

154345

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK AÇIKLIKLI AÇIK KESİTLİ ÇOK ANA KİRİŞLİ
KÖPRÜLERDE YATAY VE DÜŞEY YÜK ETKİLERİNİN
İNCE CİDARLI ÇUBUKLARIN BURULMA TEORİSİNE
GÖRE İNCELENMESİ

İnşaat Müh. Tuna Can ALTUNSOY

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Naci YÜCEFER (YTÜ)

Prof. Dr. İlhan EREN
T. D. İNŞ. FAK.
Iren

Naci Yücefer
07.06.2004

Prof. Zekeriya Polat
Zekeriya Polat

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. İNCE CİDARLI KESİTLERİN BURULMA TEORİSİ.....	1
1.1 Giriş	1
1.1.1 İncelenecek Kesitlerin Ön Kabulleri.....	2
1.2 St. Venant Burulması (Primer Burulma) “ M_T ”	2
1.3 Kesit Çarpılması (Boylama Deplasmanlar) “ w ”	3
1.4 Kesit Tesirlerinin Tanımlanması	6
1.4.1 Normal Gerilmeler.....	6
1.4.2 Eğilme Momentleri	9
1.4.3 Burulmadan Dolayı Oluşan Normal Gerilmeler.....	10
1.4.4 Bimoment	10
1.5 Kayma Merkezi “ M ”	12
1.6 Çarpılma Gerilmeleri	13
1.6.1 Çarpılma Normal Gerilmesi “ σ_{x_0} ”	13
1.6.2 Çarpılma Burulması ve Kayma Gerilmesi “ M_τ, τ_ω ”	14
1.7 Burulma Diferansiyel Denklemi.....	16
1.7.1 Mesnetlenme Şekilleri	16
1.7.1.1 Çatal Mesnet.....	17
1.7.1.2 Ankastre Mesnet	17
1.7.1.3 Serbest Kenar	17
1.8 Çatal Mesnetli Basit Kirişlerle İlgili Formüller	17
1.8.1 Dış Tekil Burulma Momenti İle Yüklü Olma Durumu	17
1.8.2 Dış Yayılı Burulma Momenti İle Yüklü Olma Durumu.....	19
1.9 Örnek Problem.....	20
2. KİRİŞLİ KÖPRÜLERDE YÜK DAĞITIMININ İNCE CİDAR TEORİSİ KULLANILARAK YAPILMASI	23
2.1 Yöntemin Ana Unsurları	23
2.2 Yük Dağıtımı İçin Kullanılan Temel Sistem.....	24
2.3 Eksantrik Olmayan (Eksenel) Yüklerin Ana Kirişlere Paylaştırılması	25
2.4 Eksantrik Yüklerin Dağıtılması	25
2.5 Çarpılma Gerilmelerinin Oluşturduğu Fiktif Eğilme Momentleri	26
2.6 Fiktif Momentleri Oluşturan İkinci Adımdaki Dağıtılmış Yüklerin Bulunuşu.....	28
2.7 Yük Dağıtma Katsayıları	29

3.	COURBON YÖNTEMİ.....	31
4.	DÜŞEY YÜKLER İÇİN SAYISAL ÖRNEK.....	35
4.1	Beş Ana Taşıyıcı Kirişli, Tek Açıklıklı, Çatal Mesnetli, Ana Kiriş Atalet Momentleri Eşit Köprü Sisteminde Yük Dağıtımının Burulma Teorisi ve Courbon Metoduna Göre Bulunması ve Karşılaştırılması	35
4.1.1	Burulma Teorisine Göre Yük Dağıtımının Bulunması.....	35
4.1.1.1	Ağırlık Merkezinin Yerinin Bulunuşu.....	36
4.1.1.2	Y Diyagramının Çizilmesi	36
4.1.1.3	Ağırlık Merkezine Göre Birim Çarpılma Değerleri	36
4.1.1.4	Jzz Değerinin Hesabı	37
4.1.1.5	Jzω _s Değerinin Hesabı	38
4.1.1.6	Kayma Merkezinin Yerinin Bulunuşu.....	38
4.1.1.7	Kontrol Denklemi	38
4.1.1.8	ω _M Diyagramının Çizimi	39
4.1.1.9	J _{ω_Mω_M} Değerinin Bulunuşu.....	40
4.1.1.10	J _t , K, φ _M ''(X) Değerlerinin Bulunuşu.....	40
4.1.1.11	σ _{X₀} Değerlerinin Bulunuşu	41
4.1.1.12	Ana Kirişlerde Oluşan Burulma Momentlerinin Bulunması ve Fiktif Kuvvetlerin Ana Kirişlere Aktarılması	42
4.1.1.13	Eksenel Yüklerin Ana Kirişlere Aktarılması	46
4.1.1.14	Yüklerin Bulunması.....	46
4.2	Courbon Metoduna Göre Yüklerin Bulunuşu	47
5.	ÇEŞİTLİ BİRİM BURULMA MOMENTİ HALLERİ İÇİN HESAPLAMALAR, TABLOLAŞTIRMALAR.....	49
5.1	Düzgün Yayılı Birim Moment Hali	49
5.1.1	A Kesiti İçin Hesaplar.....	50
5.1.2	L/8 Kesiti İçin Hesaplar	51
5.1.3	2L/8 Kesiti İçin Hesaplar	52
5.1.4	3L/8 Kesiti İçin Hesaplar	53
5.1.5	4L/8 Kesiti İçin Hesaplar	54
5.1.6	Sonuçların Tablolaştırılması ve Sonuç Diyagramlar	55
5.2	Tekil Birim Moment Halleri	57
5.2.1	Tekil Burulma Momentinin L/8 Noktasında Olması Hali	59
5.2.1.1	A Kesiti İçin Hesaplar.....	59
5.2.1.2	L/8 Kesiti İçin Hesaplar	60
5.2.1.3	2L/8 Kesiti İçin Hesaplar	63
5.2.1.4	3L/8 Kesiti İçin Hesaplar	65
5.2.1.5	4L/8 Kesiti İçin Hesaplar	67
5.2.1.6	5L/8 Kesiti İçin Hesaplar	69
5.2.1.7	6L/8 Kesiti İçin Hesaplar	70
5.2.1.8	7L/8 Kesiti İçin Hesaplar	72
5.2.1.9	B Kesiti İçin Hesaplar.....	74
5.2.2	Tekil Burulma Momentinin 2L/8 Noktasında Olması Hali	77
5.2.2.1	A Kesiti İçin Hesaplar.....	77
5.2.2.2	L/8 Kesiti İçin Hesaplar	78
5.2.2.3	2L/8 Kesiti İçin Hesaplar	80
5.2.2.4	3L/8 Kesiti İçin Hesaplar	83

5.2.2.5	4l/8 Kesiti İçin Hesaplar	85
5.2.2.6	5l/8 Kesiti İçin Hesaplar	86
5.2.2.7	6l/8 Kesiti İçin Hesaplar	88
5.2.2.8	7l/8 Kesiti İçin Hesaplar	90
5.2.2.9	B Kesiti İçin Hesaplar	92
5.2.3	Tekil Burulma Momentinin 3L/8 Noktasında Olması Hali	95
5.2.3.1	A Kesiti İçin Hesaplar.....	95
5.2.3.2	L/8 Kesiti İçin Hesaplar	96
5.2.3.3	2l/8 Kesiti İçin Hesaplar	98
5.2.3.4	3l/8 Kesiti İçin Hesaplar	100
5.2.3.5	4l/8 Kesiti İçin Hesaplar	103
5.2.3.6	5l/8 Kesiti İçin Hesaplar	104
5.2.3.7	6l/8 Kesiti İçin Hesaplar	106
5.2.3.8	7l/8 Kesiti İçin Hesaplar	108
5.2.3.9	B Kesiti İçin Hesaplar	110
5.2.4	Tekil Burulma Momentinin 4L/8 Noktasında Olması Hali	113
5.2.4.1	A Kesiti İçin Hesaplar.....	113
5.2.4.2	L/8 Kesiti İçin Hesaplar	114
5.2.4.3	2l/8 Kesiti İçin Hesaplar	116
5.2.4.4	3l/8 Kesiti İçin Hesaplar	118
5.2.4.5	4l/8 Kesiti İçin Hesaplar	120
5.2.5	Düşey Yük Örneğinin Birim Moment Tablosuna Göre Kontrolü.....	123
6.	YATAY YÜKLER	125
6.1	Rüzgar Yüğü.....	125
6.2	Deprem Yüğü	126
7.	SONUÇLAR	129
KAYNAKLAR.....		130
ÖZGEÇMİŞ.....		131

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı
A_{ij}	i kirişi ile j enlemesinin ara kesit noktası
α	Burulma parametresi
b	Cidarın diğer bir boyutu
Δ_i	Eksantrisite katsayısı
δ	Deplasman
E	Elastisite modülü
e	Eksantriklik
F	Sisteme etkiyen kuvvet
φ	Boylama eksen etrafında birim dönme açısı
G	Kayma modülü
J	Atalet momenti
J_T	Burulma atalet momenti
J_{yy}	y eksenine göre atalet momenti
J_{zz}	z eksenine göre atalet momenti
$J_{y\omega s}$	Sektörel deviasyon momenti
$J_{z\omega s}$	Sektörel deviasyon momenti
$J_{y\omega M}$	Sektörel deviasyon momenti
$J_{z\omega M}$	Sektörel deviasyon momenti
$J_{\omega M\omega M}$	Çarpılma atalaet momenti
ζ	z eksenindeki deplasman
k_i	Mesnet karakteristik sabitleri
ξ	Yükün yeri
L	Ana giriş açıklığı
M	Kayma merkezi
M_i	Kesite etkiyen fiktif eğilme momenti
M_T	St. Venant burulması
M_τ	Çarpılma burulma momenti
M_y, M_z	Eğilme momentleri
M_ω	Bimoment
$M_{T\Sigma}$	Toplam dış burulma momenti
n	Ana giriş sayısı
η	Tesir çizgisi katsayısı
P_M	Cidar yörüngesinin herhangi bir noktasından kayma merkezine olan dik mesafe
P_s	Cidar yörüngesinin herhangi bir noktasından ağırlık merkezine olan dik mesafe
ρ_i	A_{ij} noktasının absisi
σ_x	Normal gerilme
$\sigma_{x\omega}$	Burulmadan meydana gelen ilave normal gerilme
S	Ağırlık merkezi
S_y	y eksenine göre statik moment
S_z	z eksenine göre statik moment
$S_{\omega M}$	Çarpılma alanı ya da sektörel statik moment alanı
$\tau_{x\omega}$	Burulmadan meydana gelen ilave kayma gerilmesi
u	Normal yöndeki deplasman
v	Teğetsel yönde deplasman
w	Boylama doğrultusunda deplasman
ω_M	Kayma merkezine göre asal birim çarpılma
ω_s	Ağırlık merkezine göre asal birim çarpılma

y_M
 z_M

Kayma merkezi ordinatı
Kayma merkezi apsisi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Açık kesit örnekleri	1
Şekil 1.2 Kapalı kesit örnekleri	1
Şekil 1.3 Zıt yönlere burulmaya maruz bir çubuk ve boy değişimleri (Yücefer, 1977)	3
Şekil 1.4 Çarpılmış bir kesit ve oluşan boylama deplasmanlar	4
Şekil 1.5 (Yücefer, 1977)	5
Şekil 1.6 (Yücefer, 1977)	5
Şekil 1.7 Lo uzunluğunda bir çubukta meydana gelen boy değişimi	7
Şekil 1.8 Diferansiyel bir eleman	7
Şekil 1.9 Kayma merkezi	12
Şekil 1.10 Sekonder burulma	14
Şekil 1.11 Çatal mesnet gösteriş şekli	17
Şekil 1.12 Dış tekil burulma momenti etki eden çatal mesnet	17
Şekil 1.13 Dış yayılı burulma momenti etki eden çatal mesnet	19
Şekil 1.14 Örnek	20
Şekil 1.15 ω_M diyagramı	21
Şekil 2.1 Yük dağıtımını için kullanılan temel sistem	24
Şekil 2.2 Enkesite etkiyen eksantrik kuvvetin aksel hale getirilmesi	25
Şekil 2.3 Dağıtılmış yükler	26
Şekil 2.4 moment tesir çizgisi (Yücefer, 1988)	29
Şekil 3.1 Örnek bir ızgara sistem (Celasun, 1974)	31
Şekil 3.2 Hesap için seçilen sistem ve enleme sehimi eğrisi	31
Şekil 4.1 Çözümü yapılacak sistem	35
Şekil 4.2 Sistem	35
Şekil 4.3 Y diyagramı	36
Şekil 4.4 ω_s diyagramı	37
Şekil 4.5 ω_M diyagramı	40
Şekil 4.6 σ_{x0} diyagramı	42
Şekil 4.7 Herhangi bir ana kiriş için gerilmelerin ve kuvvetlerin örnek gösterimi	42
Şekil 4.8 Birinci ana kirişte gerilme dağılımı	43
Şekil 4.9 İkinci ana kirişte gerilme dağılımı	44
Şekil 4.10 Üçüncü ana kirişte gerilme dağılımı	45
Şekil 4.11 Sistem	45
Şekil 4.12 Sistem	46
Şekil 4.13 Sistem	47
Şekil 5.1 Düzgün yayılı birim burulma momenti hali ve $m_{T\Sigma}$ Diyagramı	49
Şekil 5.2 Elde edilen sonuç diyagramlar	55
Şekil 5.3 Genel bir tekil burulma örneği	57
Şekil 5.4 Tekil burulma momenti L/8 için	59
Şekil 5.5 Tekil burulma momenti L/8 için	77
Şekil 5.6 Tekil burulma momenti 3L/8 için	95
Şekil 5.7 Tekil burulma momenti 4L/8 için	113
Şekil 5.8 Düşey yük örneği	123
Şekil 6.1 Rüzgar yükü gösterimi	125
Şekil 6.2 Hesaplanmış rüzgar burulma momentinin gösterimi	125
Şekil 6.3 Deprem yükü gösterimi	126
Şekil 6.4 Hesaplanmış deprem burulma momenti gösterimi	128

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Ana kirişlere dağıtılmış fiktif kuvvetler	48
Çizelge 4.2 Bulunan sonuçların değişim oranları	48
Çizelge 5.1 Sonuçlar tablosu (birimler N,cm cinsinden).....	55
Çizelge 5.2 Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)	76
Çizelge 5.3 Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)	94
Çizelge 5.4 Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)	112
Çizelge 5.5 Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)	122
Çizelge 5.6 Düşey yük kıyas tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir).....	123
Çizelge 6.1 Rüzgar kuvveti Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm)	126
Çizelge 6.2 Deprem kuvveti Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm)	128



ÖNSÖZ

20. yüzyılın başlangıcına kadar burulma hesabının temelini, St. Venant tarafından geliştirilen ve 1855 de açıklanan, teori teşkil etmiştir. Mühendislikteki uygulama için bu teoriye R. Bredt (1896) ve A. Föppl (1917) tarafından önemli ilaveler yapılmıştır.

Bu çalışmada yatay ve düşey kuvvetler nedeniyle oluşan burulma momentlerinin, çok kirişli köprü tabliyesindeki köprü boyuna kirişleri üzerinde meydana getirdiği etkiler, ince cidarlı açık kesitli çubukların birinci mertbe burulma teorisine göre incelenmiş, açıklığı plan genişliğine nispetle büyük olan köprü tabliyelerinde oldukça tatminkar sonuçlar verdiği bilinen Courbon yöntemi sonuçları ile kıyaslanarak farklılıklar araştırılmıştır. incelemede Prof. Naci Yücefer' in lisansüstü programında verdiği "İnce Cidarlı Taşıyıcılar" dersi notlarından büyük ölçüde yararlanılmıştır.

Çalışmalarım süresince, benden bilgi, hoşgörü ve anlayışlarını esirgemeyen bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma, öncelikle sayın Prof. Naci Yücefer'e ve sevgili annem Hatice Altunsoy'a, babam Mehmet Altunsoy'a, teşekkürü bir borç bilir, sevgi ve saygılarımı sunarım.



ÖZET

Bu çalışmada; çok kirişli köprü tabliyesindeki ana giriş sisteminde, yatay ve ya düşey yük etkilerinden oluşan burulma momentlerinin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İlk iki bölüm, ince cidarlı açık kesitli çubukların burulma teorisinin ve bu yöntemle yük dağıtımının yapılmasının açıklanmasına ayrılmıştır. Üçüncü bölümde, kirişli köprülerde yük dağıtımı için pratik bir yöntem olan Courbon yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, anılan iki yöntemle örnek köprü sistemi üzerinde, düşey yük halinde kuvvetlerin dağılımı bulunmuş ve kıyaslanmıştır. Beşinci bölümde, birim burulma yükünün farklı durumları için her bir anakirişte oluşan St. Venant burulması, çarpılma burulması, gerilmeler ve kuvvetler bulunmuş ve değişimleri araştırılmıştır. Bulunan bütün sonuçlar tablolaştırılmıştır. Altıncı bölümde, yatay yük hali için hazırlanan tabloların çözümlerde kullanılmasına yer verilmiştir. Yedinci bölümde, sonuçlar özetlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Köprü, Burulma teorisi, Courbon Yöntemi, St. Venant Burulması, Çarpılma

ABSTRACT

The objective of this study is to compare the torsional effect of both vertical and lateral loads on girders of a RC bridge. In the first two chapter, the theory of torsion for thin-walled open section frame elements is presented and also load distribution method by the help of this theory is explained. In the third chapter, Courbon method is explained as a practical method to determine the distribution of among the girders. The fourth chapter comparatively gives the load distrubutions of vertical loads determined using the two methods explained in the former chapters for a sample bridge. In the fifth chapter, for different cases of unit torsional load, calculated St. Venant torsion, wrapping torsion, forces and streses are presented and their variation is investigated. All the results obtained in this chapter are tabulated in the sixth chapter, solution method by the help of tables prepared for lateral loads is explained. Finaly, in the last chapter of the study, results are presented.

Keywords: Bridge, Torsion theory, Courbon method, St. Venant, Wrapping



1. İNCE CİDARLI KESİTLERİN BURULMA TEORİSİ

1.1 Giriş

Giderek gelişen inşaat yöntemleri sayesinde, kullanılan malzemelerin cidar kalınlıkları da giderek azalmıştır. Kullanılan statik açıklıklar büyüdükçe kalınlık dışındaki diğer boyutlarda büyüdüğü zaman cidar kalınlığının küçük olması büsbütün ön plana çıkmaktadır. Bir yapı elemanında cidar kalınlığı diğer boyutlara oranlanırsa;

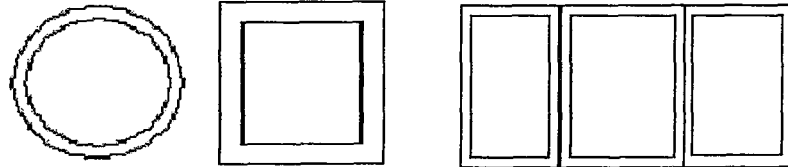
$\frac{t}{b} \leq 0.10$ koşulunu sağlayan eleman kesitleri ince cidarlı kesitlerdir.

Bu koşulun sağlandığı yapı sistemleri, özellikle çelikten yapılan endüstriyel yapılar, köprüler, olmakla beraber, betonarme, öngerilmeli beton ve kompozit sistemlerde de sağlandığı haller olabilmektedir.

Eleman kesitleri “açık kesitler” ve “kapalı kesitler” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ancak bu konu içinde ince cidarlı açık kesitlerin burulma teorisi özet halinde incelenmiş, burulma etkisi, ilgili çubuğun mesnetlenme durumunun, kesit geometrik yapısının etkileri, oluşabilecek deformasyon ve gerilmeler kısaca açıklanmıştır.



Şekil 1.1 Açık kesit örnekleri



Şekil 1.2 Kapalı kesit örnekleri

Böyle yapı elemanlarında ince cidar teorisinin dikkate alınmasının önemi ve kullanılması zorunluluğu doğmaktadır. Özellikle açık kesitli ince cidarlı taşıyıcılar detaylı bir şekilde

incelendiği zaman, oluşan normal ve kayma gerilmelerinin klasik mukavemetten bilinen değerlerden saptığı görülmektedir. Kapalı kesitler incelendiğinde ise bu sapma açık kesitlerdeki kadar olmamaktadır.

$$\sigma_{\text{KLASİK}} = \frac{N}{A} \mp \frac{M_y}{W_y} \mp \frac{M_x}{W_x} \quad (1.1)$$

$\sigma_{\text{KLASİK}} \neq \sigma_{\text{GERÇEK}} \Rightarrow \Delta\sigma$ fark vardır

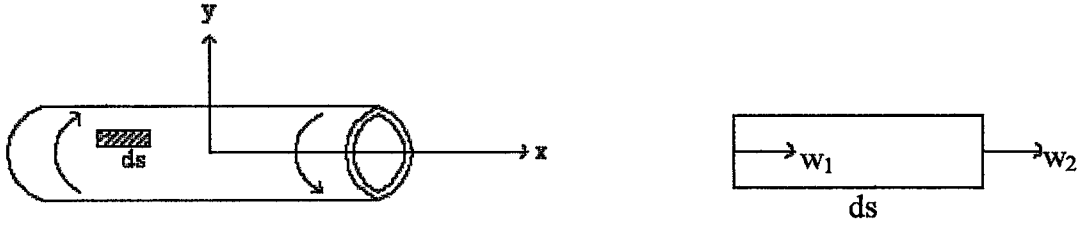
1.1.1 İncelenecek Kesitlerin Ön Kabulleri

- 1) Kesitler ince cidarlı ve açık kesitlidir.
- 2) Sistem boylama eksenini doğrusal (x-ekseni)
- 3) Kesit konturu deformasyonlar sırasında değişmemektedir.
- 4) Atalet momenti sabittir, cidar kalınlığı boylama yönde değişmemektedir.
- 5) Kayma gerilmelerinden ileri gelen deformasyonlar dikkate alınmamaktadır.
- 6) Boylama yönde dış kuvvet değişimi yoktur.
- 7) Koordinat sistemi olarak x eksenini boylama yönde olmak üzere sağ sistem seçilmiştir.

1.2 St. Venant Burulması (Primer Burulma) “M_T”

Genelde çubuklarda oluşan kesit burulma momenti, iki farklı burulma momentinin toplamı olarak düşünülür. Bunlardan birincisi primer burulma olarak da adlandırılan St.Venant burulmasıdır. İkincisi ise ”Sekonder Burulma” olarak adlandırılır (Yücefer, 1977).

İki ucunda birbirine zıt yönde burulma etkileri olan bir çubukta, bu yüzden oluşan boylama deplasmanlar engellenmezse oluşan burulma türüne “St. Venant Burulması” adı verilir. Başka bir anlatımla St. Venant burulması, toplam burulmanın kesitlerde normal gerilme oluşturmayan burulma kısmına denir (Yücefer, 1977). Ancak yükleme, mesnetleme, kesit koşulları uygun olduğunda, kesitte meydana gelen burulmanın hepsi St. Venant burulması olabilir. Buna basit bir örnek olarak da iki ucundan zıt yönlerde burulan bir çubukta oluşacak boylama deplasmanlar engellenmediği takdirde kesitte meydana gelen burulma tamamıyla St. Venant burulmasıdır.



Şekil 1.3 Zıt yönlere burulmaya maruz bir çubuk ve boy değişimleri (Yücefer, 1977)

St. Venant burulmasında boy değişimleri serbest bırakıldığından $w_1=w_2$ ve $\sigma_x=0$ olur.

St. Venant burulmasına maruz bir çubuğun, her bir dx uzunluğu aynı ölçüde $d\phi$ burulma dönmesi yapar, yani çubuk dönmesi boylama yönde lineer olarak artar. Bu nedenle dönme açısı θ sabittir.

$$\theta = \phi' = \frac{d\phi}{dx} = \text{sabit} \quad (1.2)$$

Kayma modülü G , birim dönme açısı ϕ' ve St. Venant burulması arasında şu bağıntı vardır.

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi' \quad (1.3)$$

Burada J_T burulma atalet momentidir. Hazır profillerde aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$J_T = \frac{1}{3} \cdot k \cdot \sum b_i t_i^3 \quad (1.4)$$

1.3 Kesit Çarpılması (Boylama Deplasmanlar) “w”

Deformasyondan önce düzlem olan enkesitler, kirişin burulma deformasyonu sonucu genellikle düzlem kalmazlar. Enkesit noktaları, burulma sonucu en kesit düzlemine dik olmak üzere, farklı deplasmanlar yapar. Buna en kesit çarpılması adı verilir.

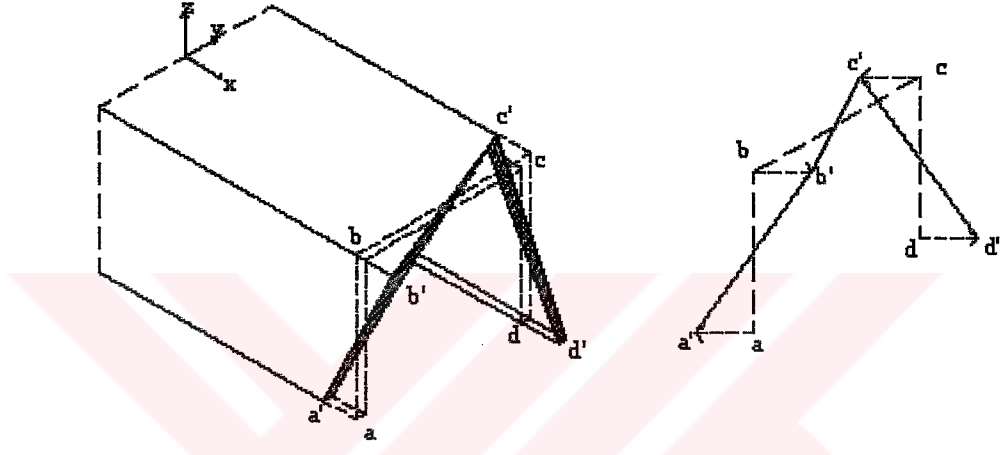
Başka bir deyişle, boylama deplasmanlar sonucunda düzlem bir kesitin noktalarının, çubuğun boyuna doğrultusunda, kesit düzleminden dışarıya doğru yer değiştirmesinden dolayı deformasyonların meydana gelmesi olayına “Çarpılma” adı verilir. Bu yüzden “İnce Cidar Teorisine”, “Çarpılma Teorisi” adı da verilir.

St. Venant burulmasında, normal gerilmeler sıfır olduğuna göre, çubuk boyunca boylama eksenine paralel alınacak bir lif üstündeki bütün noktaların aynı miktarda çarpılmaları

(boylama deplasman yapmaları) gerekir. Aksi halde bir lifin iki ucunda farklı boylama deplasmanlar oluşup, dx boyu değişir ve normal gerilmeler oluşurdu. Demek ki St. Venant burulmasında çarpılma sadece y ve z nin bir fonksiyonudur. Ve ya değişkenlik cidar üzerinde s ile gösterilirse sadece s' in bir fonksiyonudur.

$$w = w(y,z) \quad (1.5)$$

$$w = w(s) \quad (1.6)$$

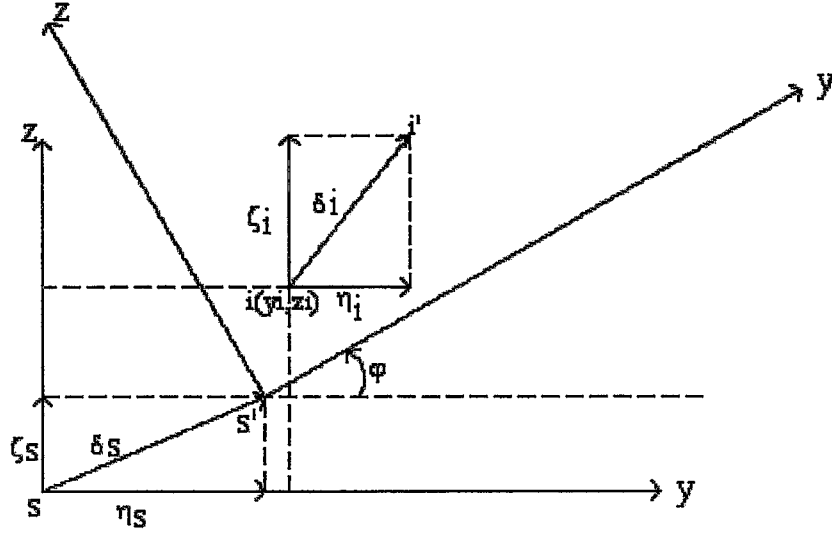


Şekil 1.4 Çarpılmış bir kesit ve oluşan boylama deplasmanlar

Genel burulma durumunda eksenlerde kayma gerilmeleri yüzünden oluşan, yani sekonder kayma gerilmelerinin oluşturduğu, deformasyonlar ihmal edilerek, teori basitleştirilmiştir. Bu kabul ile elde edilen teoriye “ Birinci Mertebe Burulma Teorisi ” de denilmektedir. St. Venant burulmasında cidar ekseninde kayma gerilmeleri ve boylama yöndeki normal gerilme sıfır olduğundan, herhangi bir diferansiyel eleman ötelenme ve ya rotasyon yapabilir ancak geometrisini aynen korur. Matematikse olarak ifade edilirse;

$$\frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (1.7)$$

Genel anlamda kesit deplasmanı ve dönmesi sonucu kesite bağlı durumdaki (y,z) koordinat sistemi yeni bir durum alır. Koordinat sisteminin merkezi olarak seçilen S noktasının deplasmanları (η_s, ζ_s) ve dönmesi (φ_s) sonucu herhangi bir “i” noktasının, ilk durumda koordinat eksenleri yönünde yaptığı deplasmanlar şekil 1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 (Yücefer, 1977)

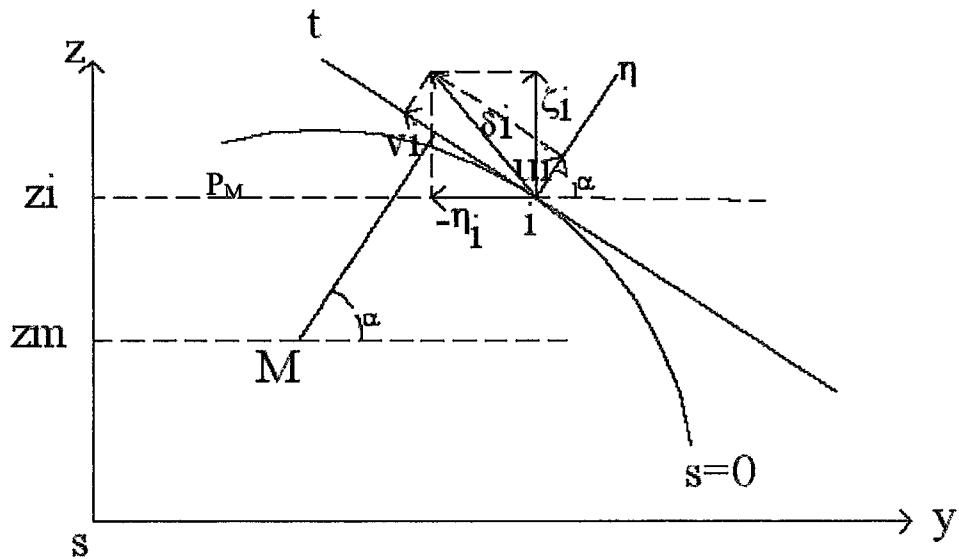
$$\eta_i = \eta_s - z_i \cdot \phi_i \quad (1.8)$$

$$\zeta_i = \zeta_s + y_i \cdot \phi_s \quad (1.9)$$

S noktası yerine, aynı koordinat sisteminde verilen herhangi bir M noktasının deplasmanları (η_M, ζ_M) ve dönmesi (ϕ_M) ile de "i" noktası için şu değerler bulunur;

$$\eta_i = \eta_M - (z_i - z_M) \cdot \phi_M \quad (1.10)$$

$$\zeta_i = \zeta_M + (y_i - y_M) \cdot \phi_s \quad (1.11)$$



Şekil 1.6 (Yücefer, 1977)

“i” noktasının teğetsel yöndeki deplasmanı v_i ile koordinat eksenleri yönlerindeki deplasmanları (η_i, ζ_i) arasında ilişki ise şekil 1.6’dan;

$$v_i = \zeta_i \cdot \cos\alpha - \eta_i \cdot \sin\alpha \quad (1.12)$$

(1.10) ve (1.11)’deki değerler (1.12)’de yerine konulursa ve “i” noktası ile M noktası arasındaki normal uzaklığın değeri;

$$P_M = (y_i - y_M) \cdot \cos\alpha + (z_i - z_M) \cdot \sin\alpha \quad (1.13)$$

Teğetsel yöndeki deplasman için ise şu değer bulunur;

$$v_i = v = \zeta_M(x) \cdot \cos\alpha - \eta_M(x) \cdot \sin\alpha + \varphi_M(x) \cdot P_M(s) \quad (1.14)$$

Bulunan (1.7) ve (1.14) kullanılarak boylama deplasman şu şekilde bulunabilir;

$$\frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \Rightarrow \frac{\partial w}{\partial s} = -\frac{\partial v}{\partial x} \Rightarrow \int \partial w = - \int \frac{\partial v}{\partial x} \partial s$$

$$w(x, s) = - \int_0^s \frac{\partial v}{\partial x} \partial s + \xi(x) \quad (1.12)$$

$$w(x, s) = -\zeta_M'(x) \cdot z(s) - \eta_M'(x) \cdot y(s) - \varphi_M'(x) \cdot \int_{s=0}^s P_M(s) ds + \xi(x) \quad (1.16)$$

Burada birinci ve ikinci ifadeler klasik mukavemet teorisinden bilinen bileşik eğilme değerlerini ifade eder. Üçüncü değer ise burulma momentinin ifadesidir. Son kısım ise normal gerilmeyi ifade eder. İntegral içinde bulunan ifadeye ise “Asal Çarpılma ve ya Birim Çarpılma” adı verilir ve “ ω_M ” ile gösterilir. Merkez olarak M noktası alındığında, bütün cidar noktalarının M noktasına olan uzaklıkları (P_M) cidar boyunca (s) integre edilmesiyle bulunur.

1.4 Kesit Tesirlerinin Tanımlanması

1.4.1 Normal Gerilmeler

Burada söz konusu olan normal gerilmeler, çubuk eksen yönünde olan normal gerilmelerdir. Bu nedenle bunlara σ_x denilecektir. Ön koşul olarak elastik malzeme kabul edildiğinden Hooke bağıntısı geçerlidir ($\sigma_x = E \cdot \epsilon_x$).



Şekil 1.7 Lo uzunluğunda bir çubukta meydana gelen boy değişimi

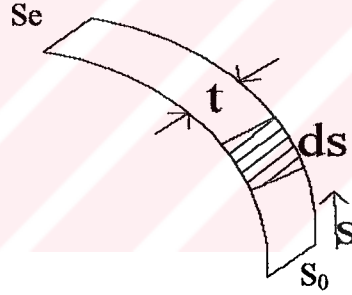
$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1.17)$$

$$\varepsilon_x = \frac{dw(x,s)}{dx} \quad (1.18)$$

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x = E \cdot \frac{\partial w(x,s)}{\partial x} \quad (1.19)$$

$$\sigma_x = E \cdot \left[-\zeta_M''(x) \cdot z(s) - \eta_M''(x) \cdot y(s) - \phi_M''(x) \cdot \omega_M(s) + \xi'(x) \right] \quad (1.20)$$

Bu ifade ile her ne kadar gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılarak normal gerilme formüle edildiyse de pratik olarak kullanılamayacak olduğundan, kesit tesiri tanımlamaları kullanılarak bu ifade geliştirilecek ve pratik olarak kullanılacak hale getirilecektir.



Şekil 1.8. Diferansiyel bir eleman

$$dA = t \cdot ds \quad (1.21)$$

$$N = \int \sigma_x \cdot dA = \int \sigma_x \cdot t \cdot ds \quad (1.22)$$

$$N = \int_{s_0}^{s_e} E \cdot (-\zeta_M'' \cdot z - \eta_M'' \cdot y - \phi_M'' \cdot \omega_M + \xi') \cdot t \cdot ds \quad (1.23)$$

$$N = -E \cdot \zeta_M'' \int_A z \cdot dA - E \cdot \eta_M'' \int_A y \cdot dA - E \cdot \phi_M'' \int_A \omega_M \cdot dA + E \cdot \xi' \int_A t \cdot ds \quad (1.24)$$

Burada seçilen koordinat sisteminin merkezi ve pozisyonu bir yandan da burulma dönmesinin ifade edildiği eksen uygun şekilde seçilmelidir. Kesit üzerinde seçilen koordinat sistemi, ağırlık merkezinden geçen asal eksenler olacaktır. Asal eksenler seçilince çarpım atalet momenti sıfır olur. Dönme ise daha önce tanımlanmış ancak ileride daha ayrıntılı irdelenecek olan “M” noktasından geçen eksene göre ifade edilecektir. Bu sayede klasik mukavemetten farklı olarak burulma nedeniyle yeni kesit tesirleri söz konusu olacaktır.

(1.24)’de formüllerde y ve z eksenlerine göre statik moment ifadelerinin yer aldığı görülecektir. Koordinat eksenleri yukarıdaki koşullara uygun seçilirse, ağırlık merkezinde geçen eksen takımına göre statik momentler sıfır olur.

“y” ve “z” eksenlerine göre statik moment ifadeleri;

$$S_y = \int_A z \cdot dA \quad (1.25)$$

$$S_z = \int_A y \cdot dA \quad (1.26)$$

Ağırlık merkezinden geçen eksen takımına göre $S_y = S_z = 0$ ise;

$$N = E \cdot \varphi_M'' \int_A \omega_M \cdot dA + E \cdot \xi' \int_A t \cdot ds \quad (1.27)$$

$$S_{\omega}(s) = \int_A \omega_M \cdot dA \quad (1.28)$$

Burada görülen “ S_{ω} ” ifadesine “Sektörel Statik Moment” ve ya “Çarpılma Statik Momenti” adı verilir. Ve “M” noktasına göre hesaplanan sektörel statik momentler sıfır olur. O halde normal kuvvet ifadesi en son haliyle şu şekilde oluşur;

$$N = E \cdot \xi'(x) \cdot \int_A t \cdot ds = E \cdot \xi'(x) \cdot A \quad (1.29)$$

$$\xi' = \frac{N}{E \cdot A} \quad (1.30)$$

1.4.2 Eğilme Momentleri

Klasik mukavemet teorisinden bilinen eğilme momenti ifadeleri aşağıda gösterilmiştir.

$$M_y = \int_A \sigma_x \cdot z \cdot dA \quad (1.31)$$

$$M_z = \int_A \sigma_x \cdot y \cdot dA \quad (1.32)$$

(1.20)'deki σ_x değeri kullanılırsa;

$$M_y = \int_A E \cdot [-\zeta_M''(x) \cdot z(s) - \eta_M''(x) \cdot y(s) - \phi_M''(x) \cdot \omega_M(s) + \xi'(x)] \cdot z \cdot dA \quad (1.33)$$

$$M_y = -E \cdot \zeta'_m(x) \cdot \int_A z^2(s) \cdot dA - E \cdot \eta'_m(x) \cdot \int_A z(s) \cdot y(s) \cdot dA - E \cdot \phi'_m(x) \cdot \int_A z(s) \cdot \omega(s) \cdot dA + E \cdot \xi'(x) \int_A z \cdot dA \quad (1.34)$$

1.34 ifadesinde burulmadan kaynaklanan kesit entegralleri ile karşılaşmaktadır. Bu entegraller aşağıda gösterilmiş olup, bunlara “Sektörel Deviasyon Momentleri” adı verilmektedir. Ve “ $J_{y\omega M}$ ” ve “ $J_{z\omega M}$ ” olarak gösterilmişlerdir.

$$J_{yy} = \int_A z^2 \cdot dA \quad (1.35)$$

$$J_{zz} = \int_A y^2 \cdot dA \quad (1.36)$$

$$J_{yz} = \int_A y \cdot z \cdot dA \quad (1.37)$$

$$J_{y\omega M} = \int_A \omega_M \cdot z \cdot dA \quad (1.38)$$

$$J_{z\omega M} = \int_A \omega_M \cdot y \cdot dA \quad (1.39)$$

Dönme eksenini olarak “M” noktasından geçen boylama eksenler seçildiği takdirde yani ω_M değerleri “M” noktasına göre hesaplandığı takdirde “ $J_{y\omega M}$ ” ve “ $J_{z\omega M}$ ” değerleri sıfır olmaktadır.

Yukarıda anlatılanlar ışığında eğilme moment değerleri ise;

$$M_y = -E \cdot \zeta''_M(x) \cdot J_{yy} \quad (1.40)$$

$$M_z = -E \cdot \eta''_M(x) \cdot J_{zz} \quad (1.41)$$

Olarak bulunur. Ve ayrıca;

$$\zeta''_M(x) = -\frac{M_y}{E \cdot J_{yy}} \quad (1.42)$$

$$\eta''_M(x) = \frac{M_z}{E \cdot J_{zz}} \quad (1.43)$$

değerleri elde edilir.

1.4.3 Burulmadan Dolayı Oluşan Normal Gerilmeler

$$\sigma_x = E \cdot \left[-\zeta''_M(x) \cdot z(s) - \eta''_M(x) \cdot y(s) - \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) + \xi'(x) \right]$$

ζ'' , ξ'' , η'' değerleri (1.20)'de yerlerine konulursa;

$$\sigma_x = E \cdot \left[-\left(-\frac{M_y}{E \cdot J_{yy}}\right) \cdot z - \left(\frac{M_z}{E \cdot J_{zz}}\right) \cdot y - \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) + \frac{N}{E \cdot A} \right] \quad (1.44)$$

$$\sigma_x = \frac{M_y}{J_{yy}} \cdot z - \frac{M_z}{J_{zz}} \cdot y + \frac{N}{E \cdot A} - E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) \quad (1.45)$$

Son derece önemli ve bu çalışmamızın değerini en somut biçimde ifade eden (1.45)'li buluruz. Görüldüğü gibi ifade dört kısma ayrılacak olursa, ilk üç değer klasik mukavemetten bilinen ve buluna bilinen bileşik eğilme değerleridir. Ancak son ifade burulmanın etkisiyle meydana gelen normal gerilme değeridir ve İnce Cidar Teorisinden elde edilmektedir.

$$\sigma_{x\Sigma} = \sigma_{x\text{klasik}} + \sigma_{x\omega\text{burulma}} \quad (1.46)$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) \quad (1.47)$$

1.4.4 Bimoment

Bimoment; klasik mukavemet teorisinden bilinen kesit tesirlerine ek olarak verilen tamamen tanımsal bir değerdir. İnce cidar teorisinde "Bimoment", " $M\omega$ " ile gösterilmektedir (Yücefer, 1977)

$$M\omega = \int_A \sigma_x \cdot \omega_M \cdot dA \quad (1.48)$$

σ_x için (1.20) ω için de ω_M değeri yazılırsa;

$$M\omega = E \cdot \xi'(x) \cdot \int_A \omega_M \cdot dA - E \cdot \xi_M''(x) \cdot \int_A z \cdot \omega_M \cdot dA - E \cdot \eta''(x) \cdot \int_A y(s) \cdot \omega_M \cdot dA - E \cdot \phi_M''(x) \int_A \omega_M^2 \cdot dA \quad (1.49)$$

Yukarıdaki ifade de bulunan entegraller klasik mukavemet teorisinden elde edilemeyen, ince cidar teorisi kullanımı sonucunda karşılaşılan yeni kesit tesirlerini göstermektedir. Bimoment bu şekilde verildiğinde, diğer kesit tesirlerinin diferansiyel denklemlerinin de kullanılması zorunluluğu vardır. Çünkü (1.49)'da birden fazla bilinmeyen vardır.

Ağırlık merkezinden geçen asal eksenlerden oluşan koordinat sisteminin kullanılması ve aşağıda yapacağımız şekilde M noktasının yerinin ve çarpılma miktarının izafe edildiği düzlemin uygun şekilde alınması ile diferansiyel denklemler kısalar ve her birinde bir bilinmeyen kalır. Bimoment için koordinat sistemleri seçilip, gerekli işlemler gösterilecek olursa;

$$S\omega(s) = \int_A \omega_M \cdot dA = 0 \quad (1.50)$$

$$J_{y\omega_M} = \int_A \omega_M \cdot z \cdot dA = 0 \quad (1.51)$$

$$J_{z\omega_M} = \int_A \omega_M \cdot y \cdot dA = 0 \quad (1.52)$$

“M” noktasının, burulma dönmesi için çarpılma koordinatlarının tespitinde merkez olarak kullanılmasıyla Bimoment değeri için bulunmuş olan (1.49)'da şu şekilde kısalar;

$$M\omega = -E \cdot \phi_M''(x) \int_A \omega_M^2 \cdot dA \quad (1.53)$$

Buradaki entegral ifadesine “Çarpılma Mukavemeti” ve ya “Sektör Atalet Momenti” denilir. Ve “ $J_{\omega_M \omega_M}$ ” ile gösterilir.

$$J_{\omega_M \omega_M} = \int_A \omega_M^2(s) \cdot dA \quad (1.54)$$

Bu değer bimoment ifadesinde şu şekilde kullanılabilir;

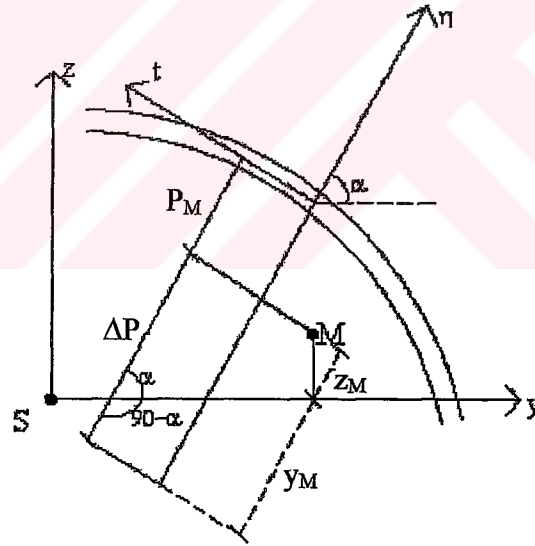
$$M_{\omega} = -E \cdot J_{\omega_M \omega_M} \cdot \varphi_M''(x) \quad (1.55)$$

Ve sonuç olarak “Bimoment” değerine ulaşılır.

1.5 Kayma Merkezi “M”

Kayma merkezi olarak adlandırılan değer aslında daha önce birçok değerimizin elde edilmesinde kullandığımız, işlemlerimizde bize tıpkı diğer kesit tesiri hesaplamalarında kullanılan ağırlık merkezi ve asal eksenler kullanımında olduğu gibi avantaj sağlayan değerdir.

Çarpılma burulması kayma gerilmelerinin bileşkesidir. Bu bileşke kayma merkezinden geçen bir kuvvet şeklinde olduğundan kesitte burulma meydana gelmez. Bu noktanın diğer bir özelliği de bu nokta merkez alınarak bulunan çarpılma koordinatları “ ω_M ” ile hesaplanan “ $J_{\omega_M \omega_M}$ ” değerinin minimum olmasıdır. Bundan dolayı “M” noktasından geçen eksen aynı zamanda çubuğun tabii dönme eksenidir (Yücefer, 1977).



Şekil 1.9 Kayma merkezi

Şekil 1.9’den faydalanarak bulabileceğimiz iki farklı noktaya göre (S ve M) belirlenen çarpılma koordinatları arasında şu bağıntı vardır;

$$\omega_M = \omega_S - y_M \cdot z + z_M \cdot y + \omega_0 \quad (1.56)$$

Bu ifade (1.50)’de kullanılırsa, ağırlık merkezinden geçen koordinat sisteminde statik momentlerin sıfır olması şartı ile ω_0 için aşağıdaki değer bulunur;

$$\omega_0 = -\frac{\int_A \omega_s \cdot dA}{A} \quad (1.57)$$

(1.51) ve (1.52) kullanılarak da;

$$\int_A \omega_s \cdot z \cdot dA - y_M \cdot \int_A z^2 \cdot dA + z_M \cdot \int_A y \cdot z \cdot dA + \omega_0 \cdot \int_A z \cdot dA = 0 \quad (1.58)$$

$$\int_A \omega_s \cdot y \cdot dA - y_M \cdot \int_A y \cdot z \cdot dA + z_M \cdot \int_A y^2 \cdot dA + \omega_0 \cdot \int_A z \cdot dA = 0 \quad (1.59)$$

Pratikte ağırlık merkezinden geçen asal eksenler kullanıldığında, statik momentler ve deviasyon momentleri sıfır olduğundan,

$$J_{y\omega_M} = \int_A \omega_M \cdot z \cdot dA$$

$$J_{z\omega_M} = \int_A \omega_M \cdot y \cdot dA$$

$$J_{yy} = \int_A z^2 \cdot dA$$

$$J_{zz} = \int_A y^2 \cdot dA$$

Kayma Merkezi "M" noktasının yeri için şu değerler elde edilir.

$$y_M = -\frac{J_y \omega_s}{J_{yy}} \quad (1.60)$$

$$z_M = -\frac{J_z \omega_s}{J_{zz}} \quad (1.61)$$

1.6 Çarpılma Gerilmeleri

1.6.1 Çarpılma Normal Gerilmesi " $\sigma_{x\omega}$ "

Normal gerilme için çarpılmadan dolayı oluşan kısım;

$$\Delta \sigma_x = \sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) \quad (1.62)$$

Şeklinde dir. ζ_M'' , η_M'' , ξ_M' değerleri (1.42), (1.43) ve (1.30)'den alınır, ϕ_M'' değeri içinde aşağıdaki değer kullanılırsa;

$$\phi_M'' = \frac{M\omega}{E \cdot J \omega_M \omega_M} \quad (1.62)$$

σ_x değeri;

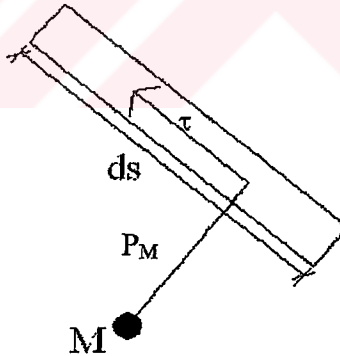
$$\sigma_x = \frac{N}{E \cdot A} + \frac{M_y}{J_{yy}} \cdot z - \frac{M_{zz}}{J_{zz}} \cdot y + \frac{M\omega}{J \omega_M \omega_M} \cdot \omega_M \quad (1.63)$$

şeklinde elde edilir.

Burada ilk üç değer bileşik eğilmeden, bunlara ilaveten elde edilen değer ise burulmadan kaynaklandığı görülmektedir. Ayrıca burulmadan kaynaklanan normal gerilmeyi yazacak olursak;

$$\sigma_{x_0} = + \frac{M\omega}{J \omega_M \omega_M} \cdot \omega_M \quad (1.64)$$

1.6.2 Çarpılma Burulması ve Kayma Gerilmesi " M_τ , τ_0 "



Şekil 1.10 Sekonder burulma

Çarpılma burulması, kesitteki sekonder kayma gerilmelerinin kayma merkezine göre oluşturdukları bileşke momentleridir. Matematiksel olarak çarpılma burulmasını şu şekilde gösterebiliriz;

$$M_\tau = \int_0^{s_e} \tau(x,s) \cdot P_M \cdot t(s) \cdot d(s) \quad (1.65)$$

Sekonder Kayma gerilmesini şu şekilde gösterebiliriz;

$$\tau(x,s) = \frac{1}{t(s)} \cdot \int_{s=0}^{s=se} \frac{\partial \sigma x}{\partial x} t(s) \cdot ds \quad (1.66)$$

$$\tau(x,s) = \frac{1}{t(s)} \cdot E \cdot (\zeta_M'''(x) \cdot Sy(s) + \eta_M'''(x) \cdot Sz(s) + \varphi_M'''(x) \cdot S\omega(s)) \quad (1.67)$$

Kayma gerilmesi değerini çarpılma burulması değerinde yerine koyduğumuzda;

$$M\tau = \int_0^{se} \frac{1}{t(s)} \cdot E \cdot (\zeta_M'''(x) \cdot Sy(s) + \eta_M'''(x) \cdot Sz(s) + \varphi_M'''(x) \cdot S\omega(s)) \cdot P_M \cdot t(s) \cdot d(s) \quad (1.68)$$

$$M\tau = E \cdot \zeta_M'''(x) \cdot \int_0^{se} Sy(s) \cdot P_M \cdot d(s) + E \cdot \eta_M'''(x) \cdot \int_0^{se} Sz(s) \cdot P_M \cdot d(s) + E \cdot \varphi_M'''(x) \cdot \int_0^{se} S\omega(s) \cdot P_M \cdot d(s) \quad (1.69)$$

$\int y = \int z \cdot dA \Rightarrow dSy = z \cdot dA$, $\omega_M = P_M \cdot ds$ olarak alınırsa;

$$\int_0^{se} Sy \cdot d\omega_M = \int_0^{se} Sy \cdot \omega_M - \int_0^{se} \underbrace{\omega_M \cdot dSy}_{Jy\omega_M=0 \text{ (M noktası için)}} = 0$$

$$\int_0^{se} Sz \cdot d\omega_M = 0 \quad \text{benzer şekilde bulunur.}$$

$$\int_0^{se} S\omega \cdot d\omega_M = \int_0^{se} \underbrace{S\omega \cdot \omega_M}_0 - \int_0^{se} \underbrace{\omega_M \cdot dS\omega_M}_{\omega_M \cdot dA} = - \int_0^{se} \underbrace{\omega_M^2 \cdot dA}_{J\omega_M\omega_M}$$

$$M\tau = -E \cdot \varphi_M''' \cdot J\omega_M\omega_M \quad (1.70)$$

Sonuç olarak “Çarpılma Burulması” bağıntısı elde edilir.

$$\varphi_M''' = - \frac{M\tau}{E \cdot J\omega_M\omega_M} \quad (1.71)$$

$$\tau\omega = \varphi_M''' \cdot E \cdot \frac{1}{t(s)} \cdot S\omega_M(s) \quad (1.72)$$

$$\tau\omega = -\frac{M\tau}{J\omega_M\omega_M} \cdot \frac{S\omega_M}{t} \quad (1.73)$$

Sonuç olarak çarpılmadan dolayı oluşan ilave “Kayma Gerilmesi” bağıntısı elde edilir.

1.7 Burulma Diferansiyel Denklemleri

Önceden de belirtildiği üzere bimoment olarak adlandırılan kesit tesirini bulmak için verilen yükleme durumuna göre ve kirişin mesnetlenme durumuna bağlı olarak, burulma diferansiyel denklemleri gereklidir. Burulma diferansiyel denklemleri burulma dönme açısının (φ) türevleri cinsinden ifade edilmektedir (Yücefer, 1977)

Bu denklemleri elde etmek için toplam burulma momenti yazılırsa;

$$M_{T\Sigma}(x) = M\tau(x) + M_T(x) \quad (1.74)$$

Buradaki değerleri φ cinsinden ifade edersek gerekli denklemler elde edilmiş olur. Kesit burulma momentinin kayma merkezine göre tespit edildiğine dikkat edilmelidir.

$$M_{T\Sigma}(x) = -E \cdot J\omega_M\omega_M \cdot \varphi_M'''' + G \cdot J_T \cdot \varphi_M' \quad (1.75)$$

Burada kullanılan yük şekli tekil yüküdür. Bu yüklerin eksantrik konumlarından dolayı oluşan burulma momentleri de tekil burulma momentleri şeklindedir. Bu durumda $M_{T\Sigma}(x)$ değeri sabit bir değerdir. Bu nedenle de türevi alınacak olursa sifıra eşittir.

$$M_{T\Sigma}(x) = F \cdot e \quad (1.76)$$

Olmak üzere denklemin çözümü;

$$k = \sqrt{\frac{G \cdot J_T}{E \cdot J\omega_M\omega_M}} \text{ cm}^{-1} \quad (1.77)$$

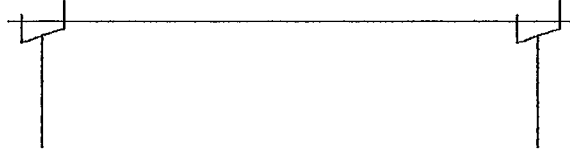
kısaltması ile elde edilir (Yücefer, 1977).

1.7.1 Mesnetlenme Şekilleri

Burulma diferansiyel denkleminin çözümü, yük tipine ve mesnetlenme koşullarına bağlıdır. Denklem sabitlerinin tespiti için çubuk mesnetlenme şartlarını dikkate almak gerekir. Başlıca mesnetlenme durumları;

1.7.1.1 Çatal Mesnet

Kirişin araya oturduğu mesnet tipidir. Bu mesnet tipinde çubuk eğilme yapabilir. Yani boylama deplasmanlar mesnet kesitinde serbestçe oluşabilir. Ancak burulma dönmesi mümkün değildir.



Şekil 1.11 Çatal mesnet gösteriş şekli

$$\varphi_M=0, \varphi_M''=0, \sigma_x=0, M\omega=0$$

1.7.1.2 Ankastre Mesnet

Ankastre durumunda kesitteki tüm deplasmanlar engellendikleri için:

$$\varphi_M=0, \varphi_M' =0, \omega=0$$

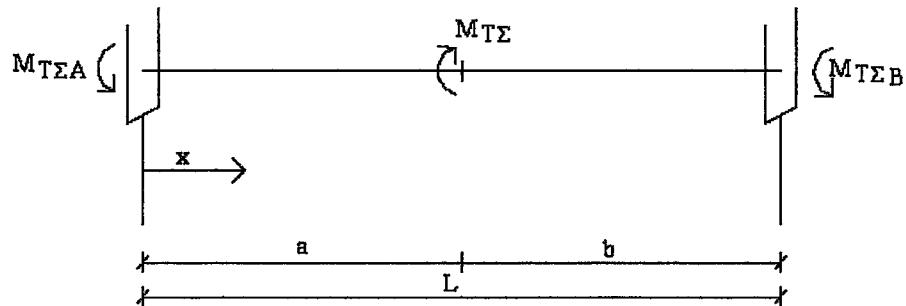
1.7.1.3 Serbest Kenar

Boylama deplasman mümkün olduğundan:

$$\sigma_x=0, M\omega=0, \varphi_M''=0$$

1.8 Çatal Mesnetli Basit Kirişlerle İlgili Formüller

1.8.1 Dış Tekil Burulma Momenti İle Yüklü Olma Durumu



Şekil 1.12 Dış tekil burulma momenti etki eden çatal mesnet

$$M_{T\Sigma(A)} = M_{T\Sigma DIS} \cdot \frac{b}{L}$$

$$M_{T\Sigma(B)} = M_{T\Sigma DIS} \cdot \frac{a}{L}$$

Genel Durumlar $0 \leq x \leq a$ için

$$\varphi_M' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[\frac{b}{L} - \frac{shkb}{shkL} \cdot ch(kx) \right] \quad (1.81)$$

$$\varphi_M'' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[-\frac{shkb}{shkL} \cdot chkx \right] \quad (1.82)$$

$$\varphi_M''' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[-\frac{shkb}{shkL} \cdot k^2 \cdot chkx \right] \quad (1.83)$$

Özel Durum $a=b=\frac{L}{2}$ için

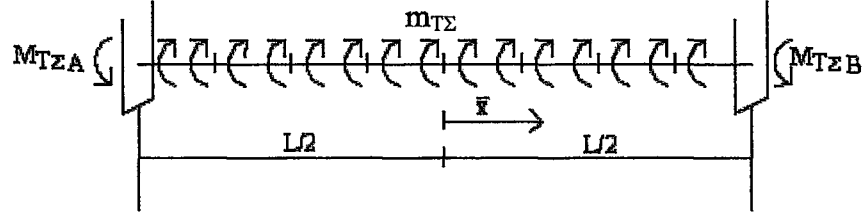
$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[\frac{x}{2} - \frac{sh\left(\frac{k \cdot L}{2}\right)}{k \cdot sh(kL)} \cdot sh(kx) \right] \quad (1.83)$$

$$\varphi_M' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[\frac{1}{2} - \frac{sh\left(\frac{k \cdot L}{2}\right)}{sh(kL)} \cdot ch(kx) \right] \quad (1.83)$$

$$\varphi_M'' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[-\frac{sh\left(\frac{k \cdot L}{2}\right)}{sh(kL)} \cdot shkx \right] \Rightarrow M\omega = -E \cdot J\omega_M \omega_M \cdot \varphi_M'' \quad (1.83)$$

$$\varphi_M''' = \frac{M_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[-\frac{sh\left(\frac{k \cdot L}{2}\right)}{sh(kL)} \cdot k^2 \cdot chkx \right] \Rightarrow M\tau = -E \cdot J\omega_M \omega_M \cdot \varphi_M''' \quad (1.83)$$

1.8.2 Dış Yayılı Burulma Momenti İle Yüklü Olma Durumu



Şekil 1.13 Dış yayılı burulma momenti etki eden çatal mesnet

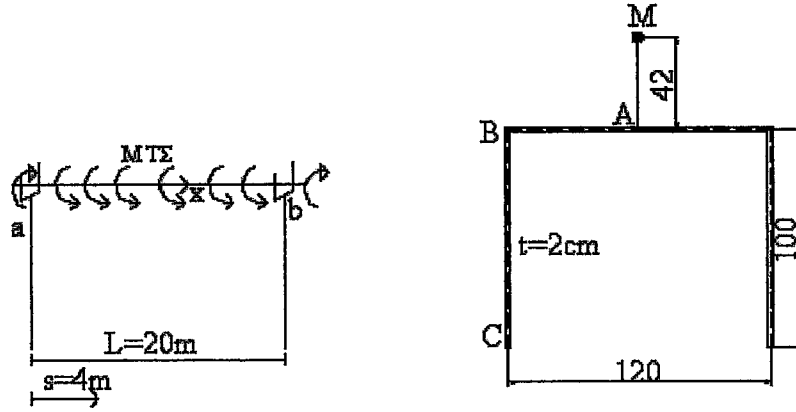
$$M_{T\Sigma}(b) = M_{T\Sigma}(a) = \frac{m_T \cdot L}{2}$$

$$\varphi_M' = -\frac{m_{T\Sigma DIŞ}}{G \cdot J_T} \left[x - \frac{shkx}{k \cdot ch\left(\frac{kL}{2}\right)} \right] \quad (1.88)$$

$$\varphi_M'' = -\frac{m_{T\Sigma DIŞ}}{G \cdot J_T} \left[1 - \frac{chkx}{ch\left(\frac{kL}{2}\right)} \right] \quad (1.89)$$

$$\varphi_M''' = -\frac{m_{T\Sigma DIŞ}}{G \cdot J_T} \left[-\frac{k \cdot shkx}{ch\left(\frac{kL}{2}\right)} \right] \quad (1.90)$$

1.9 Örnek Problem



Şekil 1.14 Örnek

Şekil 1.14’de verilen ince cidarlı açık kesit için:

$$M_{T\Sigma DİŞ}=16 \text{ kN/m}$$

$$G= 8.10^6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \varphi' = 0,2.10^{-3} \text{ cm}^{-1} \text{ (incelenen "s" kesitinde)}$$

Buna göre istenen:

S kesitinin A noktasında oluşan kayma gerilmesini bulunuz.

Çözüm:

$$\tau_{\omega} = - \frac{1}{t} \frac{M_r(s)}{J_{\omega_M} \omega_M} \cdot S \omega_M(A)$$

$$J_{\omega_M} \omega_M = \int_0^s \omega_M^2 \cdot dA = \int_0^s \omega_M^2 \cdot t \cdot ds = 2,0 \int_0^s \omega_M^2 \cdot ds$$

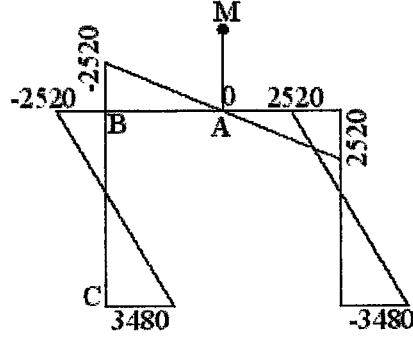
ω_M Diyagramını çizmek için;

$$\omega_m = \int_s P m(s) \cdot ds \quad (\text{saat yönü dönüşü "-" alınacaktır.})$$

$$\omega_m(A) = 0 \text{ simetri merkezi}$$

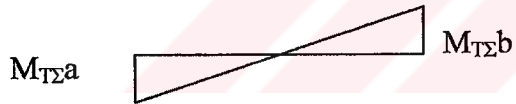
$$\omega_m(B) = \omega_m(A) + \int_A^B Pm(s).ds = 0 + (-42 \cdot 60) = -2520 \text{ cm}^2$$

$$\omega_m(C) = \omega_m(B) + \int_B^C Pm(s).ds = -2520 + 60 \cdot 100 = +3480 \text{ cm}^2$$

Şekil 1.15 ω_M diyagramı

$$J\omega_M\omega_M = 2.2. \int (60/3).(-2520).(-2520) + (100/6).(-2520).(2 \cdot 2520 + 3480) + 3480(2 \cdot 3480 - 2520)$$

$$= 1,8 \times 10^9 \text{ cm}^6$$



$$M_{T\Sigma a} = M_{T\Sigma b} = \frac{16 \cdot 20}{2} = 160 \text{ kNm}$$

“S” kesitindeki burulma momenti:

$$M_{T\Sigma S} = \frac{6}{10} \cdot M_{T\Sigma a} = \frac{6}{10} \cdot 160 = 96 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma}(x) = M_T(x) + M_r(x)$$

St. Venant burulması değerinin bulunması

$$M_T(x) = G \cdot J_T \cdot \phi_M'$$

$$J_T = \frac{1}{3} \sum t^3 \cdot b = \frac{1}{3} \cdot (0,2)^3 \cdot (100 + 120 + 100) = 854 \text{ cm}^4$$

$$M_T(x) = 8 \cdot 10^6 \cdot 854 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 13,7 \cdot 10^5 \text{ Ncm} = 13,7 \text{ kNm}$$

$$M_r(x) = M_{T\Sigma}(x) - M_T(x)$$

$$= 96,7 - 13,7 = 82,3 \text{ kNm}$$

S_{ω_M} değerinin bulunması

$$S_{\omega_M}(A) = \int_0^A \omega_M \cdot dA = t \cdot \int_0^A \omega_M \cdot ds = 2 \cdot \left[\frac{3480 - 2520}{2} \cdot 100 + \frac{-2520 \cdot 6,0}{2} \right] = -55200 \text{ cm}^4$$

$$\tau_{\omega}(A) = \frac{1}{2} \cdot \frac{843 \cdot 10^5 \cdot 55200}{1,8 \cdot 10^9} = 1292,60 \text{ N/cm}^2$$

olarak bulunur.



2. KİRİŞLİ KÖPRÜLERDE YÜK DAĞITIMININ İNCE CİDAR TEORİSİ KULLANILARAK YAPILMASI

Uygulamada karşılaşılan köprülerin büyük bir kısmı boyuna ve enine yöndeki kirişler ve taşıyıcı plak tarafından oluşturulan bir ızgara sistem şeklindedir. Mühendislikteki genel eğilim, ızgara sistemi oluşturan ana kiriş ve enleme kirişleri birbirinden ayırarak, bunları bağımsız çubuk sistem olarak ele almaktır. Bu tip bir yöntemde öncelikle köprü yüklerinden, her kirişin ne kadar pay alacağını saptamak gerekir. Yük dağıtımını adı verilen bu işlemler için ön koşullara bağlı olarak, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Aşağıda burulma teorisinden kaynaklanan bir yöntem özetlenmiştir.

Köprünün taşıyıcı nitelikteki en üst kısmı olan plak, ana ve enleme kirişlerin tabla kısmını oluşturmaktadır. Yani köprü hangi malzemeden yapılmış olursa olsun düzlemsel bir taşıyıcı sistemdir. Boyuna ve enine yöndeki rijitlik farkı dolayısı ile bir bütün olarak yapısal ortotropdur (Yücefer, 1988)

Köprü statüğünde yerleşmiş, bir ölçüde de taşıyıcı boyutlarından, rijitliklerinden, yük tiplerinden ve pozisyonlarından etkilenen bir çok yöntem vardır. Kısaca değinmek gerekirse, Courbon, Guyon-Massonet, Wagner yöntemleri örnek gösterilebilir.

Yük dağıtımını, bir yandan köprülerin düzlemsel taşıyıcı olma niteliğinden, diğer yandan da köprü yüklerinin, bina yüklerinden farklı olarak, gerçek anlamda hareketli ve küçük alanlara konsantre olmaları nedeniyle tablollaştırılmıştır. Örneğin Guyon-Massonet tabloları.

Burada ana fikri Wagner tarafından belirtilen ve burulma teorisine dayanan pratik bir yük dağıtım yöntemi gösterilecektir.

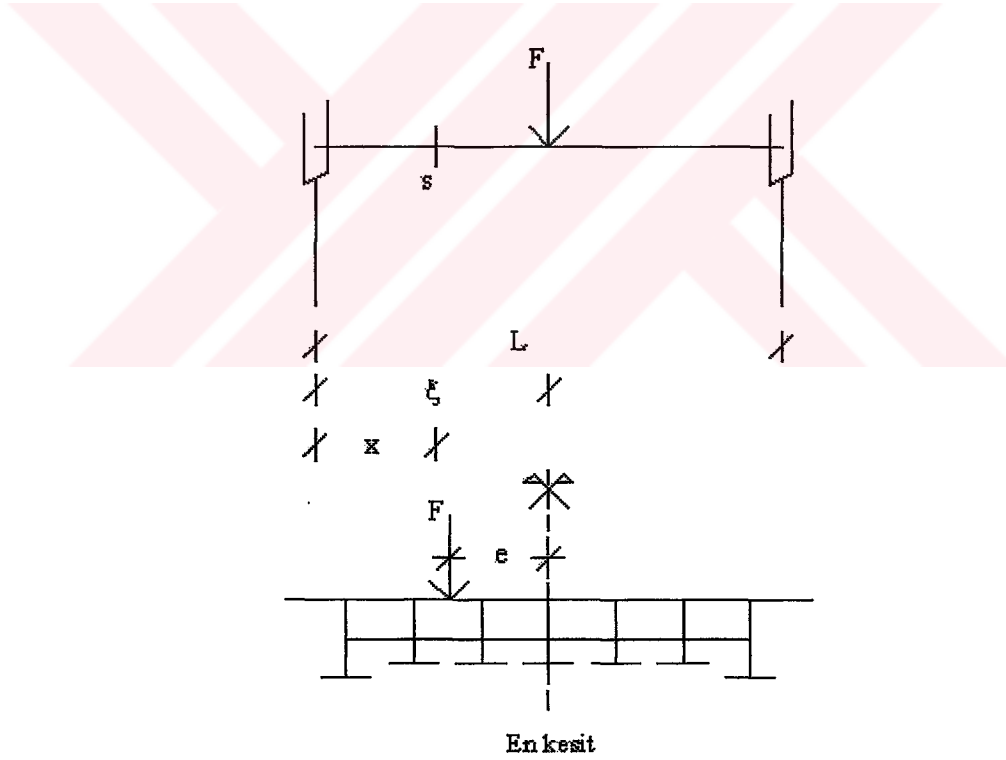
2.1 Yöntemin Ana Unsurları

- 1) İnce cidarlı taşıyıcıların burulma teorisindeki ön kabuller (bkz. 1.1.1) geçerlidir. Öncelikle de yüksek rijitlikli enleme kirişlerin katkısıyla köprü en kesitinde deformasyon olmadığı varsayılmaktadır. Enlemelerin çok rijit olmamaları durumunda en kesit deforme olmaktadır ve bu yöntemde anlatılan yük dağıtım oluşmamaktadır.
- 2) Bu durumda köprü eksenindeki bir tekil yük ana kirişlere atalet momentleriyle orantılı olarak paylaşılır.
- 3) Eksantrik bir tekil yük, eksenel yük artı burulma momentine dönüşür.

- 4) Burulma momenti çarpılma teorisine göre köprü kesitinde ve dolayısıyla köprü kesitinin parçaları olan kirişlerde normal gerilmeler oluşturur.
- 5) Bu gerilmelerin, sistemden soyutlanan ana kirişlere eğilme momentlerinde geldiği varsayılarak, bu “ Fiktif Eğilme Momentleri ” bulunur.
- 6) Fiktif eğilme momentlerinin de ana kirişlere “ Fiktif Düşey Yüklerden” geldiği varsayılmaktadır.
- 7) İşte bu yükler aksenal yüklerden gelen paylarla süperpoze edildiğinde, yük dağıtımı, sonsuz rijit enlemelerin varlığında tamamlanmış olmaktadır.

2.2 Yük Dağıtımı İçin Kullanılan Temel Sistem

İncelemede temel sistem olarak şekil 2.1’de gösterilen, tekil yükü yüklü, tek açıklıklı, ana kirişleri açık kesitli ve ince cidarlı olan çok ana kirişli bir köprü ele alınmıştır.



Şekil 2.1 Yük dağıtımı için kullanılan temel sistem

Şekil 2.1’den de görüldüğü gibi en kesit üzerinde eksantrikliği “ e ” ile gösterilen herhangi bir tekil yük ana kirişlere paylaştırılmaktadır.

2.3 Eksantrik Olmayan (Eksenel) Yüklerin Ana Kirişlere Paylaştırılması

Öncelikle enleme kirişlerin sonsuz rijit olmaları ve köprü sisteminde çok sayıda enlemenin bulunması durumunda eksenel yükler, ana kirişlere Courbon yönteminde de olduğu gibi, sehimlerin eşitliği sonucunda ana kiriş atalet momentleriyle orantılı dağıtılır:

$$F_j = F \cdot \frac{J_j}{\sum J_j} \quad (2.1)$$

Anakirişlerin birbirleriyle eşit boyutlarda olmaları durumunda ise, “n” ana kiriş sayısı olmak üzere;

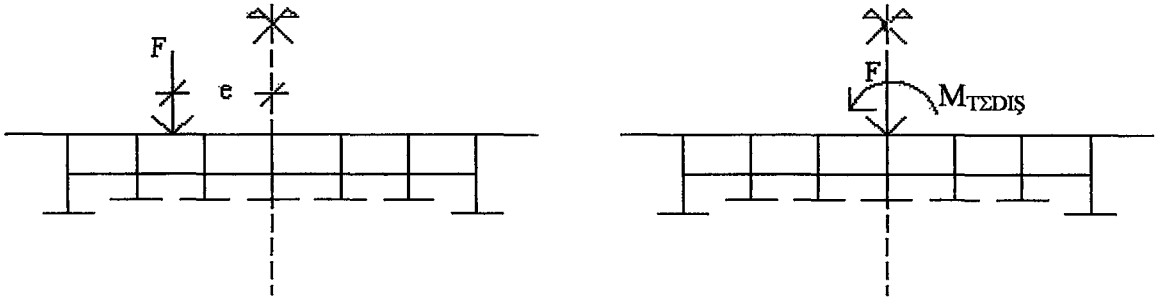
$$\frac{J_j}{\sum J_j} = \frac{1}{n} \quad (2.2)$$

$$F_j = \frac{F}{n} \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Kısacası eksenel yükler bu durumda bütün ana kirişlere eşit olarak paylaştırılmaktadır.

2.4 Eksantrik Yüklerin Dağıtılması

Eksantrik bir tekil yük, eksenel yük artı burulma momenti şekline dönüştürülebilir.



Şekil 2.2 Enkesite etkileyen eksantrik kuvvetin eksenel hale getirilmesi

Bu durumda yük dağıtımını eksenel yük ve burulma momenti için ayrı yapılacak ve sonuçlar süperpoze edilecektir.

Birinci adım olarak eksenel yükler için açıklandığı üzere (2.1) kullanılacaktır:

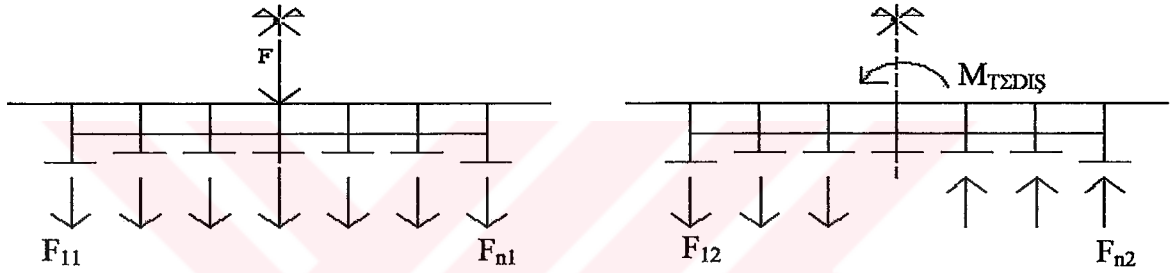
$$F_{j1} = F \cdot \frac{J_j}{\sum J_j} \quad (2.4)$$

Buradaki “1” indisi aksenal yük için olan yük dağıtımını simgelemektedir.

Burulma momentinin etkisiyle oluşan dağıtılmış ana kiriş yükleri için ise düşey denge koşuluna göre öncelikle;

$$\sum_1^n F_{j2} = 0 \quad (2.5)$$

olmak zorundadır. Buradaki “2” indisi burulma momenti için olan yük dağıtımını simgelemektedir.



Şekil 2.3 Dağıtılmış yükler

Sonuçta her ana kirişe birinci ve ikinci adımda bulunan değerlerin toplamı gelir:

$$\sum_{j=1}^{j=n} F_j = F_{j1} + F_{j2} \quad (2.6)$$

2.5 Çarpılma Gerilmelerinin Oluşturduğu Fiktif Eğilme Momentleri

Yük dağıtımında eksantriklikten gelen yükleri bulabilmek için çarpılma normal gerilmelerinin her bir ana kirişte oluşturdukları “Fiktif eğilme momentlerinin” öncelikle bulunması gerekir. Fiktif momentleri kesit tesirleri olarak sağlayan kiriş yükleri ise aranan F_{j2} değerini oluşturmaktadır. Bir başka deyişle, çarpılmaları oluşturulan normal gerilmelerin, eksantriklikten ileri gelen paylaştırılmış F_{j2} yüklerinin sonucu olduğu varsayılmaktadır. Asıl amaç zaten gerilmelerin bulunması olduğuna göre, gerilmeleri yaratan neden kesit çarpılması olmakla beraber, aynı sonucu oluşturan dağıtılmış ana kiriş yüklerinin bu gerilmeleri yarattığının varsayılması sonucu değiştirmemektedir (Yücefer, 1988)

Böylece çarpılma sonucunda oluşan gerilmelerin, ana kirişlere dağıtılan yüklerden kaynaklandığının varsayılmasıyla, yük dağıtımını için burulma teorisine dayanan bir yöntem elde edilmiş olmaktadır.

Fiktif eğilme momentlerini kesit ağırlık merkezinde seçilmiş olan koordinat eksenlerine göre aldığımızda, gerilmelerin oluşturdukları ve bir ana kirişe gelen toplam fiktif eğilme momenti ΔM için şu ifadeyi yazabiliriz:

$$\Delta M = \int_{A_j} \sigma_{\theta} \cdot z \cdot dA \quad (2.7)$$

Doğal olarak integrasyon bir ana kirişe ait tüm cidar parçalarını kapsayacaktır. Ana kirişlere ayrılan tabliye kısımlarının ise ortadan ayrılmak suretiyle, her ana kirişe eşit olarak paylaştırıldığı düşünülmektedir.

Yukarıdaki ifadeye normal gerilme için ince cidar teorisinden bilindiği üzere;

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M(s) \quad (2.8)$$

ifadesi yazılırsa;

$$\Delta M = \int_{A_j} -E \cdot \varphi_M'' \cdot \omega_M \cdot z \cdot dA \quad (2.9)$$

$$\Delta M = -E \cdot \varphi_M'' \cdot \int_{A_j} \omega_M \cdot z \cdot dA \quad (2.10)$$

haline gelir.

Son kısımdaki integral içindeki ifade için ince cidar teorisinden bilindiği üzere;

$$J_{y\omega M} = \int_{A_j} \omega_M \cdot z \cdot dA = J_{y\omega} \quad (2.11)$$

yazılırsa;

$$\Delta M = -E \cdot \varphi_M'' \cdot J_{y\omega j} \quad (2.12)$$

olarak bulunur.

Bu değer her ana kiriş için ayrı bulunduğundan sıfırdan farklıdır. Bu değerle ve ince cidar teorisinden bilinen;

$$M\omega = -E \cdot J_{\omega\omega} \cdot \varphi_M''(x) \quad (2.13)$$

değeriyle birlikte, fiktif eğilme momenti için sonuçta şu ifade yazılabilir:

$$\Delta M = \frac{M\omega}{J_{\omega\omega}} \cdot J_{y\omega j} \quad (2.14)$$

Yukarıdaki ifade de kesit karakteristikleri $J_{\omega\omega}$ ve $J_{y\omega j}$ doğal olarak yük durumundan etkilenmemektedir. Yükün enkesit ve köprü üzerindeki pozisyonunun etkisi bimoment M_{ω} 'nın kapsamı içindedir.

2.6 Fiktif Momentleri Oluşturan İkinci Adımdaki Dağıtılmış Yüklerin Bulunuşu

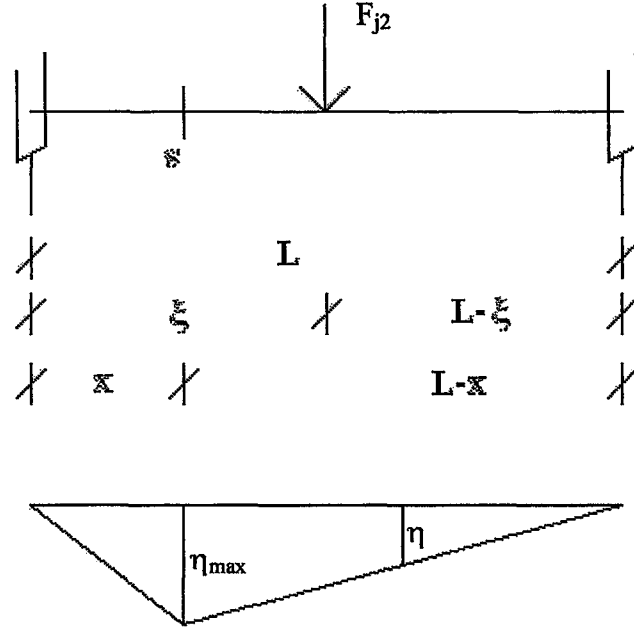
Önceden de açıklandığı gibi bu yükler eksantriklikten oluşan burulma momentinden ileri gelen kısımlardır.

Eksantrik yüklerin dağıtımı için ana fikir olarak her ana kirişe gelen yük kısmının aynı fiktif momenti oluşturması gerektiği kabul edilmişti. Bu itibarla zaten tekil yük olan ve boyuna yöndeki konumu da yine burulma momentinin boyuna yöndeki konumu ile aynı olan bu yüklerin bulunuşu için basit bir kiriş statiği yeterlidir.

Tesir çizgisi yöntemini kullanmakla, boyuna yöndeki yük değişimi de incelenebilmektedir. Böylece eksantrik yük dağılımının bir yandan yükün boyuna yöndeki yük pozisyonuna, diğer yandan da incelenen kesitin yerine bağlı olduğu vurgulanmış olmaktadır.

Doğal olarak b durum “tesir yüzeyi” kavramını ortaya çıkarmaktadır. Klasik yük dağıtım yöntemi olarak, örneğin Guyon-Massonet'nin yük dağıtımında, yüklerin boyuna yöndeki konumları pratik olarak dikkate alınmadığına göre, burada bir adım daha ileri gidilmiş olmaktadır. Üstelik boyuna yöndeki yük konumunun dikkate alınması ilave bir işlem ya da zorluk oluşturmamaktadır (Yücefer, 1988).

Boyuna yöndeki “ξ” ile gösterilen konumdaki tekil birim kuvvetin birim kuvvetinin eksantrikliği “e” yüzünden oluşturduğu burulma momentinden çarpılma teorisi sonucu ileri gelen herhangi bir “x” kesitindeki fiktif eğilme momenti yukarıda bulunmuştu. Şimdi bu momenti kullanarak tesir çizgisinden adım yükleri bulalım.



Şekil 2.4 moment tesir çizgisi (Yücefer, 1988)

$M_{s\xi}$ moment tesir çizgisinde $x \leq \xi$ ise;

$$\eta = \frac{x(L-\xi)}{L} \quad (2.15)$$

$$\eta_{\max} = \frac{x(L-x)}{L} \quad (2.16)$$

olarak hesaplanır.

ΔM momenti için ise;

$$\Delta M = F_{j2} \cdot \eta \quad (2.17)$$

yazılabilir ve bu sayede F_{j2} elde edilebilir.

$$F_{j2} = \frac{\Delta M \cdot L}{(L-\xi) \cdot x} \quad (2.18)$$

2.7 Yük Dağıtma Katsayıları

Köprü (ızgara sistem) üzerindeki herhangi bir (ξ, e) konumundaki “F” yükünden dolayı, bir “j” kirişinin x- kesitinde oluşan momenti bulmak üzere dağıtımdan dolayı bu kirişe gelen yükü veren katsayıyı $k_j(\xi, x)$ olarak tanımlarsak

$$F_j(\xi, x) = k_j(\xi, x) \cdot F \quad (2.19)$$

Yazılabilir. Buna göre k_j değerleri birim tekil yükün dağıtılmış değerleridir.

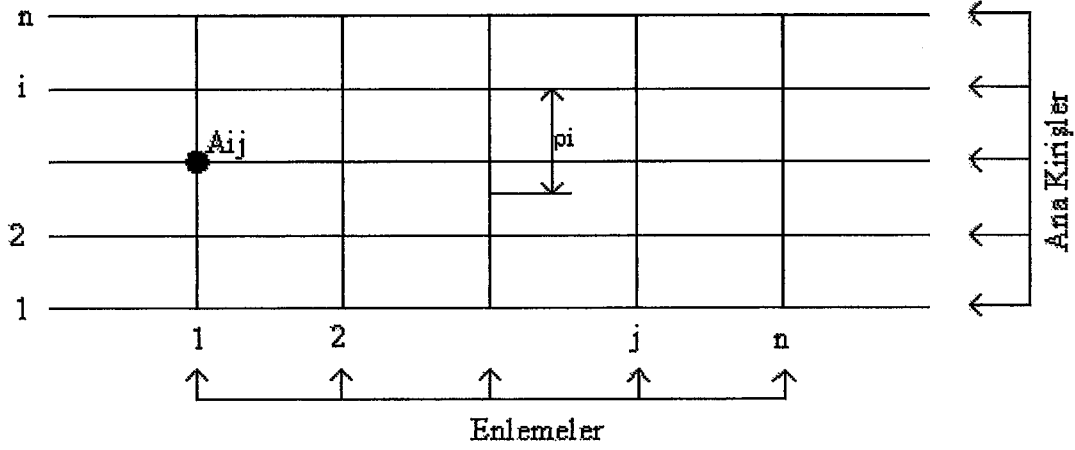
Yukarıdaki açıklamalara dayanarak şu geliştirmeyi yapabiliriz:

$$F_j = F_{j1} + F_{j2} \quad (2.20)$$

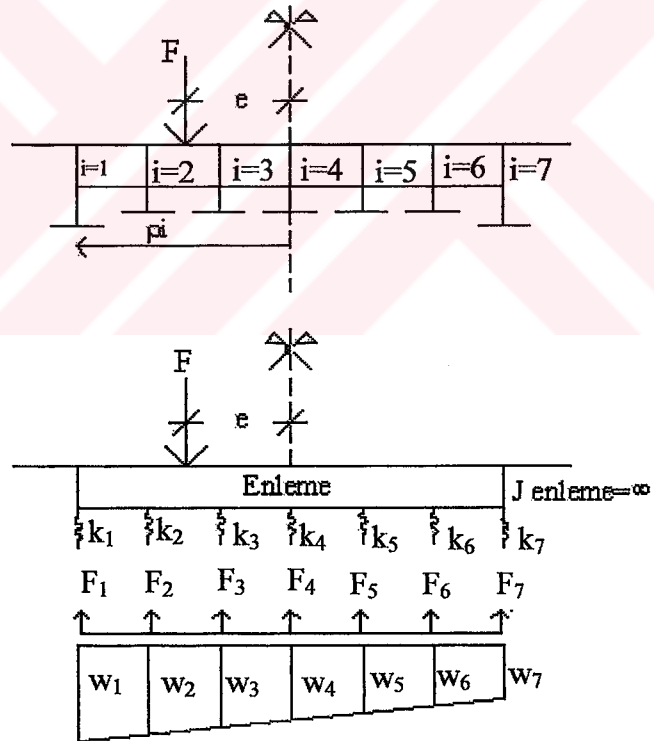
Böylelikle çarpılma teorisine göre, kesit konturunun (geometrik yapısının) çok rijit enlemelerle bozulmaması durumunda gerek yük pozisyonunu, gerekse incelenen yeri gözetken genel bir yük dağıtma katsayısı elde edilmiş olmaktadır. İncelenen yerin sabit tutulması durumunda bu ifade tesir yüzeyi niteliğine kavuşmaktadır. Yükün boyuna yöndeki yeri “ ξ ” ve enine yöndeki “ e ” eksantrikliği tesir yüzeyinin parametreleridir. Referans yeri olarak ise boyuna yönde “ x ”, enine yönde ise ana kirişin yerini simgeleyen ana kiriş numarası niteliğindeki “ j ” indisi görev yapmaktadır.



3. COURBON YÖNTEMİ



Şekil 3.1 Örnek bir ızgara sistem (Celasun, 1974)



Şekil 3.2 Hesap için seçilen sistem ve enleme sehim eğrisi

Courbon yönteminde ana kirişlere nazaran enlemelerin çok rijit olduğu kabul ediliyor ve ana kirişlerin deformasyonu yanında enlemelerin deformasyonu ihmal ediliyor. o halde, her bir enleme, tüm olarak, elemanter mekanikteki katı cisim gibi, deformasyon yapmadan, yer değiştiriyor demektir. Basit mesnetli çok ana kirişli bir köprüde, kirişlerin açıklıkları, köprü genişliğinin iki katını aştığı zaman bu yöntem çok iyi neticeler verir (Celasun, 1974).

Yüklerin enlemelere ve ya ana kirişlere uygulanmasına göre iki hal düşünülür. Dağıtımı yapılacak olan tekil yük öncelikle enleme kirişler üzerinde kabul edilecektir. Fakat elde edilen sonuçlar açıklıktaki her hangi bir yük içinde geçerli kabul edilmektedir. Kabul edilen halin yüklerin bir enleme üzerinde olduğu durum olduğuna göre, burada bu hal için yük dağıtımı irdelenecektir.

Enlemeler, elastik zemine oturan sonsuz rijit kirişlerdir. “ k_i ” ile gösterilen mesnet karakteristik sabitleri, kirişlerin “ J_i ” atalet momentleri ile orantılıdır. A_{ij} , “ i ” kirişi ile “ j ” enlemesinin ara kesit noktasıdır. A_{ij} ’ nin absisini “ ρ_i ” ile göstereceğiz. Yapılan kabullere göre, bir enlemeden diğerine “ ρ_i ” aynı değeri muhafaza eder. “ α ” absisinde bir “ F ” münferit yükünü taşıyan bir enlemeye “ i ” kirişi tarafından kirişi tarafından tatbik edilen reaksiyonu “ F_i ” ile gösterelim ve yönünü yukarıya doğru pozitif alalım. A_{ij} mesnedinin elastik mesnet olduğu göz önüne alınır ve bu noktadaki deplasmanı “ w_i ” ile gösterirsek;

$$F_i = k_i \cdot w_i \quad (3.1)$$

yazılabilir. Diğer taraftan denge denklemleri şöyle yazılabilir:

$$\sum F_i = F \quad (3.2)$$

$$\sum F_i \cdot \rho_i = F \cdot e \quad (3.3)$$

F_i ’ leri belirleyebilmek için denge denklemlerine ilave olarak kirişin sonsuz rijit olduğu hipotezini de dahil etmek gerekir. Enleme sehim eğrisi doğrusal kabul edilmiştir. Bu durumda sehim denklemi bir doğrunun denklemi olmalıdır.

$$w_i = a + b \cdot \rho_i \quad (3.4)$$

Denklemin sabitleri “ a ” ve “ b ” dir.

$$F_i = k_i \cdot (a + b \cdot \rho_i) \quad (3.5)$$

$$\Sigma k_i \cdot (a+b \cdot \rho_i) = F \quad (3.6)$$

$$\Sigma k_i \cdot (a+b \cdot \rho_i) \cdot \rho_i = F \cdot e \quad (3.7)$$

$$a \cdot \Sigma k_i \cdot \rho_i + b \cdot \Sigma k_i \cdot \rho_i^2 = F \cdot e \quad (3.8)$$

Absis başlangıcı ağırlık merkezinde olduğundan (simetri ekseni varsa bu eksen üzerinde)

$$\Sigma k_i \cdot \rho_i = 0 \quad (3.9)$$

olur. O halde;

$$a = \frac{F}{\Sigma k_i} \quad (3.10)$$

$$b = \frac{F \cdot e}{\Sigma k_i \cdot \rho_i^2} \quad (3.11)$$

k_i ile J_i arasındaki ilişki gösterilecek olursa;

$$\frac{k_i}{\Sigma k_i} = \frac{J_i}{\Sigma J_i} \quad (3.12)$$

şeklindedir.

$$F = a \cdot \Sigma k_i + b \cdot \Sigma k_i \cdot \rho_i \quad (3.13)$$

Bulunan tüm değerler (3.13)'de yerlerine konularlarsa;

$$F_i = F \cdot \frac{k_i}{\Sigma k_i} \left(1 + \frac{\Sigma k_i}{\Sigma k_i \cdot \rho_i^2} \cdot \rho_i \cdot e \right) \quad (3.14)$$

$$F_i = F \cdot \frac{J_i}{\Sigma J_i} \left(1 + \frac{\Sigma J_i}{\Sigma J_i \cdot \rho_i^2} \cdot \rho_i \cdot e \right) \quad (3.15)$$

ifadeleri elde edilir.

Burada;

$$\Delta_i = 1 + \frac{\Sigma J_i}{\Sigma J_i \cdot \rho_i^2} \cdot \rho_i \cdot e \quad (3.16)$$

yazarak;

$$F_i = F \cdot \frac{J_i}{\sum J_i} \cdot \Delta_i \quad (3.17)$$

Değerine ulaşılır. O halde Δ_i , her kirişin F yükünden atalet momenti ile orantılı bir kısım taşıdığı kabul edilelerek, “i” kirişinde hesaplanan elastik tesirlerin(eğilme momenti, kesme kuvveti, sehim v.b.) çarpılması gereken katsayıdır.

Burada Δ_i ' ye eksantrisite katsayısı, e' ye yük grubunun eksantrisitesi adı verilir.

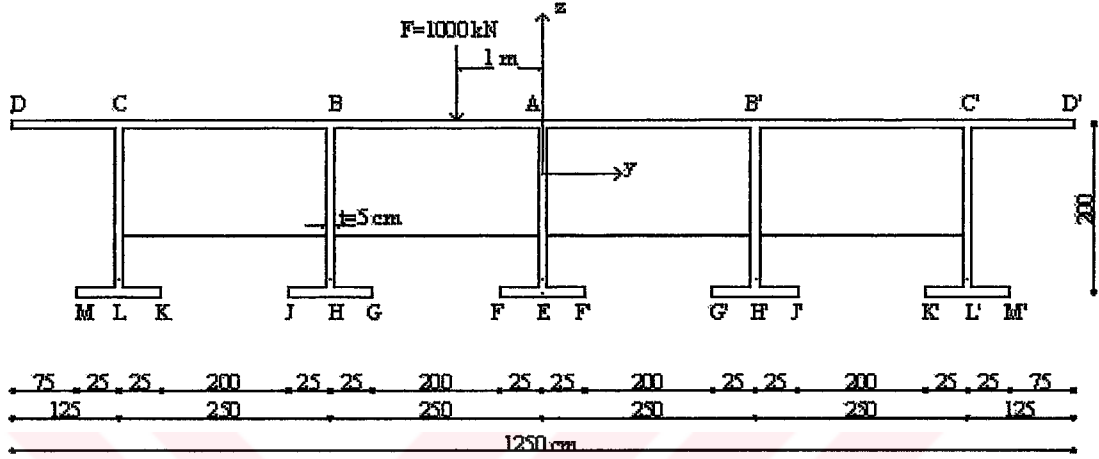
e=0 olursa, “i” ne olursa olsun $\Delta_i=1$ olur.

e \neq 0 olursa, bileşke tarafındaki kiriş diğer kirişlerden daha fazla yük alır.



4. DÜŞEY YÜKLER İÇİN SAYISAL ÖRNEK

4.1 Beş Ana Taşıyıcı Kirişli, Tek Açıklıklı, Çatal Mesnetli, Ana Kiriş Atalet Momentleri Eşit Köprü Sisteminde Yük Dağıtımının Burulma Teorisi ve Courbon Metoduna Göre Bulunması ve Karşılaştırılması



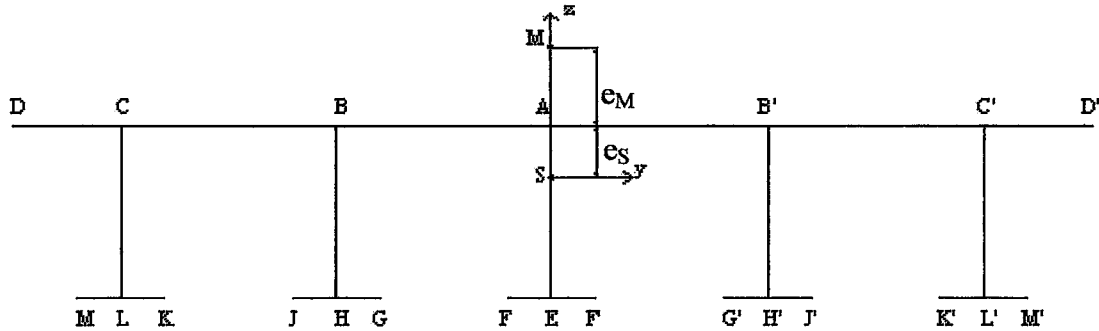
Şekil 4.1 Çözümü yapılacak sistem

$L=20$ m (köprü açıklığı)

$E=2.1 \times 10^6$ N/cm²

$G=8.1 \times 10^6$ N/cm²

4.1.1 Burulma Teorisine Göre Yük Dağıtımının Bulunması



Şekil 4.2 Sistem

4.1.1.1 Ağırlık Merkezinin Yerinin Bulunuşu

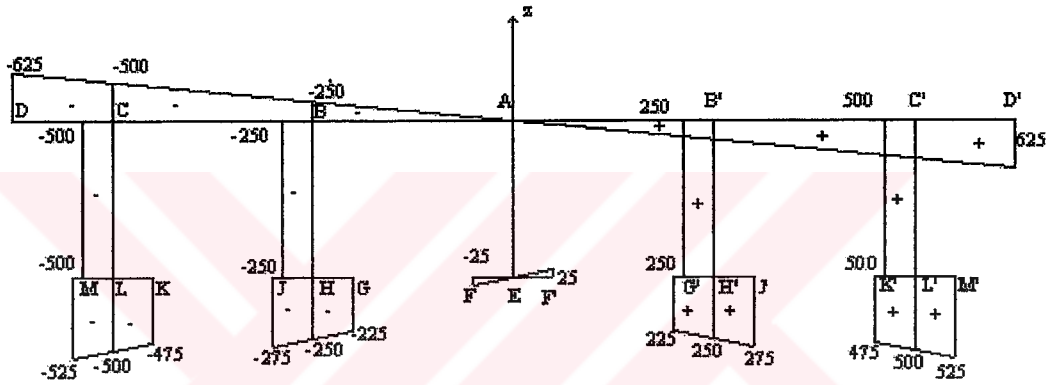
$$A_{\Sigma i} \cdot e_s = \Sigma A_i \cdot n_i$$

$$A_{\Sigma i} = 5 \times 1250 + 5 \times 5 \times 200 + 5 \times 5 \times 50 = 12500 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma A_i \cdot n_i = 5 \times 1250 \times 0 + 5 \times 5 \times 200 \times 100 + 5 \times 5 \times 50 \times 200 = 750000 \text{ cm}^3$$

$$e_s = \frac{75000 \text{ cm}^3}{12500 \text{ cm}^2} = 60 \text{ cm}$$

4.1.1.2 Y Diyagramının Çizilmesi



Şekil 4.3 Y diyagramı

4.1.1.3 Ağırlık Merkezine Göre Birim Çarpılma Değerleri

$$\omega_s = \int P_s \cdot d_s$$

$$\omega_s(A) = 0$$

$$\omega_s(B) = \omega_s(A) + \Delta \omega_s(A \rightarrow B) = 0 + 250 \times 60 = 15000 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(C) = \omega_s(B) + \Delta \omega_s(B \rightarrow C) = 15000 + 250 \times 60 = 30000 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(D) = \omega_s(C) + \Delta \omega_s(C \rightarrow D) = 30000 + 125 \times 60 = 37500 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(E) = \omega_s(A) + \Delta \omega_s(A \rightarrow E) = 0 + 0 = 0 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(F) = \omega_s(E) + \Delta \omega_s(E \rightarrow F) = 0 - 25 \times 140 = -3500 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(H) = \omega_s(B) + \Delta\omega_s(B \rightarrow H) = 15000 + 200 \times 250 = 65000 \text{ cm}^2$$

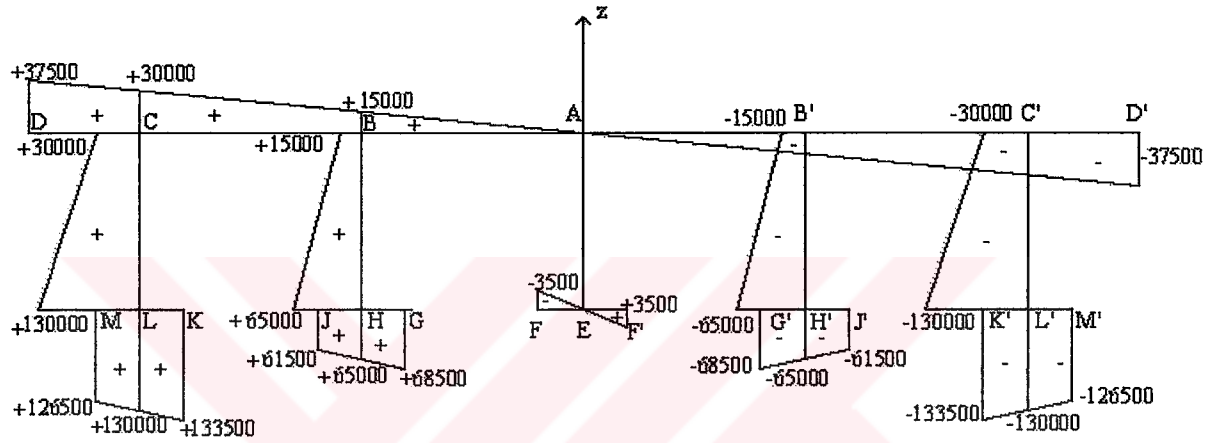
$$\omega_s(G) = \omega_s(H) + \Delta\omega_s(H \rightarrow G) = 65000 + 25 \times 140 = 68500 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(J) = \omega_s(H) + \Delta\omega_s(H \rightarrow J) = 65000 - 15 \times 140 = 61500 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(L) = \omega_s(C) + \Delta\omega_s(C \rightarrow L) = 3000 + 200 \times 500 = 130000 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(K) = \omega_s(L) + \Delta\omega_s(L \rightarrow K) = 130000 + 25 \times 140 = 133500 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(M) = \omega_s(L) + \Delta\omega_s(L \rightarrow M) = 130000 - 25 \times 140 = 126500 \text{ cm}^2$$



Şekil 4.4 ω_s diyagramı

4.1.1.4 Jzz Değerinin Hesabı

$$J_{zz} = \int y^2 \cdot dA = 2.t. \int y^2 \cdot ds$$

$$J_{zz} = 2.5 \cdot \left\{ \left[\frac{625}{3} \cdot 625 \cdot 625 \right] + [200 \cdot 250 \cdot 250] + [200 \cdot 500 \cdot 500] + \left[\frac{50}{6} \cdot (275 \cdot (2 \cdot 275 + 225) + 225 \cdot (2 \cdot 225 + 275)) \right] + \left[\frac{25}{3} \cdot 25 \cdot 25 \right] + \left[\frac{50}{6} \cdot (475 \cdot (2 \cdot 475 + 525) + 525 \cdot (2 \cdot 525 + 475)) \right] \right\} = 1595312500 \text{ cm}^4$$

4.1.1.5 $Jz\omega_s$ Değerinin Hesabı

$$Jz\omega_s = \int y.\omega_s .dA = 2.t. \int y.\omega_s .ds$$

$$Jz\omega_s = 2.5. \left\{ \left[\frac{625}{3} .(-625).37500 \right] + \right.$$

$$\left[\frac{200}{6} .(30000(2.(-500) - 500) + 130000.(2.(-500) - 500)) \right] +$$

$$\left[\frac{200}{6} .(15000(2.(-250) - 250) + 65000(2.(-250) - 250)) \right] + \left[\frac{25}{3} .(-25).(-3500) \right] +$$

$$\left[\frac{50}{6} .(126500(2.(-525) - 475) + 133500(2.(-475) - 525)) \right] +$$

$$\left[\frac{50}{6} .(61500(2.(-225) - 275) + 68500(2.(-275) - 225)) \right] \} = -1.8944 \times 10^{11} \text{ cm}^5$$

4.1.1.6 Kayma Merkezinin Yerinin Bulunuşu

$$z_M = -\frac{Jz\omega_s}{J_{zz}} = -\frac{-1,8944 \times 10^{11} \text{ cm}^5}{1595312500 \text{ cm}^4} = 118,75 \text{ cm} \approx 119 \text{ cm}$$

$$e_M = z_M - e_S = 119 - 60 = 59 \text{ cm}$$

4.1.1.7 Kontrol Denklemi

$$\text{Kıyas Oranı} = \frac{Jz\omega_M}{Jz\omega_s} \approx 0 \text{ olmalıdır.}$$

$$Jy\omega_M = \int z.\omega_M .dA = 0 \text{ Simetriden dolayı}$$

$$Jz\omega_M = \int y.\omega_M .dA = 2.t. \int y.\omega_M .ds$$

$$Jz\omega_M = 2.5. \left\{ \left[\frac{625}{3} .(-625)(-36875) \right] + \right.$$

$$\left[\frac{200}{6} \cdot (-29500(2 \cdot (-500) - 500) + 70500(2 \cdot (-500) - 500)) \right] +$$

$$\left[\frac{200}{6} \cdot (-14750(2 \cdot (-250) - 250) + 35250(2 \cdot (-250) - 250)) \right] + \left[\frac{25}{3} \cdot (-6475)(-25) \right] +$$

$$\left[\frac{50}{6} \cdot (64025(2 \cdot (-525) - 475) + 76975(2 \cdot (-475) - 525)) \right] +$$

$$\left[\frac{50}{6} \cdot (28775(2 \cdot (-275) - 225) + 41725(2 \cdot (-225) - 275)) \right] \} = -289322917 \text{ cm}^5$$

$$\text{Kıyas Oranı} = \frac{Jz\omega_M}{Jz\omega_s} = \frac{-289322917 \text{ cm}^5}{1.8944 \times 10^{11} \text{ cm}^5} = 0.015 \approx 0$$

4.1.1.8 ω_M Diyagramının Çizimi

$$\omega_M = \int P_M \cdot ds$$

$$\omega_M(A) = 0$$

$$\omega_M(B) = \omega_M(A) + \Delta \omega_M(A \rightarrow B) = 0 - 250 \times 59 = -14750$$

$$\omega_M(C) = \omega_M(B) + \Delta \omega_M(B \rightarrow C) = -14750 - 250 \times 59 = -29500$$

$$\omega_M(D) = \omega_M(C) + \Delta \omega_M(C \rightarrow D) = -29500 - 125 \times 59 = -36875$$

$$\omega_M(E) = 0$$

$$\omega_M(F) = \omega_M(E) + \Delta \omega_M(E \rightarrow F) = 0 - 25 \times 259 = -6475$$

$$\omega_M(H) = \omega_M(B) + \Delta \omega_M(B \rightarrow H) = -14750 + 200 \times 250 = 35250$$

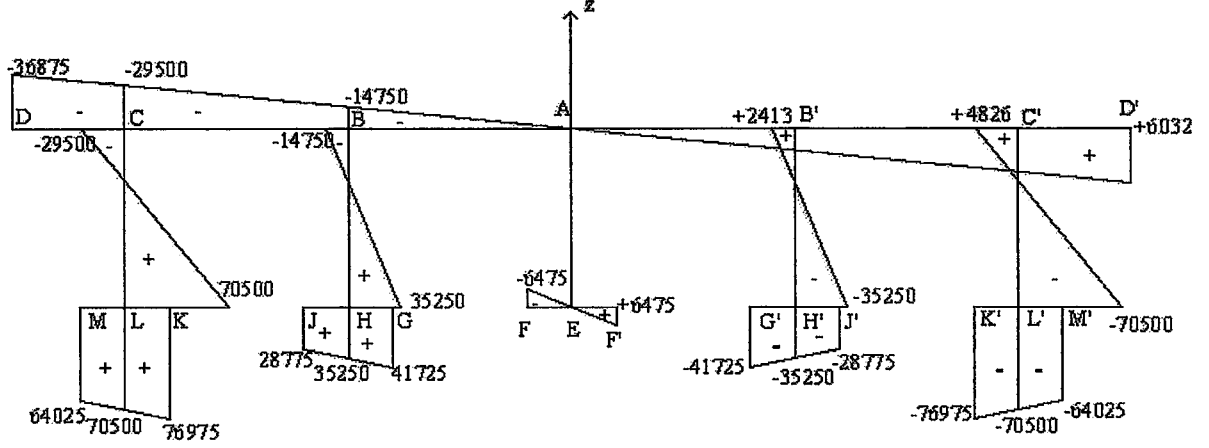
$$\omega_M(G) = \omega_M(H) + \Delta \omega_M(G \rightarrow H) = 35250 + 25 \times 259 = 41725$$

$$\omega_M(J) = \omega_M(H) + \Delta \omega_M(H \rightarrow J) = 35250 - 25 \times 259 = 28775$$

$$\omega_M(L) = \omega_M(C) + \Delta \omega_M(C \rightarrow L) = -29500 + 200 \times 500 = 70500$$

$$\omega_M(K) = \omega_M(L) + \Delta \omega_M(L \rightarrow K) = 70500 + 25 \times 259 = 76975$$

$$\omega_M(M) = \omega_M(L) + \Delta \omega_M(L \rightarrow M) = 70500 - 25 \times 259 = 64025$$

Şekil 4.5 ω_M diyagramı

4.1.1.9 $J\omega_M\omega_M$ Değerinin Bulunuşu

$$J\omega_M\omega_M = \int \omega_M^2 \cdot dA = 2 \cdot t \cdot \int \omega_M^2 \cdot ds$$

$$J\omega_M\omega_M = 2.5 \cdot \left\{ \left[\frac{625}{3} \cdot (-36875) \cdot (-36875) \right] + \left[\frac{200}{6} \cdot (-14750(2 \cdot (-14750) - 35250) + 35250(2 \cdot (35250) - 14750)) \right] + \left[\frac{200}{6} \cdot (-29500(2 \cdot (-29500) + 70500) + 70500(2 \cdot 70500 - 29500)) \right] + \left[\frac{25}{3} \cdot (-6475) \cdot (-6475) \right] + \left[\frac{50}{6} \cdot (28775(2 \cdot 28775 + 41725) + 41725(2 \cdot 41725 + 28775)) \right] + \left[\frac{50}{6} \cdot (64025(2 \cdot 64025 + 76975) + 76975(2 \cdot 76975 + 64025)) \right] \right\} = 9,09 \times 10^{12} \text{ cm}^6$$

4.1.1.10 $J_t, K, \varphi_M''(X)$ Değerlerinin Bulunuşu

$$J_t = \frac{1}{3} \cdot t_i^3 \cdot \sum b_i = \left[\frac{1}{3} \cdot 5^3 \cdot (1250 + 200 \cdot 5 + 50 \cdot 5) \right] = 104166,67 \text{ cm}^4$$

$$k = \sqrt{\frac{G \cdot J_t}{E \cdot J \omega_M \omega_M}}$$

$$k = \sqrt{\frac{8.1 \times 10^6 \cdot 104166,67}{21 \times 10^6 \cdot 9.09 \times 10^{12}}} = 6,648 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

$$\varphi_M''(x=\frac{L}{2}) = -\frac{M_{T\Sigma DIS}}{G.J_t} \left[-\frac{sh\frac{kl}{2}}{shkl} \cdot k \cdot shkx \right]$$

$$shkx = sh\frac{kl}{2} = sh\left[\frac{6,648 \times 10^{-5} \times 2000}{2}\right] = 0.0665$$

$$shkl = sh(6,648 \times 10^{-5} \times 2000) = 0.133$$

$$M_{T\Sigma DIS} = 1000 \text{ kNm} = 1000 \times 10^5 \text{ Ncm}$$

$$G = 8.1 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$$

$$\varphi_M'' = -\frac{1000 \times 10^5}{8.1 \times 10^6 \times 104166,67} \left[\frac{0.0665}{0.133} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0.0665 \right] = -2,62 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

4.1.1.11 $\sigma_{x\omega}$ Değerlerinin Bulunuşu

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (-14750) = -81,2 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (-29500) = -162,3 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (-36875) = -202,9 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (-6475) = -35,6 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (41725) = 229,6 \text{ N/cm}^2$$

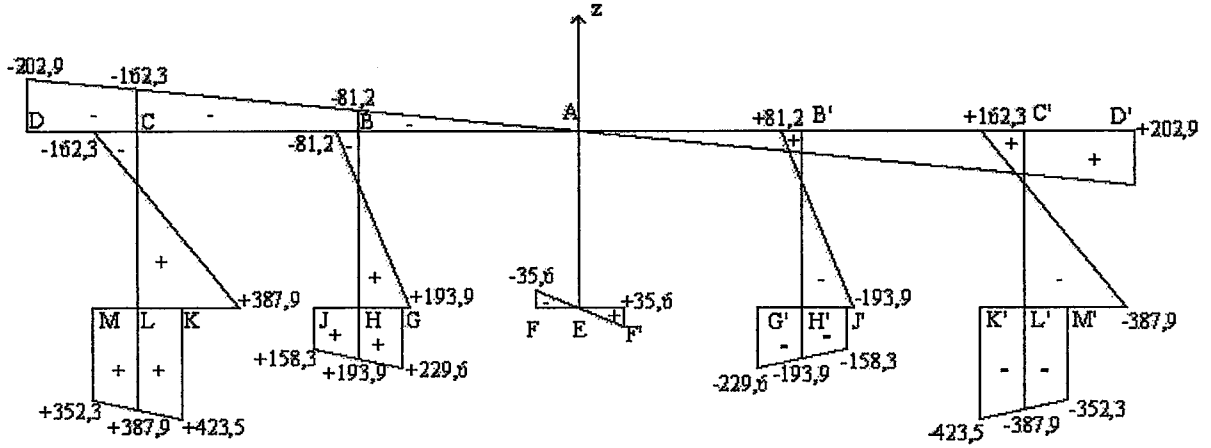
$$\sigma_{x\omega}(H) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (35250) = 193,9 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (28775) = 158,3 \text{ N/cm}^2$$

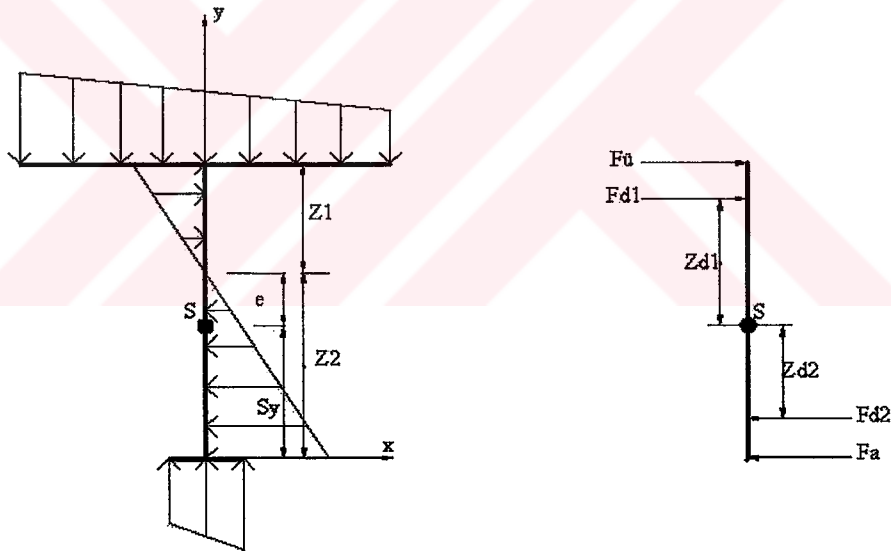
$$\sigma_{x\omega}(L) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (70500) = 387,9 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (76975) = 423,5 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -2.1 \times 10^6 \cdot (-7.79 \times 10^{-9}) \cdot (64025) = 352,3 \text{ N/cm}^2$$

Şekil 4.6 σ_{x0} diyagramı

4.1.1.12 Ana Kirişlerde Oluşan Burulma Momentlerinin Bulunması ve Fiktif Kuvvetlerin Ana Kirişlere Aktarılması

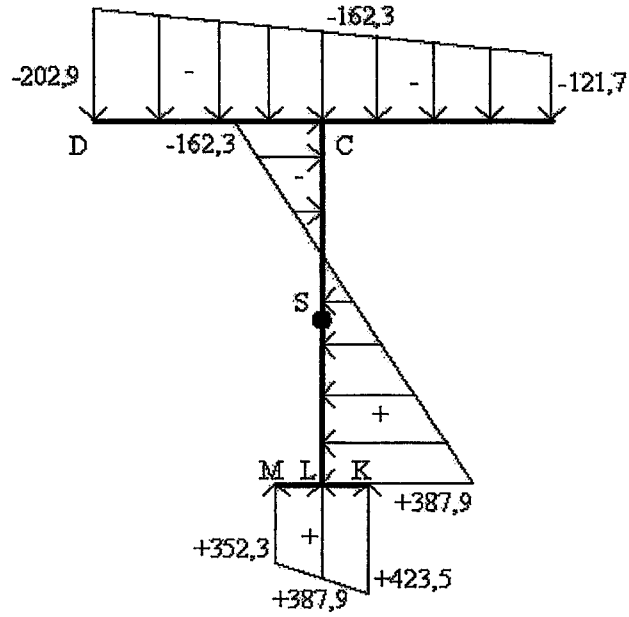


Şekil 4.7 Herhangi bir ana kiriş için gerilmelerin ve kuvvetlerin örnek gösterimi

$$S_y = (250 \times 5 \times 200 + 195 \times 5 \times 100) / (250 \times 5 + 195 \times 5 + 50 \times 5) = 140 \text{ cm}$$

$$\Delta M = F_u \cdot (200 - S_y) + F_{d1} \cdot z_{d1} + F_{d2} \cdot z_{d2} + F_a \cdot S_y$$

1. Ana Kiriş



Şekil 4.8 Birinci ana kirişte gerilme dağılımı

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{162,3}{387,9} = 0,42 \Rightarrow z_1 = 0,42 \cdot z_2$$

$$z_2 + 0,42 \cdot z_2 = 200 \text{ cm} \Rightarrow z_2 = 140,8 \text{ cm}, z_1 = 59,2 \text{ cm}$$

$$e = 0,80 \text{ cm}$$

$$z_{d1} = z_1 \times \frac{2}{3} + e = 40,27 \text{ cm}$$

$$z_{d2} = z_2 \times \frac{2}{3} - e = 93,07 \text{ cm}$$

$$F_u = 162,3 \times 250 \times 5 = 202875 \text{ N}$$

$$F_{d1} = 162,3 \times 59,2 \times 5 / 2 = 24020,40 \text{ N}$$

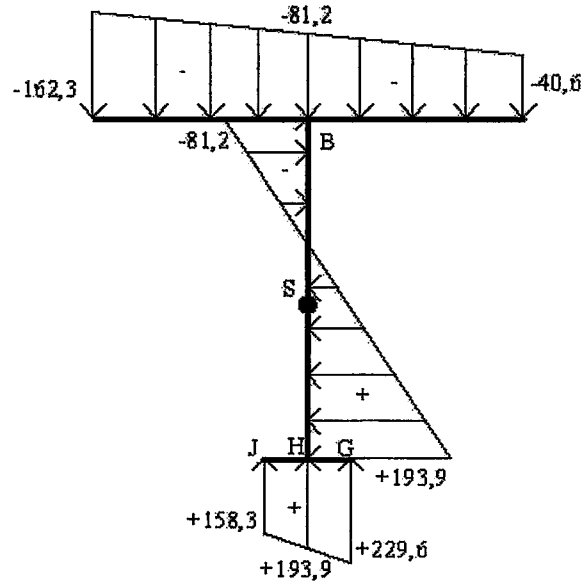
$$F_{d2} = 387,9 \times 140,8 \times 5 / 2 = 136540,80 \text{ N}$$

$$F_a = 387,9 \times 50 \times 5 = 96975 \text{ N}$$

$$\Delta M_{12} = 202875 \cdot 60 + 24020,40 \cdot 40,27 + 136540,80 \cdot 93,07 + 96975 \cdot 140 = 39339433,8 \text{ Ncm}$$

$$\Delta M_{12} = 39339,43 \text{ kNcm}$$

2. Ana Kiriş



Şekil 4.9 İkinci ana kirişte gerilme dağılımı

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{81,2}{193,9} = 0,42 \Rightarrow z_1 = 0,42 \cdot z_2$$

$$z_2 + 0,42 \cdot z_2 = 200 \text{ cm} \Rightarrow z_2 = 140,8 \text{ cm}, z_1 = 59,2 \text{ cm}$$

$$e = 0,80 \text{ cm}$$

$$z_{d1} = z_1 \cdot \frac{2}{3} + e = 40,27 \text{ cm}$$

$$z_{d2} = z_2 \cdot \frac{2}{3} - e = 93,07 \text{ cm}$$

$$F_u = 81,2 \times 250 \times 5 = 101500 \text{ N}$$

$$F_{d1} = 81,2 \times 59,2 \times 5 / 2 = 12017,60 \text{ N}$$

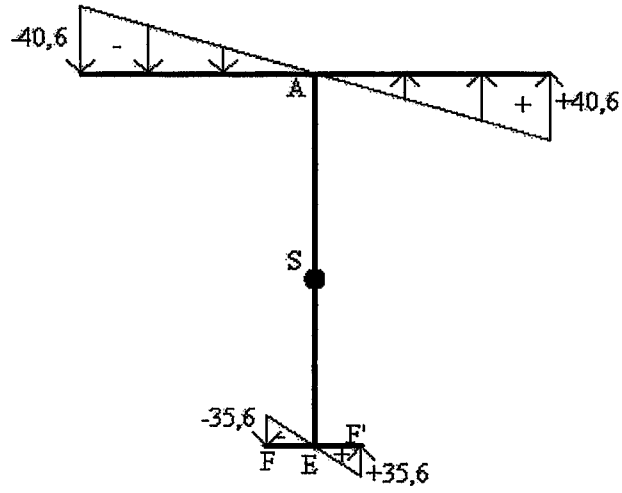
$$F_{d2} = 193,9 \times 140,8 \times 5 / 2 = 68252,80 \text{ N}$$

$$F_a = 193,9 \times 50 \times 5 = 48475 \text{ N}$$

$$\Delta M_{22} = 101500 \cdot 60 + 12017,60 \cdot 40,27 + 68252,80 \cdot 93,07 + 48475 \cdot 140 = 19670316,85 \text{ Ncm}$$

$$\Delta M_{22} = 19670,32 \text{ kNcm}$$

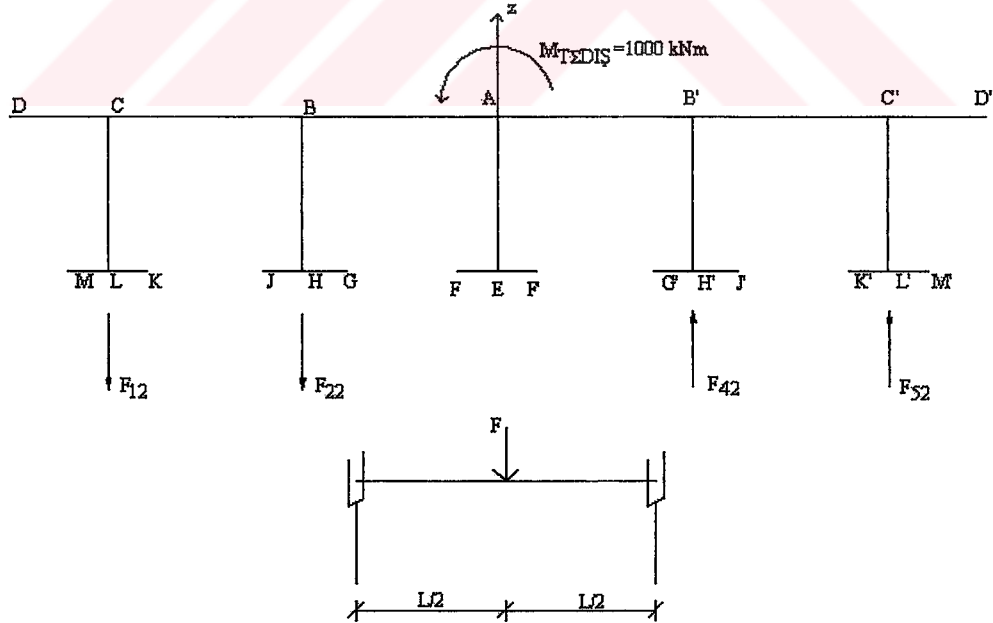
3. Ana Kiriş



Şekil 4.10 Üçüncü ana kirişte gerilme dağılımı

Bu kirişte oluşan kuvvetlerin bileşkeleri toplamı sıfır olduğundan, oluşturacakları bileşke momentin değeri de sıfır olacaktır. Yani kirişte burulma momenti oluşmaz.

$$\Delta M_{32}=0$$



Şekil 4.11 Sistem

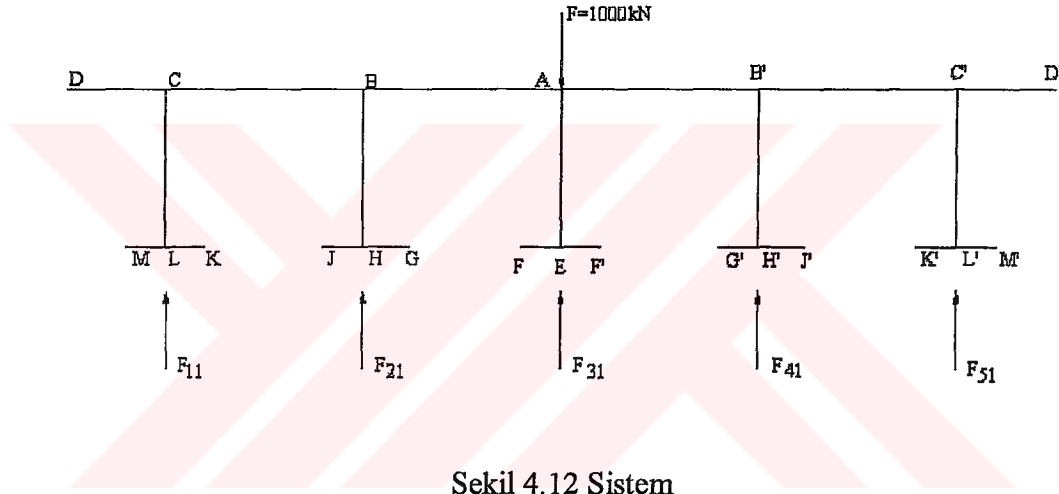
$$\eta = \frac{(L-\xi)}{L} \cdot x = \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{L}{4} = \frac{2000}{4} = 500 \text{ cm}$$

$$F_{12} = -F_{42} = \frac{\Delta M_{12}}{\eta} = \frac{39339,43 \text{ kNcm}}{500 \text{ cm}} = 78,68 \text{ kN}$$

$$F_{22} = -F_{52} = \frac{\Delta M_{22}}{\eta} = \frac{19670,42 \text{ kNcm}}{500 \text{ cm}} = 39,34 \text{ kN}$$

$$F_{32} = 0 \text{ kN}$$

4.1.1.13 Eksenel Yüklerin Ana Kirişlere Aktarılması



$$F_{i1} = F \cdot \frac{J_i}{\sum J_i} \quad (J_{enleme} = \infty)$$

$$\frac{J_i}{\sum J_i} = \frac{J}{5J} = \frac{1}{5}$$

$$F_{11} = F_{21} = F_{31} = F_{41} = F_{51} = 1000 \times \frac{1}{5} = 200 \text{ kN}$$

4.1.1.14 Yüklerin Bulunması

$$F_j = F_{j1} + F_{j2}$$

$$F_1 = F_{11} + F_{12} = 200 + 78,68 = 278,68 \text{ kN}$$

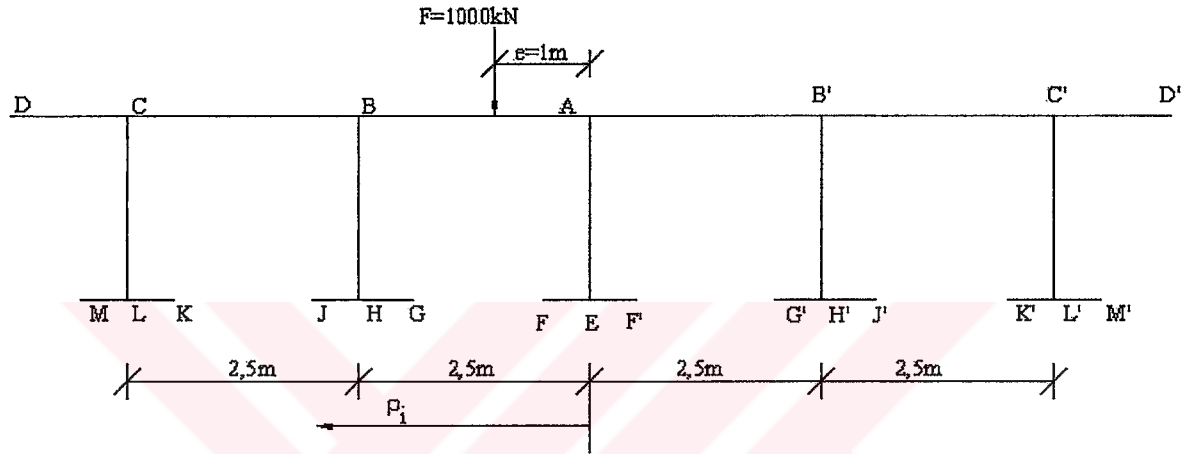
$$F_2 = F_{11} + F_{22} = 200 + 39,34 = 239,34 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_{31} + F_{32} = 200 + 0 = 200 \text{ kN}$$

$$F_4 = F_{41} - F_{42} = 200 - 78,68 = 160,66 \text{ kN}$$

$$F_5 = F_{51} - F_{52} = 200 - 39,34 = 121,32 \text{ kN}$$

4.2 Courbon Metoduna Göre Yüklerin Bulunuşu



Şekil 4.13 Sistem

$$F_i = F \cdot \frac{J_i}{\sum J_i} \left[1 + \frac{\sum J_i}{\sum J_i \cdot \rho_i} \cdot e \cdot \rho_i \right]$$

$$J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = J_5 = J$$

$$\sum J = 5J$$

$$\sum J_i \cdot \rho_i^2 = (J \cdot 2,5^2 + J \cdot 5^2) \cdot 2 = 62,5 \cdot J$$

$$F_1 = 1000 \cdot \frac{1}{5} \left[1 + \frac{5 \cdot J}{62,5 \cdot J} \cdot 1,5 \right] = 280 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1000 \cdot \frac{1}{5} \left[1 + \frac{5 \cdot J}{62,5 \cdot J} \cdot 1,2,5 \right] = 240 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1000 \cdot \frac{1}{5} \left[1 + \frac{5 \cdot J}{62,5 \cdot J} \cdot 1,0 \right] = 200 \text{ kN}$$

$$F_4 = 1000 \cdot \frac{1}{5} \left[1 - \frac{5,J}{62,5,J} \cdot 1,2,5 \right] = 160 \text{kN}$$

$$F_5 = 1000 \cdot \frac{1}{5} \left[1 - \frac{5,J}{62,5,J} \cdot 1,5 \right] = 120 \text{kN}$$

Kıyaslamalar

Burulma Teorisi ve Courbon Yöntemi kullanarak, elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablodaki gibidir. Sonuçlar, çözümdeki numaralandırma esas alınarak, her bir ana kirişte burulma momentinden dolayı oluşan fiktif kuvvetleri göstermektedir.

Çizelge 4.1 Ana kirişlere dağıtılmış fiktif kuvvetler

Kullanılan Metot	1.Ana Kiriş	2.Ana Kiriş	3.Ana Kiriş	4.Ana Kiriş	5.Ana Kiriş
Burulma Teorisi	278,68kN	239,34kN	200kN	160,66kN	121,32kN
Courbon	280kN	240kN	200kN	160kN	120kN

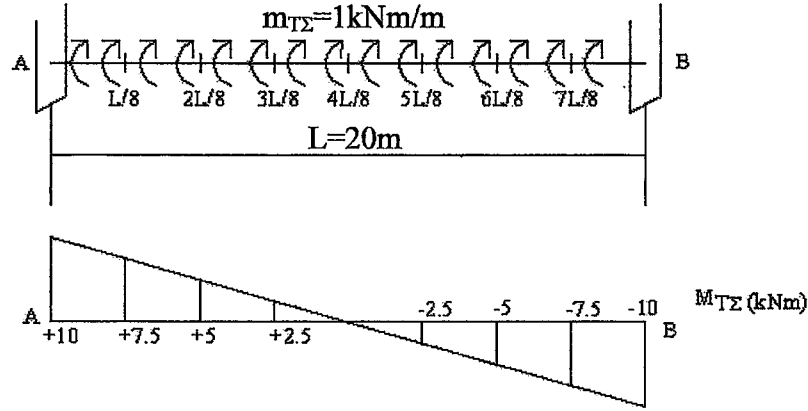
Courbon metodu baz alınarak sonuçlar kıyaslanırsa, sonuçların değişim yüzdeleri aşağıdaki tablodaki gibidir.

Çizelge 4.2 Bulunan sonuçların değişim oranları

Kullanılan Metot	1.Ana Kiriş	2.Ana Kiriş	3.Ana Kiriş	4.Ana Kiriş	5.Ana Kiriş
Burulma Teorisi	- %0,47	- %0,24	% 0,00	+ %0,24	+ %0,47
Courbon	-	-	-	-	-

5. ÇEŞİTLİ BİRİM BURULMA MOMENTİ HALLERİ İÇİN HESAPLAMALAR, TABLOLAŞTIRMALAR

5.1 Düzgün Yayılı Birim Moment Hali



Şekil 5.1 Düzgün yayılı birim burulma momenti hali ve $m_{T\Sigma}$ Diyagramı

$$M_{T\Sigma}(A) = -M_{T\Sigma}(B) = \frac{m_{T\Sigma} \cdot L}{2} = \frac{1 \times 20}{2} = 10 \text{ kNm}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(x) \quad (5.1)$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi''(x) \quad (5.2)$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = G \cdot J_T \cdot \varphi'(x) - E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi''(x) \quad (5.3)$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi_M''(x) \cdot \omega_M \quad (5.4)$$

$$\varphi' = -\frac{m_{T\Sigma}}{G \cdot J_T} \left[\bar{x} - \frac{shk\bar{x}}{k \cdot ch \frac{k \cdot L}{2}} \right] \quad (5.5)$$

$$\varphi'' = -\frac{m_{T\Sigma DIS}}{G \cdot J_T} \left[1 - \frac{chk\bar{x}}{ch \frac{k \cdot L}{2}} \right] \quad (5.6)$$

$$\varphi''' = -\frac{m_{T\Sigma}}{G \cdot J_T} \cdot \frac{k \cdot shk\bar{x}}{ch \frac{k \cdot L}{2}} \quad (5.7)$$

5.1.1 A Kesiti İçin Hesaplar

$$\bar{x} = -10m = -1000cm$$

$$shk\bar{x} = -0,0665 \quad , \quad k.ch\frac{k.L}{2} = 6,663x10^{-5} \quad , \quad ch\frac{k.L}{2} = 1,00221 \quad , \quad ckk\bar{x} = 1,00221$$

$$\varphi' = -\frac{1x10^3}{8,1x10^6 \cdot 104166,67} \left[-1000 - \frac{-0,0665}{6,663x10^{-5}} \right] = 2,31x10^{-9} cm^{-1}$$

$$M_T = G.J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1x10^6 \cdot 104166,67 \cdot 2,31x10^{-9} = 1949Ncm = 0,01949kNm$$

$$\varphi'' = \frac{1x10^3}{8,1x10^6 \cdot 104166,67} \cdot \frac{6,648x10^{-5} \cdot (-0,0665)}{1,00221} = -5,23x10^{-15} cm^{-3}$$

$$M_\tau = -E.J_\omega \omega_M \cdot \varphi''(0) = -21x10^6 \cdot 9,09x10^{12} \cdot (-5,23x10^{-15}) = 998529Ncm = 9,99853kNm$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,01949 + 9,99853 = 10,00kNm$$

$$\varphi'' = -\frac{1x10^3}{8,1x10^6 \cdot 104166,67} \left[1 - \frac{1,00221}{1,00221} \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(0) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

5.1.2 L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$\bar{x} = -7.5m = -750cm$$

$$shk\bar{x} = -0,0499, \quad k.ch \frac{k.L}{2} = 6,663 \times 10^{-5}, \quad ch \frac{k.L}{2} = 1,00221, \quad ckk\bar{x} = 1,001243$$

$$\varphi' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-750 - \frac{-0,0499}{6,663 \times 10^{-5}} \right] = 1,29 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G.J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,29 \times 10^{-9} = 1088 \text{ Ncm} = 0,01088 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \frac{6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0499)}{1,00221} = -3,92 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E.J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,92 \times 10^{-15}) = 748671 \text{ Ncm} = 7,4867 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,01088 + 7,4867 = 7,50 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[1 - \frac{1,001243}{1,00221} \right] = -1,14 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (-14750) = -0,3531 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (-29500) = -0,7062 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (-36875) = -0,8828 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (-6475) = -0,1550 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (41725) = 0,9989 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (35250) = 0,8439 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (28775) = 0,6889 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (70500) = 1,6878 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (76975) = 1,8428 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-12}) \cdot (64025) = 1,5328 \text{ N/cm}^2$$

5.1.3 2L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$\bar{x} = -5m = -500cm$$

$$shk\bar{x} = -0,0332, \quad k \cdot ch \frac{k \cdot L}{2} = 6,663 \times 10^{-5}, \quad ch \frac{k \cdot L}{2} = 1,00221, \quad ckk\bar{x} = 1,000553$$

$$\varphi' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-500 - \frac{-0,0332}{6,663 \times 10^{-5}} \right] = 2,05 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 2,05 \times 10^{-9} = 1729 \text{ Ncm} = 0,01729 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \frac{6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0332)}{1,00221} = -2,61 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,61 \times 10^{-15}) = 498989 \text{ Ncm} = 4,98989 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,01011 + 4,98989 = 5,00 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[1 - \frac{1,000553}{1,00221} \right] = -1,96 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (-14750) = -0,6071 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (-29500) = -1,2142 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (-36875) = -1,5178 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (-6475) = -0,2665 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (41725)=1,7174 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (35250)=1,4509 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (28775)=1,1844 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (70500)=2,9018 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (76975)=3,1683 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-12}) \cdot (64025)=2,6353 \text{ N/cm}^2$$

5.1.4 3L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$\bar{x} = -2.5m = -250cm$$

$$shk\bar{x} = -0,0166 \quad , \quad k \cdot ch \frac{k \cdot L}{2} = 6,663 \times 10^{-5} \quad , \quad ch \frac{k \cdot L}{2} = 1,00221 \quad , \quad ckk\bar{x} = 1,000138$$

$$\phi' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-250 - \frac{-0,0166}{6,663 \times 10^{-5}} \right] = 1,02 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,02 \times 10^{-9} = 861 \text{ Ncm} = 0,00861 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = \frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \frac{6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0166)}{1,00221} = -1,31 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \phi''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-1,31 \times 10^{-15}) = 250066 \text{ Ncm} = 2,50066 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0866 + 2,50066 = 2,50 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = -\frac{1 \times 10^3}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[1 - \frac{1,000138}{1,00221} \right] = -2,45 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \phi''(3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (-14750) = -0,7589 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (-29500) = -1,5176 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (-36875) = -1,8972 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (-6475) = -0,3331 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (41725) = 2,1468 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (35250) = 1,8136 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (28775) = 1,4805 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (70500) = 3,6272 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (76975) = 3,9604 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-12}) \cdot (64025) = 3,2941 \text{ N/cm}^2$$

5.1.5 4L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$\bar{x} = 0 \text{ m} = 0 \text{ cm}$$

$$shk\bar{x} = 0, \quad k \cdot ch \frac{k \cdot L}{2} = 6,663 \times 10^{-5}, \quad ch \frac{k \cdot L}{2} = 1,00221, \quad ckk\bar{x} = 1$$

$$\varphi' = 0 \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(4L/8) = 0 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = 0 \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'''(4L/8) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(4L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

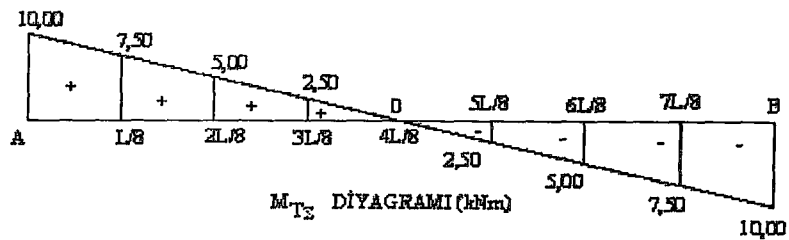
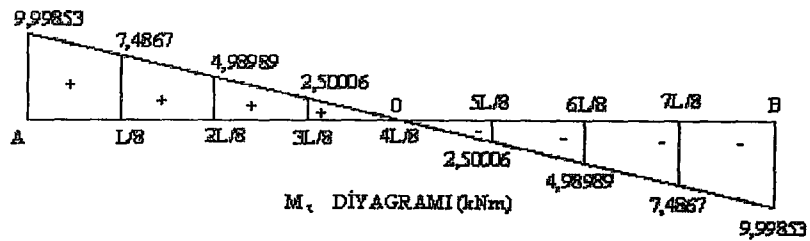
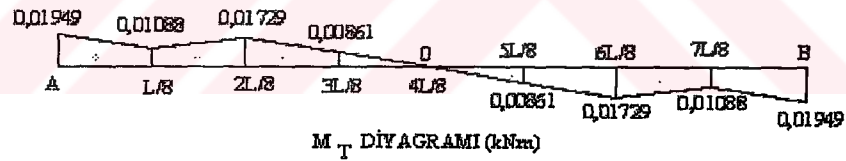
$$\sigma_{x\omega}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

5L/8, 6L/8, 7L/8 ve B noktaları için ayrıca hesap yapılmayacak, bu noktalar için istenen değerler, bu noktaların sırasıyla simetrik oldukları 3L/8, 2L/8, L/8 ve A noktalarından alınacaktır.

5.1.6 Sonuçların Tablolaştırılması ve Sonuç Diyagramları

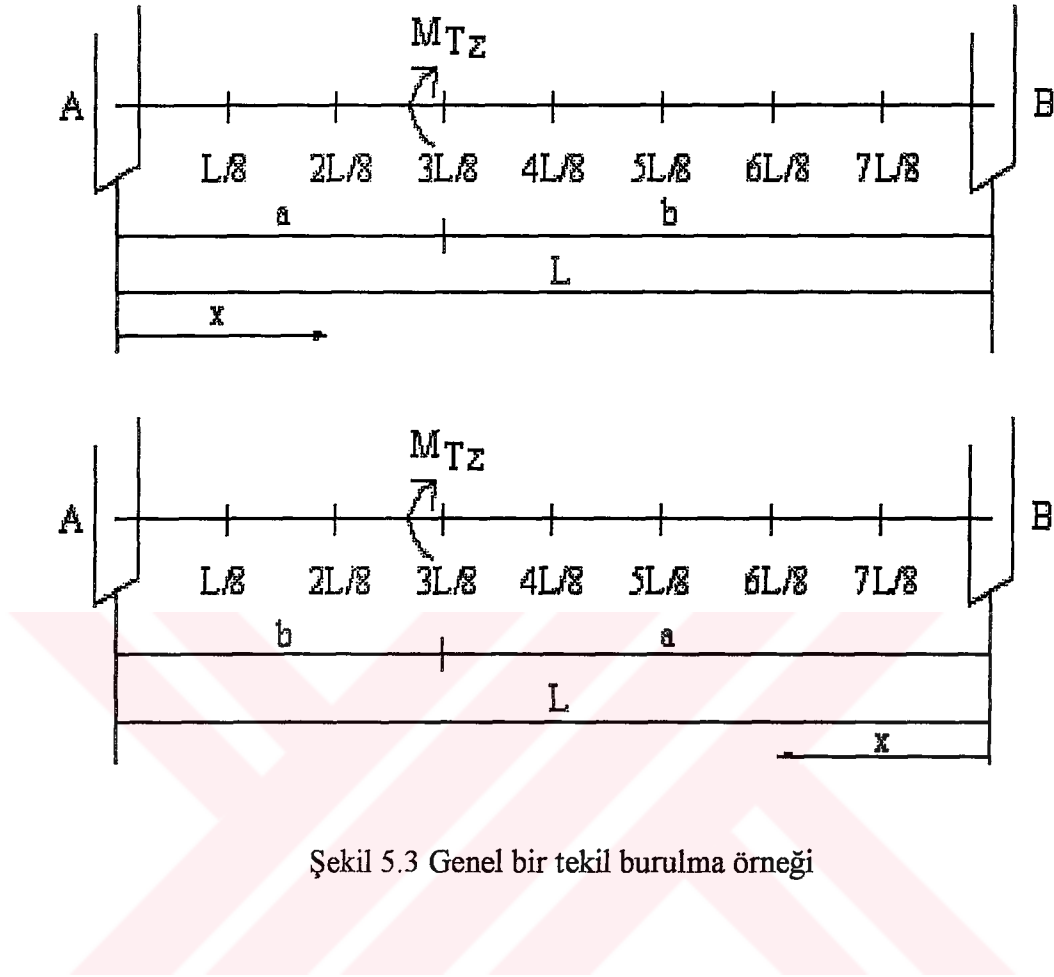


Şekil 5.2 Elde edilen sonuç diyagramları

Çizelge 5.1 Sonuçlar tablosu (birimler N,cm cinsinden)

	A	L/8	2L/8	3L/8	4L/8	5L/8	6L/8	7L/8	B
M_T	1949	1088	1729	861	0	-861	-1729	-1088	-1949
M_τ	999853	748670	498989	25006	0	-25006	-498989	-748670	-999853
$M_{T\Sigma}$	1001802	749758	500718	25867	0	-25867	-500718	-749758	-1001802
$\sigma_{x0}(A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x0}(B)$	0	-0,3531	-0,6071	-0,7589	0	-0,7589	-0,6071	-0,3531	0
$\sigma_{x0}(C)$	0	-0,7062	-1,2142	-1,5176	0	-1,5176	-1,2142	-0,7062	0
$\sigma_{x0}(D)$	0	-0,8828	-1,5178	-1,8972	0	-1,8972	-1,5178	-0,8828	0
$\sigma_{x0}(E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x0}(F)$	0	-0,1550	-0,2665	-0,3331	0	-0,3331	-0,2665	-0,1550	0
$\sigma_{x0}(G)$	0	0,9989	1,7174	2,1468	0	2,1468	1,7174	0,9989	0
$\sigma_{x0}(H)$	0	0,8439	1,4509	1,8036	0	1,8036	1,4509	0,8439	0
$\sigma_{x0}(J)$	0	0,6889	1,1844	1,4805	0	1,4805	1,1844	0,6889	0
$\sigma_{x0}(L)$	0	1,6878	2,9018	3,6272	0	3,6272	2,9018	1,6878	0
$\sigma_{x0}(K)$	0	1,8428	3,1683	3,9604	0	3,9604	3,1683	1,8428	0
$\sigma_{x0}(M)$	0	1,5328	2,6353	3,2941	0	3,2941	2,6353	1,5328	0

5.2 Tekil Birim Moment Halleri



$0 \leq x \leq a$ için;

$$\varphi'' = \frac{M_{T\Sigma}}{GJ_T} \left[\frac{b}{L} - \frac{shkb}{shkL} \cdot chkx \right] \quad (5.8)$$

$$\varphi'' = \frac{M_{T\Sigma}}{GJ_T} \left[-\frac{shkb}{shkL} \cdot k \cdot shkx \right] \quad (5.9)$$

$$\varphi''' = \frac{M_{T\Sigma}}{GJ_T} \left[-\frac{shkb}{shkL} \cdot k^2 \cdot chkx \right] \quad (5.10)$$

Her bir ana kiriş için;

$$S_y = 140 \text{ cm}$$

$$z_1 = 59,2 \text{ cm}, z_2 = 140,8 \text{ cm}$$

$$z_{d1} = 40,27 \text{ cm}, z_{d2} = 93,07 \text{ cm}$$

olarak bulunmuştur.

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_u = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = \sigma_{x0}(C) \cdot 59,2 \cdot 2,5$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = \sigma_{x0}(L) \cdot 140,8 \cdot 2,5$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5$$

$$\Delta M = F_u \cdot (200 - S_y) + F_{d1} \cdot z_{d1} + F_{d2} \cdot z_{d2} + F_a \cdot S_y$$

$$F_1 = - F_4 = \frac{\Delta M}{\eta}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_u = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = \sigma_{x0}(B) \cdot 59,2 \cdot 2,5$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = \sigma_{x0}(H) \cdot 140,8 \cdot 2,5$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5$$

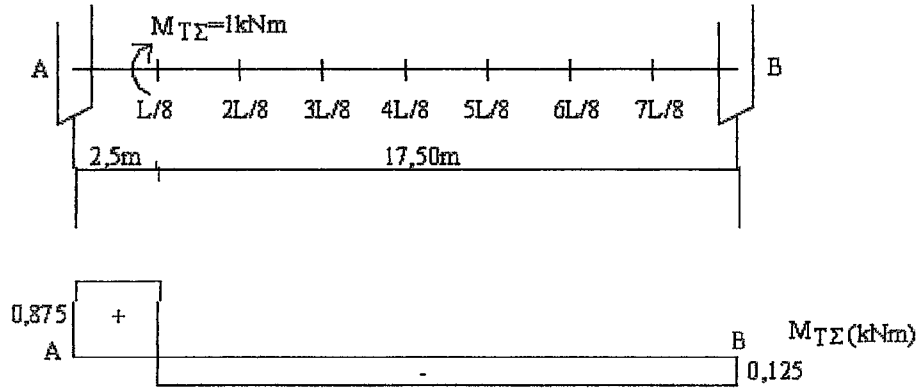
$$\Delta M = F_u \cdot (200 - S_y) + F_{d1} \cdot z_{d1} + F_{d2} \cdot z_{d2} + F_a \cdot S_y$$

$$F_2 = - F_5 = \frac{\Delta M}{\eta}$$

III. ana giriş için fiktif kuvvetin sıfırdır.

$$F_3=0$$

5.2.1 Tekil Burulma Momentinin L/8 Noktasında Olması Hali



Şekil 5.4 Tekil burulma momentini L/8 için

5.2.1.1 A Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1750 \text{ cm}, \quad x=0 \text{ cm}$$

$$shkb=0,1166, \quad shkL=0,1334, \quad chx=1, \quad shx=0$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1750}{2000} - \frac{0,1166}{0,1334} \cdot 1 \right] = 1,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,11 \times 10^{-10} = 93,70 \text{ Ncm} = 0,0009370 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,1166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = -4,58 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-4,58 \times 10^{-16}) = 87408 \text{ Ncm} = 0,87408 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0009370 + 0,87408 = 0,875 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,1166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(0) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K)=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M)=0 \text{ N/cm}^2$$

5.2.1.2 L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1750 \text{ cm}, \quad x=250 \text{ cm}$$

$$shkb=0,1166, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1,000138, \quad shkx=0,0166$$

$$\phi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \left[\frac{1750}{2000} - \frac{0,1166}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = 9,68 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi'(L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 9,68 \times 10^{-11} = 81,64 \text{ Ncm} = 0,0008164 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \left[-\frac{0,1166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = -4,58 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \phi''(L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-4,58 \times 10^{-16}) = 87420 \text{ Ncm} = 0,87420 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0008164 + 0,87420 = 0,875 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \cdot \left[-\frac{0,1166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0166 \right] = -1,14 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi''(L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0353 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,0706 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,0883 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0155 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,0999 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,0844 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0689 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,1688 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,1843 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,1533 \text{ N/cm}^2$$

ve ya kontrol amacıyla

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -1750 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,006776, \quad shkx = -0,1166$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,006776 \right] = 3,33 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 3,33 \times 10^{-11} = 28,10 \text{ Ncm} = 0,0002810 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,006776 \right] = 6,56 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J \omega_M \omega_M \cdot \varphi'''(L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,56 \times 10^{-17} = -12528 \text{ Ncm} = -0,12528 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,000281 - 0,12528 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,1166) \right] = -1,14 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0353 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,0706 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,0883 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0155 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,0999 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,0844 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0689 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,1688 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,1843 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,14 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,1533 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x\omega}(C) \cdot 250,5 = 0,0706 \cdot 250,5 = 88,25 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x\omega}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0706 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 10,45 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x\omega}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1688 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 59,42 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x\omega}(L) \cdot 50,5 = 0,1688 \cdot 50,5 = 42,20 \text{ N}$$

$$\Delta M = 88,25 \cdot 60 + 10,45 \cdot 40,27 + 59,42 \cdot 93,07 + 42,20 \cdot 140 = 17153,77 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 250)}{2000} = 218,75 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{17153,77}{218,75} = 78,42 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0353 \cdot 250 \cdot 5 = 44,13 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0353 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 5,22 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0844 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 29,71 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0844 \cdot 50 \cdot 5 = 21,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 44,13 \cdot 60 + 5,22 \cdot 40,27 + 29,71 \cdot 93,07 + 21,10 \cdot 140 = 8576,88 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{8576,88}{218,75} = 39,21 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.3 2l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -1500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,004977, \quad shkx = -0,0999$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,004977 \right] = 6,77 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(2L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 6,77 \times 10^{-12} = 5,71 \text{ Ncm} = 0,0000571 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,004977 \right] = 6,55 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_e = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi''(2L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,55 \times 10^{-17} = -12503 \text{ Ncm} = -0,12503 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_e = 0,0000571 - 0,12503 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0999) \right] = -9,80 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0304 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0607 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0759 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0133 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0859 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0726 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0592 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,1451 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1584 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,1318 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x\omega}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0607 \cdot 250 \cdot 5 = 75,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x\omega}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0607 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 8,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x\omega}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1451 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,08 \text{ N}$$

$$F_{\bar{a}} = \sigma_{x\omega}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1451 \cdot 50 \cdot 5 = 36,28 \text{ N}$$

$$\Delta M = 75,88 \cdot 60 + 8,98 \cdot 40,27 + 51,08 \cdot 93,07 + 36,28 \cdot 140 = 14746,34 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{1500(2000 - 1750)}{2000} = 187,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14746,36}{187,5} = 78,65 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_a = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0304 \cdot 250 \cdot 5 = 38,00 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0304 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,50 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0726 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,56 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0726 \cdot 50 \cdot 5 = 18,15 \text{ N}$$

$$\Delta M = 38,00 \cdot 60 + 4,50 \cdot 40,27 + 25,56 \cdot 93,07 + 18,15 \cdot 140 = 7380,61 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7380,61}{187,5} = 39,36 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.4 3l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -1250 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,003455, \quad shkx = -0,0832$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,003455 \right] = -1,57 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-1,57 \times 10^{-11}) = -13,23 \text{ Ncm} = -0,0001323 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,003455 \right] = 6,54 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,54 \times 10^{-17} = -12487 \text{ Ncm} = -0,12487 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0001323 - 0,12487 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0832) \right] = -8,16 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0253 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0506 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(-36875)=-0,0632 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .0=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(-6475)=-0,0111 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(41725)=0,0715 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(35250)=0,0604 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(28775)=0,0493 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(70500)=0,1208 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(76975)=0,1319 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M)=-21 \times 10^6 .(-8,16 \times 10^{-14}) .(64025)=0,1097 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}}=\sigma_{x0}(C) .250 .5=0,0506 .250 .5=63,25 \text{ N}$$

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(C) .z_1 .5/2=0,0506 .59,2 .2,5=7,49 \text{ N}$$

$$F_{d2}=\sigma_{x0}(L) .z_2 .5/2=0,1208 .140,8 .2,5=42,52 \text{ N}$$

$$F_a=\sigma_{x0}(L) .50 .5=0,1208 .50 .5=30,20 \text{ N}$$

$$\Delta M=63,25 . 60 + 7,49 . 40,27 + 42,52 . 93,07 + 30,20 . 140=12282,06 \text{ Ncm}$$

$$\eta=\frac{x .(L-\xi)}{L}=\frac{1250(2000-1750)}{2000}=156,25 \text{ cm}$$

$$F_1=-F_5=\frac{\Delta M}{\eta}=\frac{14746,36}{156,25}=78,61 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}}=\sigma_{x0}(B) .250 .5=0,0253 .250 .5=31,63 \text{ N}$$

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(B) .z_1 .5/2=0,0253 .59,2 .2,5=3,74 \text{ N}$$

$$F_{d2}=\sigma_{x0}(H) .z_2 .5/2=0,0604 .140,8 .2,5=21,26 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,0604 \cdot 50,5 = 15,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 31,63 \cdot 60 + 3,74 \cdot 40,27 + 21,26 \cdot 93,07 + 15,10 \cdot 140 = 6141,03 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{6141,03}{156,25} = 39,30 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.5 4l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -1000 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,00221, \quad shkx = -0,0665$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,00221 \right] = -3,40 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (4L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-3,40 \times 10^{-11}) = -28,72 \text{ Ncm} = -0,0002872 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,00221 \right] = 6,53 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi''' (4L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,53 \times 10^{-17} = -12472 \text{ Ncm} = -0,12472 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0002872 - 0,12472 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0665) \right] = -6,52 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (4L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0202 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0404 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0505 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0089 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0571 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0483 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0394 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0965 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1054 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0877 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,0404 \cdot 250,5 = 50,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0404 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 5,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0965 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 33,97 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,0965 \cdot 50,5 = 24,13 \text{ N}$$

$$\Delta M = 50,50 \cdot 60 + 5,98 \cdot 40,27 + 33,97 \cdot 93,07 + 24,13 \cdot 140 = 9809,68 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{1000(2000 - 1750)}{2000} = 125 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{9809,68}{125} = 78,48 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0202 \cdot 250,5 = 25,25 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0202 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 2,99 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0483 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 17 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,0483 \cdot 50,5 = 12,08 \text{ N}$$

$$\Delta M = 25,25 \cdot 60 + 2,99 \cdot 40,27 + 17 \cdot 93,07 + 12,08 \cdot 140 = 4908,23 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{4908,23}{125} = 39,27 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.6 5L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=250 \text{ cm}, \quad x=-750 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0166, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1,001243, \quad shkx=-0,0499$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,001243 \right] = -4,83 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (5L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-4,83 \times 10^{-11}) = -40,76 \text{ Ncm} = -0,0004076 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,001243 \right] = 6,53 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega_M} \cdot \varphi''' (5L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,53 \times 10^{-17} = -12460 \text{ Ncm} = -0,12460 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0004076 - 0,12460 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0499) \right] = -4,89 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi'' (5L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0151 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0303 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0379 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0067 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0429 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0362 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0296 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0724 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,0791 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-4}) \cdot (64025) = 0,0658 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0303 \cdot 250 \cdot 5 = 37,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0303 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,48 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0724 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,48 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0724 \cdot 50 \cdot 5 = 18,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 37,88 \cdot 60 + 4,48 \cdot 40,27 + 25,48 \cdot 93,07 + 18,10 \cdot 140 = 7358,96 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{750(2000 - 1750)}{2000} = 93,75 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7358,96}{93,75} = 78,50 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0151 \cdot 250 \cdot 5 = 18,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0151 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 2,23 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0362 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 12,74 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0362 \cdot 50 \cdot 5 = 9,05 \text{ N}$$

$$\Delta M = 18,88 \cdot 60 + 2,23 \cdot 40,27 + 12,74 \cdot 93,07 + 9,05 \cdot 140 = 3675,43 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{3675,43}{93,75} = 39,21 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.7 6l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkc = 1,000553, \quad shkc = -0,0333$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = -5,85 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (6L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-5,85 \times 10^{-11}) = -49,36 \text{ Ncm} = -0,0004936 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = 6,52 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (6L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,52 \times 10^{-17} = -12451 \text{ Ncm} = -0,12451 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0004936 - 0,12446 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0333) \right] = -3,27 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''' (6L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0101 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0206 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0253 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0045 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0287 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0242 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0198 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0484 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,0529 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,27 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0440 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0206 \cdot 250 \cdot 5 = 25,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0206 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 3,05 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0484 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 17,04 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0484 \cdot 50 \cdot 5 = 12,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 25,75 \cdot 60 + 3,05 \cdot 40,27 + 17,04 \cdot 93,07 + 12,10 \cdot 140 = 4947,39 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{500(2000 - 1750)}{2000} = 62,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{4947,39}{62,5} = 79,15 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0101 \cdot 250 \cdot 5 = 12,63 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0101 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 1,49 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0242 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 8,52 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0242 \cdot 50 \cdot 5 = 6,05 \text{ N}$$

$$\Delta M = 12,63 \cdot 60 + 1,49 \cdot 40,27 + 8,52 \cdot 93,07 + 6,05 \cdot 140 = 2457,50 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{2457,50}{62,5} = 39,32 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.8 7L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = -250 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000138, \quad shkx = -0,0166$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = -6,46 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (7L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-6,46 \times 10^{-11}) = -54,51 \text{ Ncm} = -0,0005451 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = 6,52 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J \omega_M \omega_M \cdot \varphi'' (7L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,52 \times 10^{-17} = -12446 \text{ Ncm} = -0,12446 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0005451 - 0,12446 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0166) \right] = -1,63 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi'' (7L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0051 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0102 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0126 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0022 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0143 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0121 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0098 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0241 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,0263 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,63 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0219 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_u = \sigma_{x\omega}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0102 \cdot 250 \cdot 5 = 12,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x\omega}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0102 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 1,51 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x\omega}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0241 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 8,48 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x\omega}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0241 \cdot 50 \cdot 5 = 6,03 \text{ N}$$

$$\Delta M = 12,75 \cdot 60 + 1,51 \cdot 40,27 + 8,48 \cdot 93,07 + 6,03 \cdot 140 = 2458,82 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 1750)}{2000} = 31,25 \text{ cm}$$

$$F_{11} = F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{2458,82}{31,25} = 78,68 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{11} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0051 \cdot 250 \cdot 5 = 6,38 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0051 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 0,75 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0121 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 4,26 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0121 \cdot 50 \cdot 5 = 3,03 \text{ N}$$

$$\Delta M = 6,38 \cdot 60 + 0,75 \cdot 40,27 + 4,26 \cdot 93,07 + 3,03 \cdot 140 = 1232,80 \text{ Ncm}$$

$$F_{22} = F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{1232,80}{31,25} = 39,45 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.1.9 B Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 250 \text{ cm}, \quad x = 0 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0166, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1, \quad shkx = 0$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{250}{2000} - \frac{0,0166}{0,1334} \cdot 1 \right] = -6,66 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (8L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-6,66 \times 10^{-11}) = -56,22 \text{ Ncm} = -0,0005622 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = 6,52 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_e = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (8L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 6,52 \times 10^{-17} = -12444 \text{ Ncm} = -0,12444 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_e = -0,0005451 - 0,12444 = -0,125 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0166}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(8L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

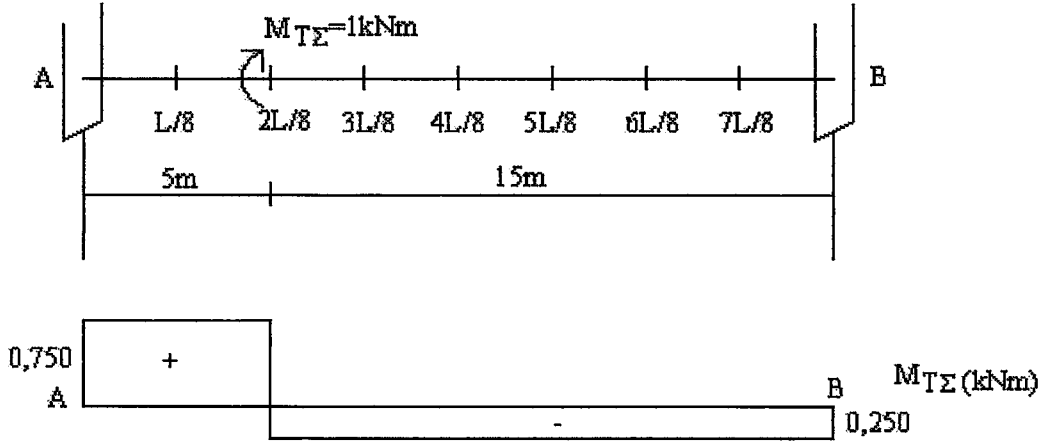
$$\sigma_{x\omega}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

Tekil burulma momentinin $7L/8$ noktasında olması halinde ayrıca hesap yapılmayacak, kesitlerde istenen değerler, tekil burulma momentinin $L/8$ noktasında olması halinde bulunan değerlerin antimetrikleri olarak alınacaktır.

5.2.2 Tekil Burulma Momentinin 2L/8 Noktasında Olması Hali



Şekil 5.5 Tekil burulma momenti 2L/8 için

5.2.2.1 A Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1500 \text{ cm}, x=0 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0999, shkL=0,1334, chkx=1, shkx=0$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1500}{2000} - \frac{0,0999}{0,1334} \cdot 1 \right] = 1,33 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,33 \times 10^{-10} = 113 \text{ Ncm} = 0,00113 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = -3,92 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,92 \times 10^{-16}) = 74889 \text{ Ncm} = 0,74889 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,00113 + 0,74889 = 0,750 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(0) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

5.2.2.2 L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1500 \text{ cm}, \quad x=250 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0999, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1,000138, \quad shkx=0,0166$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1500}{2000} - \frac{0,0999}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = 1,21 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,21 \times 10^{-10} = 102 \text{ Ncm} = 0,00102 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = -3,92 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi''' (L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,92 \times 10^{-16}) = 74890 \text{ Ncm} = 0,74890 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,00102 + 0,74889 = 0,750 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0166 \right] = -9,80 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0304 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0607 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0759 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0133 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0859 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0726 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0592 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,1451 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1584 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,80 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,1318 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0607 \cdot 250 \cdot 5 = 75,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0607 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 8,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1451 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,08 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1451 \cdot 50 \cdot 5 = 36,28 \text{ N}$$

$$\Delta M = 75,88 \cdot 60 + 8,98 \cdot 40,27 + 51,08 \cdot 93,07 + 36,28 \cdot 140 = 14746,34 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x(L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 500)}{2000} = 187,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14746,36}{187,5} = 78,65 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0304 \cdot 250 \cdot 5 = 38,00 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0304 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,50 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0726 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,56 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0726 \cdot 50 \cdot 5 = 18,15 \text{ N}$$

$$\Delta M = 38,00 \cdot 60 + 4,50 \cdot 40,27 + 25,56 \cdot 93,07 + 18,15 \cdot 140 = 7380,61 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7380,61}{187,5} = 39,36 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.3 2l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 1500 \text{ cm}, \quad x = 500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0999, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000553, \quad shkx = 0,0333$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1500}{2000} - \frac{0,0999}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = 8,42 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (2L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 8,42 \times 10^{-11} = 71,03 \text{ Ncm} = 0,0007103 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = -3,93 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (2L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,93 \times 10^{-16}) = 74931 \text{ Ncm} = 0,74931 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0007103 + 0,74931 = 0,750 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0999}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0333 \right] = -1,97 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0610 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1220 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1526 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0268 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1726 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1458 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1190 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2917 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3185 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2649 \text{ N/cm}^2$$

ve ya kontrol maksadıyla;

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = -1500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,004977, \quad shkx = -0,0999$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,004977 \right] = 1,03 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (2L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,03 \times 10^{-10} = 86,76 \text{ Ncm} = 0,0008676 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,004977 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi''' (2L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -25087 \text{ Ncm} = -0,25087 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,0008676 - 0,25087 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0999) \right] = -1,97 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0610 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1220 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1526 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0268 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1726 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1458 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1190 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2917 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3185 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,97 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2649 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,1220 \cdot 250,5 = 152,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1220 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 18,08 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2917 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 102,68 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,2917 \cdot 50,5 = 72,93 \text{ N}$$

$$\Delta M = 152,50 \cdot 60 + 18,08 \cdot 40,27 + 102,68 \cdot 93,07 + 72,93 \cdot 140 = 29642,89 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{500(2000 - 500)}{2000} = 375 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{29642,89}{375} = 79,05 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0610 \cdot 250,5 = 76,25 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0610 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 9,03 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1458 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,32 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,1458 \cdot 50,5 = 36,45 \text{ N}$$

$$\Delta M = 76,25 \cdot 60 + 9,03 \cdot 40,27 + 51,32 \cdot 93,07 + 36,45 \cdot 140 = 14818,06 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14818,06}{375} = 39,52 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.4 3l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = -1250 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,003455, \quad shkx = -0,0832$$

$$\phi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,003455 \right] = 5,78 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 5,78 \times 10^{-11} = 48,77 \text{ Ncm} = 0,0004877 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,003455 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \phi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -25049 \text{ Ncm} = -0,25049 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0004877 - 0,25049 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\phi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0832) \right] = -1,64 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \phi''' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0508 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1016 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1270 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0223 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1437 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1214 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0991 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2428 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,2651 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2205 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,1016 \cdot 250,5 = 127 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1016 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 15,04 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2428 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 85,47 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,2428 \cdot 50,5 = 60,70 \text{ N}$$

$$\Delta M = 127 \cdot 60 + 15,04 \cdot 40,27 + 85,47 \cdot 93,07 + 60,70 \cdot 140 = 24677,82 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x(L - \xi)}{L} = \frac{1250(2000 - 1500)}{2000} = 312,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{24677,82}{312,5} = 78,97 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0508 \cdot 250,5 = 63,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0508 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 7,52 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1214 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 42,73 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,1214 \cdot 50,5 = 30,35 \text{ N}$$

$$\Delta M = 63,50 \cdot 60 + 7,52 \cdot 40,27 + 42,73 \cdot 93,07 + 30,35 \cdot 140 = 12338,91 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14818,06}{312,5} = 39,49 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.5 4L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=500 \text{ cm}, \quad x=-1000 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0333, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1,00221, \quad shkx=-0,0665$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,00221 \right] = 2,10 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (4L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 2,10 \times 10^{-11} = 17,69 \text{ Ncm} = 0,0001769 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,00221 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega_M} \omega_M \cdot \varphi''' (4L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -25018 \text{ Ncm} = -0,25018 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0001769 - 0,25018 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0665) \right] = -1,31 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi'' (4L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0406 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,0812 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1014 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0178 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1148 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,0970 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0792 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,1940 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,2118 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,1761 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_u = \sigma_{xm}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0812 \cdot 250 \cdot 5 = 101,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{xm}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0812 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 12,02 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{xm}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1940 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 68,29 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{xm}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1940 \cdot 50 \cdot 5 = 48,50 \text{ N}$$

$$\Delta M = 101,50 \cdot 60 + 12,02 \cdot 40,27 + 68,29 \cdot 93,07 + 48,50 \cdot 140 = 19719,51 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{1000(2000 - 1500)}{2000} = 250 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{19719,51}{250} = 78,88 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_u = \sigma_{xm}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0406 \cdot 250 \cdot 5 = 50,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{xm}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0406 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 6,01 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{xm}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0970 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 34,14 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{xm}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0970 \cdot 50 \cdot 5 = 24,25 \text{ N}$$

$$\Delta M = 50,75 \cdot 60 + 6,01 \cdot 40,27 + 34,14 \cdot 93,07 + 24,25 \cdot 140 = 9859,76 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{9859,76}{250} = 39,44 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.6 5l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = -750 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,001243, \quad shkx = -0,0499$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,001243 \right] = -7,65 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (5L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-7,65 \times 10^{-12}) = -6,45 \text{ Ncm} = -0,0000645 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,001243 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega_M} \omega_M \cdot \varphi''' (5L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -24994 \text{ Ncm} = -0,24994 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0000645 - 0,24994 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0499) \right] = -9,82 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi'' (5L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0304 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0608 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0760 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0134 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0861 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0727 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0593 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,1454 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1588 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,1320 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0608 \cdot 250 \cdot 5 = 76 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0608 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 9 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1454 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,18 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1454 \cdot 50 \cdot 5 = 36,35 \text{ N}$$

$$\Delta M = 76 \cdot 60 + 9 \cdot 40,27 + 51,18 \cdot 93,07 + 36,35 \cdot 140 = 14774,76 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{750(2000 - 1500)}{2000} = 187,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14774,76}{187,5} = 78,80 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0304 \cdot 250 \cdot 5 = 38 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0304 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,50 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0727 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,59 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0727 \cdot 50 \cdot 5 = 18,18 \text{ N}$$

$$\Delta M = 38 \cdot 60 + 4,50 \cdot 40,27 + 25,59 \cdot 93,07 + 18,18 \cdot 140 = 7387,38 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7387,38}{187,5} = 39,40 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.7 6l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = -500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000553, \quad shkx = -0,0333$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = -2,81 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_1 = G \cdot J_T \cdot \varphi' (6L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-2,81 \times 10^{-11}) = -23,68 \text{ Ncm} = -0,0002368 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J \omega_M \omega_M \cdot \varphi''' (6L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -24977 \text{ Ncm} = -0,24977 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0002368 - 0,24977 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0333) \right] = -6,55 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (6L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0203 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0406 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0507 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0089 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0574 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0485 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0340 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0970 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1059 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,55 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0881 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0406 \cdot 250 \cdot 5 = 50,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0406 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 6,01 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0970 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 34,14 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0970 \cdot 50 \cdot 5 = 24,25 \text{ N}$$

$$\Delta M = 50,75 \cdot 60 + 6,01 \cdot 40,27 + 34,14 \cdot 93,07 + 24,25 \cdot 140 = 9859,76 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{500(2000 - 1500)}{2000} = 125 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{9859,76}{125} = 78,88 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x\omega}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0203 \cdot 250 \cdot 5 = 25,38 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x\omega}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0203 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 3 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x\omega}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0485 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 17,07 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x\omega}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0485 \cdot 50 \cdot 5 = 12,13 \text{ N}$$

$$\Delta M = 25,38 \cdot 60 + 3 \cdot 40,27 + 17,07 \cdot 93,07 + 12,13 \cdot 140 = 4929,88 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{4929,88}{125} = 39,44 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.8 7l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = -250 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000138, \quad shkx = -0,0166$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = -4,03 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (7L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-4,03 \times 10^{-11}) = -34,03 \text{ Ncm} = -0,0003403 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'' (7L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -24967 \text{ Ncm} = -0,24967 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0003403 - 0,24967 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0166) \right] = -3,25 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (7L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0101 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0201 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0252 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0044 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0285 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0241 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0196 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0481 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,0525 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-3,25 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0437 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,0201 \cdot 250,5 = 25,13 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0201 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 2,97 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0481 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 16,93 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,0481 \cdot 50,5 = 12,03 \text{ N}$$

$$\Delta M = 25,13 \cdot 60 + 2,97 \cdot 40,27 + 16,93 \cdot 93,07 + 12,03 \cdot 140 = 4886,58 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 1500)}{2000} = 62,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{4886,58}{62,5} = 78,19 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{n}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0101 \cdot 250,5 = 12,63 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0101 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 1,49 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0241 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 8,48 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,0241 \cdot 50,5 = 6,03 \text{ N}$$

$$\Delta M = 12,63 \cdot 60 + 1,49 \cdot 40,27 + 8,48 \cdot 93,07 + 6,03 \cdot 140 = 2450,73 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{2450,73}{62,5} = 39,21 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.2.9 B Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 500 \text{ cm}, \quad x = 0 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0333, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1, \quad shkx = 0$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{500}{2000} - \frac{0,0333}{0,1334} \cdot 1 \right] = -4,44 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (8L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-4,44 \times 10^{-11}) = -37,48 \text{ Ncm} = -0,0003748 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = 1,31 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (8L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,31 \times 10^{-16} = -24963 \text{ Ncm} = -0,24963 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0003748 - 0,24963 = -0,250 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0333}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (8L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

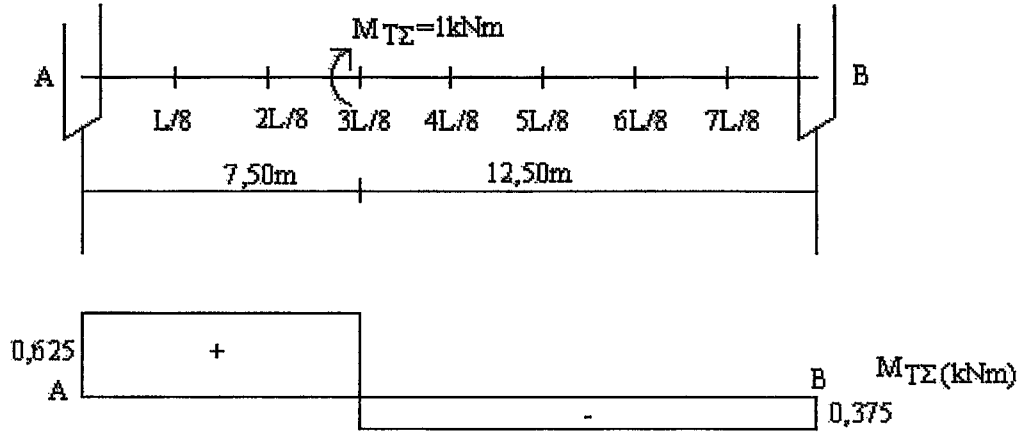
$$\sigma_{x0}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

Tekil burulma momentinin $6L/8$ noktasında olması halinde ayrıca hesap yapılmayacak, kesitlerde istenen değerler, tekil burulma momentinin $2L/8$ noktasında olması halinde bulunan değerlerin antimetrikleri olarak alınacaktır.

5.2.3 Tekil Burulma Momentinin 3L/8 Noktasında Olması Hali



Şekil 5.6 Tekil burulma momenti 3L/8 için

5.2.3.1 A Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1250 \text{ cm}, \quad x=0 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0832, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1, \quad shkx=0$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1250}{2000} - \frac{0,0832}{0,1334} \cdot 1 \right] = 1,56 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,56 \times 10^{-10} = 131 \text{ Ncm} = 0,00131 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = -3,27 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega_M} \omega_M \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,27 \times 10^{-16}) = 62370 \text{ Ncm} = 0,62370 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,00131 + 0,62370 = 0,625 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(0) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

5.2.3.2 L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1250 \text{ cm}, \quad x=250 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0832, \quad shkL=0,1334, \quad chcx=1,000138, \quad shkx=0,0166$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1250}{2000} - \frac{0,0832}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = 1,45 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,45 \times 10^{-10} = 123 \text{ Ncm} = 0,00123 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = -3,27 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'' (L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,27 \times 10^{-16}) = 62379 \text{ Ncm} = 0,62379 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = 0,00123 + 0,62379 = 0,625 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0166 \right] = -8,16 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0253 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0506 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0632 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0111 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0715 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0604 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0493 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,1208 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1319 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-8,16 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,1097 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0506 \cdot 250 \cdot 5 = 63,25 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0506 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 7,49 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1208 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 42,52 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1208 \cdot 50 \cdot 5 = 30,20 \text{ N}$$

$$\Delta M = 63,25 \cdot 60 + 7,49 \cdot 40,27 + 42,52 \cdot 93,07 + 30,20 \cdot 140 = 12282,06 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 750)}{2000} = 156,25 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{12282,06}{156,25} = 78,61 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0253 \cdot 250 \cdot 5 = 31,63 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0253 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 3,74 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0604 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 21,26 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0604 \cdot 50 \cdot 5 = 15,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 31,63 \cdot 60 + 3,74 \cdot 40,27 + 21,26 \cdot 93,07 + 15,10 \cdot 140 = 6141,03 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{6141,03}{156,25} = 39,30 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.3 2l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 1250 \text{ cm}, \quad x = 500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0832, \quad shkL = 0,1334, \quad chcx = 1,000553, \quad shkx = 0,0333$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1250}{2000} - \frac{0,0832}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = 1,15 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (2L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,15 \times 10^{-10} = 96,70 \text{ Ncm} = 0,0009670 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = -3,27 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (2L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,27 \times 10^{-16}) = 62405 \text{ Ncm} = 0,62405 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0009670 + 0,62405 = 0,625 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0333 \right] = -1,64 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0508 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1016 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1270 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0223 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1437 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1214 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0991 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2428 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,2651 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,64 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2205 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,1016 \cdot 250 \cdot 5 = 127 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1016 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 15,04 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2428 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 85,47 \text{ N}$$

$$F_{\bar{a}} = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,2428 \cdot 50 \cdot 5 = 60,70 \text{ N}$$

$$\Delta M = 127 \cdot 60 + 15,04 \cdot 40,27 + 85,47 \cdot 93,07 + 60,70 \cdot 140 = 24677,82 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{500(2000 - 750)}{2000} = 312,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{24677,82}{312,5} = 78,97 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0508 \cdot 250 \cdot 5 = 63,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0508 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 7,52 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1214 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 42,73 \text{ N}$$

$$F_{\bar{a}} = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1214 \cdot 50 \cdot 5 = 30,35 \text{ N}$$

$$\Delta M = 63,50 \cdot 60 + 7,52 \cdot 40,27 + 42,73 \cdot 93,07 + 30,35 \cdot 140 = 12338,91 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{12338,91}{312,5} = 39,49 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.4 3l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 1250 \text{ cm}, \quad x = 750 \text{ cm}$$

$$\text{shkb} = 0,0832, \quad \text{shkL} = 0,1334, \quad \text{chkx} = 1,001243, \quad \text{shkx} = 0,0499$$

$$\phi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1250}{2000} - \frac{0,0832}{0,1334} \cdot 1,001243 \right] = 6,36 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 6,36 \times 10^{-11} = 53,66 \text{ Ncm} = 0,0005366 \text{ kNm}$$

$$\phi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,001243 \right] = -3,27 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \phi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-3,27 \times 10^{-16}) = 62448 \text{ Ncm} = 0,62448 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0005366 + 0,62448 = 0,625 \text{ kNm}$$

$$\phi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0832}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0499 \right] = -2,45 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \phi''' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0759 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1518 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1897 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0333 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,2147 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1814 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1481 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,3627 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3960 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,3294 \text{ N/cm}^2$$

ve ya kontrol maksadıyla;

$$b = 750 \text{ cm}, \quad x = -1250 \text{ cm}$$

$$\text{shkb} = 0,0499, \quad \text{shkL} = 0,1334, \quad \text{chkx} = 1,003455, \quad \text{shkx} = -0,0832$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1,003455 \right] = 4,21 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 4,21 \times 10^{-11} = 35,57 \text{ Ncm} = 0,0003557 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,003455 \right] = 1,97 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,97 \times 10^{-16} = -37537 \text{ Ncm} = -0,37537 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0003557 - 0,37537 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0832) \right] = -2,45 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0759 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1518 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1897 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0333 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,2147 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1814 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1481 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,3627 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3960 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,45 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,3294 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,1518 \cdot 250,5 = 189,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1518 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 22,47 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,3627 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 127,67 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,3627 \cdot 50,5 = 90,68 \text{ N}$$

$$\Delta M = 189,75 \cdot 60 + 22,47 \cdot 40,27 + 127,67 \cdot 93,07 + 90,68 \cdot 140 = 36866,51 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x(L - \xi)}{L} = \frac{750(2000 - 750)}{2000} = 468,75 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{36866,51}{468,75} = 78,65 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0759 \cdot 250,5 = 94,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0759 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 11,23 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1814 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 63,85 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,1814 \cdot 50,5 = 45,35 \text{ N}$$

$$\Delta M = 94,88 \cdot 60 + 11,23 \cdot 40,27 + 63,85 \cdot 93,07 + 45,35 \cdot 140 = 18436,64 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{18436,64}{468,75} = 39,33 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.5 4l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=750 \text{ cm}, \quad x=-1000 \text{ cm}$$

$$\text{shkb}=0,0499, \quad \text{shkL}=0,1334, \quad \text{chkx}=1,00221, \quad \text{shkx}=-0,0665$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1,00221 \right] = -1,31 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (4L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-1,31 \times 10^{-11}) = -11,04 \text{ Ncm} = -0,0001104 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,00221 \right] = 1,96 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'' (4L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,96 \times 10^{-16} = -37490 \text{ Ncm} = -0,37490 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_\tau = -0,0001104 - 0,37490 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0665) \right] = -1,96 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''' (4L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0607 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1214 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1518 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0267 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1717 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1451 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1184 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2902 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3168 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2635 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,1214 \cdot 250 \cdot 5 = 151,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1214 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 17,97 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2902 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 102,15 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,2902 \cdot 50 \cdot 5 = 72,55 \text{ N}$$

$$\Delta M = 151,75 \cdot 60 + 17,97 \cdot 40,27 + 102,15 \cdot 93,07 + 72,55 \cdot 140 = 29492,68 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{1000(2000 - 1250)}{2000} = 375 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{29492,68}{375} = 78,65 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0607 \cdot 250 \cdot 5 = 75,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0607 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 8,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1451 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,08 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1451 \cdot 50 \cdot 5 = 36,28 \text{ N}$$

$$\Delta M = 75,88 \cdot 60 + 8,98 \cdot 40,27 + 51,08 \cdot 93,07 + 36,28 \cdot 140 = 14746,34 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14746,34}{375} = 39,32 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.6 5l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 750 \text{ cm}, \quad x = -750 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0499, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,001243, \quad shkx = -0,0499$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1,001243 \right] = -5,60 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (5L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-5,60 \times 10^{-11}) = -47,21 \text{ Ncm} = -0,0004721 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,001243 \right] = 1,96 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (5L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,96 \times 10^{-16} = -37454 \text{ Ncm} = -0,37454 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0004721 - 0,37454 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0499) \right] = -1,47 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''' (5L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0455 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,0911 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1138 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0200 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1288 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1088 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,0888 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2176 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,2376 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,47 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,1977 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{xm}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0911 \cdot 250 \cdot 5 = 113,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{xm}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0911 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 13,48 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{xm}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2176 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 76,60 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{xm}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,2176 \cdot 50 \cdot 5 = 56,40 \text{ N}$$

$$\Delta M = 113,88 \cdot 60 + 13,48 \cdot 40,27 + 76,60 \cdot 93,07 + 56,40 \cdot 140 = 22120,17 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{750(2000 - 1250)}{2000} = 281,25 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{22120,17}{281,25} = 78,65 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{xm}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0455 \cdot 250 \cdot 5 = 56,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{xm}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0455 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 6,73 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{xm}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1088 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 38,30 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{xm}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1088 \cdot 50 \cdot 5 = 27,20 \text{ N}$$

$$\Delta M = 56,88 \cdot 60 + 6,73 \cdot 40,27 + 38,30 \cdot 93,07 + 27,20 \cdot 140 = 11056,04 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{11056,04}{281,25} = 39,31 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.7 6I/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 750 \text{ cm}, \quad x = -500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0499, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000553, \quad shkx = -0,0333$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = -8,65 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (6L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-8,65 \times 10^{-11}) = -73,02 \text{ Ncm} = -0,0007302 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = 1,96 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_{\tau} = -E \cdot J \omega_M \omega_M \cdot \varphi''' (6L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,96 \times 10^{-16} = -37428 \text{ Ncm} = -0,37428 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_{\tau} = -0,0007302 - 0,37428 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0333) \right] = -9,82 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x_{\omega}} = -E \cdot \varphi'' (6L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0304 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0608 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0760 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0134 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0860 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0727 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0593 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,1454 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1587 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x_{\omega}}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-9,82 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,1320 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{1}} = \sigma_{x_{\omega}}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0608 \cdot 250 \cdot 5 = 76 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x_{\omega}}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0608 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 9 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x_{\omega}}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1454 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,18 \text{ N}$$

$$F_{\bar{a}} = \sigma_{x_{\omega}}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1454 \cdot 50 \cdot 5 = 36,65 \text{ N}$$

$$\Delta M = 76 \cdot 60 + 9 \cdot 40,27 + 51,18 \cdot 93,07 + 36,65 \cdot 140 = 14774,76 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{500(2000 - 1250)}{2000} = 187,5 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_3 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{22120,17}{187,5} = 78,80 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{xm}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0304 \cdot 250 \cdot 5 = 38 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{xm}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0304 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,50 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{xm}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0727 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,59 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{xm}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0727 \cdot 50 \cdot 5 = 18,18 \text{ N}$$

$$\Delta M = 38 \cdot 60 + 4,50 \cdot 40,27 + 25,59 \cdot 93,07 + 18,18 \cdot 140 = 7387,38 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7387,38}{187,5} = 39,40 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.8 7/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 750 \text{ cm}, \quad x = -250 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0499, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1,000138, \quad shkx = -0,0166$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = -1,05 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (7L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-1,05 \times 10^{-10}) = -88,54 \text{ Ncm} = -0,0008854 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = 1,96 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M \omega M} \cdot \varphi'' (7L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,96 \times 10^{-16} = -37412 \text{ Ncm} = -0,37412 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0008854 - 0,37412 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot (-0,0166) \right] = -4,89 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (7L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0151 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0303 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0379 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0066 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0428 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0362 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0295 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0724 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,0790 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-4,89 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0657 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_u = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0303 \cdot 250 \cdot 5 = 37,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0303 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 4,48 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0724 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 25,48 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0724 \cdot 50 \cdot 5 = 18,10 \text{ N}$$

$$\Delta M = 37,88 \cdot 60 + 4,48 \cdot 40,27 + 25,48 \cdot 93,07 + 18,10 \cdot 140 = 7358,96 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 1250)}{2000} = 93,75 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{7358,96}{93,75} = 78,50 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{ü} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0151 \cdot 250 \cdot 5 = 18,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0151 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 2,23 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0362 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 12,74 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0362 \cdot 50 \cdot 5 = 9,05 \text{ N}$$

$$\Delta M = 18,88 \cdot 60 + 2,23 \cdot 40,27 + 12,74 \cdot 93,07 + 9,05 \cdot 140 = 3675,43 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{3675,43}{93,75} = 39,21 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.3.9 B Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 750 \text{ cm}, \quad x = 0 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0499, \quad shkL = 0,1334, \quad chkx = 1, \quad shkx = 0$$

$$\varphi' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{750}{2000} - \frac{0,0499}{0,1334} \cdot 1 \right] = -1,11 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (8L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot (-1,11 \times 10^{-10}) = -93,70,54 \text{ Ncm} = -0,00093,70 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = 1,96 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi''' (8L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot 1,96 \times 10^{-16} = -37407 \text{ Ncm} = -0,37407 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = -0,0009370 - 0,37407 = -0,375 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{-1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0499}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (8L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

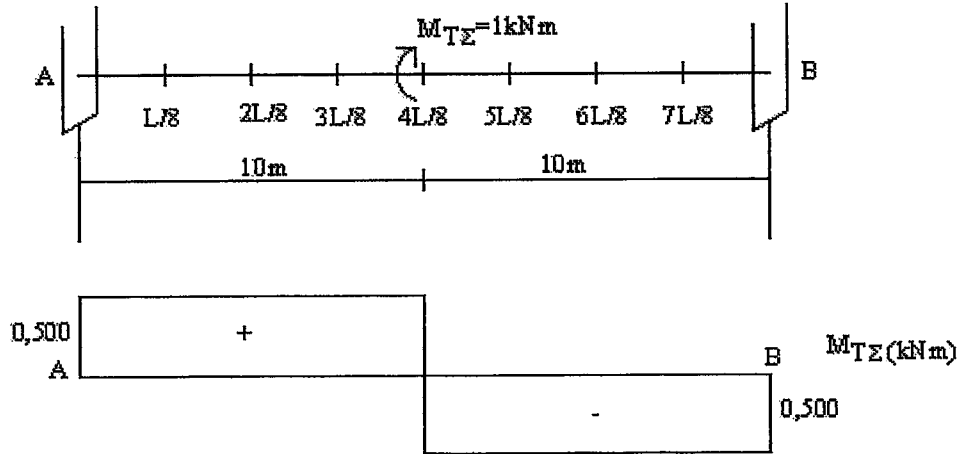
$$\sigma_{xm}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{xm}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

Tekil burulma momentinin $5L/8$ noktasında olması halinde ayrıca hesap yapılmayacak, kesitlerde istenen değerler, tekil burulma momentinin $3L/8$ noktasında olması halinde bulunan değerlerin antimetrikleri olarak alınacaktır.

5.2.4 Tekil Burulma Momentinin 4L/8 Noktasında Olması Hali



Şekil 5.7 Tekil burulma momenti 4L/8 için

5.2.4.1 A Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1000 \text{ cm}, \quad x=0 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0665, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1, \quad shkx=0$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1000}{2000} - \frac{0,0665}{0,1334} \cdot 1 \right] = 1,78 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(0) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,78 \times 10^{-10} = 150 \text{ Ncm} = 0,00150 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1 \right] = -2,61 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'''(0) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,61 \times 10^{-16}) = 49851 \text{ Ncm} = 0,49851 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,00150 + 0,49851 = 0,500 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0 \right] = 0 \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi''(0) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(M) = 0 \text{ N/cm}^2$$

5.2.4.2 L/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1000 \text{ cm}, \quad x=250 \text{ cm}$$

$$\text{shkb}=0,0665, \quad \text{shkL}=0,1334, \quad \text{chkx}=1,000138, \quad \text{shkx}=0,0166$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1000}{2000} - \frac{0,0665}{0,1334} \cdot 1,000138 \right] = 1,70 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi'(L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,70 \times 10^{-10} = 143 \text{ Ncm} = 0,00143 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000138 \right] = -2,61 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi''(L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,61 \times 10^{-16}) = 49856 \text{ Ncm} = 0,49856 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,00143 + 0,49856 = 0,500 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0166 \right] = -6,52 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-14750) = -0,0202 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-29500) = -0,0404 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-36875) = -0,0505 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (-6475) = -0,0089 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (41725) = 0,0571 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (35250) = 0,0483 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (28775) = 0,0394 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (70500) = 0,0965 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (76975) = 0,1054 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-6,52 \times 10^{-14}) \cdot (64025) = 0,0877 \text{ N/cm}^2$$

I. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0404 \cdot 250 \cdot 5 = 50,50 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0404 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 5,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0965 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 33,97 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0965 \cdot 50 \cdot 5 = 24,13 \text{ N}$$

$$\Delta M = 50,50 \cdot 60 + 5,98 \cdot 40,27 + 33,97 \cdot 93,07 + 24,13 \cdot 140 = 9809,68 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{250(2000 - 1000)}{2000} = 125 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{9809,68}{125} = 78,48 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana giriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{i1} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0202 \cdot 250 \cdot 5 = 25,25 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0202 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 2,99 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,0483 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 17 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,0483 \cdot 50 \cdot 5 = 12,08 \text{ N}$$

$$\Delta M = 25,25 \cdot 60 + 2,99 \cdot 40,27 + 17 \cdot 93,07 + 12,08 \cdot 140 = 4908,23 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{4908,23}{125} = 39,27 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.4.3 2l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 1000 \text{ cm}, \quad x = 500 \text{ cm}$$

$$shkb = 0,0665, \quad shkL = 0,1334, \quad chcx = 1,000553, \quad shkx = 0,0333$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1000}{2000} - \frac{0,0665}{0,1334} \cdot 1,000553 \right] = 1,45 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,45 \times 10^{-10} = 122 \text{ Ncm} = 0,00122 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,000553 \right] = -2,61 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega M} \cdot \varphi'' (2L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,61 \times 10^{-16}) = 49879 \text{ Ncm} = 0,49879 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,00122 + 0,49879 = 0,500 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0333 \right] = -1,31 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi'' (2L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0406 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,0812 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-36875)=-0,1014 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot 0=0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (-6475)=-0,0178 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (41725)=0,1148 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (35250)=0,0970 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (28775)=0,0792 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (70500)=0,1939 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (76975)=0,2118 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M)=-21 \times 10^6 \cdot (-1,31 \times 10^{-13}) \cdot (64025)=0,1761 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5=0,0812 \cdot 250 \cdot 5=101,50 \text{ N}$$

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2=0,0812 \cdot 59,2 \cdot 2,5=12,02 \text{ N}$$

$$F_{d2}=\sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2=0,1939 \cdot 140,8 \cdot 2,5=68,25 \text{ N}$$

$$F_a=\sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5=0,1939 \cdot 50 \cdot 5=48,48 \text{ N}$$

$$\Delta M=101,50 \cdot 60 + 12,02 \cdot 40,27 + 68,25 \cdot 93,07 + 48,48 \cdot 140=19712,74 \text{ Ncm}$$

$$\eta=\frac{x \cdot (L-\xi)}{L}=\frac{500(2000-1000)}{2000}=250 \text{ cm}$$

$$F_1=-F_5=\frac{\Delta M}{\eta}=\frac{19712,74}{250}=78,85 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5=0,0406 \cdot 250 \cdot 5=50,75 \text{ N}$$

$$F_{d1}=\sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2=0,0406 \cdot 59,2 \cdot 2,5=6,01 \text{ N}$$

$$F_{d2}=\sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2=0,0970 \cdot 140,8 \cdot 2,5=34,14 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,0970 \cdot 50,5 = 24,25 \text{ N}$$

$$\Delta M = 50,75 \cdot 60 + 6,01 \cdot 40,27 + 34,14 \cdot 93,07 + 24,25 \cdot 140 = 9859,76 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{9859,76}{250} = 39,44 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.4.4 3l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b = 1000 \text{ cm}, \quad x = 750 \text{ cm}$$

$$\text{shkb} = 0,0665, \quad \text{shkL} = 0,1334, \quad \text{chkx} = 1,001243, \quad \text{shkx} = 0,0499$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1000}{2000} - \frac{0,0665}{0,1334} \cdot 1,001243 \right] = 1,04 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 1,04 \times 10^{-10} = 87,96 \text{ Ncm} = 0,0008796 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,001243 \right] = -2,62 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = E \cdot J_{\omega M} \omega_M \cdot \varphi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,62 \times 10^{-16}) = 49913 \text{ Ncm} = 0,49913 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0008796 + 0,49913 = 0,500 \text{ kNm}$$

$$\varphi''' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0499 \right] = -1,96 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x0} = -E \cdot \varphi''' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x0}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0607 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1214 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,1518 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0267 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,1717 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1451 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1184 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,2902 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,3168 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-1,96 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,2635 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250,5 = 0,1214 \cdot 250,5 = 151,75 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1214 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 17,97 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,2902 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 102,15 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50,5 = 0,2902 \cdot 50,5 = 72,55 \text{ N}$$

$$\Delta M = 151,75 \cdot 60 + 17,97 \cdot 40,27 + 102,15 \cdot 93,07 + 72,55 \cdot 140 = 29492,68 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{750(2000 - 1000)}{2000} = 375 \text{ cm}$$

$$F_1 = -F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{29492,68}{375} = 78,65 \text{ N} \approx 0,078 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250,5 = 0,0607 \cdot 250,5 = 75,88 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0607 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 8,98 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1451 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 51,08 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50,5 = 0,1451 \cdot 50,5 = 36,28 \text{ N}$$

$$\Delta M = 75,88 \cdot 60 + 8,98 \cdot 40,27 + 51,08 \cdot 93,07 + 36,28 \cdot 140 = 14746,34 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = -F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{14746,34}{375} = 39,32 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5.2.4.5 4l/8 Kesiti İçin Hesaplar

$$b=1000 \text{ cm}, \quad x=1000 \text{ cm}$$

$$shkb=0,0665, \quad shkL=0,1334, \quad chkx=1,00221, \quad shkx=0,0665$$

$$\varphi' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[\frac{1000}{2000} - \frac{0,0665}{0,1334} \cdot 1,00221 \right] = 4,71 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' (3L/8) = 8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67 \cdot 4,71 \times 10^{-11} = 39,76 \text{ Ncm} = 0,0003976 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot (6,648 \times 10^{-5})^2 \cdot 1,00221 \right] = -2,62 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$$

$$M_r = -E \cdot J_{\omega_M} \cdot \varphi'' (3L/8) = -21 \times 10^6 \cdot 9,09 \times 10^{12} \cdot (-2,62 \times 10^{-16}) = 49961 \text{ Ncm} = 0,49961 \text{ kNm}$$

$$M_{T\Sigma} = M_T + M_r = 0,0003976 + 0,49961 = 0,500 \text{ kNm}$$

$$\varphi'' = \frac{1 \times 10^5}{8,1 \times 10^6 \cdot 104166,67} \left[-\frac{0,0665}{0,1334} \cdot 6,648 \times 10^{-5} \cdot 0,0665 \right] = -2,61 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma_{x\omega} = -E \cdot \varphi'' (3L/8) \cdot \omega_M$$

$$\sigma_{x\omega}(A) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(B) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (-14750) = -0,0808 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(C) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (-29500) = -0,1617 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(D) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (-36875) = -0,2021 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(E) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot 0 = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(F) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (-6475) = -0,0355 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(G) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (41725) = 0,2287 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(H) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (35250) = 0,1932 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(J) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (28775) = 0,1577 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(L) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (70500) = 0,3864 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x\omega}(K) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (76975) = 0,4219 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{x0}(M) = -21 \times 10^6 \cdot (-2,61 \times 10^{-13}) \cdot (64025) = 0,3509 \text{ N/cm}^2$$

I. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(C) \cdot 250 \cdot 5 = 0,1617 \cdot 250 \cdot 5 = 202,13 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(C) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,1617 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 23,93 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(L) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,3864 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 136,01 \text{ N}$$

$$F_a = \sigma_{x0}(L) \cdot 50 \cdot 5 = 0,3864 \cdot 50 \cdot 5 = 96,60 \text{ N}$$

$$\Delta M = 202,13 \cdot 60 + 23,93 \cdot 40,27 + 136,01 \cdot 93,07 + 96,60 \cdot 140 = 39273,94 \text{ Ncm}$$

$$\eta = \frac{x \cdot (L - \xi)}{L} = \frac{1000(2000 - 1000)}{2000} = 500 \text{ cm}$$

$$F_1 = F_5 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{39273,94}{500} = 78,55 \text{ N} \approx 0,079 \text{ kN}$$

II. ana kiriş için fiktif kuvvetin bulunması genel olarak ifade edilirse;

$$F_{\bar{u}} = \sigma_{x0}(B) \cdot 250 \cdot 5 = 0,0808 \cdot 250 \cdot 5 = 101 \text{ N}$$

$$F_{d1} = \sigma_{x0}(B) \cdot z_1 \cdot 5/2 = 0,0808 \cdot 59,2 \cdot 2,5 = 11,96 \text{ N}$$

$$F_{d2} = \sigma_{x0}(H) \cdot z_2 \cdot 5/2 = 0,1932 \cdot 140,8 \cdot 2,5 = 68,01 \text{ N}$$

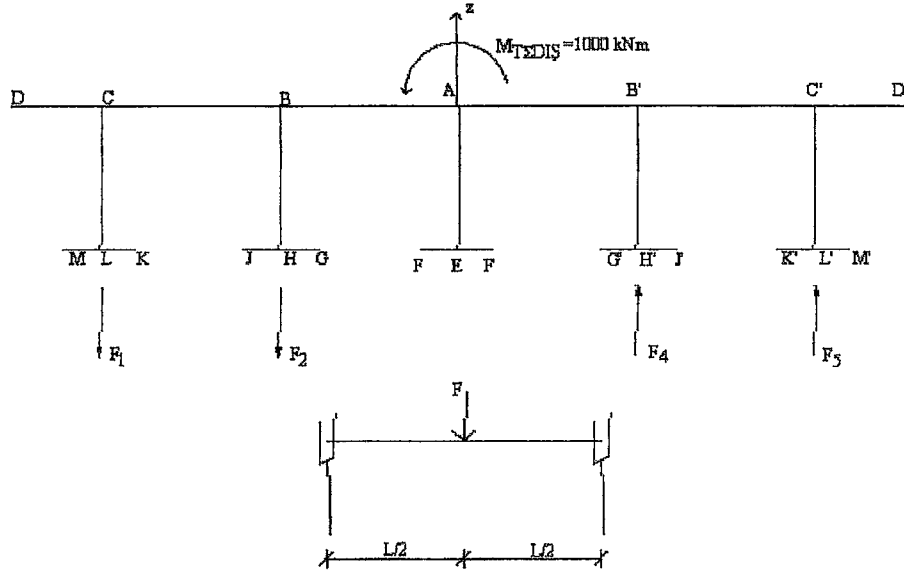
$$F_a = \sigma_{x0}(H) \cdot 50 \cdot 5 = 0,1932 \cdot 50 \cdot 5 = 48,30 \text{ N}$$

$$\Delta M = 101 \cdot 60 + 11,96 \cdot 40,27 + 68,01 \cdot 93,07 + 48,30 \cdot 140 = 19632,92 \text{ Ncm}$$

$$F_2 = F_4 = \frac{\Delta M}{\eta} = \frac{19632,92}{500} = 39,27 \text{ N} \approx 0,039 \text{ kN}$$

5L/8, 6L/8, 7L/8, B kesitleri için ayrıca hesap yapılmayacak, bu kesitler için istenen değerler sırasıyla 3L/8, 2L/8, L/8, A noktalarında hesaplanmış değerlerin antimetrik değerleri alınacaktır.

5.2.5 Düşey Yük Örneğinin Birim Moment Tablosuna Göre Kontrolü



Şekil 5.8 Düşey yük örneği

Çizelge 5.6 Düşey yük kıyas tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)

	Birim burulma momentinin 4L/8 noktasında olması hali için 4L/8 kesitinde bulunmuş sonuçlar	Birim burulma momentinin sonuçlarınının 1000 katı	Düşey yük için Bölüm 4'de bulunmuş sonuçlar
$\sigma_{x0}(A)$	0	0	0
$\sigma_{x0}(B)$	-0,0808	-80,8	-81,2
$\sigma_{x0}(C)$	-0,1617	-161,7	-162,3
$\sigma_{x0}(D)$	-0,2021	-202,1	-202,9
$\sigma_{x0}(E)$	0	0	0
$\sigma_{x0}(F)$	-0,0355	-35,5	-35,6
$\sigma_{x0}(G)$	0,2287	228,7	229,6
$\sigma_{x0}(H)$	0,1932	193,2	193,9
$\sigma_{x0}(J)$	0,1577	157,7	158,3

Çizelge 5.6 Devamı düşey yük kıyas tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsindedir)

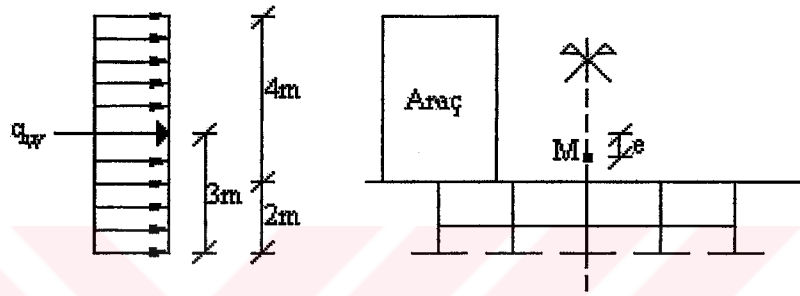
$\sigma_{x0}(J)$	0,1577	157,7	158,3
$\sigma_{x0}(L)$	0,3864	386,4	387,9
$\sigma_{x0}(K)$	0,4219	421,9	423,5
$\sigma_{x0}(M)$	0,3509	350,9	352,3
F_1 (kN)	0,079	79	78,68
F_2 (kN)	0,039	39	39,34
F_3 (kN)	0	0	0
F_4 (kN)	-0,039	-39	-39,34
F_5 (kN)	-0,079	-79	-78,68

6. YATAY YÜKLER

6.1 Rüzgar Yüğü

Genellikle, rüzgar yükünün yatay, köprü eksenine dik doğrultuda ve sabit şiddette etki ettiği varsayılır. Rüzgar yükü köprü boş iken $2,5 \text{ kN/m}^2$, köprü yüklü iken $1,25 \text{ kN/m}^2$ alınır.

Bileşke rüzgar yükü " q_w " köprüye, köprü yüksekliği ve araç yüksekliğinin toplamı kadar olan yükseklik için ve bütün köprü boyunca etki eder. Yani köprü boylama eksenini boyunca bir yayılı burulma momenti meydana getirir.



Şekil 6.1 Rüzgar yükü gösterimi

$$m_{tw} = q_w \cdot e \quad (6.1)$$

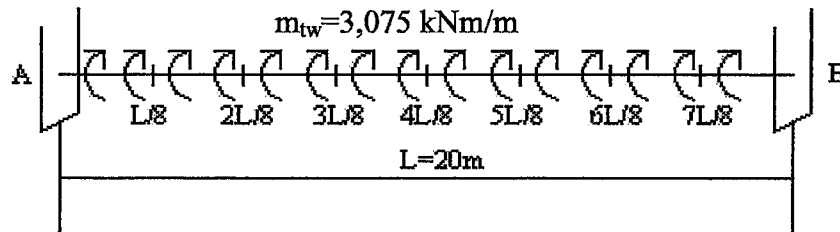
" m_{tw} ", Rüzgardan ileri gelen yayılı burulma momentini, " e ", Bileşke rüzgar kuvveti ile kayma merkezi arasında kalan mesafeyi gösterir.

Rüzgar yükünün hesap edilmesi ve köprü kesitinde meydana gelen büyüklükler;

$$e = 300 - (200 + e_M) = 300 - (200 + 59) = 41 \text{ cm} = 0,41 \text{ m}$$

$$q_w = 1,25 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m} = 7,50 \text{ kN}$$

$$m_{tw} = q_w \cdot e = 7,50 \cdot 0,41 = 3,075 \text{ kNm/m}$$

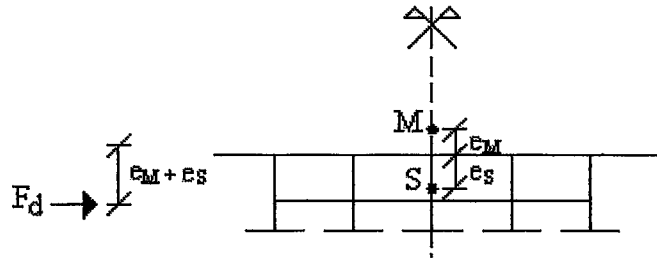


Şekil 6.2 Hesaplanmış rüzgar burulma momentinin gösterimi

Çizelge 6.1 Rüzgar kuvveti Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsinden)

	A	L/8	2L/8	3L/8	4L/8	5L/8	6L/8	7L/8	B
M_T	5993	3346	5317	2648	0	-2648	-5317	-3346	-5993
M_τ	3074548	2302160	1534391	76893	0	-76893	-1534391	-2302160	-3074548
$M_{T\Sigma}$ (kN)	30,81	23,06	15,40	0,80	0	-0,80	-15,40	-23,06	-30,81
$\sigma_{x0}(A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x0}(B)$	0	-1,0858	-1,8668	-2,3336	0	-2,3336	-1,8668	-1,0858	0
$\sigma_{x0}(C)$	0	-2,1716	-3,7337	-4,6666	0	-4,6666	-3,7337	-2,1716	0
$\sigma_{x0}(D)$	0	-2,7146	-4,6672	-5,8339	0	-5,8339	-4,6672	-2,7146	0
$\sigma_{x0}(E)$	0	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0
$\sigma_{x0}(F)$	0	-0,4766	-0,8195	-1,0243	0	-1,0243	-0,8195	-0,4766	0
$\sigma_{x0}(G)$	0	3,0716	5,2810	6,6014	0	6,6014	5,2810	3,0716	0
$\sigma_{x0}(H)$	0	2,5950	4,4615	5,5461	0	5,5461	4,4615	2,5950	0
$\sigma_{x0}(J)$	0	2,1184	3,6420	4,5525	0	4,5525	3,6420	2,1184	0
$\sigma_{x0}(L)$	0	5,1900	8,9230	11,1536	0	11,1536	8,9230	5,1900	0
$\sigma_{x0}(K)$	0	5,6666	9,7425	12,1782	0	12,1782	9,7425	5,6666	0
$\sigma_{x0}(M)$	0	4,7134	8,1035	10,1294	0	10,1294	8,1035	4,7134	0

6.2 Deprem Yüğü



Şekil 6.3 Deprem yüğü gösterimi

Deprem yüğü köprüye ağırlık merkezinden etki eder. Bu kuvvet kayma merkezi etrafında bir burulma momenti oluşturur. Bu da köprünün $L/2$ mesafesinden tekil burulma momenti ile yüklü olması hali ile ifade edilebilir.

Deprem kuvvetinin etkisi aşağıdaki değerde gösterildiği gibi alınacaktır.

$$F_d = C.G \quad (6.2)$$

“ F_d ”, yapı zati yükünün ağırlık merkezinden geçen ve her yönde etkidiği kabul edilen yatay deprem kuvvetini, “ G ”, yapı toplam zati ağırlığını, “ C ”, deprem katsayısını göstermektedir.

C deprem katsayısı şu değerlerde alınabilir;

Taşıma gücü $40-50 \text{ N/cm}^2$ ve daha yüksek olarak bilinen zeminlere normal temellerle oturan yapılarda $C=0,02$;

Taşıma gücü $40-50 \text{ N/cm}^2$ ve daha az olarak bilinen zeminlere normal temellerle oturan yapılarda $C=0,04$;

Temelleri kazıklı olan yapılarda $C=0,06$;

Olarak alınır.

Hareketli yükler hesap dışı bırakılabilir.

Deprem yükünün hesap edilmesi ve köprü kesitinde meydana gelen büyüklükler

Yapı toplam zati ağırlığının 1 metresinin bulunuşu;

Anakirişler : $0,05.25.78,5$: $98,125 \text{ kN/m}$

Asfalt : $0,07.12,50.18$: $15,750 \text{ kN/m}$

Toplam : $113,875 \text{ kN/m}$

Yapı toplam zati ağırlığının bulunuşu;

$$G = 113,875 \text{ kN/m} \cdot 20 \text{ m} = 2277,5 \text{ kN}$$

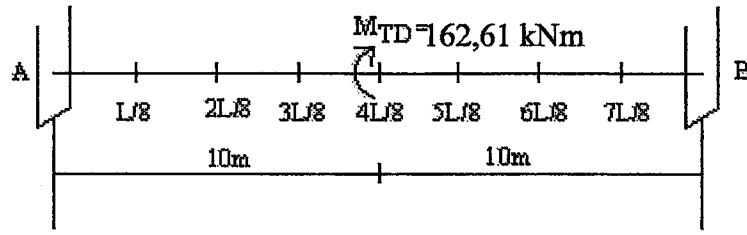
Deprem yükünün bulunması;

$$F_d = C.G = 0,06.2277,5 \text{ kN} = 136,65 \text{ kN}$$

Deprem kuvvet dolayısıyla oluşan tekil burulma momentinin bulunması;

$$M_{TD} = F_d.(e_M + e_S)$$

$$M_{TD} = 136,65 \text{ kN} \cdot (0,59 + 0,60) \text{ m} = 136,65 \text{ kN} \cdot 1,19 \text{ m} = 162,61 \text{ kNm}$$



Şekil 6.4 Hesaplanmış deprem burulma momenti gösterimi

Çizelge 6.2 Deprem kuvveti Sonuçlar tablosu (ayrıca belirtilmemiş birimler N,cm cinsinden)

	A	L/8	2L/8	3L/8	4L/8	5L/8	6L/8	7L/8	B
M_T	24,39	23,25	19,84	14,30	6,47 -6,47	-14,30	-19,84	-23,25	-24,39
M_r	8106,27	8107,08	8110,82	8116,35	8124,16 -8124,16	-8116,35	-8110,82	-8107,08	-8106,27
$M_{T\Sigma}$ (kNm)	0,08131	0,08131	0,08131	0,08131	0,16261	-0,08131	-0,08131	-0,08131	-0,08131
$\sigma_{x0}(A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x0}(B)$	0	-3,28	-6,60	-9,87	-13,14	-9,87	-6,60	-3,28	0
$\sigma_{x0}(C)$	0	-6,57	-13,20	-19,74	-26,29	-19,74	-13,20	-6,57	0
$\sigma_{x0}(D)$	0	-8,21	-16,49	-24,68	-32,86	-24,68	-16,49	-8,21	0
$\sigma_{x0}(E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x0}(F)$	0	-1,45	-2,89	-4,34	-5,77	-4,34	-2,89	-1,45	0
$\sigma_{x0}(G)$	0	9,29	18,67	27,92	37,19	27,92	18,67	9,29	0
$\sigma_{x0}(H)$	0	7,85	15,77	23,59	31,42	23,59	15,77	7,85	0
$\sigma_{x0}(J)$	0	6,41	12,88	19,25	25,64	19,25	12,88	6,41	0
$\sigma_{x0}(L)$	0	15,69	31,55	47,19	62,83	47,19	31,55	15,69	0
$\sigma_{x0}(K)$	0	17,14	34,44	51,51	68,61	51,51	34,44	17,14	0
$\sigma_{x0}(M)$	0	14,26	28,64	42,85	57,06	42,85	28,64	14,26	0

7. SONUÇLAR

Köprü sisteminde alışlagelmiş çözüm yöntemi, taşıyıcı ızgara sistemini ana kiriş ve enleme kirişlerine ayrıştırarak bu elemanları ayrı ayrı incelemektir. İncelememde kullanılan yöntemler; Belirli bir yükü ana kirişlerin nasıl paylaştıklarını tespiti dayanır. Yüklerin enine dağıtımını adı verilen bu yaklaşımla ilgili çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada yük dağıtımını ince cidarlı çubuk teorisiyle geliştirilen bir yöntem ve Courbon yöntemiyle yapılmıştır. Courbon yönteminin köprü açıklığının iki katından daha yüksek olduğu durumlarda kullanılmasının önerilmesiyle birlikte, düşey yüklere göre yapılan çözümlerinde, bu sınırların altında da pratik olarak yeterli sayılabilecek bir yaklaşımlığının bulunduğu görülmüştür. Birim burulma momenti köprü ekseninde gezdirilerek elde edilen sonuçların dağılımı verilmiştir. İnceleme; Kısıtlı örnek üzerinde yükün boyuna pozisyonunun enine dağılımını fazla etkilemediğini göstermektedir. Bulunan sonuçlar tabloleştirilmiştir. Tabloların doğruluğu bir örnekle sınırlanmıştır. Daha sonra yatay yük durumları için de bu tablolardan faydalanarak nasıl çözüm oluşturulabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

Celasun, H., (1974), "Betonarme Köprüler ve Hesap Metotları",  ađlayan Kitabevi

Ekiz, İ., (1981), " z ml  Köprü Problemleri", Beyođlu Kitabevi

Karaca, M., (1995), "Tek Açıklıklı Kirişli Köprülerde Yük Dağılımının eřitli Yöntemlerle Bulunup Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Yücefer, N., (1988), "Kirişli Köprülerde Yük Dağıtımını İçin Pratik Bir Yöntem", İstanbul

Yücefer, N., (1977), "İnce Cidarlı Açık Kesitlerin Burulması ", 1977, İstanbul İ.D.D.M.A. Dergisi

Yücefer, N., (2003), "İnce Cidarlı Taşıyıcılar", 2003, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.08.1979

Doğum yeri Ordu

Lise 1994-1997 Ordu Fatih Lisesi

Lisans 1998-2022 Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mi Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

