46E+08	8085,849	2,64E+02
2	1	206000	-5,24	-21,3439	-2,18E-05	1,51E-04	0,018	1,64E+08	9084,307	9,61E+01
1	0	206000	-5,24	0	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	1,64E+08	8175,876	0,00E+00
3	4	206000	-2,70	-58,5542	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	84181376	4209,069	2,64E+02
4	5	206000	-8,88	-89,5642	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	2,77E+08	13853,74	4,03E+02
5	0	206000	-9,91	-34,1396	-2,18E-05	1,51E-04	0,02	3,09E+08	15450,78	1,54E+02

Çizelge 4.44 a=0 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
	6									
6	3'	206000	10,29	181,446	0	2,76E-04	0,02	-5,8E+08	-29204,3	0
3'	3	206000	-1,07	0	0	2,76E-04	0,02	60835289	3041,764	0
3	2	206000	-4,67	-58,5542	0	2,76E-04	0,018	2,65E+08	14720	0
2	1	206000	-5,24	-21,3439	0	2,76E-04	0,018	2,98E+08	16537,65	0
1	0	206000	-5,24	0	0	2,76E-04	0,02	2,98E+08	14883,89	0
3	4	206000	-2,70	-58,5542	0	2,76E-04	0,02	1,53E+08	7662,457	0
4	5	206000	-8,88	-89,5642	0	2,76E-04	0,02	5,04E+08	25220,23	0
5	0	206000	-9,91	-34,1396	0	2,76E-04	0,02	5,63E+08	28127,58	0

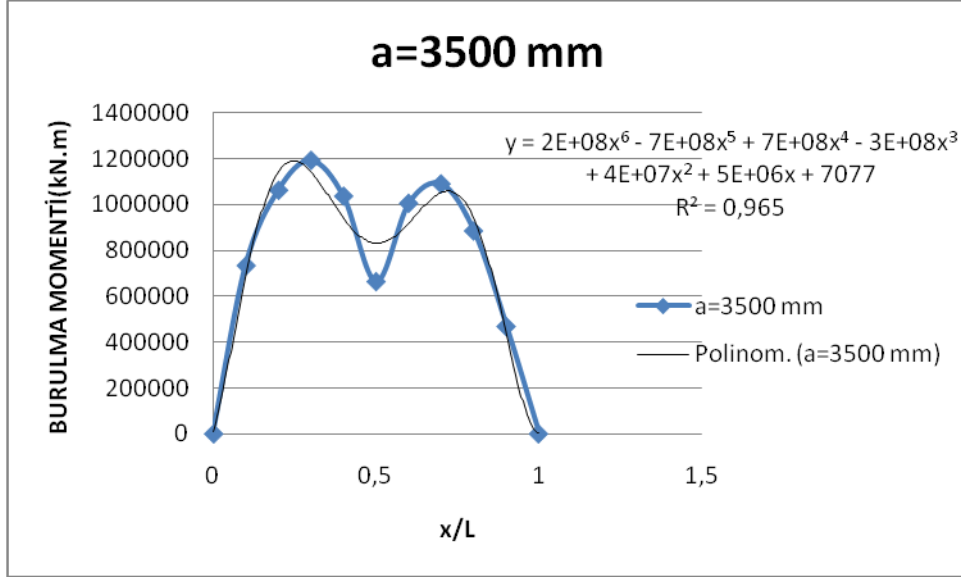
4.2.3.2 a=3500 mm için Analitik Çözümler

İlk olarak, ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.45 a=3500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	597974,2	732606
0,2	195601,6	865236,1	1060838
0,3	220297,5	970725,8	1191023
0,4	192597,6	842452,6	1035050
0,5	125169	537768,7	662937,8
0,6	186777,2	817446,3	1004224
0,7	200958,9	887640,6	1088599
0,8	162269,1	721416,2	883685,4
0,9	85452,89	382122,5	467575,4
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.11a=3500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$M_b^{Toplam} = 2 \cdot 10^8 \cdot z^6 - 7 \cdot 10^8 \cdot z^5 + 7 \cdot 10^8 \cdot z^4 - 3 \cdot 10^8 \cdot z^3 + 4 \cdot 10^7 \cdot z^2 + 5 \cdot 10^6 \cdot z + 7077$$

Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E \cdot C_{\varphi}^*} \quad (4.145)$$

diferansiyel denklemi;

$v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.46 a=3500 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	1,72E-05	-3,81E-06
0,1	0,0012	-1,93E-05	-4,39E-06
0,2	0,0028	4,01E-05	-4,19E-06
0,3	-0,0018	2,92E-05	-4,13E-06
0,4	0,0021	2,59E-05	-3,87E-06
0,5	0,0019	1,83E-05	-4,71E-06
0,6	3,93E-04	3,44E-06	-2,88E-06
0,7	-3,98E-04	-9,93E-06	-1,01E-06
0,8	4,59E-04	3,25E-05	3,29E-06
0,9	0,0071	2,15E-05	1,02E-05
1	0,0039	0	2,36E-05

a=3500 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.47 a=3500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_{ik}	l_{ik}	A_{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^* + \omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_{ik}$	$S \omega_k = S \omega_{ik} + \Delta S \omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	12,5	16	-17,2	-17,2	0,04	3,5	0,14	222,4094	140,7829	181,6	12,71	12,71
6	3'	16	16	-17,2	-8,4	0,02	8,8	0,176	140,7829	0	70,391	6,194	18,91
3'	3	16	16	-8,4	-2,2	0,02	6,2	0,124	0	-99,2171	-49,61	-3,076	9,64
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-99,2171	-36,5925	-67,9	-6,111	3,52
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-36,5925	0	-18,3	-0,988	2,54
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	2,54
	3												9,64
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-99,2232	-130,233	-114,7	-2,524	7,11
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-130,2332	-49,3905	-89,81	-8,981	-1,87
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-49,39047	0	-24,7	-1,482	-3,35

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.146)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.147)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z,s) = E \cdot v'(z) \cdot \omega^*(s) \quad (4.148)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.48 a=3500 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S _{wk}	ω*	v'(z)	v''(z)	t _{ik}	T _z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	1,72E-05	-3,81E-06	0,04	9989236	249,7309	7,86E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	14856082	742,8041	4,98E+02
3'	3	206000	9,64	0	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	7572241	378,612	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	1,72E-05	-3,81E-06	0,018	2766115	153,6731	-3,51E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	1,72E-05	-3,81E-06	0,018	1996004	110,8891	-1,29E+02
1	0	206000	2,54	0	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	1996004	99,80018	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	5587239	279,3619	-3,51E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	-1469499	-73,4749	-4,61E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	1,72E-05	-3,81E-06	0,02	-2632524	-131,626	-1,75E+02

Çizelge 4.49 a=3500 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S _{wk}	ω*	v'(z)	v''(z)	t _{ik}	T _z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	-1,93E-05	-4,39E-06	0,04	11486299	287,1575	-8,83E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	17082528	854,1264	-5,59E+02
3'	3	206000	9,64	0	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	8707074	435,3537	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	-1,93E-05	-4,39E-06	0,018	3180666	176,7037	3,94E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	-1,93E-05	-4,39E-06	0,018	2295140	127,5078	1,45E+02
1	0	206000	2,54	0	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	2295140	114,757	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	6424585	321,2292	3,94E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	-1689729	-84,4865	5,17E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	-1,93E-05	-4,39E-06	0,02	-3027055	-151,353	1,96E+02

Çizelge 4.50 a=3500 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	4,01E-05	-4,19E-06	0,04	10978550	274,4637	1,84E+03
6	3'	206000	18,91	140,7829	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	16327398	816,3699	1,16E+03
3'	3	206000	9,64	0	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	8322180	416,109	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	4,01E-05	-4,19E-06	0,018	3040066	168,8925	-8,20E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	4,01E-05	-4,19E-06	0,018	2193684	121,8713	-3,02E+02
1	0	206000	2,54	0	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	2193684	109,6842	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	6140587	307,0294	-8,20E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	-1615035	-80,7517	-1,08E+03
5	0	206000	-3,35	-49,3905	4,01E-05	-4,19E-06	0,02	-2893244	-144,662	-4,08E+02

Çizelge 4.51 a=3500 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	2,92E-05	-4,13E-06	0,04	10823528	270,5882	1,34E+03
6	3'	206000	18,91	140,7829	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	16096848	804,8424	8,46E+02
3'	3	206000	9,64	0	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	8204667	410,2333	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	2,92E-05	-4,13E-06	0,018	2997138	166,5077	-5,96E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	2,92E-05	-4,13E-06	0,018	2162708	120,1504	-2,20E+02
1	0	206000	2,54	0	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	2162708	108,1354	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	6053879	302,694	-5,96E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	-1592230	-79,6115	-7,82E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	2,92E-05	-4,13E-06	0,02	-2852390	-142,62	-2,97E+02

Çizelge 4.52 a=3500 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	2,59E-05	-3,87E-06	0,04	10145568	253,6392	1,18E+03
6	3'	206000	18,91	140,7829	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	15088580	754,429	7,50E+02
3'	3	206000	9,64	0	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	7690746	384,5373	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	2,59E-05	-3,87E-06	0,018	2809405	156,0781	-5,29E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	2,59E-05	-3,87E-06	0,018	2027241	112,6245	-1,95E+02
1	0	206000	2,54	0	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	2027241	101,3621	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	5674679	283,7339	-5,29E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	-1492496	-74,6248	-6,94E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	2,59E-05	-3,87E-06	0,02	-2673723	-133,686	-2,63E+02

Çizelge 4.53 a=3500 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	1,83E-05	-4,71E-06	0,04	12327399	308,185	8,38E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	18333419	916,6709	5,30E+02
3'	3	206000	9,64	0	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	9344661	467,2331	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	1,83E-05	-4,71E-06	0,018	3413575	189,6431	-3,74E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	1,83E-05	-4,71E-06	0,018	2463205	136,8447	-1,38E+02
1	0	206000	2,54	0	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	2463205	123,1602	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	6895033	344,7517	-3,74E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	-1813462	-90,6731	-4,91E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	1,83E-05	-4,71E-06	0,02	-3248715	-162,436	-1,86E+02

Çizelge 4.54 a=3500 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	3,44E-06	-2,88E-06	0,04	7529046	188,2262	1,58E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	11197265	559,8633	9,97E+01
3'	3	206000	9,64	0	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	5707318	285,3659	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	3,44E-06	-2,88E-06	0,018	2084865	115,8258	-7,03E+01
2	1	206000	2,54	-36,5925	3,44E-06	-2,88E-06	0,018	1504420	83,57887	-2,59E+01
1	0	206000	2,54	0	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	1504420	75,22098	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	4211190	210,5595	-7,03E+01
4	5	206000	-1,87	-130,233	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	-1107585	-55,3792	-9,22E+01
5	0	206000	-3,35	-49,3905	3,44E-06	-2,88E-06	0,02	-1984176	-99,2088	-3,50E+01

Çizelge 4.55 a=3500 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	-9,93E-06	-1,01E-06	0,04	2655015	66,37538	-4,55E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	3948563	197,4281	-2,88E+02
3'	3	206000	9,64	0	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	2012608	100,6304	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	-9,93E-06	-1,01E-06	0,018	735199,2	40,8444	2,03E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	-9,93E-06	-1,01E-06	0,018	530513	29,47295	7,49E+01
1	0	206000	2,54	0	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	530513	26,52565	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	1485019	74,25094	2,03E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	-390575	-19,5287	2,66E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	-9,93E-06	-1,01E-06	0,02	-699692	-34,9846	1,01E+02

Çizelge 4.56 a=3500 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	3,25E-05	3,29E-06	0,04	-8612106	-215,303	1,49E+03
6	3'	206000	18,91	140,7829	3,25E-05	3,29E-06	0,02	-1,3E+07	-640,4	9,41E+02
3'	3	206000	9,64	0	3,25E-05	3,29E-06	0,02	-6528321	-326,416	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	3,25E-05	3,29E-06	0,018	-2384775	-132,487	-6,63E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	3,25E-05	3,29E-06	0,018	-1720832	-95,6018	-2,45E+02
1	0	206000	2,54	0	3,25E-05	3,29E-06	0,02	-1720832	-86,0416	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	3,25E-05	3,29E-06	0,02	-4816974	-240,849	-6,63E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	3,25E-05	3,29E-06	0,02	1266912	63,34558	-8,71E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	3,25E-05	3,29E-06	0,02	2269601	113,48	-3,30E+02

Çizelge 4.57 a=3500 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	2,15E-05	1,02E-05	0,04	-2,7E+07	-667,027	9,83E+02
6	3'	206000	18,91	140,7829	2,15E-05	1,02E-05	0,02	-4E+07	-1984,02	6,23E+02
3'	3	206000	9,64	0	2,15E-05	1,02E-05	0,02	-2E+07	-1011,27	0,00E+00
3	2	206000	3,52	-99,2171	2,15E-05	1,02E-05	0,018	-7388248	-410,458	-4,39E+02
2	1	206000	2,54	-36,5925	2,15E-05	1,02E-05	0,018	-5331292	-296,183	-1,62E+02
1	0	206000	2,54	0	2,15E-05	1,02E-05	0,02	-5331292	-266,565	0,00E+00
3	4	206000	7,11	-99,2232	2,15E-05	1,02E-05	0,02	-1,5E+07	-746,171	-4,39E+02
4	5	206000	-1,87	-130,233	2,15E-05	1,02E-05	0,02	3925007	196,2503	-5,76E+02
5	0	206000	-3,35	-49,3905	2,15E-05	1,02E-05	0,02	7031429	351,5714	-2,18E+02

Çizelge 4.58 a=3500 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	12,71	222,4094	0	2,36E-05	0,04	-6,2E+07	-1544,92	0
6	3'	206000	18,91	140,7829	0	2,36E-05	0,02	-9,2E+07	-4595,23	0
3'	3	206000	9,64	0	0	2,36E-05	0,02	-4,7E+07	-2342,22	0
3	2	206000	3,52	-99,2171	0	2,36E-05	0,018	-1,7E+07	-950,673	0
2	1	206000	2,54	-36,5925	0	2,36E-05	0,018	-1,2E+07	-685,997	0
1	0	206000	2,54	0	0	2,36E-05	0,02	-1,2E+07	-617,397	0
3	4	206000	7,11	-99,2232	0	2,36E-05	0,02	-3,5E+07	-1728,23	0
4	5	206000	-1,87	-130,233	0	2,36E-05	0,02	9090807	454,5403	0
5	0	206000	-3,35	-49,3905	0	2,36E-05	0,02	16285670	814,2835	0

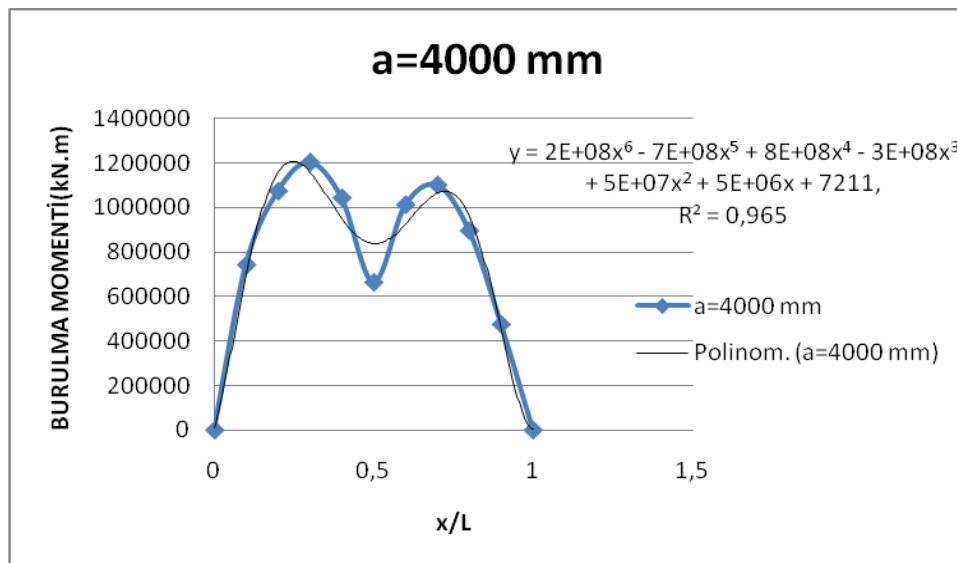
4.2.3.3 a=4000 mm için Analitik Çözümler

İlk olarak ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.59 a=4000 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	606887,3	741519,1
0,2	195601,6	876614,3	1072216
0,3	220297,5	981875	1202173
0,4	192597,6	849440,3	1042038
0,5	125169	537985,4	663154,5
0,6	186777,2	824424	1011201
0,7	200958,9	898756,3	1099715
0,8	162269,1	732465	894734,1
0,9	85452,89	388924,8	474377,7
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.12 a=4000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$M_b^{Toplam} = 2*10^8 * z^6 - 7*10^8 * z^5 + 8*10^8 * z^4 - 3*10^8 * z^3 + 5*10^7 * z^2 + 5*10^6 * z + 7211$
Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 * v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E * C_s^*} \quad (4.149)$$

diferansiyel denklemi;

$v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.60 a=4000 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	5,53E-05	-1,91E-06
0,1	-0,0049	4,98E-05	-2,04E-06
0,2	5,26E-04	-4,03E-05	-3,87E-06
0,3	0,0027	3,48E-05	-3,38E-06
0,4	0,0026	7,66E-05	-6,15E-06
0,5	-7,20E-04	1,17E-04	-6,35E-06
0,6	0,0047	6,59E-05	-7,75E-06
0,7	0,004	3,01E-05	-1,22E-05
0,8	0,0026	7,41E-05	-1,60E-05
0,9	0,0024	5,32E-05	-2,30E-05
1	-0,0048	0	-2,75E-05

a=4000 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.61 a=4000 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _{ik}	Sω _k =Sω _{ik} +ΔSω _{ik}
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	12	16	-17,2	-17,2	0,04	4	0,16	230,394	135,577	182,9855	14,63884	14,64
6	3'	16	16	-17,2	-8,53	0,02	8,47	0,1694	135,577	0	67,7885	5,741686	20,38
3'	3	16	16	-8,53	-2,2	0,02	6,53	0,1306	0	-104,423	-52,2115	-3,40941	11,23
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-104,423	-38,5448	-71,4839	-6,43355	4,80
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-38,5448	0	-19,2724	-1,04071	3,76
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	3,76
	3												11,23
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-104,423	-135,433	-119,928	-2,63842	8,59
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-135,433	-51,3405	-93,3868	-9,33868	-0,75
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-51,3405	0	-25,6702	-1,54021	-2,29

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.150)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.151)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.152)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.62 a=4000 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S _{ωk}	ω*	v'(z)	v''(z)	t _{ik}	T _s	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	5,53E-05	-1,91E-06	0,04	5751640	143,791	2,63E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	8007570	400,3785	1,54E+03
3'	3	206000	11,23	0	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	4412070	220,6035	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	5,53E-05	-1,91E-06	0,018	1884303	104,6835	-1,19E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	5,53E-05	-1,91E-06	0,018	1475404	81,9669	-4,39E+02
1	0	206000	3,76	0	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	1475404	73,77021	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	3375664	168,7832	-1,19E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	-293539	-14,677	-1,54E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	5,53E-05	-1,91E-06	0,02	-898695	-44,9348	-5,85E+02

Çizelge 4.63 a=4000 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	4,98E-05	-2,04E-06	0,04	6164173	154,1043	2,37E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	8581909	429,0954	1,39E+03
3'	3	206000	11,23	0	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	4728523	236,4261	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	4,98E-05	-2,04E-06	0,018	2019454	112,1919	-1,07E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	4,98E-05	-2,04E-06	0,018	1581227	87,84593	-3,96E+02
1	0	206000	3,76	0	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	1581227	79,06134	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	3617782	180,8891	-1,07E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	-314593	-15,7297	-1,39E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	4,98E-05	-2,04E-06	0,02	-963153	-48,1577	-5,27E+02

Çizelge 4.64 a=4000 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	-4,03E-05	-3,87E-06	0,04	11658885	291,4721	-1,91E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	16231777	811,5889	-1,13E+03
3'	3	206000	11,23	0	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	8943503	447,1752	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	-4,03E-05	-3,87E-06	0,018	3819584	212,1991	8,67E+02
2	1	206000	3,76	-38,5448	-4,03E-05	-3,87E-06	0,018	2990724	166,1513	3,20E+02
1	0	206000	3,76	0	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	2990724	149,5362	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	6842654	342,1327	8,67E+02
4	5	206000	-0,75	-135,433	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	-595020	-29,751	1,12E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	-4,03E-05	-3,87E-06	0,02	-1821703	-91,0852	4,26E+02

Çizelge 4.65 a=4000 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	3,48E-05	-3,38E-06	0,04	10182451	254,5613	1,65E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	14176250	708,8125	9,73E+02
3'	3	206000	11,23	0	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	7810934	390,5467	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	3,48E-05	-3,38E-06	0,018	3335887	185,3271	-7,49E+02
2	1	206000	3,76	-38,5448	3,48E-05	-3,38E-06	0,018	2611991	145,1106	-2,77E+02
1	0	206000	3,76	0	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	2611991	130,5995	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	5976128	298,8064	-7,49E+02
4	5	206000	-0,75	-135,433	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	-519669	-25,9834	-9,72E+02
5	0	206000	-2,29	-51,3405	3,48E-05	-3,38E-06	0,02	-1591010	-79,5505	-3,68E+02

Çizelge 4.66 a=4000 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	7,66E-05	-6,15E-06	0,04	18537754	463,4438	3,64E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	25808702	1290,435	2,14E+03
3'	3	206000	11,23	0	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	14220267	711,0134	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	7,66E-05	-6,15E-06	0,018	6073180	337,3989	-1,65E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	7,66E-05	-6,15E-06	0,018	4755284	264,1824	-6,08E+02
1	0	206000	3,76	0	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	4755284	237,7642	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	10879894	543,9947	-1,65E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	-946088	-47,3044	-2,14E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	7,66E-05	-6,15E-06	0,02	-2896528	-144,826	-8,10E+02

Çizelge 4.67 a=4000 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	1,17E-04	-6,35E-06	0,04	19158966	478,9741	5,54E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	26673568	1333,678	3,26E+03
3'	3	206000	11,23	0	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	14696798	734,8399	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	1,17E-04	-6,35E-06	0,018	6276696	348,7053	-2,51E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	1,17E-04	-6,35E-06	0,018	4914636	273,0353	-9,27E+02
1	0	206000	3,76	0	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	4914636	245,7318	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	11244486	562,2243	-2,51E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	-977792	-48,8896	-3,26E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	1,17E-04	-6,35E-06	0,02	-2993593	-149,68	-1,24E+03

Çizelge 4.68 a=4000 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	6,59E-05	-7,75E-06	0,04	23372352	584,3088	3,13E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	32539545	1626,977	1,84E+03
3'	3	206000	11,23	0	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	17928876	896,4438	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	6,59E-05	-7,75E-06	0,018	7657049	425,3916	-1,42E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	6,59E-05	-7,75E-06	0,018	5995449	333,0805	-5,23E+02
1	0	206000	3,76	0	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	5995449	299,7725	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	13717342	685,8671	-1,42E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	-1192825	-59,6413	-1,84E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	6,59E-05	-7,75E-06	0,02	-3651935	-182,597	-6,97E+02

Çizelge 4.69 a=4000 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	3,01E-05	-1,22E-05	0,04	36883716	922,0929	1,43E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	51350387	2567,519	8,40E+02
3'	3	206000	11,23	0	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	28293411	1414,671	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	3,01E-05	-1,22E-05	0,018	12083526	671,307	-6,47E+02
2	1	206000	3,76	-38,5448	3,01E-05	-1,22E-05	0,018	9461369	525,6316	-2,39E+02
1	0	206000	3,76	0	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	9461369	473,0685	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	21647225	1082,361	-6,47E+02
4	5	206000	-0,75	-135,433	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	-1882388	-94,1194	-8,39E+02
5	0	206000	-2,29	-51,3405	3,01E-05	-1,22E-05	0,02	-5763089	-288,154	-3,18E+02

Çizelge 4.70 a=4000 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	7,41E-05	-1,60E-05	0,04	48282656	1207,066	3,52E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	67220264	3361,013	2,07E+03
3'	3	206000	11,23	0	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	37037512	1851,876	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	7,41E-05	-1,60E-05	0,018	15817950	878,775	-1,59E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	7,41E-05	-1,60E-05	0,018	12385412	688,0785	-5,88E+02
1	0	206000	3,76	0	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	12385412	619,2706	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	28337316	1416,866	-1,59E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	-2464141	-123,207	-2,07E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	7,41E-05	-1,60E-05	0,02	-7544176	-377,209	-7,84E+02

Çizelge 4.71 a=4000 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	5,32E-05	-2,30E-05	0,04	69289276	1732,232	2,52E+03
6	3'	206000	20,38	135,577	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	96466180	4823,309	1,49E+03
3'	3	206000	11,23	0	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	53151640	2657,582	0,00E+00
3	2	206000	4,80	-104,423	5,32E-05	-2,30E-05	0,018	22699958	1261,109	-1,14E+03
2	1	206000	3,76	-38,5448	5,32E-05	-2,30E-05	0,018	17774007	987,4448	-4,22E+02
1	0	206000	3,76	0	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	17774007	888,7003	0,00E+00
3	4	206000	8,59	-104,423	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	40666199	2033,31	-1,14E+03
4	5	206000	-0,75	-135,433	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	-3536229	-176,811	-1,48E+03
5	0	206000	-2,29	-51,3405	5,32E-05	-2,30E-05	0,02	-1,1E+07	-541,323	-5,62E+02

Çizelge 4.72 a=4000 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_s	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	14,64	230,394	0	-2,75E-05	0,04	83004192	2075,105	0
6	3'	206000	20,38	135,577	0	-2,75E-05	0,02	1,16E+08	5778,021	0
3'	3	206000	11,23	0	0	-2,75E-05	0,02	63672320	3183,616	0
3	2	206000	4,80	-104,423	0	-2,75E-05	0,018	27193121	1510,729	0
2	1	206000	3,76	-38,5448	0	-2,75E-05	0,018	21292142	1182,897	0
1	0	206000	3,76	0	0	-2,75E-05	0,02	21292142	1064,607	0
3	4	206000	8,59	-104,423	0	-2,75E-05	0,02	48715548	2435,777	0
4	5	206000	-0,75	-135,433	0	-2,75E-05	0,02	-4236180	-211,809	0
5	0	206000	-2,29	-51,3405	0	-2,75E-05	0,02	-1,3E+07	-648,471	0

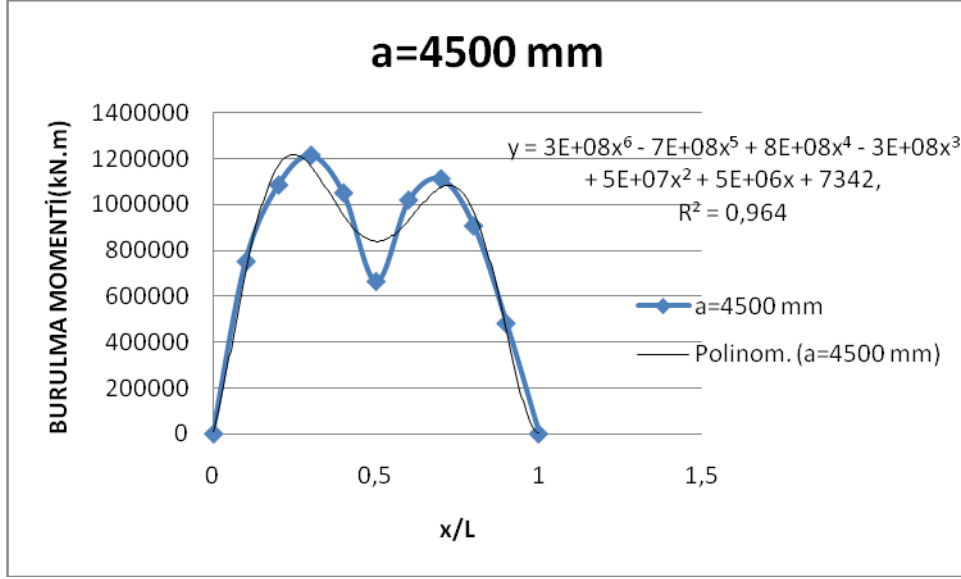
4.2.3.4 a=4500 mm İçin Analitik Çözümler

İlk olarak ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.73 a=4500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	615570	750201,8
0,2	195601,6	887698,5	1083300
0,3	220297,5	992736,1	1213034
0,4	192597,6	856247,4	1048845
0,5	125169	538196,4	663365,4
0,6	186777,2	831221,3	1017998
0,7	200958,9	909584,8	1110544
0,8	162269,1	743228,3	905497,4
0,9	85452,89	395551,3	481004,2
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.13 a=4500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$M_b^{Toplam} = 3 \cdot 10^8 \cdot z^6 - 7 \cdot 10^8 \cdot z^5 + 8 \cdot 10^8 \cdot z^4 - 3 \cdot 10^8 \cdot z^3 + 5 \cdot 10^7 \cdot z^2 + 5 \cdot 10^6 \cdot z + 7342$$

Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E \cdot C_{\varphi}^*} \quad (4.153)$$

diferansiyel denklemi;

$v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.74 a=4500 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	-6,77E-05	-5,72E-06
0,1	0,0092	-3,88E-05	-6,38E-06
0,2	0,0146	-9,40E-05	-5,72E-06
0,3	0,0034	-1,59E-05	-5,28E-06
0,4	0,0077	-5,70E-05	-7,50E-06
0,5	0,0101	-1,21E-04	-1,18E-05
0,6	0,0065	-3,09E-05	-1,28E-05
0,7	0,0056	-1,72E-04	-1,93E-05
0,8	0,0146	-5,57E-05	-2,95E-05
0,9	0,0094	-6,85E-05	-4,63E-05
1	0,0141	0	-6,96E-05

a=4500 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.75 a=4500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_{ik}	L_{ik}	A_{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^* + \omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_{ik}$	$S \omega_k = S \omega_{ik} + \Delta S \omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	11,5	16	-17,2	-17,2	0,04	4,5	0,18	238,609	130,516	184,5625	16,61063	16,61
6	3'	16	16	-17,2	-9,05	0,02	8,15	0,163	130,516	0	65,258	5,318527	21,93
3'	3	16	16	-9,05	-2,2	0,02	6,85	0,137	0	-109,484	-54,742	-3,74983	12,86
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-109,484	-40,4425	-74,9633	-6,74669	6,11
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-40,4425	0	-20,2213	-1,09195	5,02
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	5,02
	3												12,86
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-109,484	-140,494	-124,989	-2,74975	10,11
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-140,494	-53,2382	-96,866	-9,6866	0,42
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-53,2382	0	-26,6191	-1,59715	-1,17

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.154)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.155)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.156)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.76 a=4500 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-6,77E-05	-5,72E-06	0,04	19579446	489,4861	-3,33E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	25848564	1292,428	-1,82E+03
3'	3	206000	12,86	0	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	15159405	757,9702	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-6,77E-05	-5,72E-06	0,018	7206862	400,3812	1,53E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-6,77E-05	-5,72E-06	0,018	5919749	328,8749	5,64E+02
1	0	206000	5,02	0	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	5919749	295,9874	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	11917270	595,8635	1,53E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	499363,9	24,96819	1,96E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-6,77E-05	-5,72E-06	0,02	-1383243	-69,1622	7,43E+02

Çizelge 4.77 a=4500 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-3,88E-05	-6,38E-06	0,04	21836454	545,9114	-1,91E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	28828241	1441,412	-1,04E+03
3'	3	206000	12,86	0	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	16906896	845,3448	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-3,88E-05	-6,38E-06	0,018	8037629	446,5349	8,75E+02
2	1	206000	5,02	-40,4425	-3,88E-05	-6,38E-06	0,018	6602144	366,7858	3,23E+02
1	0	206000	5,02	0	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	6602144	330,1072	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	13291026	664,5513	8,75E+02
4	5	206000	0,42	-140,494	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	556927,7	27,84639	1,12E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-3,88E-05	-6,38E-06	0,02	-1542696	-77,1348	4,25E+02

Çizelge 4.78 a=4500 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-9,40E-05	-5,72E-06	0,04	19560968	489,0242	-4,62E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	25824170	1291,208	-2,53E+03
3'	3	206000	12,86	0	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	15145098	757,2549	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-9,40E-05	-5,72E-06	0,018	7200061	400,0034	2,12E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-9,40E-05	-5,72E-06	0,018	5914162	328,5646	7,83E+02
1	0	206000	5,02	0	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	5914162	295,7081	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	11906024	595,3012	2,12E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	498892,6	24,94463	2,72E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-9,40E-05	-5,72E-06	0,02	-1381938	-69,0969	1,03E+03

Çizelge 4.79 a=4500 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-1,59E-05	-5,28E-06	0,04	18083784	452,0946	-7,79E+02
6	3'	206000	21,93	130,516	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	23874008	1193,7	-4,26E+02
3'	3	206000	12,86	0	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	14001387	700,0694	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-1,59E-05	-5,28E-06	0,018	6656335	369,7964	3,58E+02
2	1	206000	5,02	-40,4425	-1,59E-05	-5,28E-06	0,018	5467543	303,7524	1,32E+02
1	0	206000	5,02	0	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	5467543	273,3771	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	11006918	550,3459	3,58E+02
4	5	206000	0,42	-140,494	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	461217,8	23,06089	4,59E+02
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-1,59E-05	-5,28E-06	0,02	-1277578	-63,8789	1,74E+02

Çizelge 4.80 a=4500 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-5,70E-05	-7,50E-06	0,04	25665430	641,6358	-2,80E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	33883212	1694,161	-1,53E+03
3'	3	206000	12,86	0	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	19871484	993,5742	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-5,70E-05	-7,50E-06	0,018	9447010	524,8339	1,28E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-5,70E-05	-7,50E-06	0,018	7759816	431,1009	4,75E+02
1	0	206000	5,02	0	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	7759816	387,9908	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	15621580	781,079	1,28E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	654583,8	32,72919	1,65E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-5,70E-05	-7,50E-06	0,02	-1813204	-90,6602	6,25E+02

Çizelge 4.81 a=4500 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-1,21E-04	-1,18E-05	0,04	40442060	1011,052	-5,94E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	53391153	2669,558	-3,25E+03
3'	3	206000	12,86	0	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	31312304	1565,615	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-1,21E-04	-1,18E-05	0,018	14886037	827,0021	2,72E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-1,21E-04	-1,18E-05	0,018	12227458	679,3032	1,01E+03
1	0	206000	5,02	0	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	12227458	611,3729	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	24615557	1230,778	2,72E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	1031454	51,57272	3,50E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-1,21E-04	-1,18E-05	0,02	-2857139	-142,857	1,32E+03

Çizelge 4.82 a=4500 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-3,09E-05	-1,28E-05	0,04	43898062	1097,452	-1,52E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	57953727	2897,686	-8,31E+02
3'	3	206000	12,86	0	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	33988117	1699,406	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-3,09E-05	-1,28E-05	0,018	16158133	897,6741	6,97E+02
2	1	206000	5,02	-40,4425	-3,09E-05	-1,28E-05	0,018	13272363	737,3535	2,57E+02
1	0	206000	5,02	0	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	13272363	663,6181	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	26719095	1335,955	6,97E+02
4	5	206000	0,42	-140,494	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	1119598	55,97989	8,94E+02
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-3,09E-05	-1,28E-05	0,02	-3101298	-155,065	3,39E+02

Çizelge 4.83 a=4500 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-1,72E-04	-1,93E-05	0,04	66132812	1653,32	-8,43E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	87307793	4365,39	-4,61E+03
3'	3	206000	12,86	0	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	51203393	2560,17	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-1,72E-04	-1,93E-05	0,018	24342368	1352,354	3,87E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-1,72E-04	-1,93E-05	0,018	19994929	1110,829	1,43E+03
1	0	206000	5,02	0	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	19994929	999,7465	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	40252549	2012,627	3,87E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	1686684	84,3342	4,96E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-1,72E-04	-1,93E-05	0,02	-4672132	-233,607	1,88E+03

Çizelge 4.84 a=4500 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-5,57E-05	-2,95E-05	0,04	1,01E+08	2525,362	-2,74E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	1,33E+08	6667,909	-1,50E+03
3'	3	206000	12,86	0	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	78210553	3910,528	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-5,57E-05	-2,95E-05	0,018	37181717	2065,651	1,26E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-5,57E-05	-2,95E-05	0,018	30541228	1696,735	4,64E+02
1	0	206000	5,02	0	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	30541228	1527,061	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	61483702	3074,185	1,26E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	2576323	128,8162	1,61E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-5,57E-05	-2,95E-05	0,02	-7136442	-356,822	6,11E+02

Çizelge 4.85 a=4500 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	-6,85E-05	-4,63E-05	0,04	1,58E+08	3960,03	-3,37E+03
6	3'	206000	21,93	130,516	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	2,09E+08	10455,97	-1,84E+03
3'	3	206000	12,86	0	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	1,23E+08	6132,114	0,00E+00
3	2	206000	6,11	-109,484	-6,85E-05	-4,63E-05	0,018	58304801	3239,156	1,55E+03
2	1	206000	5,02	-40,4425	-6,85E-05	-4,63E-05	0,018	47891824	2660,657	5,71E+02
1	0	206000	5,02	0	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	47891824	2394,591	0,00E+00
3	4	206000	10,11	-109,484	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	96412842	4820,642	1,55E+03
4	5	206000	0,42	-140,494	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	4039943	201,9971	1,98E+03
5	0	206000	-1,17	-53,2382	-6,85E-05	-4,63E-05	0,02	-1,1E+07	-559,534	7,51E+02

Çizelge 4.86 a=4500 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	16,61	238,609	0	-6,96E-05	0,04	2,38E+08	5950,225	0
6	3'	206000	21,93	130,516	0	-6,96E-05	0,02	3,14E+08	15710,84	0
3'	3	206000	12,86	0	0	-6,96E-05	0,02	1,84E+08	9213,935	0
3	2	206000	6,11	-109,484	0	-6,96E-05	0,018	87607082	4867,06	0
2	1	206000	5,02	-40,4425	0	-6,96E-05	0,018	71960848	3997,825	0
1	0	206000	5,02	0	0	-6,96E-05	0,02	71960848	3598,042	0
3	4	206000	10,11	-109,484	0	-6,96E-05	0,02	1,45E+08	7243,355	0
4	5	206000	0,42	-140,494	0	-6,96E-05	0,02	6070299	303,515	0
5	0	206000	-1,17	-53,2382	0	-6,96E-05	0,02	-1,7E+07	-840,74	0

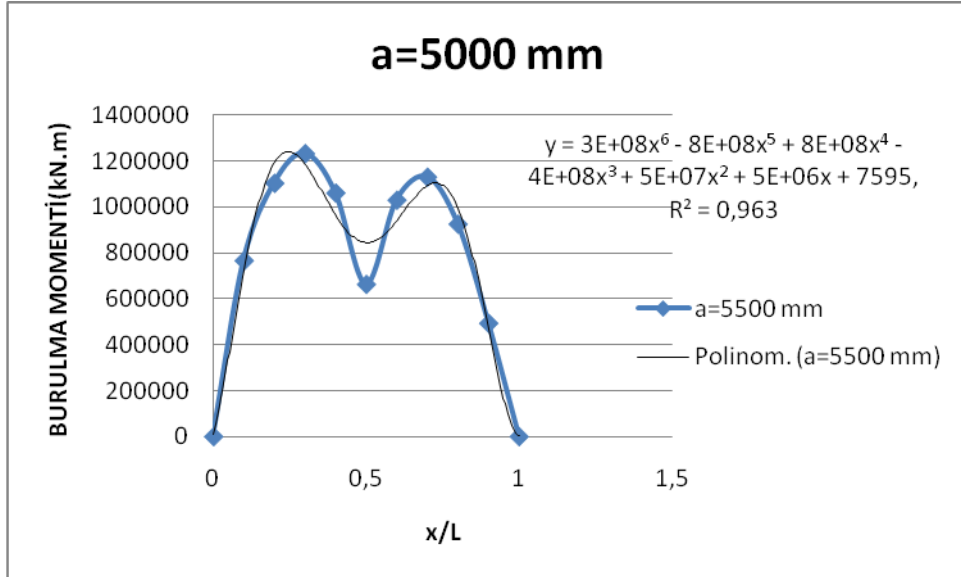
4.2.3.5 a=5000 mm için Analitik Çözümler

İlk olarak ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.87 a=5000 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	624060,5	758692,3
0,2	195601,6	898537,3	1094139
0,3	220297,5	1003357	1223654
0,4	192597,6	862903,7	1055501
0,5	125169	538402,5	663571,5
0,6	186777,2	837868	1024645
0,7	200958,9	920173,5	1121132
0,8	162269,1	753753,3	916022,5
0,9	85452,89	402031,2	487484,1
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.14 a=5000 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen

siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$M_b^{Toplam} = 3*10^8 * z^6 - 7*10^8 * z^5 + 8*10^8 * z^4 - 3*10^8 * z^3 + 5*10^7 * z^2 + 5*10^6 * z + 7470$$

Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 * v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E * C_s^*} \quad (4.157)$$

diferansiyel denklemi;

$v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.88 a=5000 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	5,00E-04	7,63E-06
0,1	2,61E-04	3,36E-04	1,40E-05
0,2	0,0691	5,08E-04	1,13E-05
0,3	0,0722	8,77E-04	7,43E-06
0,4	0,0401	3,31E-04	8,16E-06
0,5	-0,0202	8,31E-04	9,98E-06
0,6	0,0618	2,29E-04	7,56E-06
0,7	0,0584	7,15E-04	1,37E-06
0,8	0,0319	6,61E-04	-9,90E-06
0,9	0,0244	6,16E-04	-2,18E-05
1	0,1222	0	-4,68E-05

a=5000 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.89 a=5000 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x _i	x _k	y _i	y _k	t _{ik}	L _{ik}	A _{ik}	ω _i *	ω _k *	(ω _k *+ω _i *)/2	ΔSω _{ik}	Sω _k =Sω _{ik} +ΔSω _{ik}
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	11	16	-17,2	-17,2	0,04	5	0,2	247,22	125,572	186,396	18,6396	18,64
6	3'	16	16	-17,2	-9,35	0,02	7,85	0,157	125,572	0	62,786	4,928701	23,57
3'	3	16	16	-9,35	-2,2	0,02	7,15	0,143	0	-114,428	-57,214	-4,0908	14,55
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-114,428	-42,2968	-78,3624	-7,05262	7,50
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-42,2968	0	-21,1484	-1,14201	6,35
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	6,35
	3												14,55
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-114,428	-145,438	-129,933	-2,85854	11,69
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-145,438	-55,0924	-100,265	-10,0265	1,66
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-55,0924	0	-27,5462	-1,65277	0,01

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.158)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.159)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.160)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.90 a=5000 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S _{ωk}	ω*	v'(z)	v''(z)	t _{ik}	T _s	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	5,00E-04	7,63E-06	0,04	-2,9E+07	-732,376	2,54E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-3,7E+07	-1852,06	1,29E+04
3'	3	206000	14,55	0	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-2,3E+07	-1143,29	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	5,00E-04	7,63E-06	0,018	-1,2E+07	-654,524	-1,18E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	5,00E-04	7,63E-06	0,018	-9986571	-554,81	-4,35E+03
1	0	206000	6,35	0	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-9986571	-499,329	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-1,8E+07	-918,748	-1,18E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-2616680	-130,834	-1,50E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	5,00E-04	7,63E-06	0,02	-19088,8	-0,95444	-5,67E+03

Çizelge 4.91 a=5000 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	3,36E-04	1,40E-05	0,04	-5,4E+07	-1340,56	1,71E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-6,8E+07	-3390,05	8,69E+03
3'	3	206000	14,55	0	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-4,2E+07	-2092,69	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	3,36E-04	1,40E-05	0,018	-2,2E+07	-1198,05	-7,92E+03
2	1	206000	6,35	-42,2968	3,36E-04	1,40E-05	0,018	-1,8E+07	-1015,53	-2,93E+03
1	0	206000	6,35	0	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-1,8E+07	-913,981	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-3,4E+07	-1681,69	-7,92E+03
4	5	206000	1,66	-145,438	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-4789622	-239,481	-1,01E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	3,36E-04	1,40E-05	0,02	-34940,6	-1,74703	-3,81E+03

Çizelge 4.92 a=5000 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	5,08E-04	1,13E-05	0,04	-4,4E+07	-1087,71	2,58E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-5,5E+07	-2750,64	1,31E+04
3'	3	206000	14,55	0	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-3,4E+07	-1697,98	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	5,08E-04	1,13E-05	0,018	-1,7E+07	-972,083	-1,20E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	5,08E-04	1,13E-05	0,018	-1,5E+07	-823,99	-4,42E+03
1	0	206000	6,35	0	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-1,5E+07	-741,591	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-2,7E+07	-1364,5	-1,20E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-3886230	-194,312	-1,52E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	5,08E-04	1,13E-05	0,02	-28350,3	-1,41751	-5,76E+03

Çizelge 4.93 a=5000 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	8,77E-04	7,43E-06	0,04	-2,9E+07	-713,177	4,47E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-3,6E+07	-1803,51	2,27E+04
3'	3	206000	14,55	0	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-2,2E+07	-1113,32	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	8,77E-04	7,43E-06	0,018	-1,1E+07	-637,366	-2,07E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	8,77E-04	7,43E-06	0,018	-9724779	-540,266	-7,64E+03
1	0	206000	6,35	0	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-9724779	-486,239	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-1,8E+07	-894,664	-2,07E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-2548086	-127,404	-2,63E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	8,77E-04	7,43E-06	0,02	-18588,4	-0,92942	-9,95E+03

Çizelge 4.94 a=5000 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	3,31E-04	8,16E-06	0,04	-3,1E+07	-783,243	1,69E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-4E+07	-1980,7	8,57E+03
3'	3	206000	14,55	0	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-2,4E+07	-1222,69	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	3,31E-04	8,16E-06	0,018	-1,3E+07	-699,983	-7,81E+03
2	1	206000	6,35	-42,2968	3,31E-04	8,16E-06	0,018	-1,1E+07	-593,344	-2,89E+03
1	0	206000	6,35	0	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-1,1E+07	-534,009	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-2E+07	-982,56	-7,81E+03
4	5	206000	1,66	-145,438	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-2798422	-139,921	-9,93E+03
5	0	206000	0,01	-55,0924	3,31E-04	8,16E-06	0,02	-20414,7	-1,02073	-3,76E+03

Çizelge 4.95 a=5000 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	8,31E-04	9,98E-06	0,04	-3,8E+07	-958,365	4,23E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-4,8E+07	-2423,55	2,15E+04
3'	3	206000	14,55	0	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-3E+07	-1496,07	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	8,31E-04	9,98E-06	0,018	-1,5E+07	-856,49	-1,96E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	8,31E-04	9,98E-06	0,018	-1,3E+07	-726,007	-7,24E+03
1	0	206000	6,35	0	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-1,3E+07	-653,406	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-2,4E+07	-1202,25	-1,96E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-3424108	-171,205	-2,49E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	8,31E-04	9,98E-06	0,02	-24979,1	-1,24895	-9,43E+03

Çizelge 4.96 a=5000 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	2,29E-04	7,56E-06	0,04	-2,9E+07	-725,791	1,17E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-3,7E+07	-1835,41	5,92E+03
3'	3	206000	14,55	0	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-2,3E+07	-1133,01	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	2,29E-04	7,56E-06	0,018	-1,2E+07	-648,638	-5,39E+03
2	1	206000	6,35	-42,2968	2,29E-04	7,56E-06	0,018	-9896776	-549,821	-1,99E+03
1	0	206000	6,35	0	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-9896776	-494,839	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-1,8E+07	-910,487	-5,39E+03
4	5	206000	1,66	-145,438	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-2593152	-129,658	-6,86E+03
5	0	206000	0,01	-55,0924	2,29E-04	7,56E-06	0,02	-18917,2	-0,94586	-2,60E+03

Çizelge 4.97 a=5000 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	7,15E-04	1,37E-06	0,04	-5272755	-131,819	3,64E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-6666982	-333,349	1,85E+04
3'	3	206000	14,55	0	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-4115553	-205,778	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	7,15E-04	1,37E-06	0,018	-2120514	-117,806	-1,68E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	7,15E-04	1,37E-06	0,018	-1797462	-99,859	-6,23E+03
1	0	206000	6,35	0	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-1797462	-89,8731	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-3307272	-165,364	-1,68E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-470971	-23,5485	-2,14E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	7,15E-04	1,37E-06	0,02	-3435,76	-0,17179	-8,11E+03

Çizelge 4.98 a=5000 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	6,61E-04	-9,90E-06	0,04	38016288	950,4072	3,37E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	48068592	2403,43	1,71E+04
3'	3	206000	14,55	0	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	29672919	1483,646	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	6,61E-04	-9,90E-06	0,018	15288797	849,3776	-1,56E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	6,61E-04	-9,90E-06	0,018	12959609	719,9783	-5,76E+03
1	0	206000	6,35	0	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	12959609	647,9805	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	23845257	1192,263	-1,56E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	3395676	169,7838	-1,98E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	6,61E-04	-9,90E-06	0,02	24771,65	1,238583	-7,50E+03

Çizelge 4.99 a=5000 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	6,16E-04	-2,18E-05	0,04	83556965	2088,924	3,13E+04
6	3'	206000	23,57	125,572	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	1,06E+08	5282,559	1,59E+04
3'	3	206000	14,55	0	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	65218861	3260,943	0,00E+00
3	2	206000	7,50	-114,428	6,16E-04	-2,18E-05	0,018	33603634	1866,869	-1,45E+04
2	1	206000	6,35	-42,2968	6,16E-04	-2,18E-05	0,018	28484255	1582,459	-5,36E+03
1	0	206000	6,35	0	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	28484255	1424,213	0,00E+00
3	4	206000	11,69	-114,428	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	52410097	2620,505	-1,45E+04
4	5	206000	1,66	-145,438	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	7463442	373,1721	-1,84E+04
5	0	206000	0,01	-55,0924	6,16E-04	-2,18E-05	0,02	54446,24	2,722312	-6,99E+03

Çizelge 4.100 a=5000 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	18,64	247,22	0	-4,68E-05	0,04	1,8E+08	4489,445	0
6	3'	206000	23,57	125,572	0	-4,68E-05	0,02	2,27E+08	11353,1	0
3'	3	206000	14,55	0	0	-4,68E-05	0,02	1,4E+08	7008,308	0
3	2	206000	7,50	-114,428	0	-4,68E-05	0,018	72219786	4012,21	0
2	1	206000	6,35	-42,2968	0	-4,68E-05	0,018	61217390	3400,966	0
1	0	206000	6,35	0	0	-4,68E-05	0,02	61217390	3060,869	0
3	4	206000	11,69	-114,428	0	-4,68E-05	0,02	1,13E+08	5631,9	0
4	5	206000	1,66	-145,438	0	-4,68E-05	0,02	16040175	802,0087	0
5	0	206000	0,01	-55,0924	0	-4,68E-05	0,02	117014	5,8507	0

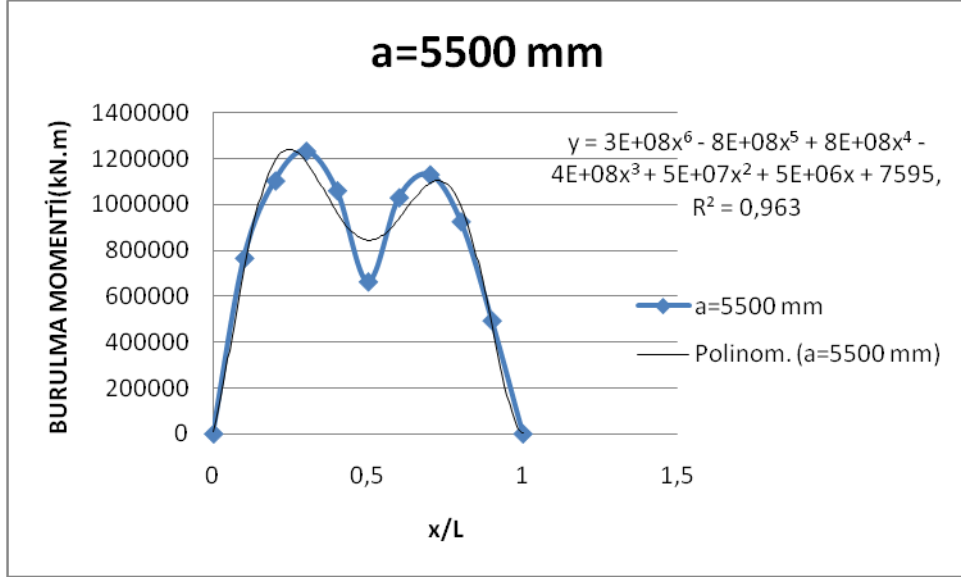
4.2.3.6 a=5500 mm için Analitik Çözümler

İlk olarak ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.101 a=5500 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	632356,4	766988,2
0,2	195601,6	909127,7	1104729
0,3	220297,5	1013734	1234031
0,4	192597,6	869407,3	1062005
0,5	125169	538603,7	663772,7
0,6	186777,2	844362,2	1031139
0,7	200958,9	930519,6	1131478
0,8	162269,1	764037,2	926306,3
0,9	85452,89	408362,5	493815,4
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.15 a=5500 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$M_b^{Toplam} = 3 \cdot 10^8 \cdot z^6 - 8 \cdot 10^8 \cdot z^5 + 8 \cdot 10^8 \cdot z^4 - 4 \cdot 10^8 \cdot z^3 + 5 \cdot 10^7 \cdot z^2 + 5 \cdot 10^6 \cdot z + 7595$$

Daha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E \cdot C_{\varphi}^*} \quad (4.161)$$

diferansiyel denklemi;

$v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.102 a=5500 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	3,43E-05	-1,39E-06
0,1	0,004	-1,43E-06	-1,52E-06
0,2	-0,0137	2,56E-05	-2,63E-06
0,3	0,0341	-1,76E-04	-2,87E-06
0,4	0,022	5,17E-05	5,58E-08
0,5	0,0177	-3,08E-05	2,69E-06
0,6	0,0316	-1,11E-05	3,44E-06
0,7	-0,0148	6,26E-05	6,40E-06
0,8	0,0243	1,52E-04	9,89E-06
0,9	-0,0111	8,00E-05	1,41E-05
1	0,0396	0	1,35E-05

a=5500 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.103 a=5500 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_k	L_k	A_k	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^* + \omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_k$	$S \omega_k = S \omega_k + \Delta S \omega_k$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	10,5	16	-17,2	-17,2	0,04	5,5	0,22	256,216	120,742	188,479	20,73269	20,73
6	3'	16	16	-17,2	-9,65	0,02	7,55	0,151	120,742	0	60,371	4,558011	25,29
3'	3	16	16	-9,65	-2,2	0,02	7,45	0,149	0	-119,258	-59,629	-4,44236	16,29
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-119,258	-44,1077	-81,6829	-7,35146	8,94
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-44,1077	0	-22,0539	-1,19091	7,75
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	7,75
	3												16,29
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-119,258	-150,268	-134,763	-2,96478	13,33
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-150,268	-56,9034	-103,585	-10,3585	2,97
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-56,9034	0	-28,4517	-1,7071	1,26

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.162)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.163)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.164)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.104 a=5500 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	3,43E-05	-1,39E-06	0,04	5936601	148,415	1,81E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	7241742	362,0871	8,54E+02
3'	3	206000	16,29	0	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	4664576	233,2288	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	3,43E-05	-1,39E-06	0,018	2559560	142,1978	-8,43E+02
2	1	206000	7,75	-44,1077	3,43E-05	-1,39E-06	0,018	2218555	123,2531	-3,12E+02
1	0	206000	7,75	0	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	2218555	110,9278	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	3815544	190,7772	-8,43E+02
4	5	206000	2,97	-150,268	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	849478,1	42,4739	-1,06E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	3,43E-05	-1,39E-06	0,02	360666,8	18,03334	-4,02E+02

Çizelge 4.105 a=5500 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	-1,43E-06	-1,52E-06	0,04	6512324	162,8081	-7,53E+01
6	3'	206000	25,29	120,742	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	7944035	397,2017	-3,55E+01
3'	3	206000	16,29	0	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	5116939	255,8469	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	-1,43E-06	-1,52E-06	0,018	2807782	155,9879	3,50E+01
2	1	206000	7,75	-44,1077	-1,43E-06	-1,52E-06	0,018	2433707	135,206	1,30E+01
1	0	206000	7,75	0	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	2433707	121,6854	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	4185570	209,2785	3,50E+01
4	5	206000	2,97	-150,268	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	931859,1	46,59296	4,42E+01
5	0	206000	1,26	-56,9034	-1,43E-06	-1,52E-06	0,02	395643,7	19,78219	1,67E+01

Çizelge 4.106 a=5500 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	2,56E-05	-2,63E-06	0,04	11220176	280,5044	1,35E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	13686892	684,3446	6,36E+02
3'	3	206000	16,29	0	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	8816048	440,8024	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	2,56E-05	-2,63E-06	0,018	4837568	268,7538	-6,28E+02
2	1	206000	7,75	-44,1077	2,56E-05	-2,63E-06	0,018	4193069	232,9483	-2,32E+02
1	0	206000	7,75	0	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	4193069	209,6535	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	7211379	360,5689	-6,28E+02
4	5	206000	2,97	-150,268	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	1605514	80,27568	-7,91E+02
5	0	206000	1,26	-56,9034	2,56E-05	-2,63E-06	0,02	681660,3	34,08302	-3,00E+02

Çizelge 4.107 a=5500 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	-1,76E-04	-2,87E-06	0,04	12253316	306,3329	-9,29E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	14947164	747,3582	-4,38E+03
3'	3	206000	16,29	0	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	9627819	481,3909	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	-1,76E-04	-2,87E-06	0,018	5283005	293,5003	4,32E+03
2	1	206000	7,75	-44,1077	-1,76E-04	-2,87E-06	0,018	4579162	254,3979	1,60E+03
1	0	206000	7,75	0	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	4579162	228,9581	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	7875393	393,7697	4,32E+03
4	5	206000	2,97	-150,268	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	1753347	87,66736	5,45E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	-1,76E-04	-2,87E-06	0,02	744426,7	37,22134	2,06E+03

Çizelge 4.108 a=5500 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	5,17E-05	5,58E-08	0,04	-238147,4	-5,953685	2,73E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-290503,3	-14,52516	1,29E+03
3'	3	206000	16,29	0	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-187120	-9,355998	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	5,17E-05	5,58E-08	0,018	-102677	-5,704279	-1,27E+03
2	1	206000	7,75	-44,1077	5,17E-05	5,58E-08	0,018	-88997,58	-4,94431	-4,70E+02
1	0	206000	7,75	0	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-88997,58	-4,449879	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-153061	-7,653049	-1,27E+03
4	5	206000	2,97	-150,268	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-34076,9	-1,703845	-1,60E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	5,17E-05	5,58E-08	0,02	-14468,19	-0,723409	-6,06E+02

Çizelge 4.109 a=5500 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	-3,08E-05	2,69E-06	0,04	-11487537	-287,1884	-1,63E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-14013031	-700,6516	-7,66E+02
3'	3	206000	16,29	0	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-9026122	-451,3061	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	-3,08E-05	2,69E-06	0,018	-4952840	-275,1578	7,56E+02
2	1	206000	7,75	-44,1077	-3,08E-05	2,69E-06	0,018	-4292984	-238,4991	2,80E+02
1	0	206000	7,75	0	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-4292984	-214,6492	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-7383216	-369,1608	7,56E+02
4	5	206000	2,97	-150,268	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-1643771	-82,18853	9,53E+02
5	0	206000	1,26	-56,9034	-3,08E-05	2,69E-06	0,02	-697903,3	-34,89516	3,61E+02

Çizelge 4.110 a=5500 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	-1,11E-05	3,44E-06	0,04	-14696291	-367,4073	-5,88E+02
6	3'	206000	25,29	120,742	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-17927219	-896,3609	-2,77E+02
3'	3	206000	16,29	0	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-11547342	-577,3671	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	-1,11E-05	3,44E-06	0,018	-6336291	-352,0162	2,74E+02
2	1	206000	7,75	-44,1077	-1,11E-05	3,44E-06	0,018	-5492121	-305,1178	1,01E+02
1	0	206000	7,75	0	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-5492121	-274,6061	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-9445531	-472,2766	2,74E+02
4	5	206000	2,97	-150,268	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-2102917	-105,1458	3,45E+02
5	0	206000	1,26	-56,9034	-1,11E-05	3,44E-06	0,02	-892845	-44,64225	1,31E+02

Çizelge 4.111 a=5500 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	6,26E-05	6,40E-06	0,04	-27327158	-683,179	3,31E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-33334937	-1666,747	1,56E+03
3'	3	206000	16,29	0	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-21471814	-1073,591	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	6,26E-05	6,40E-06	0,018	-11782077	-654,5598	-1,54E+03
2	1	206000	7,75	-44,1077	6,26E-05	6,40E-06	0,018	-10212377	-567,3543	-5,69E+02
1	0	206000	7,75	0	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-10212377	-510,6188	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-17563582	-878,1791	-1,54E+03
4	5	206000	2,97	-150,268	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-3910288	-195,5144	-1,94E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	6,26E-05	6,40E-06	0,02	-1660209	-83,01046	-7,34E+02

Çizelge 4.112 a=5500 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	1,52E-04	9,89E-06	0,04	-42229736	-1055,743	8,04E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-51513793	-2575,69	3,79E+03
3'	3	206000	16,29	0	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-33181242	-1659,062	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	1,52E-04	9,89E-06	0,018	-18207309	-1011,517	-3,74E+03
2	1	206000	7,75	-44,1077	1,52E-04	9,89E-06	0,018	-15781589	-876,7549	-1,38E+03
1	0	206000	7,75	0	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-15781589	-789,0794	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-27141697	-1357,085	-3,74E+03
4	5	206000	2,97	-150,268	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-6042723	-302,1361	-4,71E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	1,52E-04	9,89E-06	0,02	-2565587	-128,2793	-1,78E+03

Çizelge 4.113 a=5500 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	8,00E-05	1,41E-05	0,04	-60215929	-1505,398	4,22E+03
6	3'	206000	25,29	120,742	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-73454188	-3672,709	1,99E+03
3'	3	206000	16,29	0	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-47313564	-2365,678	0,00E+00
3	2	206000	8,94	-119,258	8,00E-05	1,41E-05	0,018	-25962038	-1442,335	-1,97E+03
2	1	206000	7,75	-44,1077	8,00E-05	1,41E-05	0,018	-22503172	-1250,176	-7,27E+02
1	0	206000	7,75	0	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-22503172	-1125,159	0,00E+00
3	4	206000	13,33	-119,258	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-38701698	-1935,085	-1,97E+03
4	5	206000	2,97	-150,268	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-8616397	-430,8198	-2,48E+03
5	0	206000	1,26	-56,9034	8,00E-05	1,41E-05	0,02	-3658303	-182,9152	-9,38E+02

Çizelge 4.114 a=5500 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	20,73	256,216	0	1,35E-05	0,04	-57495343	-1437,384	0
6	3'	206000	25,29	120,742	0	1,35E-05	0,02	-70135490	-3506,775	0
3'	3	206000	16,29	0	0	1,35E-05	0,02	-45175913	-2258,796	0
3	2	206000	8,94	-119,258	0	1,35E-05	0,018	-24789060	-1377,17	0
2	1	206000	7,75	-44,1077	0	1,35E-05	0,018	-21486468	-1193,693	0
1	0	206000	7,75	0	0	1,35E-05	0,02	-21486468	-1074,323	0
3	4	206000	13,33	-119,258	0	1,35E-05	0,02	-36953136	-1847,657	0
4	5	206000	2,97	-150,268	0	1,35E-05	0,02	-8227103	-411,3552	0
5	0	206000	1,26	-56,9034	0	1,35E-05	0,02	-3493019	-174,651	0

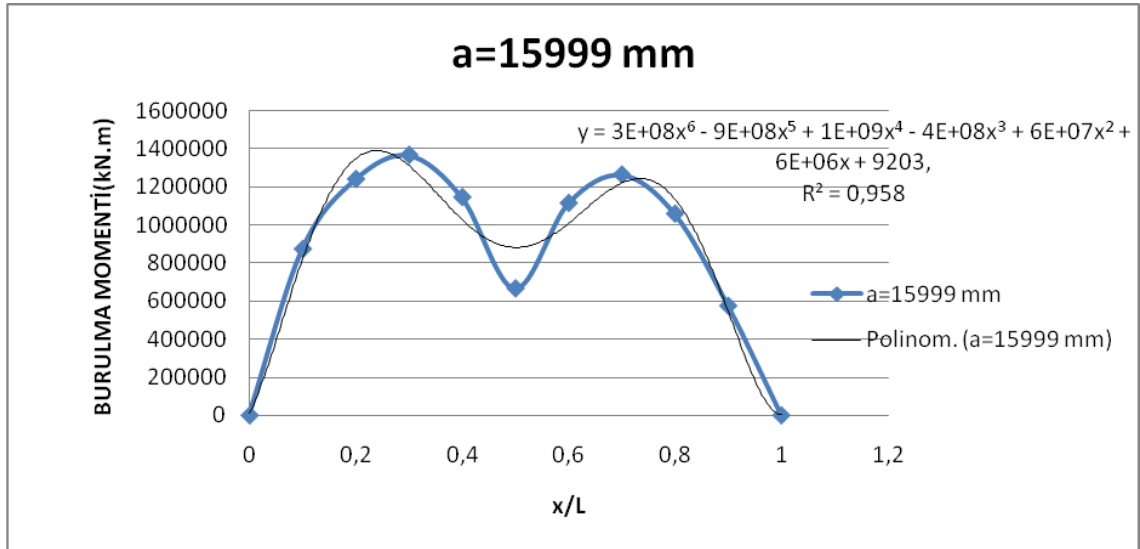
4.2.3.7 a=15999 mm İçin Analitik Çözümler

İlk olarak ana boyutları belli duba için Türk Loydu kuralları çerçevesinde toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momentinin toplamı olarak hesaplandı.

Çizelge 4.115 a=15999 mm için kesitlerdeki toplam burulma momenti

x/L	Statik Burulma Momenti (kN.m)	Dalgalardan Kaynaklanan Burulma Momenti (kN.m)	Toplam Burulma Momenti (kN.m)
0	0	0	0
0,1	134631,8	738883,9	873515,7
0,2	195601,6	1045115	1240717
0,3	220297,5	1146980	1367278
0,4	192597,6	952910,7	1145508
0,5	125169	541174,9	666343,9
0,6	186777,2	927746,1	1114523
0,7	200958,9	1063369	1264328
0,8	162269,1	896091,5	1058361
0,9	85452,89	489665,1	575118
1	0	0	0

Daha sonra toplam burulma momenti değerleri y ekseninde, x/L değerleri x ekseninde olmak üzere $M_b^{Toplam} - (x/L)$ grafiği çizildi. Çizilen bu grafiğe uygun şekilde 6. dereceden eğri uyduruldu ve toplam burulma momenti (M_b^{Toplam}), gemi boy ekseninde yani z ekseninde ifade edilmiş oldu.



Şekil 4.16 a=15999 mm olan dubanın moment grafiği ve denklemi

Grafikte görüldüğü üzere mavi çizgideki değerler Türk Loydu kuralları kapsamında bulunan, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti değerlerinin toplamıdır. Bunlar toplam burulma momenti değerleridir. Grafikte görülen siyah çizgi ise bulunan toplam burulma momenti değerlerine karşılık uydurulan 6. dereceden bir polinomdur ve burulma probleminin diferansiyel denkleminde kullanılan yeni M_b^{Toplam} fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$M_b^{Toplam} = 3 \cdot 10^8 \cdot z^6 - 9 \cdot 10^8 \cdot z^5 + 10^9 \cdot z^4 - 4 \cdot 10^8 \cdot z^3 + 6 \cdot 10^7 \cdot z^2 + 6 \cdot 10^6 \cdot z + 9203$$

ha sonra, bulunan M_b^{Toplam} fonksiyonu burulma probleminin diferansiyel denkleminde yerine konuldu;

$$v''(z) - \alpha^2 \cdot v(z) = -\frac{M_b^{Toplam}}{E \cdot C_s^*} \quad (4.165)$$

diferansiyel denklemi; $v(z=0)=0$ ve $v'(z=l=1)=0$ sınır şartlarına göre çözüldü ve $v(z)$, $v'(z)$, $v''(z)$ bulundu. Bulunan bu fonksiyonların z/L girdileri için değerleri bulundu.

Çizelge 4.116 a=15999 mm için kesitlerdeki $v(z)$, $v'(z)$ ve $v''(z)$ değerleri

z/L	$v(z)$	$v'(z)$	$v''(z)$
0	0	1,59E-06	-5,87E-07
0,1	1,57E-07	1,53E-06	-6,42E-07
0,2	3,06E-07	1,46E-06	-6,94E-07
0,3	4,48E-07	1,39E-06	-7,44E-07
0,4	5,84E-07	1,31E-06	-8,37E-07
0,5	7,11E-07	1,22E-06	-1,03E-06
0,6	8,27E-07	1,10E-06	-1,37E-06
0,7	9,30E-07	9,41E-07	-1,89E-06
0,8	1,01E-06	7,18E-07	-2,60E-06
0,9	1,07E-06	4,13E-07	-3,54E-06
1	1,09E-06	0	-4,78E-06

a=15999 mm güverte genişliği için; elemanların boyutları, elemanların boyuna şişme fonksiyonu değerleri ve elemanların statik boyuna şişme momenti (sektörel statik moment) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.117 a=15999 mm için boyuna şişme fonksiyonu ve sektörel statik moment değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
i	k	x_i	x_k	y_i	y_k	t_{ik}	L_{ik}	A_{ik}	ω_i^*	ω_k^*	$(\omega_k^* + \omega_i^*)/2$	$\Delta S \omega_{ik}$	$S \omega_k = S \omega_{ik} + \Delta S \omega_{ik}$
--	--	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ⁴	m ⁴
								7*8				9*12/(2)	
	7												0
7	6	0,001	16	-17,2	-17,2	0,04	15,999	0,63996	514,816	140,7829	327,7995	104,8893	104,89
6	3'	16	16	-17,2	-13,51	0,02	3,69	0,0738	59,0517	0	29,52585	1,089504	105,98
3'	3	16	16	-13,51	-2,2	0,02	11,31	0,2262	0	-99,2171	-49,6086	-5,61073	99,28
3	2	16	6	-2,2	-2,2	0,018	10	0,18	-180,948	-36,5925	-108,77	-9,78932	89,49
2	1	6	0	-2,2	-2,2	0,018	6	0,108	-67,2417	0	-33,6209	-1,81553	87,67
1	0	0	0	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	0	0	0	0	87,67
	3												99,28
3	4	16	16	-2,2	0	0,02	2,2	0,044	-180,948	-211,958	-196,453	-4,32197	94,96
4	5	16	6	0	0	0,02	10	0,2	-211,958	-80,0374	-145,998	-14,5998	80,36
5	0	6	0	0	0	0,02	6	0,12	-80,0374	0	-40,0187	-2,40112	77,96

Bu değerlerden yararlanılarak kayma akımları T_s her bir kesit için;

$$T_s = E * S_{\omega_k} * v''(z) \quad (4.166)$$

bağıntısı yardımıyla bulunur. En son olarak da her bir kesit için

$$\tau_{maks} = \left(\frac{T_i}{t_i} \right)_{maks} \quad (4.167)$$

bağıntısı yardımıyla kayma gerilmeleri ve

$$\sigma(z, s) = E * v'(z) * \omega^*(s) \quad (4.168)$$

bağıntısı yardımıyla boyuna şişme normal gerilmeleri hesaplanır. Bu işlem her kesit için tekrar edilerek, duba boy ekseninde 11 kesit için gerilme değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.118 a=15999 mm için z/L=0 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,59E-06	-5,87E-07	0,04	12676041	316,901	1,69E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	12807710	640,3855	1,94E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	11997974	599,8987	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,59E-06	-5,87E-07	0,018	10814915	600,8286	-5,93E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,59E-06	-5,87E-07	0,018	10595505	588,6392	-2,20E+01
1	0	206000	87,67	0	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	10595505	529,7753	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	11475864	573,7932	-5,93E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	9711451	485,5726	-6,95E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,59E-06	-5,87E-07	0,02	9421271	471,0635	-2,62E+01

Çizelge 4.119 a=15999 mm için z/L=0,1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,53E-06	-6,42E-07	0,04	13873725	346,8431	1,62E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	14017834	700,8917	1,86E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	13131591	656,5795	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,53E-06	-6,42E-07	0,018	11836752	657,5973	-5,70E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,53E-06	-6,42E-07	0,018	11596611	644,2562	-2,12E+01
1	0	206000	87,67	0	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	11596611	579,8306	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	12560150	628,0075	-5,70E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	10629028	531,4514	-6,68E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,53E-06	-6,42E-07	0,02	10311431	515,5715	-2,52E+01

Çizelge 4.120 a=15999 mm için z/L=0,2 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,46E-06	-6,94E-07	0,04	15001617	375,0404	1,55E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	15157442	757,8721	1,78E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	14199150	709,9575	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,46E-06	-6,94E-07	0,018	12799044	711,058	-5,45E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,46E-06	-6,94E-07	0,018	12539381	696,6323	-2,03E+01
1	0	206000	87,67	0	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	12539381	626,9691	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	13581252	679,0626	-5,45E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	11493137	574,6568	-6,39E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,46E-06	-6,94E-07	0,02	11149719	557,486	-2,41E+01

Çizelge 4.121 a=15999 mm için z/L=0,3 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,39E-06	-7,44E-07	0,04	16076572	401,9143	1,48E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	16243563	812,1781	1,69E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	15216603	760,8302	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,39E-06	-7,44E-07	0,018	13716172	762,0095	-5,19E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,39E-06	-7,44E-07	0,018	13437902	746,5501	-1,93E+01
1	0	206000	87,67	0	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	13437902	671,8951	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	14554430	727,7215	-5,19E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	12316688	615,8344	-6,08E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,39E-06	-7,44E-07	0,02	11948663	597,4331	-2,29E+01

Çizelge 4.122 a=15999 mm için z/L=0,4 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,31E-06	-8,37E-07	0,04	18090573	452,2643	1,39E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	18278483	913,9242	1,60E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	17122871	856,1436	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,31E-06	-8,37E-07	0,018	15434473	857,4707	-4,89E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,31E-06	-8,37E-07	0,018	15121342	840,0746	-1,82E+01
1	0	206000	87,67	0	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	15121342	756,0671	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	16377743	818,8872	-4,89E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	13859667	692,9834	-5,73E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,31E-06	-8,37E-07	0,02	13445538	672,2769	-2,16E+01

Çizelge 4.123 a=15999 mm için z/L=0,5 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,22E-06	-1,03E-06	0,04	22266152	556,6538	1,29E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	22497435	1124,872	1,49E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	21075090	1053,754	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,22E-06	-1,03E-06	0,018	18996983	1055,388	-4,55E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,22E-06	-1,03E-06	0,018	18611578	1033,977	-1,69E+01
1	0	206000	87,67	0	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	18611578	930,5789	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	20157975	1007,899	-4,55E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	17058689	852,9344	-5,33E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,22E-06	-1,03E-06	0,02	16548972	827,4486	-2,01E+01

Çizelge 4.124 a=15999 mm için z/L=0,6 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	1,10E-06	-1,37E-06	0,04	29614738	740,3684	1,17E+02
6	3'	206000	105,98	59,0517	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	29922352	1496,118	1,34E+01
3'	3	206000	99,28	0	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	28030585	1401,529	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	1,10E-06	-1,37E-06	0,018	25266632	1403,702	-4,11E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	1,10E-06	-1,37E-06	0,018	24754030	1375,224	-1,53E+01
1	0	206000	87,67	0	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	24754030	1237,702	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	26810791	1340,54	-4,11E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	22688636	1134,432	-4,81E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	1,10E-06	-1,37E-06	0,02	22010694	1100,535	-1,82E+01

Çizelge 4.125 a=15999 mm için z/L=0,7 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	9,41E-07	-1,89E-06	0,04	40776983	1019,425	9,98E+01
6	3'	206000	105,98	59,0517	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	41200542	2060,027	1,14E+01
3'	3	206000	99,28	0	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	38595739	1929,787	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	9,41E-07	-1,89E-06	0,018	34790011	1932,778	-3,51E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	9,41E-07	-1,89E-06	0,018	34084201	1893,567	-1,30E+01
1	0	206000	87,67	0	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	34084201	1704,21	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	36916187	1845,809	-3,51E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	31240328	1562,016	-4,11E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	9,41E-07	-1,89E-06	0,02	30306860	1515,343	-1,55E+01

Çizelge 4.126 a=15999 mm için z/L=0,8 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	7,18E-07	-2,60E-06	0,04	56187191	1404,68	7,62E+01
6	3'	206000	105,98	59,0517	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	56770819	2838,541	8,74E+00
3'	3	206000	99,28	0	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	53181624	2659,081	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	7,18E-07	-2,60E-06	0,018	47937656	2663,203	-2,68E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	7,18E-07	-2,60E-06	0,018	46965111	2609,173	-9,95E+00
1	0	206000	87,67	0	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	46965111	2348,256	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	50867344	2543,367	-2,68E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	43046497	2152,325	-3,14E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	7,18E-07	-2,60E-06	0,02	41760258	2088,013	-1,18E+01

Çizelge 4.127 a=15999 mm için z/L=0,9 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	4,13E-07	-3,54E-06	0,04	76504379	1912,609	4,38E+01
6	3'	206000	105,98	59,0517	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	77299046	3864,952	5,03E+00
3'	3	206000	99,28	0	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	72412004	3620,6	0,00E+00
3	2	206000	89,49	-180,948	4,13E-07	-3,54E-06	0,018	65271827	3626,213	-1,54E+01
2	1	206000	87,67	-67,2417	4,13E-07	-3,54E-06	0,018	63947611	3552,645	-5,72E+00
1	0	206000	87,67	0	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	63947611	3197,381	0,00E+00
3	4	206000	94,96	-180,948	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	69260885	3463,044	-1,54E+01
4	5	206000	80,36	-211,958	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	58612033	2930,602	-1,80E+01
5	0	206000	77,96	-80,0374	4,13E-07	-3,54E-06	0,02	56860693	2843,035	-6,81E+00

Çizelge 4.128 a=15999 mm için z/L=1 kesitindeki kayma ve şişme normal gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	k	E	S_{wk}	ω^*	$v'(z)$	$v''(z)$	t_{ik}	T_z	τ	σ
--	--	MPa	m ⁴	m ²	1/m	1/m ²	m	N/m	N/mm ²	N/mm ²
7	6	206000	104,89	514,816	0	-4,78E-06	0,04	1,03E+08	2584,321	0
6	3'	206000	105,98	59,0517	0	-4,78E-06	0,02	1,04E+08	5222,33	0
3'	3	206000	99,28	0	0	-4,78E-06	0,02	97843225	4892,161	0
3	2	206000	89,49	-180,948	0	-4,78E-06	0,018	88195406	4899,745	0
2	1	206000	87,67	-67,2417	0	-4,78E-06	0,018	86406123	4800,34	0
1	0	206000	87,67	0	0	-4,78E-06	0,02	86406123	4320,306	0
3	4	206000	94,96	-180,948	0	-4,78E-06	0,02	93585428	4679,271	0
4	5	206000	80,36	-211,958	0	-4,78E-06	0,02	79196681	3959,834	0
5	0	206000	77,96	-80,0374	0	-4,78E-06	0,02	76830267	3841,513	0

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üniform burulma teorisine göre yapılan analitik çözümlerde, duba ön ve arkasında iskele ve sancak tarafına eşit tekil yük etkililmiş, ardından da güverte genişliğinin gemi genişliğine oranının 0 (tam açık kesit); 0,219; 0,250; 0,281; 0,313; 0,344; 1 (kapalı enine kesit) olması durumları için kayma gerilmelerinin enine kesitteki değerleri hesaplanmıştır. En büyük kayma gerilmeleri, açık enine kesitlerde gemi güvertesinde, kapalı enine kesitte ise bordaya komşu iç dip levhasında meydana gelmektedir. En açık kesitteki en büyük kayma gerilmesi, kapalı kesitteki en büyük kayma gerilmesinin 3780 katı olmaktadır. Bu sonuç, açık kesitli konteyner gemilerindeki burulma zorlamasının ne kadar tehlikeli olduğunu göstermektedir [7].

Toplam burulma momenti sabit olduğunda, üniform olmayan burulma teorisine göre yapılan analitik çözümlerde, duba boy eksenine eğik gelen dalgaların ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu sabit burulma momenti etkisindeki gemi enine kesitine sahip bir dubada oluşan kayma gerilmelerine ve boyuna şişme normal gerilmelerine, güverte genişliğinin etkisi incelenmiştir. Bu amaç için, duba, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti etkisinde bırakılmıştır. Ardından da, güverte genişliğinin gemi genişliğine oranının (a/B) 0 (tam açık kesit); 0,219; 0,250; 0,281; 0,313; 0,344; 0,999 (yaklaşık kapalı enine kesit) olması durumları için kayma gerilmelerinin ve normal gerilmelerin enine kesitteki değerleri hesaplanmıştır. En büyük kayma gerilmeleri, açık ve kapalı kesitlerde, bordada oluşmaktadır. En büyük şişme normal gerilmeleri ise, açık ve kapalı kesitlerde, güverte açıklığında oluşmaktadır. Kayma gerilmeleri ve şişme normal gerilmelerinin güverte genişliği arttıkça (kapalı kesite yaklaştıkça) azaldığı anlaşılmaktadır. Açık kesitteki en büyük kayma gerilmesi,

yaklaşık kapalı kesitteki en büyük kayma gerilmesinin 1,83 katı olmaktadır. Açık enine kesitte, boyuna şişme normal gerilmesinin kayma gerilmesi değerine oranı 15,15-16,37 değerleri arasında olup, bu değer yaklaşık kapalı enine kesitte 0,999 değerine düşmektedir. Ayrıca, açık kesitteki en büyük boyuna şişme normal gerilmesi, yaklaşık kapalı kesitteki en büyük boyuna şişme normal gerilmesinin 27,8 katı olmaktadır. Bu durumda, özellikle açık enine kesitlerde şişme normal gerilmelerinin ihmal edilemeyecek değerde olduğu ortaya çıkmaktadır [8].

Toplam burulma momenti değişken olduğunda, üniform olmayan burulma teorisine göre yapılan analitik çözümlerde, dubaya omuzluklardan gelen dalgaların ve simetrik olmayan yüklerin oluşturduğu değişken burulma momenti etkisindeki gemi enine kesitine sahip bir dubada oluşan kayma gerilmelerine ve boyuna şişme normal gerilmelerine, güverte genişliğinin etkisi her bir kesit için incelenmiştir. Bu amaç için, duba, statik burulma momenti ve dalgalardan kaynaklanan burulma momenti etkisinde bırakılmıştır. Ardından da, güverte genişliğinin gemi genişliğine oranının (a/B) 0 (tam açık kesit); 0,219; 0,250; 0,281; 0,313; 0,344; 0,999 (yaklaşık kapalı enine kesit) olması durumları için kayma gerilmelerinin ve normal gerilmelerin her bir enine kesitteki değerleri hesaplanmıştır. En büyük kayma gerilmeleri, açık ve yaklaşık kapalı kesitlerde, bordada oluşmaktadır. En büyük şişme normal gerilmeleri ise, açık ve yaklaşık kapalı kesitlerde, güverte açıklığında oluşmaktadır. Kayma gerilmeleri ve şişme normal gerilmelerinin genel olarak güverte genişliği arttıkça (kapalı kesite yaklaştıkça) azaldığı anlaşılmaktadır. Açık kesitteki en büyük kayma gerilmesi, yaklaşık kapalı kesitteki en büyük kayma gerilmesinin 5,59 katı olmaktadır. Ayrıca, açık kesitteki en büyük boyuna şişme normal gerilmesi, yaklaşık kapalı kesitteki en büyük boyuna şişme normal gerilmesinin 9,05 katı olmaktadır. Bu durumda, özellikle açık enine kesitlerde şişme normal gerilmelerinin ihmal edilemeyecek değerde olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın sonucunda ortaya çıkan en önemli sonuç; güverte genişliğinin azalmasının, üniform burulma durumunda kayma gerilmelerinin, üniform olmayan burulma durumunda da kayma gerilmelerinin ve boyuna şişme normal gerilmelerinin çok artmasına sebep olduğudur. Ayrıca, doğada karşılaşılan durum olan toplam burulma momentinin değişken olması hali, en tehlikeli durumu teşkil etmektedir. Bu durumda,

Özellikle boyuna Şişme normal gerilmeleri ihmal edilemeyecek değerlere ulaşmaktadır. Bu tez kapsamında incelenen göreceli olarak zayıf enine kesitlerde, değişken burulma momenti sonucu oluşan gerilmeler güvenli gerilmeleri çok çok aŐmaktadır. Bu nedenle, ek önlemler almak gerekir. Bu önlemlerden birisi sac kalınlıklarının artırılması ve borda yan cıdarı eklenmesidir. Bu tez kapsamında incelenen teoriler, enine perdelerin gerilmelere etkisini dikkate almamaktadırlar. Bundan sonraki çalıŐmalarda, nümerik yöntemler ile bu problemin incelenmesi ve enine perdelerin de dikkate alınması gibi çalıŐmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Senjanoviç, I., Tomaseviç, S., Rudan, S. ve Senjanoviç, T., (2008). "Role of transverse bulkheads in hull stiffness of large container ships", *Engineering Structures*, 30: 2492–2509.
- [2] Vedeler, F. G., (1923). *On Rolling of Ships, on Torsion of Ships*, Massachusetts Institue of Technology, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Cambridge.
- [3] Ionel Chirica, I., Musat, S. D., Chirica, R., ve Beznea, E. F., "Torsional behaviour of the ship hull composite model", *Computational Materials Science*, 50: 1381–1386, 2011.
- [4] Ünsan, Y., (1995). *Geniş Ambar Ağızlı Gemilerin Mukavemet Yönünden İncelenmesi*, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Timoschenko, S. ve Goodier, J. N., (1969). *Elastisite Teorisi*, 757, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul.
- [6] Özdamar, A., (1996). *Parameterstudie zur Torsion von Containerschiffen*, Yüksek Lisans Tezi, Berlin Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Berlin.
- [7] Yüncüoğlu, E. U. ve Özdamar, A., (2012). "Güverte Açıklığının Kayma Gerilmelerine Etkisinin, Üniform Burulma Teorisine Göre İncelenmesi", *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012*, 13-14 Aralık 2012, İstanbul.
- [8] Yüncüoğlu, E. U. ve Özdamar, A., (2012). "Güverte Açıklığının Kayma ve Şişme Normal Gerilmelerine Etkisinin, Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre İncelenmesi", *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012*, 13-14 Aralık 2012, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri :26.01.1989/Ilgaz
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :ercumentyuncuoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Kastamonu Fen Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-2013	İzmir Katip Çelebi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-Halen	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

- 1.Yüncüoğlu, E. U. ve Özdamar, A., (2012). “Güverte Açıklığının Kayma Gerilmelerine Etkisinin, Üniform Burulma Teorisine Göre İncelenmesi”, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012, 13-14 Aralık 2012, İstanbul.
- 2.Yüncüoğlu, E. U. ve Özdamar, A., (2012). “Güverte Açıklığının Kayma ve Şişme Normal Gerilmelerine Etkisinin, Üniform Olmayan Burulma Teorisine Göre İncelenmesi”, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012, 13-14 Aralık 2012, İstanbul..